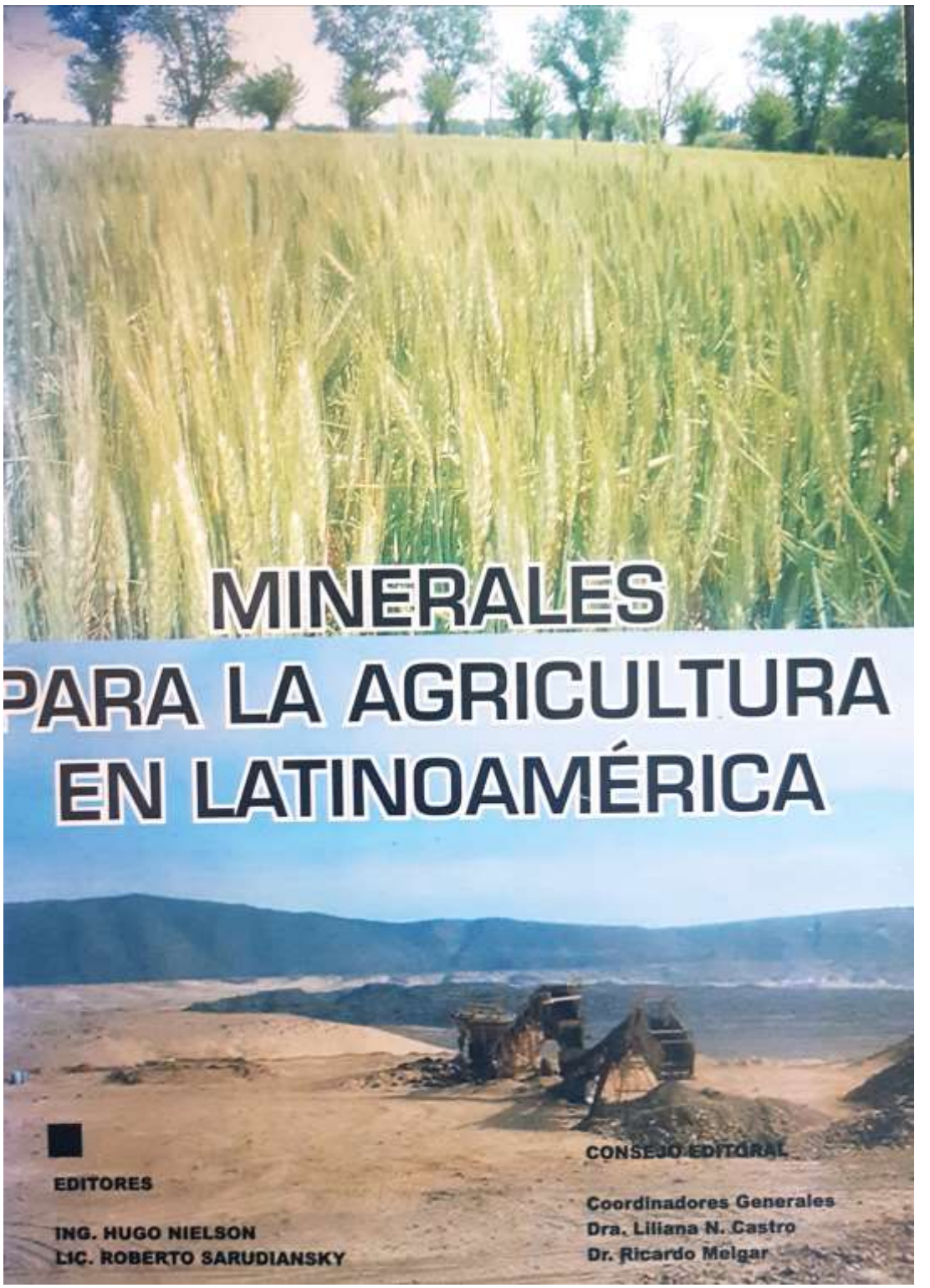


MINERALES PARA LA AGRICULTURA EN LATINOAMÉRICA

EDITORES

ING. HUGO NIELSON
LIC. ROBERTO SARUDIANSKY

CONSEJO EDITORIAL

Coordinadores Generales
Dra. Liliana N. Castro
Dr. Ricardo Melgar

Minerales para la Agricultura en Latinoamérica

AUTORIDADES

SECRETARIO GENERAL DEL PROGRAMA CYTED
Prof. Fernando Aldana Mayor

COORDINADOR INTERNACIONAL
DEL SUBPROGRAMA CYTED XIII - TECNOLOGÍA MINERAL
Prof. Roberto Villas Boas

COORDINADOR DEL PROYECTO CYTED XIII -2
FERTILIZANTES Y ENMIENDAS DE ORIGEN MINERAL
Ing. Hugo Nielson

RECTOR DE LA UNIVERSIDD NACIONAL DE SAN MARTÍN
Lic. Daniel Malcom

DIRECTOR DE LA ESCUELA DE POSGRADO
DE LA UNIVERSIDD NACIONAL DE SAN MARTÍN
Dr. Alberto Pochetino

EDITORES
Ing. Hugo Nielson
Lic. Roberto Sarudiansky

CONSEJO EDITORAL
Dra. Liliana N. Castro
Dr. Sebastián Gambaudo
Lic. Natacha Izquierdo González
Dr, Ricardo Melgar
Lic. María Beatriz Ponce
Ing. Martín Torres Duggan

Impreso en la Argentina - Printed in Argentina

Reservados todos los derechos. Queda rigurosamente prohibida, sin la autorización escrita del autor, bajo las sanciones establecidas en las leyes, la reproducción parcial o toal de esta obra por cualquier medio o procedimiento, incluidos la reprografia y el tratamiento informático.

INDICE GENERAL

PREFACIO ..... *Pág. 9*

CAPÍTULO I ---------- *Pág. 11*
El Marco General del Proyecto CYTED XII-2
Hugo Nielson y Roberto Sarudiansky

CAPÍTULO II ---------- *Pág. 19*
Los minerales y la agricultura
Peter Van Straten

CAPÍTULO III - FOSFATOS ---------- *Pág. 37*

Rocas Fosfóricas ..... *Pág. 39*

Liliana N. Castro y Ricardo J. Melgar *Pág. 62*
Argentina .....
Ricardo J. Melgar y Liliana N. Castro *Pág. 74*
Bolivia .....

Liliana N. Castro y Ricardo J. Melgar *Pág. 83*
Brasil
Recursos Minerais e Produção de Fosfatos .....
Francisco Eduardo Lapido-Loureiro, Núria Fernandez Castro y Rosana Elisa *Pág. 100*
Coppedê da Silva
Uso Agrícola dos Solos do Brasil e Balanço de Nutrientes ..... *Pág. 127*
Alberto C. de Campos Bernardi y Pedro L. O. A. Machado
Chile ..... *Pág. 134*
Carlos Rojas Walker y Liliana N. Castro
Colombia ..... *Pág. 140*

Liliana Alvarado Florez y Jairo Ricardo Barreto Reyes *Pág. 148*
Ecuador .....
Ricardo J. Melgar y Liliana N. Castro *Pág. 159*
México .....
Roberto Núñez Escobar *Pág. 164*
Paraguay .....
Ricardo J. Melgar y Liliana N. Castro
Perú ..... *Pág. 177*
Guillermo Aguirre Yato - Universidad Nacional Agraria La Molina

Uruguay *Pág. 184*
Demanda de Fertilizantes .....
José Martín Bordoli *Pág. 187*
Manifestaciones Fosfáticas .....
E. Pecoits y N. Aubet *Pág. 203*
Venezuela .....
Eduardo Casanova *Pág. 206*
Otros Países (Cuba. Nicaragua, Panamá) .....
Liliana N. Castro
Panorama de Mercado de Fosfatos ..... *Pág. 235*
Natacha Izquierdo González *Pág. 237*

CAPÍTULO IV - POTASIO ---------- *Pág. 254*
Potasio .....
Ricardo J. Melgar y Liliana N. Castro *Pág. 266*
Argentina .....
Liliana N. Castro y Ricardo J. Melgar *Pág. 267*
Bolivia .....
Liliana N. Castro *Pág. 278*
Brasil .....
Francisco E. Lapido-Loureiro, Marisa Nascimento y Clenilson Da Silva Sousa Junior *Pág. 286*
Chile .....
Rafael Ruiz Sch. *Pág. 287*
Colombia .....
Ricardo J. Melgar *Pág. 288*
México .....
Roberto Núñez Escobar *Pág. 289*
Perú .....
Ricardo Melgar y Guillermo Aguirre Yato *Pág. 292*
Venezuela .....
Eduardo Casanova
Panorama de Mercado del Potasio ..... *Pág. 303*
.. *Pág. 305*
Natacha Izquierdo González
Pág. 314

CAPÍTULO V - CARBONATOS ----------
Carbonatos ..... *Pág. 335*
María Beatriz Ponce y Sebastián P. Gambaudo
Argentina ..... *Pág. 339*
María Beatriz Ponce y Sebastián P. Gambaudo
Bolivia ..... *Pág. 370*
Sebastián P. Gambaudo y María Beatriz Ponce

Brasil ..... *Pág. 375*
.....
Samir Nahass y Joaquim Severino *Pág. 377*
Colombia .....
..... *Pág. 381*
Sebastián P. Gambaudo y María Beatriz Ponce
Costa Rica ..... *Pág. 385*
Sebastián P. Gambaudo y María Beatriz Ponce
Cuba ..... *Pág. 387*
Sebastián P. Gambaudo y María Beatriz Ponce
Chile ..... *Pág. 391*
Sebastián P. Gambaudo y María Beatriz Ponce
Ecuador ..... *Pág. 395*
Sebastián P. Gambaudo y María Beatriz Ponce
México ..... *Pág. 403*
Roberto Núñez Escobar y María Beatriz Ponce
Perú ..... *Pág. 415*
Guillermo Aguirre Yato, Sebastián P. Gambaudo y María Beatriz Ponce
Uruguay .....
E. Pecoits, J. Spoturno y N. Aubet *Pág. 425*
Venezuela ..... *Pág. 427*
Eduardo Casanova y María Beatriz Ponce
Panorama de Mercado de los Carbonatos ..... *Pág. 450*
Lic. Natacha Izquierdo González
Pág. 469
CAPÍTULO VI - YESO ----------
Yeso ..... *Pág. 480*
María Beatriz Ponce y Martín Torres Duggan
Argentina ..... *Pág. 483*

María Beatriz Ponce y Martín Torres Duggan *Pág. 491*
Brasil .....
Martín Torres Duggan y María Beatriz Ponce *Pág. 496*
Colombia .....

Liliana Alvarado Flórez y Jairo Ricardo Barreto Reyes *Pág. 499*
Chile .....
Carlos Rojas Walker , Martín Torres Duggan y Karina Suez Concha *Pág. 502*
México .....
Roberto Núñez Escobar, Martín Torres Duggan y María Beatriz Ponce *Pág. 508*
Perú .....
María Beatriz Ponce

Venezuela *Pág. 517*
Recursos Mineros y Actividad Extractiva ..... *Pág. 519*
María Beatriz Ponce
Necesidades Agrícolas del Yeso ..... *Pág. 531*
Eduardo Casanova y Martín Torres Duggan
Panorama de Mercado del Yeso ..... *Pág. 534*
Natacha Izquierdo González
CAPÍTULO VII - OTROS MINERALES ---------- *Pág. 544*
Azufre .....
Javier Peroni y Liliana Castro
Colombia ..... *Pág. 547*
Liliana Alvarado Flórez y Jairo Ricardo Barreto Reyes
Boratos ..... *Pág. 554*
Ricardo N. Alonso y Leandro de los Hoyos
Panorama de Mercado de Boratos ..... *Pág. 557*
Natacha Izquierdo González
Nitratos *Pág. 558*
Nitratos .....
Corina Franzosi y Santiago Montagna *Pág. 559*
Chile .....
Carlos Rojas Walker *Pág. 561*
Perú .....
Guillermo Aguirre Yato
Venezuela .....
Eduardo Casanova
Panorama de Mercado de Nitratos .....
Natacha Izquierdo González
Turba .....
Mario Medana

PREFACIO

El trabajo que aquí se presenta constituye el producto final de las actividades iniciadas en el año 2001, en el marco del Proyecto de Investigación CYTED XIII-2 "Fertilizantes y Enmiendas de Origen Mineral".

El Proyecto, que contó con financiamiento del Programa de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo - CYTED - y se desarrolló en el Subprograma XIII- Tecnología Mineral, tuvo como objetivo principal investigar y promover la contribución de la minería al desarrollo sustentable del sector agropecuario de los países de Latinoamérica.

Para ello se buscó relevar el conocimiento actual en la región de la disponibilidad de recursos mineros para la producción de fertilizantes y su utilización como enmiendas, identificar las necesidades del sector agropecuario en los países involucrados, analizar los mercados y las tecnologías existentes y disponibles, conocer el marco institucional y las acciones que se desarrollan así como también las condiciones medioambientales de la actividad extractiva minera y de la producción agropecuaria.

Las primeras acciones del Proyecto apuntaron a identificar y convocar a instituciones y especialistas en el tema y a generar documentos de información básicos que despertaran el interés en los sectores productivos involucrados.

Posteriormente, mientras se profundizaban las investigaciones de los especialistas en los distintos temas específicos, se desarrollaron acciones en numerosos países de la región para que los destinatarios principales de la información que se estaba generando, esto es productores mineros y agropecuarios, empresas, instituciones gubernamentales y no gubernamentales y la comunidad en general, tomaran conocimiento del proyecto, de sus objetivos y de los avances que se iban registrando. Esta acción de difusión permitió a su vez retroalimentar al proyecto con información provista por los principales actores vinculados al tema.

El documento final que aquí se publica representa a su vez un punto de partida para avanzar en la temática de los fertilizantes y enmiendas ya que ofrece un panorama global actualizado de la situación en la región latinoamericana.

Deseo expresamente dedicar este trabajo al Dr. Gildo Araújo de Sá C. de Albuquerque, destacado y distinguido profesional especialista en el tema, quien fuera uno de los principales impulsores del proyecto, y en el cual participó activamente hasta su fallecimiento en el año 2003.

Deseo asimismo agradecer a los autores de los distintos capítulos y subcapítulos de esta publicación, a CYTED, al Subprograma XIII- Tecnología Mineral- coordinado por el Prof. Roberto Villas Boas, a las organizaciones empresarias del sector minero y del sector agropecuario de Latinoamérica, a las instituciones gubernamentales, al Organismo Latinoamericano de

Minería - OLAMI -, a la Universidad Nacional de San Martín (Argentina) y a todos quienes de una manera u otra han participado de este proyecto. Expreso finalmente un reconocimiento especial a la señorita María Delia Idiartegaray quien eficazmente ha colaborado con los aspectos administrativos del proyecto.

Ing. Hugo Nielson
Coordinador del Proyecto CYTED XIII-2

Buenos Aires, noviembre de 2005

Capítulo I

El marco general del Proyecto Cyted XIII - 2

El marco general del Proyecto Cyted XIII - 2

Hugo Nielson[1] y Roberto Sarudiansky[1]

Los desafíos del Milenio

En septiembre de 2000, en la Sede de las Naciones Unidas en Nueva York, los Jefes de Estado y de Gobierno de todo el mundo se reunieron para discutir y acordar la denominada Declaración del Milenio.

La Declaración reafirmó el apoyo a los principios del desarrollo sustentable, convenidos en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (Río de Janeiro, 1992) y señaló expresamente la necesidad de actuar con prudencia en la gestión y ordenación de todas las especies vivas y todos los recursos naturales, conforme a los preceptos del desarrollo sustentable y que es preciso modificar las pautas insostenibles de producción y consumo en interés de nuestro bienestar futuro y en el de nuestros descendientes.

Dos de los principales desafíos planteados en la Declaración son:

- Reducir la pobreza y el hambre
- Velar por la sustentabilidad ambiental

Para ello se acordó desarrollar acciones para reducir a la mitad, para el año 2015, el porcentaje de habitantes del planeta cuyos ingresos sean inferiores a un dólar por día y el de las personas que padezcan hambre. Asimismo se decidió elaborar y aplicar estrategias que proporcionen a los jóvenes de todo el mundo la posibilidad real de encontrar un trabajo digno y productivo y velar para que todos puedan aprovechar los beneficios de las nuevas tecnologías.

Con el objetivo de delinear e implementar acciones para las próximas décadas y realizar ajustes para una mejor ejecución de la Agenda 21 de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (Río de Janeiro, 1992), se desarrolló en la ciudad de Johannesburgo, Sudáfrica, en septiembre de 2002, la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible.

La Declaración Política de esta Cumbre reafirmó el compromiso de los países con el Desarrollo Sustentable, básicamente lo establecido en la Agenda 21, y se aprobó un Plan de Implementación.

En dicho Plan de Implementación se señala: "la erradicación de la pobreza es el mayor desafío que enfrenta hoy el mundo y es un requisito indispensable para el desarrollo sustentable, en particular en los países en desarrollo". En otras partes del mismo se resalta el rol crucial de actividades como la agricultura y la minería para cubrir las necesidades del crecimiento global de la

[1]*Centro de Estudios para la Sustentabilidad - Universidad Nacional de San Martín*
hugo.nielson@unsam.edu.ar / sarudi@fibertel.com.ar

población y la erradicación de la pobreza, especialmente en los países en desarrollo. Asimismo reiteradamente se destacan las necesidades de asistencia técnica y financiera apropiada y de promover la inversión del sector privado y apoyar los esfuerzos de los países en desarrollo y con economías en transición para fortalecer la investigación en agricultura y la capacidad para el manejo del recurso natural y la diseminación de los resultados en las comunidades. También se promueven programas para mejorar las prácticas para el uso ambientalmente adecuado, efectivo y eficiente de la fertilidad del suelo.

En la Cumbre en Nueva York realizada recientemente (septiembre de 2005), en ocasión del 60º aniversario de la Organización de las Naciones Unidas, más de 150 Jefes de Estado y de Gobierno firmaron una nueva Declaración, donde se ratifican los Objetivos del Milenio, y se acuerda adoptar planes nacionales, a partir de 2006, para cumplir con dichos objetivos. Señalan allí: "Reafirmamos que el desarrollo es un objetivo central en sí mismo y que el desarrollo sustentable en sus aspectos económicos, sociales y ambientales es un elemento fundamental del marco general de actividades de las Naciones Unidas"

Los compromisos asumidos por los estados consisten básicamente en aumentar la asistencia oficial para el desarrollo en 50.000 millones de dólares anuales para 2010 y en acordar que el tema debe constituir el centro de las negociaciones de comercio internacional.

El primer acuerdo de carácter global sobre el modelo de desarrollo de una agricultura sustentable que pueda reducir el hambre y la pobreza y mejorar la protección del medio ambiente en los países en desarrollo se logró en reuniones celebradas en Beijing (China - septiembre de 2005) por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Como corolario de las reuniones se instó a los gobiernos a dar prioridad a las inversiones públicas en áreas rurales destinadas a carreteras, tecnología de la información e infraestructura rural, así como en investigación, formación profesional y educación.

El "Acuerdo de Beijing sobre el futuro de la agricultura mundial y las zonas rurales" pidió a los gobiernos que reconozcan el papel clave de la agricultura y las comunidades rurales en el crecimiento económico general y el desarrollo sustentable. Dado que la mayoría de los pobres y hambrientos viven en áreas rurales, se aboga por mayores inversiones en agricultura y desarrollo rural, consideradas "absolutamente cruciales para mejorar sus vidas y sus medios de subsistencia". El Acuerdo subraya la necesidad urgente de dar prioridad a la investigación agrícola, solicitando una "revolución verde, que armonice la reducción de costos con la conservación de los recursos y la mejora de la producción". Sobre el medio ambiente, el Acuerdo pide a las comunidades rurales que se conviertan en los principales guardianes de los ecosistemas locales. "La conservación y la gestión sustentable de los ecosistemas son la mejor garantía para que puedan mantener funciones como la biodiversidad, secuestro de carbono, polinización y la purificación del agua". Sugiere desarrollar una estrategia que permita a los pobres beneficiarse de la "venta" de estos servicios medioambientales. Finalmente, el Acuerdo reconoce que las prácticas agrícolas contribuyen al calentamiento global y que éste afecta de forma adversa a la productividad agrícola en la mayoría de los países en desarrollo. Por ello solicita que se potencien las prácticas agrícolas que reduzcan el impacto del sector en el cambio climático.

Posteriormente el mismo organismo internacional lanzó un llamamiento solicitando a los líderes mundiales que cumplan el compromiso adquirido de reducir a la mitad el número de hambrien-

tos en el planeta para el año 2015. Pidió allí a los gobiernos y al sector privado que "financien de forma adecuada las iniciativas en la lucha contra el hambre a través del desarrollo rural y la reducción de la pobreza rural, asegurando el acceso directo de los grupos más vulnerables a los alimentos". En un informe sobre la movilización de recursos para combatir el hambre presentado con motivo de la cumbre de la ONU, la FAO subrayó que "es inaceptable que 843 millones de personas en los países en desarrollo o de economías en transición continúen siendo víctimas del hambre y que más de 1.000 millones de personas tengan que vivir con menos de un dólar diario" y agregó que, desafortunadamente, el ritmo de reducción del porcentaje de hambrientos es demasiado lento, "lo que dificulta que se puedan alcanzar los Objetivos de Desarrollo del Milenio, especialmente en África".

Según la FAO, para reducir el hambre es esencial que los nuevos fondos destinados al desarrollo se asignen a la agricultura y al desarrollo rural en una proporción mayor que en las últimas décadas. La gran mayoría de los pobres del mundo viven en áreas rurales, y los estudios demuestran que el desarrollo de la agricultura es el principal motor para la generación de empleo e ingresos. El reducido nivel del gasto público a nivel nacional, junto con el descenso de la ayuda oficial a la agricultura y el desarrollo rural en los países en desarrollo, chocan con la importancia de la agricultura en sus economías nacionales, en especial para los países pobres que dependen de ella. También señala la FAO que la inversión privada es clave para la formación de un capital permanente en la agricultura, y es responsabilidad de los gobiernos lograr este objetivo a través de la investigación, la regulación de las inversiones públicas, los estímulos financieros y la formación. Destaca además que "los que se dedican a la agricultura son los agricultores, no los gobiernos. Sin embargo, la falta de financiación pública adecuada para bienes públicos esenciales como infraestructuras, investigación y formación, divulgación y desarrollo de los mercados, actúa como freno para las inversiones e iniciativas del sector privado".

La situación actual

Más de tres cuartas partes de las personas que pasan hambre viven en zonas rurales de los países en desarrollo. Aproximadamente la mitad de ellas pertenecen a familias rurales en tierras marginales, donde la producción agrícola está amenazada por la degradación ambiental. Cerca de la tercera parte vive en hogares rurales sin tierras que no se dedican a la agricultura, como los que dependen del pastoreo, la pesca y los recursos forestales. Otro fenómeno alarmante es el desplazamiento de la desnutrición a las ciudades.

Para cumplir el Objetivo de Desarrollo del Milenio vinculado con el hambre es necesario mejorar la distribución de los alimentos e incrementar la producción y es prioritario emprender las siguientes acciones:

- Concentrarse en tecnologías que incrementen la producción agrícola. De esta manera aumentarán también los ingresos de las personas que poseen pocos bienes aparte de las tierras.

- Dedicar más recursos a la agricultura. Tanto en los países pobres como en los ricos, la agricultura está desatendida y es necesario invertir esta tendencia.

- Prevenir la degradación ambiental. Las nuevas políticas y tecnologías destinadas a poten-

ciar la productividad también deben proteger los ecosistemas frágiles. Las personas pobres son las más perjudicadas por la degradación ambiental y al mismo tiempo la pobreza provoca degradación ambiental. En los países en desarrollo, la baja productividad suele ser la causante de dicho deterioro, mientras que en Europa y en América del Norte, la responsable es la elevada productividad.

Se estima que la población mundial asciende aproximadamente, en el año 2005, a 6.500 millones de habitantes. La distribución entre zonas rurales y urbanas es prácticamente equivalente. En Latinoamérica, con casi el 10% de la población mundial, donde el 34% de la población rural (20% del total) es considerada población agraria por su vinculación y dependencia a esta actividad.

El total de la población activa en Latinoamérica es de 220 millones de personas. De éstas aproximadamente el 20% (más de 40 millones) trabajan directamente en actividades del sector agropecuario. A modo de comparación debemos señalar que en Europa esta relación no supera el 9%. Por lo tanto, en Latinoamérica el volumen de la población rural y la escasa disminución, en términos absolutos, de la población activa en el sector agrario en contraposición con la tendencia europea, muestra una clara y marcada dependencia de la región respecto al sector agrario.

El sector agrario es, por su parte, un importante oferente de alimentos para la población y un destacado demandante de mano de obra e insumos, así como una de las principales actividades económicas en casi todos los países de Latinoamérica

*Cuadro I-1: Comparación del total de población, población rural y agraria activa en Latinoamérica, Europa y el mundo. * Proyección*

Área	Población total (en millones)			Población rural (en millones)			Población Agraria Activa (en millones)		
	1990	2000	2010*	1990	2000	2010*	1990	2000	2010*
Latinoamérica y Caribe	441.5	520.2	594.4	127.6	127.2	122.7	44.7	43.8	41.4
Europa	498.7	727.9	719.7	140.3	198.9	185.9	24.2	31.1	22.5
Mundial	5283.5	6070.5	6830.2	2990.3	3213.6	3324.9	1220.5	1317.8	1382.1

Fuente: FAOSTAT

La producción mundial de fertilizantes ronda los 250 millones de toneladas donde el 60% corresponde a nitrogenados, el 23% a fertilizantes fosfatados y el 17% a fertilizantes potásicos. La principal región productora es Asia (China e India) con el 45 %, seguida por Europa (26%), Norteamérica (20 %), África (4%), Latinoamérica (3.5%) y Oceanía (1%). En Latinoamérica, la producción, se distribuye de la siguiente manera: nitrogenados 52%, fertilizantes fosfatados 32% y fertilizantes potásicos 15%.

En Latinoamérica se cultivan alrededor de 109 millones de hectáreas, es decir el 9% del total mundial, y la región absorbe un porcentaje similar del consumo de fertilizantes (Figura I).

La mayoría de los países Latinoamericanos satisfacen parte o toda su demanda de fertilizantes vía la importación ya sea desde países de la misma región o fuera de la zona, pero solamente 7 de los 19 países realizan exportaciones, y la mayor parte de ellas son a otros países de la misma región.

La demanda aumenta cada año en respuesta al incremento mundial de la población, aunque el consumo aún es mayor en los países o regiones más desarrolladas. En respuesta al aumento de la población se espera un incremento en las áreas cultivadas y un mayor empleo de fertilizantes y enmiendas del suelo para mejorar su productividad y reparar el deterioro natural provocado por dicha actividad.

Los minerales para la agricultura: una oportunidad.

Los principales compuestos y elementos de origen mineral que se utilizan en la agricultura son nitratos, fosfatos, potasio, azufre, yeso, calcio, magnesio, boro, cobre, molibdeno, zinc, hierro, manganeso, zeolitas, bentonitas, vermiculitas y turbas.

En todos los países del continente americano existen recursos mineros identificados que son o podrían ser extraídos, procesados y aplicados en las distintas actividades agropecuarias.

Los recursos mineros pueden agruparse en:

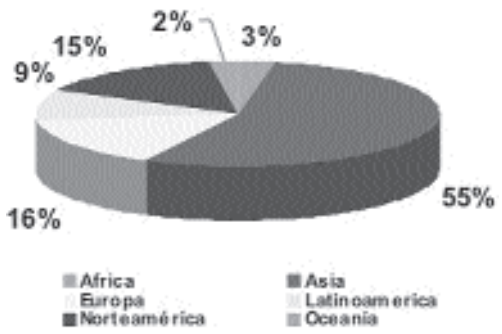
- Recursos utilizados para la elaboración de fertilizantes (Nutrientes y Micronutrientes)
- Recursos utilizados para enmiendas (correctores de suelos)

Entre los nutrientes primarios están el nitrógeno, el fósforo y el potasio. El calcio, el magnesio, y el azufre -los nutrientes secundarios - son requeridos por las plantas en cantidades menores que los nutrientes primarios.

Entre los micronutrientes que se agregan a los suelos como fertilizantes, están el boro, cobre, hierro, manganeso, molibdeno y zinc.

Se considera enmienda a cualquier material inorgánico u orgánico, excepto los usados principalmente como fertilizantes, con capacidad para modificar las características físicas, la acción microbiana, y/o cambiar la acidez de un suelo.

Figura I-1: Consumo mundial de fertilizantes por región - 2002-



Entre las enmiendas de origen minero están el azufre, las bentonitas, las rocas carbonáticas (calizas y dolomitas), las zeolitas, las perlitas, la turba, la vermiculita y el yeso.

En función de lo expresado anteriormente sobre la importancia del sector agrario en Latinoamérica, para un Desarrollo sectorial Sustentable se debe recurrir al uso de de fertilizantes y enmiendas, elaboradas a partir de materias primas minerales, para mejorar la producción y disminuir la degradación de los suelos. Y es precisamente aquí donde el sector minero de la región enfrenta el desafío de convertirse en un proveedor confiable para satisfacer la demanda generada por el sector agrario.

Otras consideraciones

Implementar estas acciones permitiría lograr una mejor calidad de vida para todos los ciudadanos a través de un desarrollo más sustentable en lo social, lo ambiental, lo cultural y lo económico, especialmente para los más desfavorecidos.

La protección de la naturaleza debe ser compatible con el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales. Sobre todo en este siglo en el que las nuevas tecnologías, que conllevan un mayor respeto del medio ambiente, permiten alcanzar máximos niveles de expansión y de rentabilidad, tanto económica como ambiental.

Los planes para explotar cualquier recurso natural deben ser elaborados con participación u opinión de las comunidades afectadas. De no ser así existe el riesgo de enriquecer a unos pocos, de desposeer a la mayor parte de la comunidad y de destruir el ecosistema. La disponibilidad de fondos por sí sola no garantiza un desarrollo sólido con beneficios compartidos por todos. Es más, el éxito también depende de instituciones sólidas, de políticas prudentes, de procesos transparentes, de un amplio acceso a la información y de la participación equitativa en la adopción de decisiones, todas ellas características esenciales de una correcta gestión de los asuntos ambientales.

Para todo lo expuesto es indispensable una permanente, estrecha y responsable vinculación entre todos los actores involucrados: El gobierno (local, regional y nacional), las empresas (agropecuarias, mineras y de servicios) y las comunidades con sus diferentes sistemas de representación genuina.

El gobierno, que tiene a su cargo el rol de mayor responsabilidad, debe procurar una distribución más equitativa de la riqueza y de los beneficios de los proyectos entre las comunidades directamente involucradas. Asimismo debe considerar la posibilidad de aplicación de políticas activas que comprendan, armónicamente, a los dos sectores productivos. Incentivar a quienes inviertan en la preservación de los suelos y en la mayor industrialización de los productos, induciendo una producción minera y agrícola sustentable. También le corresponde fijar y consensuar las reglas de juego, gestionar la licencia social para los proyectos, controlar la aplicación de las legislaciones vigentes, garantizar los mecanismos de participación de TODOS los actores.

Por su parte las empresas mineras deben explicar con claridad los alcances de sus proyectos, evitar las zonas "oscuras" en las negociaciones con los gobiernos, no caer en paternalismos facilistas, establecer diálogos públicos con todos los actores, difundir sus compromisos de sustentabilidad y comprender la dimensión y características del nuevo mercado agropecuario.

En cuanto a los agricultores, tienen que tomar conciencia de la necesidad de reponer los minerales que se extraen con cada cosecha, lo que mejorará los rendimientos de esos suelos y contribuirá a una utilización responsable de los recursos naturales. Deben reconocer la responsabilidad que significa utilizar el suelo de todos, mejorar las condiciones de producción agropecuaria incorporando tecnología y comprender que una producción sustentable puede ser también un buen negocio.

Las comunidades tienen informarse y participar en los organismos de control de los proyectos, permitir la expresión de todas sus instancias organizativas, alejarse de los fundamentalismos paralizantes y comprender que la mayor agresión al medio ambiente surge del hambre y la pobreza.

Capítulo II

Minerales en la Agricultura

Minerales en la Agricultura

Dr. Peter van Straaten[1]

Introducción

Los suelos son esenciales para la producción de alimentos. Los cultivos y los animales en pastoreo requieren suelos fértiles para una producción de alimentos sustentable. La fertilidad de los suelos depende de un número de factores que interactúan, dentro de los que incluyen el clima (temperatura y precipitaciones), material parental (bedrock), morfología, actividad biológica y tiempo de formación. Las condiciones climáticas que influyen en la productividad del suelo están influenciadas por factores externos y están predominantemente relacionadas con la zonificación latitudinal, con climas tropicales que se encuentran alrededor del Ecuador pasando a zonas más frías y secas que se desarrollan tanto al norte como al sur del mismo. También los factores topográficos influyen sobre el desarrollo del clima y del suelo. Los climas frescos a gran altitud y las laderas empinadas reducen por lo general el potencial de producción de cultivos.

La geología y distribución de rocas y minerales sobre la superficie de la Tierra es el principal factor en el desarrollo y en la fertilidad del suelo. La distribución de las rocas y minerales sobre la superficie terrestre es, en gran parte, el resultado del movimiento de porciones extensas y relativamente rígidas de la corteza y manto superior, las denominadas "placas". Las fuerzas geológicas están constantemente cambiando la superficie de la tierra, aunque en "lento movimiento", en escalas de tiempos geológicos de miles y de millones de años. Las montañas, como la Cordillera de los Andes, se elevan y erosionan, los océanos se abren y se cierran, los continentes se separan o se acercan entre ellos y se producen plegamientos y ascensos de segmentos completos de la corteza, a esto se suma el cambio climático global en el tiempo. Todos estos factores y fuerzas influyen fuertemente en la distribución de rocas y minerales y en la distribución de suelos fértiles o infértiles.

La figura II-1 nos ofrece un corte en la sección de la corteza terrestre y el manto superior mostrando la localización de varias capas de la parte superior de la Tierra y los movimientos de placas que influyen en la formación de rocas y minerales, y además la distribución de la fertilidad potencial del suelo. Es un corte geológico generalizado de parte del continente Sudamericano y del Océano Pacífico hacia el oeste. La sección trasversal muestra las áreas donde el material nuevo o relativamente no meteorizado es traído a la superficie, por ejemplo en los Andes. Aquí el potencial de desarrollo de los suelos fértiles tiende a ser alto (Fyfe et al. 1983; Fyfe, 1989). Sin embargo,

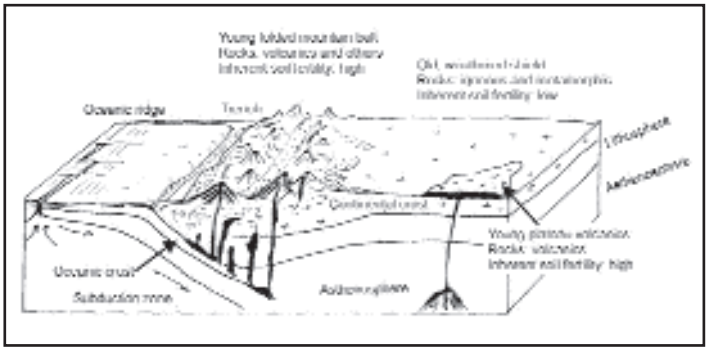


Fig. II-1. Sección geológica generalizada a través de Sudamérica con diferentes fertilidades de suelos desarrollados sobre diferentes materiales originales (fuente: van Straaten, en preparación)

[1] *Dept. of Land Resource Science - University of Guelph - pvanstra@uoguelph.ca*

los factores climáticos (por ejemplo climas fríos a gran altura) y los factores topográficos, tales como laderas empinadas, limitan el desarrollo de suelos fértiles y la composición potencial del suelo. La fertilidad del suelo es generalmente baja en otros segmentos del continente. La baja fertilidad del suelo limita la producción de cultivos en áreas donde la superficie terrestre es antigua y ha estado sujeta a intensos procesos de erosión y lixiviación, por ejemplo en el Escudo Brasileño. Como en el Escudo Brasileño, grandes partes del continente africano Sub-sahariano, y partes de Asia del Sur y del Sudeste y Australia, los suelos que se desarrollan sobre estas rocas son inherentemente infértiles y no pueden soportar la producción de cultivos en forma continua e intensiva. Los suelos desarrollados sobre estos tipos de rocas y en estos climas, requieren agregados de nutrientes.

La intervención humana en la agricultura, por ejemplo la constante producción de cultivos intensivos sin adecuada reposición de nutrientes, puede llevar a balances de nutrientes negativos. En estos sistemas, se extraen más nutrientes del suelo que los que se agregan. Consecuentemente, la constante remoción de nutrientes del suelo por medio de los cultivos ("explotación o minado del suelo") es una de las principales causas biofísicas para la tendencia descendente de la producción de alimentos en muchas partes del mundo en desarrollo. Para superar los suelos inherentemente infértiles y el agotamiento o reducción de suelos infértiles inducidos antropogénicamente, los agricultores suelen utilizar insumos como fertilizantes y abonos. Estos agregados incrementan la productividad del suelo, la producción y la seguridad de los alimentos.

Con la excepción del nitrógeno (N), prácticamente todos los nutrientes agrícolas derivan de recursos geológicos. Estos recursos de nutrientes de origen geológico pueden ser aplicados al suelo directamente o sin mayores modificaciones (aparte de la molienda del producto) o son transformados industrialmente en fertilizantes o enmiendas del suelo antes de ser aplicados.

En los próximos capítulos se discutirán los diferentes recursos geológicos que constituyen materias primas para la fabricación de fertilizantes, a través de una revisión de cada nutriente, seguida por una breve revisión del contexto geológico de estos recursos.

Nitrógeno

El nitrógeno (N) es esencial para el crecimiento de las plantas. Es parte de toda célula viviente. Las plantas requieren N para el crecimiento de las raíces, brotes, frutas y semillas. La adición de N a los suelos y plantas promueve la formación de clorofila y así es esencial en el proceso de la fotosíntesis. Una adecuada disponibilidad de N proveniente del suelo determina una coloración verde oscura en hojas, debido a una mayor concentración de clorofila en las mismas. El nitrógeno es un elemento esencial en la producción de proteínas; promueve el crecimiento vegetativo vigoroso en plantas así como la síntesis de azúcares. Los requerimientos de N de los cultivos varían. Mientras que los cultivos de cereales como el maíz o el arroz por lo general, tienen una relativa alta demanda de N que debe ser provista por la solución del suelo, las leguminosas cubren la mayor parte de la necesidad de N con las bacterias que crecen simbióticamente y que fijan el nitrógeno.

En la naturaleza, el nitrógeno es el único nutriente agrícola importante no provisto totalmente por materias primas de origen geológico. Los únicos recursos geológicos que contribuyen, en una parte menor en el mercado mundial de nitrógeno para fertilizantes, están en los depósitos de ni-

tratos de Chile y en otros pequeños yacimientos de guano, abonos orgánicos. La fuente principal de nitrógeno es, sin embargo, la atmósfera, que está formada por 79,1% de nitrógeno, 20,9% de oxígeno y 0,036% de dióxido de carbono y otros gases residuales.

Los cultivos de leguminosas tales como porotos, cacahuetes (maní) y soja, y los árboles leguminosos son capaces de extraer nitrógeno del aire con la ayuda de las bacterias de la raíz. Durante este proceso de fijación biológica de nitrógeno (FBN) las bacterias simbióticas "fijan" y convierten el N de la forma inorgánica elemental en la atmósfera, en formas de nitrógeno orgánico-disponible para las plantas huéspedes.

La mayoría de los fertilizantes nitrogenados de síntesis química disponibles en el mercado derivan de la aplicación del proceso Haber-Bosch, un proceso químico estudiado por el químico Fritz Haber y el ingeniero químico Carl Bosch, ambos de origen alemán. El gas natural, un recurso geológico no renovable es la principal fuente de energía y alimentación para la producción de amoníaco sintético. En este proceso, el nitrógeno atmosférico es "fijado" industrialmente del aire y combinado con el hidrógeno para producir amoníaco, de acuerdo a la simplificada ecuación: $N_2 + 3H_2$ $2NH_3$. El amoníaco producido por el proceso Haber-Bosch representa la base para aproximadamente el 97% de todos los fertilizantes nitrogenados producidos en el mundo. Los fertilizantes nitrogenados incluyen el amoníaco anhídrido, la urea, el nitrato de amonio, el sulfato de amonio y otros fertilizantes nitrogenados, así como fertilizantes N-P como fosfatos mono y di-amónico.

La distribución mundial de los recursos de gas natural y de petróleo no es uniforme y las mayores reservas se localizan en el Medio Oriente, en la antigua Unión Soviética, en África del Norte y en el Golfo de Méjico. Los sedimentos apropiados en los cuales se pueden formar y almacenar los productos petroleros tienen una amplia distribución areal. En un contexto geotectónico, los hidrocarburos son explotados principalmente en márgenes pasivos y en cuencas de retroarco. En Sudamérica, estos ambientes están en ubicados fuera de la costa de Brasil y en los ambientes de retroarco, al este de la Cordillera.

Los precios del gas natural y de los fertilizantes nitrogenados fluctúan ampliamente. En el ejemplo se observa que el precio de la urea, tiende a seguir al precio del gas natural (Figura II-2).

Los nitratos del Desierto de Atacama, en el norte de Chile, son actualmente la única fuente comercial de nitrógeno a partir de un recurso geológico. Son, sin embargo, de una significación económica menor si se los compara con el amoníaco sintético producido por el proceso Haber-Bosch. Los nitratos de Chile se usan en algunos países para cultivos especiales, de invernadero y tabaco.

Dado que los nitratos minerales son altamente solubles, se encuentran en o cerca de la superficie en lugares como el Desierto de Atacama, en el norte de Chile donde persisten a lo largo del tiempo condiciones extremadamente áridas y libres de vegetación. Las acumulaciones de nitratos de Chile se encuentran en cuencas cerradas de alrededor de 30 km de ancho y 700 km de largo entre la cordillera costera del oeste y los Andes al este. Los depósitos de nitratos económicamente explotables aparecen en capas de "caliche" (depósitos de arena o arcilla mezclado con sales cristalinas como nitrato de sodio) de de 1 a 3 metros con una sobrecarga 2 a 3 metros. El contenido de nitrato del caliche varía pero el promedio de los yacimientos es de 7-25% $NaNO_3$, 2-3% KNO_3, 4-10% NaCl y 10-30 % $NaSO_4$, junto con concentraciones variables de Mg, Ca, K,

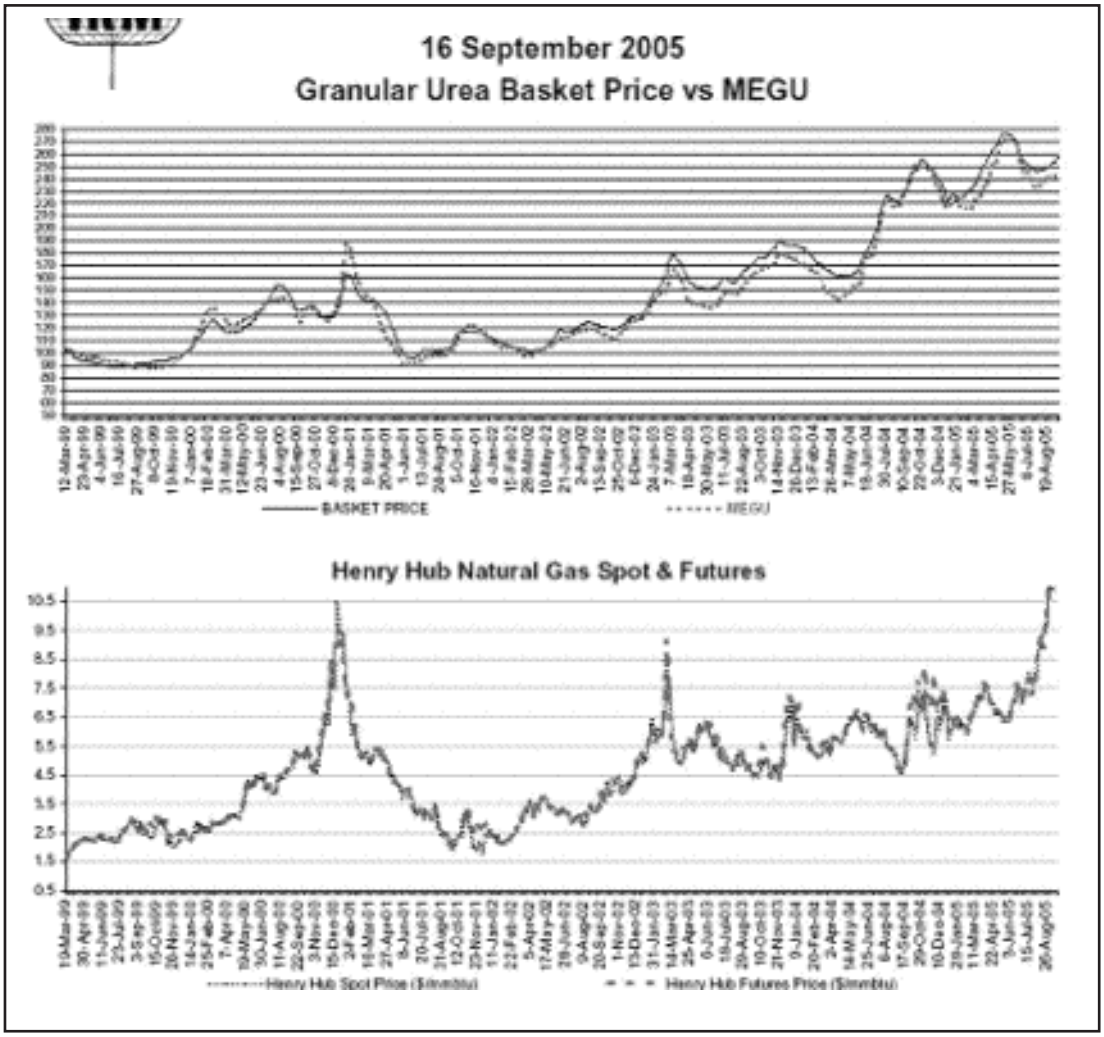


Figura II-2. Fluctuaciones en el precio de la urea en Norteamérica como función del precio del gas natural (IRM 26 agosto, 2005) / www.fertilizerworks.com/html/market/BasketPrice.pdf

B, y I (Eriksen 1981).

Los recursos de nitrógeno son muy amplios dado que, como gas, el nitrógeno forma más de dos tercios de la atmósfera. Sin embargo, para la producción industrial de fertilizantes nitrogenados, se requieren recursos no renovables tales como el gas natural. Aproximadamente dos tercios de las reservas de gas natural mundiales están localizadas en el Medio Oriente y en países de la antigua Unión Soviética.

El gas natural como elemento crítico para la producción de fertilizantes nitrogenados, insume el 70-90% de los costos de producción. La fuerte relación entre los precios del gas natural y los

fertilizantes nitrogenados se ilustra en la figura II-2. Es interesante notar que los precios del gas natural de Norteamérica casi se duplicaron desde mediados del 2003, de 3.65 US$/mbtu a más de 6 US$//mbtu respectivamente y en meses recientes por sobre 10 US$//mbtu.

Hay nuevos recursos que se pueden utilizar para sintetizar amoníaco, por ejemplo metano de carbón e hidrato de gas natural. Se considera que el metano encontrado en la mayoría de las cuencas carboníferas del mundo, se convertirá en una fuente significativa de provisión de metano. Se estima actualmente que más de 146 trillones de pies cúbicos de metano (Tcf) pueden ser recuperados solamente en los Estados Unidos. Otra fuente potencial para la producción de fertilizantes sintéticos de N es el metano de los hidratos de gas, localizado en sedimentos marinos y en sedimentos continentales debajo de la zona permafrost del Ártico. Sin embargo, existen barreras tanto técnicas como ambientales, que necesitan ser consideradas antes de que estos recursos puedan ser desarrollados.

Fósforo

El fósforo juega un papel fundamental en los organismos vivientes. El fósforo es esencial para las plantas y los animales porque es un componente fundamental de las células, formando parte del ácido ribonucleico (ARN) y desoxiribonucleico (ADN), ácidos nucleicos que forman parte del material genético celular. El fósforo es la clave para controlar la mayoría de los procesos que requieren energía en los organismos vivientes. El fósforo es esencial para la formación de proteínas y enzimas, moléculas que son fundamentales para la vida. En las plantas, la provisión de fósforo es importante pues estimula el desarrollo temprano de las raíces y la floración, así como el crecimiento de las semillas y los frutos. La disponibilidad del fósforo influye en la adquisición de nitrógeno y otros nutrientes.

Las rocas fosfóricas proveen el principal recurso para producir fertilizantes fosforados y químicos fosfáticos. Más del 75% de los recursos de rocas fosfóricas son de origen marino, 10-15% de procedencia ígnea y sólo una pequeña proporción se encuentra en los depósitos de guano. Los depósitos de fosfatos están ampliamente distribuidos a lo largo y a lo ancho del mundo aunque los mayores depósitos se encuentran concentrados en África del Norte y el Medio Oriente (Marruecos, Túnez, Jordania, los EEUU, China y Rusia (Figura II-3).

Los fosfatos más comunes son los de calcio del grupo de la apatita. Otros fosfatos incluyen los minerales del grupo de la crandalita, así como la variscita y la estrengita, que contienen Al y Fe y que corresponden a ambientes de meteorización (fosfatos secundarios).

Los principales minerales de fosfato del grupo de la apatita son:

- Flúorapatita (Ca10 (PO_4)6F_2), principalmente asociado a rocas ígneas, por ejemplo, carbonatitas y piroxenitas biotíticas.
- Hidroxi-apatita (Ca10-x-yNaxMgy(PO_4)6-z(CO_3)z$F_{0.4}z F_2$), encontradas principalmente en depósitos biogénicos de huesos, pero también en ambientes ígneos y metamórficos.
- Carbonato- hidroxiapatita - (Ca10(PO_4,CO_3)6$(OH)_2$), comúnmente encontrada en islas y cuevas, como parte del guano de pájaros y murciélagos.
- Francolita (Ca10-x-yNax(PO_4),6z(CO_3)zFo.4F_2), predomina en ambientes marinos. En la

fórmula francolita “x” va desde 0-0.35, “y” va desde 0-0.14 “y” “z” va desde aproximadamente 1.26 (McClellan and Lehr 1969)

Los ambientes geológicos con rocas fosfóricas en concentraciones comerciales se clasifican en:

-sedimentarios marinos, principalmente poco profundo
-ígneos, mayormente asociada con complejos alcalinos
-guano y relacionados con el guano

Los depósitos sedimentarios de fosfatos, también conocidos como fosforitas, se encuentran en muchas regiones del mundo. Constituyen el más grande y fácilmente extraíble recurso de rocas fosfóricas. Las fosforitas se forman en ambientes marinos poco profundos, en plataformas cerca de la costa.

Los depósitos de fosfatos de origen ígneo forman aproximadamente un 10-15% de los recursos de fosfatos globales. Los principales yacimientos en explotación, se encuentran en Rusia, Sud Africa, Brasil y Finlandia. Las típicas asociaciones económicas vinculadas a rocas ígneas son: a) complejos de biotita - piroxenita y b) complejos de Anortosita-Gabbro

Los recursos de rocas fosfóricas ígneas asociadas con carbonatitas se encuentran principalmente en cortezas continentales estables, y sólo muy raramente en secuencias con plegamientos. Las carbonatitas se encuentran principalmente a lo largo de zonas de rift o zonas de fallas repetidamente activadas (van Straaten, 1989) y a lo largo de extensiones de fallas transformantes.

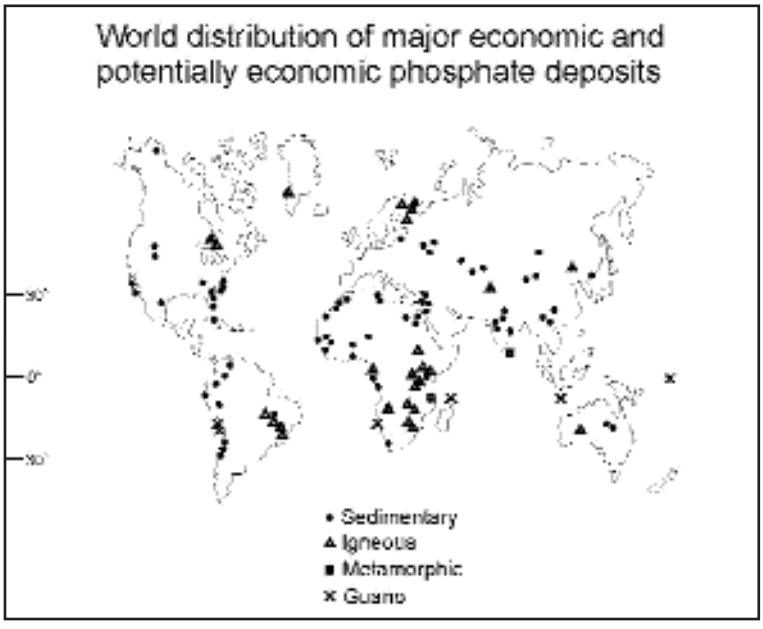


Figura II-3. Distribución de los principales depósitos de fosfato, potencialmente económicos del mundo (fuente: van Straaten, en preparación).

Muchos de los grandes depósitos de fosfatos de origen ígneo en países tropicales, como Brasil, Uganda, Sri Lanka, Mozambique, y Gabón aparecen en ambientes de meteorización. En estos casos, los extensos depósitos de fosfatos de baja ley son extraídos de los suelos o regolitos que están sobre las carbonatitas y otros depósitos de fosfatos ígneos, por ejemplo en Brasil. La erosión tropical de carbonatitas, por ejemplo, resulta en la descomposición y lixiviación de los minerales más solubles tales como carbonatos, dejando apatita, magnetita y otros óxidos de hierro como material residual.

En el pasado, las rocas fos-

fóricas no procesadas eran a menudo aplicadas directamente a los suelos, pero con resultados diversos. Algunas de las rocas fosfóricas, especialmente las francolitas muy sustituidas por carbonatos, mostraban una efectividad agronómica muy buena, particularmente en suelos deficientes en Ca. Mientras que la respuesta dada por los cultivos por la fertilización con rocas fosfóricas sedimentarias de Carolina del Norte, Túnez y Perú sobre suelos ácidos tropicales es comparable a superfosfato triple (Fig. II-4), en cambio la respuesta dada por la fluorapatita de origen ígneo (por ejemplo en las carbonatitas Jacupiranga, Catalao, Tapira en Brasil) es comúnmente demasiado baja para ser económicamente viable y de interés para los agricultores. (Fig. II-4)

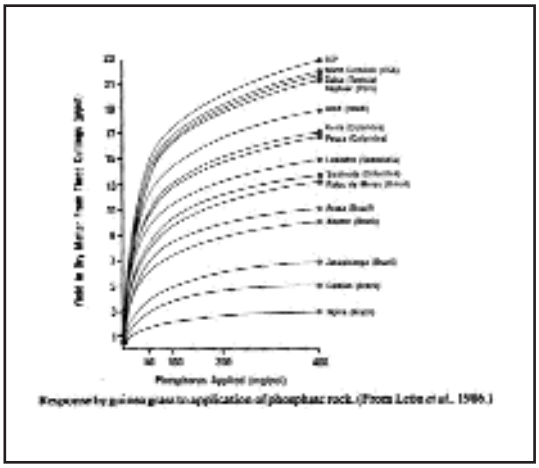


Figura II-4. Respuesta de "guinea grass" a la aplicación de distintas rocas fosfóricas (modificado de Léon et al.

En la industria de los fertilizantes, los superfosfatos se producen por medio de la reacción de rocas fosfóricas con ácidos, principalmente ácido sulfúrico y ácido fosfórico. El superfosfato simple se produce por la reacción de la roca fosfórica con ácido sulfúrico (H_2SO_4). El superfosfato contiene aproximadamente 30% de $Ca(H_2PO_4)\cdot H_2O$, aproximadamente 45% de yeso $(CaSO_4)\cdot 2H_2O$, alrededor de 10% de bifosfato de calcio ($CaHPO_4$), 10% de óxido de hierro, sílice y silicatos de aluminio, y aproximadamente 5% de agua. La producción de superfosfato triple requiere la reacción de roca fosfórica con ácido fosfórico. En años recientes, hay una tendencia a producir fertilizantes de N y P combinados, por ejemplo el fosfato mono-amoníaco (MAP) y el di-amoníaco (DAP), ambos productos de la reacción de amoníaco con ácido fosfórico.

Las rocas fosfóricas son recursos finitos no renovables. En 2004, la producción mundial de roca fosfórica fue de 138 millones de toneladas métricas (US Geological Survey, 2005). Los principales países productores en función del porcentaje de la producción total son: USA (26%), China (18%), Marruecos y Sahara Occidental (17%), Rusia (8%), Túnez (6%), Jordania (5%), Brasil (4%) e Israel (2%). La estimación de reservas y recursos de roca fosfórica son altamente variables. Las reservas globales (depósitos que pueden ser extraídos con ganancias bajo las condiciones económicas y técnicas actuales) se estiman según US Geological Survey (2005) en 18 billones de toneladas de roca fosfórica. Los recursos globales, reservas probadas más todos los demás recursos minerales que podrían estar disponibles, están en los 50 billones de toneladas (US Geological Survey, 2005). Esto significa que bajo las actuales condiciones técnicas y económicas, y con la actual cantidad de producción de roca fosfórica, las reservas durarían por 130 años aproximadamente. Sin embargo, se anticipa que en función del aumento de los precios de la roca fosfórica, algunos de los recursos conocidos se convertirán en reservas y el tiempo de vida de las rocas fosfóricas se incrementaría tremendamente.

Potasio

El rol del potasio (K) en las plantas es de naturaleza principalmente reguladora, tal como activación de enzimas para promover el metabolismo de carbohidratos, para promover el metabolismo de nitrógeno y síntesis de proteínas. El potasio es también necesario para proveer las condiciones para un mejor uso del agua, y para controlar y regular las actividades de varios nutrientes esenciales. La disponibilidad del potasio incrementa la resistencia de algunas plantas a ciertas enfermedades.

Las sales de potasio (en la industria del fertilizante se utiliza la denominación potasa) proveen el principal recurso para producir fertilizantes de K y químicos de K. La sal soluble de K más común es la silvita, cloruro de K (KCl), que también se conoce en las comunidades agrícolas como "muriato de potasa" (MOP). Otras sales solubles de K que encontramos naturalmente incluyen la langbeinita $K_2SO_4 \cdot 2MgSO_4$, así como carnalita ($KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$) y kainita ($4KCl \cdot 4MgSO_4 \cdot 11H_2O$). Casi todos los recursos de potasio se derivan de recursos evaporíticos, es decir originados por la evaporación de agua de mar o en salmueras en lagos secos o en salares en climas áridos.

Tanto como el gas natural para la fabricación de fertilizantes nitrogenados, y como las rocas fosfáticas, las sales que contienen potasio son finitas, esto es, recursos no renovables. En 2004, la producción total de potasa fue de 30 millones de toneladas de K_2O equivalente (US Geol. Survey 2005). Los principales productores de potasa son Canadá, Rusia, Bielorrusia y Alemania, seguidos por Israel, Jordania y los EEUU.

Las reservas globales de potasa se estiman en 8.3 billones de toneladas de K_2O equivalente. Según el US Geological Survey, los recursos globales son de aproximadamente 250 billones de toneladas de K_2O (US Geological Survey 2005). Basado en los valores de las reservas probadas y considerando la actual tasa de producción, las reservas excederían los 270 años. Sin embargo, si se tomaran en cuenta los recursos, el tiempo de vida sería de varios miles de años.

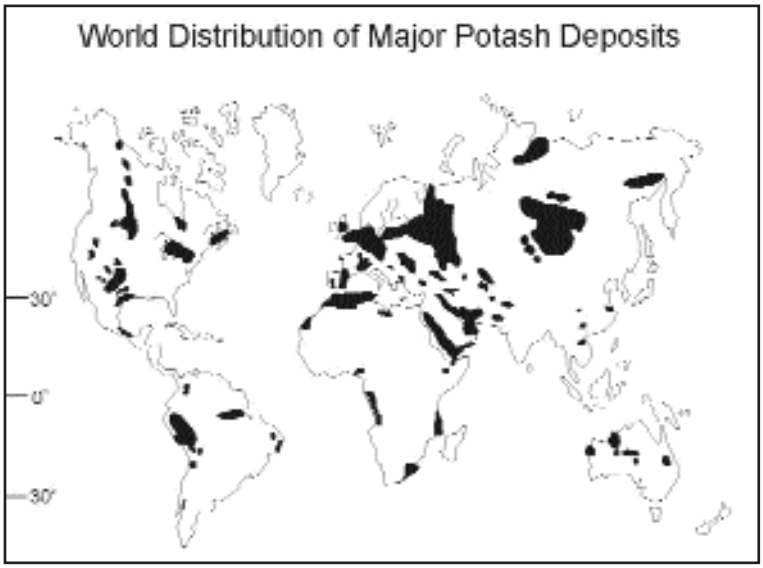


Figura II-5. Distribución de los principales depósitos de K en el mundo (fuente: Adams 1975).

Los depósitos ricos en potasio se encuentran en varias partes del mundo (Fig. II-5). Los más grandes depósitos de sales de potasio se originaron en mares epiconti-

nentales, (mares poco profundos, intracratónicos o cercanos a los continentes), por ejemplo en Canadá, en los EEUU y en Europa. Otros depósitos de K están relacionados a ambientes de rift, como por ejemplo en Israel y Jordania, y ambientes de lagos internos, como es el caso de los "salares" de Chile.

Un interesante conjunto de depósitos puede localizarse en ambos lados del Atlántico Sur, fuera de la costa de Brasil y en la cuenca de Gabón-Congo-Angola en África Occidental (de Ruiter 1979, Rona, 1982). Estudios geológicos detallados revelaron que estos depósitos de potasa fueron coetáneos. Fueron formados en ambientes de rift durante los primeros estadios de la separación de los dos continentes, cuando el agua de mar invadió la abertura del Rift del Atlántico Sur (Rona, 1982).

En Sudamérica, los depósitos de sal de K asociados con evaporitas se encuentran en el margen pasivo este del continente, y en los salares a lo largo de los Andes.

Azufre, sulfatos y sulfuros

El azufre (S) se requiere en las plantas para la formación de aminoácidos y, específicamente, para la síntesis de tres aminoácidos: cistina, cisteína y metionina, estructuras básicas para la biosíntesis de proteínas. Aproximadamente el 90% del S en las plantas se encuentra en proteínas. Además, el azufre es esencial para la formación de vitaminas (ej. Vitamina B_{12}) y aceites tales como glucósido, que se encuentra en las cebollas, el ajo y las crucíferas. Las plantas tales como colza o mostaza, requieren más de 50 kg de S por hectárea y por año, y cultivos que producen una alta cantidad de materia orgánica, tales como la caña de azúcar, también pueden también requerir cantidades sustanciales de S (Mengel and Kirby 2001).

Las tres sustancias naturales sólidas que contienen S y pueden ser usadas para reponer S al suelo, son el azufre elemental (S^o), los sulfuros (S^{2-}) y los sulfatos (SO_4^{2-}). El azufre nativo, puro, precipita en áreas volcánicas en la forma de S elemental, principalmente como sublimación en la superficie, como costras, impregnaciones y rellenos en vesículas en depósitos de lava y de toba. La precipitación del S elemental por condensación de los gases que tienen S es común cerca de centros volcánicos. Los depósitos volcánicos de S son generalmente pequeños y han sido explotados en escala local con técnicas físicas relativamente simples, fundidos en cubas y concentrados para eliminar impurezas.

Como resultado de reducción biológica, el S elemental se encuentra también en depósitos de yeso, o en secuencias estratificadas o en asociación con domos salinos.

En años recientes, grandes cantidades de S elemental se han recuperado como subproducto del refinado de petróleo, del procesamiento del gas natural y de las plantas de coque. El llamado "gas ácido", H_2S, que tiene un olor característico a "huevo podrido" es un subproducto del procesamiento del gas natural. El subproducto S elemental se recupera sacándole las impurezas de S al gas ácido. En 2003, aproximadamente 90% de la producción mundial de azufre se originó en el procesamiento de subproductos (US Geol. Survey 2004).

Además del azufre elemental hay grandes recursos de sulfatos en la forma de sulfatos de calcio,

yeso y anhidrita. El yeso y su forma anhidra, la anhidrita, ocurren naturalmente en sedimentos de evaporación que se acumularon en cuencas marinas y, en proporción menor, en ambientes de lagos internos, bajo condiciones áridas. la anhidrita y el yeso se encuentran también en domos salinos, los llamados "cap-rocks". Pero el yeso no se extrae solamente del recurso natural. En años recientes, grandes cantidades de yeso secundario se han producido a partir del procesamiento de roca fosfórica, como "fosfo-yeso", y como subproductos de plantas energéticas y de procesamiento de sulfuros.

Aparte del S elemental y de los sulfatos hay otros recursos geológicos que contienen S, por ejemplo, los sulfuros. El sulfuro más común es la pirita (FeS_2), que se encuentra en distintos ambientes geológicos, incluyendo los volcanogénicos, los hidrotermales y los sedimentarios. Hay pocos depósitos de pirita en el mundo de donde sólo se explote este mineral. Mayormente, la pirita es un subproducto de la extracción y procesamiento de Cu-Zn-Pb y de vetas de oro (piritas de flotación) y de mejorar los carbones ricos en azufre (piritas de carbón).

Calcio y Magnesio

El calcio (Ca) juega un papel crucial en la nutrición de organismos vivientes. En la nutrición de las plantas, el calcio es esencial para estabilizar las células. El calcio activa o inhibe ciertas enzimas y controla la actividad de la raíz. Tiene que ver en la producción de nuevos puntos de crecimiento, tales como las puntas de las raíces. El magnesio (Mg) ocupa el centro de la molécula de la clorofila y es esencial para la fotosíntesis. También el magnesio se requiere en un número de enzimas asociadas con la transferencia de energía y es esencial para la síntesis de las proteínas. La disponibilidad de suficiente Mg es a menudo responsable del consumo y utilización del fósforo.

Los recursos de calcio y magnesio ocurren en muchas formas y en muchos lugares. La mayoría del los recursos de Ca y Mg usados en agricultura están en su forma natural como calizas y dolomitas (cuadro II-1). Por otra parte, algunos recursos de Ca y Mg se obtienen de procesar otros minerales, tal es el caso de los subproductos del procesamiento del fosfato, fosfo-yeso o yeso, o del procesamiento de combustible fósil que alimenta generadores eléctricos (gas fluido del yeso desulfurizado-FGDG). Las calizas y las dolomitas constituyen un grupo de rocas carbonáticas con variados contenidos de calcio y magnesio. En uno de los extremos, están las rocas que contienen más del 90% de dolomita, y en el otro, las piedras calizas conteniendo más de 90% de calcita. Entre los dos extremos están las dolomitas cálcicas y las calizas dolomíticas. Las rocas carbonáticas sedimentarias pueden también contener variables cantidades de impurezas, principalmente silicatos.

Hay varios tipos de piedra caliza: las calizas sedimentarias estratificadas y las calizas masivas, las calizas dolomíticas, las dolomitas cálcicas y las dolomitas. El término mármol se usa para la caliza o dolomita metamórfica, usualmente de grano grueso. Asimismo en el núcleo de los complejos de carbonatitas suelen presentarse acumulaciones de carbonato de origen ígneo. Otras rocas con contenidos de Ca y Mg son el travertino, las tobas, las margas y la magnesita. Las calizas y dolomitas se encuentran tanto como rocas sedimentarias y como en sedimentos metamorfoseados. Los carbonatos ígneos, por ejemplo las carbonatitas, son relativamente raros. Debido a su característica meteorización, no son fáciles de detectar bajo la cubierta de sedimentos glaciales, (en climas fríos) o en terrenos tropicales altamente meteorizados.

Mineral	CaO%	MgO%	S%
Calcita [$CaCO_3$]	56		
	30.4	21.9	
Dolomita [$CaMg(CO_3)_2$]			23.5
	41.2		18.6
Anhidrita [$CaSO_4$]	32.6		
Yeso [$CaSO_4 \cdot 2H_2O$]	55.8		
Apatita [$Ca_{10}(PO_4)_6F_2$]	48		23
		29	13

Cuadro II-1. Formas minerales naturales de calcio y magnesio, y del azufre.

Las calizas y dolomitas constituyen aproximadamente el 15% de todas las rocas sedimentarias del mundo (Carr y Rooney, 1983). Se presentan en terrenos desde el Precámbrico al Reciente. Geológicamente, la mayor parte de las calizas se originaron en ambientes marinos de escasa profundidad, cálidos y claros, por ejemplo ambientes de plataforma o ambientes arrecifales carbonáticos.

Otro recurso importante de Ca es el yeso (land plaster o yeso terroso) que se usa en agricultura por sus contenidos de Ca y sulfato y para mejorar los suelos física y biológicamente. Las principales aplicaciones del yeso en la agricultura son: como fuente de Ca, y de S para el crecimiento de las plantas, pero también se aplica para mejorar físicamente suelos sódicos y arcillosos pesados, y como mejorador de acidez del subsuelo y de la superficie. Otras aplicaciones, menos comunes, son para reducir la volatilización del amoníaco (Termeer y Warman, 1993), como un sustrato para abono de hongos con particular énfasis en reducir la pérdida del amoníaco (Gerrits, 1977), y como fungicida para controlar las enfermedades de las raíces, por ejemplo, las de las semillas de la palta. (Messenger et al., 2000)

Micronutrientes

Los micronutrientes como Fe, Mn, Zn, Cu, B y Mo y Cl son importantes para el crecimiento de las plantas en un número de sistemas enzimáticos que actúan como catalizadores, promoviendo reacciones orgánica-orgánica y orgánica-inorgánicas. La eficiencia de las enzimas depende de la disponibilidad de micronutrientes junto con condiciones ambientales favorables tales como adecuado pH, temperatura, humedad y otros factores. Los micronutrientes juegan un importante papel en la fijación simbiótica del nitrógeno. Además de la disponibilidad de un inóculo, las plantas leguminosas requieren nutrientes tales como P, K, Ca y S, así como pequeñas cantidades de Co, Mo y Fe que se necesitan para "fijar" el nitrógeno. La concentración de micronutrientes del suelo es una función de muchos factores, incluyendo la disponibilidad de micronutrientes en fase acuosa (especiación), pH y otros constituyentes del suelo como la arcilla, materia orgánica y óxidos de Fe y Mn. Las propiedades de estos "nutrientes" dependen mucho del pH.

Las fuentes de los micronutrientes inorgánicos son predominantemente minerales de rocas íg-

neas, metamórficas o sedimentarias. Las sales de los micronutrientes son relativamente raras, con la excepción de los boratos, que ocurren en evaporaciones de salinas. Los micronutrientes en minerales de silicato no están distribuidos de manera pareja en las rocas comunes. Algunos tipos de rocas contienen concentraciones más altas que otros. Por ejemplo, las rocas basálticas contienen concentraciones más altas de los micronutrientes Cu, Co, Zn y Fe que las graníticas. En ambientes graníticos la presencia de Mo como micronutriente es mayor. Las concentraciones más grandes de micronutrientes se encuentran comúnmente en pizarra negra.

Rocas silicáticas multi-nutrientes

En los últimos años se ha prestado atención al uso de rocas silicáticas como multinutrientes geológicos de bajo costo para el desarrollo de la agricultura. Una mejor comprensión de las características composicionales de "minerales y rocas" potencialmente fértiles, de nuevas técnicas de modificación para mejorar la disolución de los minerales, así como una mejor comprensión de la interacción entre estas rocas y suelos adecuados y receptivos, han dado renovados ímpetus para utilizar estos recursos. Distintos ejemplos de aplicación de rocas basálticas, así como de silicatos considerados "desperdicios" en minas de vermiculita y la utilización de vulcanitas ultra potásicas friables, muestran que estos recursos pueden ser usados exitosamente sobre suelos no fértiles. La combinación de estos recursos de silicatos multinutrientes con residuos orgánicos tiene un buen potencial para mejorar la fertilidad del suelo, especialmente en suelos muy ácidos e infértiles.

Minerales y Rocas Especiales

Estas incluyen la perlita, la piedra pómez, la vermiculita y las zeolitas. Estos recursos se usan en algunas partes del mundo en agricultura y horticultura para mejorar la calidad y cantidad de los cultivos, frutas, vegetales, flores y otros productos. Particularmente la industria de los invernaderos está usando cada vez más estas rocas y minerales. Hay millones, probablemente billones de plantas que crecen cada año en recipientes en donde se incorporan minerales como sustratos, tanto macetas, campos deportivos o lugares restringidos como jardines en las terrazas y otros espacios. Estos medios de crecimiento ofrecen varias ventajas sobre los convencionales: son homogéneos, están libres de enfermedades e insectos, y casi siempre son de poco peso. Además, la fertilización y el uso del agua pueden ser controlados externamente. Los medios de crecimiento dan anclaje para el crecimiento de raíces, buena aireación, y capacidad de mantener el agua. Entre los ingredientes comunes de crecimiento sin suelo están la turba, perlita, vermiculita y en algunas operaciones, piedra pómez. La aplicación de zeolitas en agricultura se restringe al uso como aditivo del alimento de los animales, como aditivo al suelo y al abono, como transportadores de pesticidas y herbicidas, y como sustrato en macetas. Las zeolitas cargadas de amoníaco han sido testeadas exitosamente también por su habilidad de incrementar la solubilización de minerales de fosfato (Lai and Erberl 1986), llevando a una mejora en el ingreso de fósforo.

Grandes recursos de pómez y perlita se encuentran en ambientes volcánicos jóvenes (Terciarios y más jóvenes) en las márgenes de placas activas, como es el caso de regiones de América Central y del Sur. Estos materiales rocosos se encuentran asociados espacialmente con vulcanismo rico en sílice. Los mayores depósitos de zeolitas naturales se encuentran principalmente

en áreas volcánicas y en playas donde los vidrios ricos en sílice reaccionaron con soluciones alcalinas.

Los recursos de vermiculita están restringidos a zonas de meteorización ricas en carbonatitas y biotitas, por ejemplo, biotita-piroxenita. Las concentraciones económicas de vermiculita se encuentran fundamentalmente en el ambiente de escudos.

El marco geológico de los recursos agrominerales.

La abundancia de agrominerales y rocas no tiene una distribución uniforme en espacio y tiempo en la superficie terrestre. Se presentan en marcos geotectónicos específicos y se originaron en períodos también específicos. Mathers (1992) presenta una descripción del potencial de minerales no metálicos o "minerales industriales" en Centroamérica. Agrupa la geología de Centroamérica en terrenos o dominios, y describe característicos y asociaciones predecibles de minerales industriales, incluyendo agrominerales, que ocurren en cada uno de los ambientes geológicos.

Los agrominerales pueden ser clasificados en aquellos asociados con ambientes ígneos y los encontrados en ambientes sedimentarios. Los agrominerales relacionados a actividades ígneas, principalmente volcanismo, son el azufre, la perlita, la piedra pómez, y, en algunos casos, las zeolitas. Los agrominerales asociados a acumulaciones sedimentarias incluyen los nitratos, los fosfatos, las sales de K, los sulfatos, los carbonatos y varios elementos residuales, tales como los boratos. Los agrominerales asociados con carbonatitas y complejos alcalinos son rocas fosfáticas, carbonatos y vermiculita.

La diversidad de agrominerales difiere de un terreno geológico a otro. Algunos responden a cinturones lineales, por ejemplo, el azufre volcanogénico, la perlita y la piedra pómez en los cinturones volcánicos andinos. Los fosfatos ígneos y la vermiculita asociados con pequeños cuerpos de carbonatitas ocurren alineados a lo largo de zonas de fallas. Otros recursos agrominerales son más comunes, y presentan ampliamente distribuidos como es el caso de los carbonatos de origen sedimentario.

La distribución temporal de agrominerales no es tampoco pareja, su formación se extiende del Precámbrico al Reciente. Gran parte de las dolomitas y las relativamente raras rocas fosfóricas sedimentarias en el ambiente continental fueron formadas durante el Precámbrico.

Los principales fosfatos ígneos relacionados con carbonatitas y muchos de los carbonatos y sulfatos fueron asignados al Mesozoico. Gran parte de los recursos geológicos micronutrientes, azufre volcanogénico y minerales como perlitas, piedra pómez y zeolitas, se presentan solamente en rocas de caja relativamente jóvenes, de edad Terciaria o más joven.

La distribución de los nutrientes principales, identificando los minerales y rocas en un encuadre tectónico, se presenta en el Cuadro II-2

	Cinturon Andico (margen de placa activo) Lado oeste del continente	**Plateau Central** (placa continental)	**Near-shore y off-shore Márgen pasivo** Lado este del continente
Nutriente			
N	*Edad: Mesozoico y más joven* Nitratos; guano; (sedimentos químicos y biológicos. Neógeno a Cuaternario Gas natural para producción de N	*Edad: Principalmente Precambrico, volcanismo rocas alcalinas Cretácico y más joven*	*Edad: Mesozoico y más joven* Gas natural para producción de N
P	Fosfatos sedimentarios	Fosfatos igneos asociados a cabonatitas (ppalmente; Fosfatos sedimentarios Precambriacos (subordinados)	
K	Cloruro de K y nitratos en salares	Silicatos ricos en pluma-relacionado con volcanismo ultaralcalino (raro)	Sales de K en evaporitas ligados a márgenes pasivos
S	S° (volcanogenico); Yeso/anhidrita en el Jurásic, Cretácico inferior, Neógeno evaporitas		Yeso/anhidrita en el sedimentos transición y evaporita de márgenes pasivos
Ca, Mg	Calizas y coquina Dolomitas (Cretácico inferior),	Cinturones móviles y *greenstone belts:* carbonatos metamórficos incluyendo dolomitas y magnesitas Dolomitas y calizas en Cinturones móviles	Calizas sedimentarias
Micro-nutrientes	Micronutrientes (Cu, Mo, Zn etc.) in sulfuros relacionados a cobres porfíricos; Boratos en salares	Micronutrientes (Cu, Zn etc.) en depósitos de sulfuros en *greenstone belts*	
Minerales Especiales	Perlita; pumicita; zeolita, asociada a volcanismo silicico del Neógeno Cauternario	Vermiculitas en ambientes de meteorización, asociado con carbonatitas	

Cuadro II-2 . Diversidad Agromineral en Sudamérica en el contexto tectónico

Conclusiones

Los suelos son esenciales para la producción de alimentos. La distribución de suelos productivos está ampliamente influenciada por factores climáticos y las rocas subyacentes. La distribución de "rocas fértiles" no es uniforme está muy relacionada a la tectónica de placas.

Con la excepción del N todos los nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas son derivados de recursos geológicos. Pequeñas cantidades de nitratos se encuentran como recurso minero, pero la mayor parte del nitrógeno usado en la industria del fertilizante es fijado del aire. El gas natural, un recurso geológico no renovable, es la fuente de energía principal para la producción de amoníaco sintético. Todos los recursos geológicos proveedores de nutrientes son re-

cursos finitos y no renovables. Según las actuales tasas de extracción, la mayoría de los recursos geológicos fuentes de nutrientes agrícolas durarán varios cientos de años. La energía requerida para extraer estos nutrientes a partir del recurso o para fijar industrialmente el nitrógeno del aire, es variable. La economía de la fijación de nitrógeno industrial está relacionada a la disponibilidad y al precio del gas natural. La abundancia y la geodiversidad de los minerales para la agricultura no están uniformemente distribuidas en tiempo y espacio, su acumulación está relacionada de modo importante con locaciones específicas y periodos específicos.

BIBLIOGRAFÍA

ADAMS SS 1975. Potash. In: Lefond SJ (editor) Industrial Minerals and Rocks, 4th edition. AIME, New York, pp. 963-990.

CARR DD AND ROONEY LF 1983. Limestone and dolomite. In: Lefond SJ (editor). Industrial minerals and rocks 5th edition. AIME, New York, pp. 833-868 de Ruiter PAC 1979. The Gabon and Congo Basins Salt Deposits. Econ. Geol. 74:419-431.

ERICKSEN GE 1981. Geology and origin of the Chilean nitrate deposits. U.S. Geol. Surv. Prof. Paper 1188. 37p.

FYFE WS 1989. Soil and global change. Episodes 12:249-254.

FYFE WS, Kronberg BI, Leonardos OH and Olorunfemi N 1983. Global tectonics and agriculture: a geochemical perspective. Agr. Ecosyst. Env. 9:383-399.

GERRITS JPG 1977. The significance of gypsum applied to mushroom compost, in particular in relation to the ammonia content. Netherl. J. Agric. Sci 25:288-302.

LÉON LA, FENSTER WE AND HAMMOND LL 1986. Agronomic potential of eleven phosphate rocks from Brazil, Colombia, Peru and Venezuela. Soil Sci. Soc. Am. J. 50:798-802.

MATHERS SJ 1992. The potential for development of industrial minerals in Central America. British Geol. Surv. Tech. Rep. WC/92/55, Keyworth Nottingham, UK, 60p.

MCCLELLAN GH AND LEHR JR 1969. Crystal chemical investigation of natural apatites. Am. Mineralogist, 54:1374-1391.

MENGEL K AND KIRKBY EA 2001. Principles of plant nutrition (5th edition).Kluwer Academic Publ. Dordrecht, Netherlands, 849p.

MESSENGER BJ, MENGE JA AND POND E 2000. Effects of gypsum soil amendments on avocado growth, soil drainage, and resistance to Phytophthora cinnamoni. Plant Dis. 84:612-616.

RONA PA 1982. Evaporites at passive margins. In: Scrutton RA (editor) Dynamics of passive margins. Am. Geophys. Union and Geol. Soc. Am. Geodynamics Series 6:116-132.

TERMEER WC AND WARMAN PR 1993. Use of mineral amendments to reduce ammonia losses from dairy-cattle and chicken-manure slurries. Bioresource Techn. 44:217-222.

VAN STRAATEN P 1989. Nature and structural relationships of carbonatites from Southwest and West Tanzania. In: Bell (editor) Carbonatites, genesis and evolution. Unwin Hyman, London, 177-199.

VAN STRAATEN P, IN PREPARATION. AGROGEOLOGY - the use of rocks for crops, 356p.

US GEOLOGICAL SURVEY 2004. Commodity statistics and information. http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/

US GEOLOGICAL SURVEY 2004. Commodity statistics and information.

http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/

Capítulo III

Fosfatos

Coordinadores: Liliana N. Castro y Ricardo J. Melgar

Rocas Fosfáticas

Liliana N. Castro[1] *y Ricardo J. Melgar*[2] *(Ex aequo)*

Introducción

El fósforo es uno de los elementos vitales para la agricultura y para la vida en general ya que compone todas las cadenas alimenticias, pasando de un organismo a otro (Johnston, 2000). El fósforo interviene en casi todas las reacciones químicas, ya sea en compuestos minerales como en combinaciones orgánicas (lecitina, fitinas, proteínas). En las plantas entra dentro de la composición del fosfolípidos y del ácido nucleico. La falta de fósforo reduce la producción de granos y semillas y su deficiencia disminuye el valor alimenticio de estos. El hombre adquiere el fósforo de las plantas, directa o indirectamente a través de los animales. Las plantas lo absorben de la solución del suelo, o fase acuosa del suelo, así como la mayoría de los demás elementos. Normalmente un suelo puede poseer fósforo para sostener la vida vegetal, pero muchas veces éste es insuficiente para suplir la demanda de los cultivos, cada vez con mayor potencial de rendimiento, producto de la investigación y desarrollo en genética vegetal. Por esa razón, el fósforo debe agregarse como fertilizante ya que no hay otra fuente disponible en la naturaleza que, además, reponga el P que se extrae por las cosechas. Asegurar la producción de alimentos para la humanidad actual y la población futura dependerá de los fertilizantes.

La industria transforma las rocas fosfóricas que contienen el fósforo poco soluble, en formas iónicas aprovechables por las plantas que lo absorben del suelo en forma de ión H_2PO_4. Por esta importancia, los componentes minerales o materias primas son estratégicos para la industria de fertilizantes. De hecho, el primer fertilizante industrial de la historia, el superfosfato simple se hizo en Inglaterra en 1842. Hacia la mitad del siglo diecinueve el fósforo era el principal nutriente que limitaba la producción agrícola. El origen de la industria de fertilizantes fosfatados proviene de los residuos de la industria frigorífica, cuando Sir John Bennet Lawes de Rothamstead procesó con ácido sulfúrico los restos de las carcasas para transformar el fosfato tricálcico de los huesos. Patentó así la manufactura del superfosfato simple en 1842 e instalando la primera fabrica de producción comercial en Londres al año siguiente. En E.E.U.U., el fosfato de amonio fue producido por primera vez en 1916; pero fue el proceso económico y eficiente para fabricar ácido fosfórico introducido por Dorr Oliver y el equipo técnico del Tennessee Valley Autorithy (TVA) al final de los 1950 que llevó a convertir el uso en Norteamérica del superfosfato simple a superfosfato triple y luego a los fosfatos de amonio. Los trabajos del TVA en los 50 y 60 en la producción del ácido polifosfórico y procesos relacionados proveyeron métodos seguros y económicos para producir soluciones y suspensiones con fosfatos.

La distribución de los recursos minerales de rocas fosfóricas continua siendo muy similar a lo informado hace dos o tres décadas. Según Sheldon y Davidson (1987), existen nuevos yacimientos por descubrir. Sin embargo, los avances de la globalización, y en la coordinación de las cadenas

[1] *Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Argentina lilianacastro@fibertel.com.ar*
[2] *INTA Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Pergamino. rmelgar@pergamino.inta.gov.ar*

agroindustriales y la integración vertical entre productores de fertilizantes y usufructuarios de los derechos de los yacimientos de fosfatos ha hecho que existan cada vez más fusiones y menos conglomerados industriales de grandes fabricantes de fertilizantes. Hace no hace más de veinte años existían cientos de fabricas de fertilizantes, por ejemplo el Instituto del Fósforo y el Potasio de EEUU, contaba con 18 empresas productoras de fertilizantes solo en EE.UU y Canadá. Hoy día unas siete empresas representan más el 40 % de la producción mundial de fósforo (sobre la base de P_2O_5)[1]. Latinoamérica es un importante demandante de fosfatos y su creciente importancia como proveedora de alimentos al mundo hace que se potencie el rol estratégico de la industria de fosfatos a pesar de que sus reservas conocidas en los depósitos no son de gran magnitud comparadas con las EEUU, las de China, las de Rusia, las del norte de África (Marruecos, Sahara Occidental, y Túnez y las de Asia Menor (Israel y Jordania).

Mineralogía y textura

El fósforo es el elemento que ocupa el lugar once en el orden de abundancia en la corteza terrestre. Está asociado con calcio, sodio, flúor, aluminio, magnesio, metales pesados (p.e. cadmio) y. radionucleidos como el U. Casi todos los elementos de la Tabla Periódica pueden estar representados en una roca fosfática.

Está presente en la mayoría de las rocas en cantidades minoritarias, pero en un tipo especial de rocas fosfáticas, denominadas fosforitas (fosfatos sedimentarios marinos) el contenido de P_2O_5 generalmente excede el 18% y puede, en ocasiones, llegar al 40%. (Cuadro III-1) Esto último ocurre cuando la composición química se aproxima a la del carbonato-flúorapatita [$Ca_5((PO_4,CO_3))_3F$]. Se presenta en costras, esferulitas y nódulos en horizontes sedimentarios, constituyendo masas de rocas fosfáticas o la porción mineral de huesos y dientes de vertebrados, el nombre original para tales especies era colofana (Gaines et al., 1997).

Los minerales del grupo de la apatita de origen sedimentario son microcristalinos y difieren considerablemente de las especies minerales "puras" que componen al grupo. Esto obedece a las elevadas sustituciones de CO_3^{-2} por PO_4^{3-} y de otros metales por el Ca^{2+}. En el caso que hayan tenido lugar estas sustituciones, con contenidos de F > 1% y apreciables cantidades de CO_2 reciben el nombre de francolitas (McConnell, 1973). La francolita es estructural y químicamente compleja. El grupo puede ser representado por la fórmula simplificada $Ca_{10}[(P0_4)_6^{-x}(CO_3)_x]F_2$+x. El valor x es variable entre 0,39-1,36 con un promedio de 0.75 y puede exceder, en ocasiones, 1,90 (Trappe, 1998).

El fosfato es uno de los nutrientes primarios en el mar, y es uno de los que controla la productividad orgánica. Se encuentra disuelto en el agua de mar como ortofosfato, o como partículas contenidas en los restos orgánicos. Las mayores concentraciones se encuentran en áreas costeras, estuarios o en cuencas marinas anóxicas actuales o antiguas.

[1] *Mosaic (US, 14,4%, OCP (Marruecos, 8,3%), PCS (Canadá, 6%), PhosAgro (Rusia, 4 %), CGT (Túnez, 3,6 %), Foskor (Sudáfrica, 2,5 %) Eurochem (Rusia, 2,5 %), (Andy Jung CRU, comunicación personal).*

http://fosfatos.gl.fcen.uba.ar/sedimentologia.php

Mayor al 50% (18% P_2O_5)	Fosforita
Mayor al 20% (8% P_2O_5)	Roca fosfática
Menor al 20% y mayor al 5% (2-8% P_2O_5)	Roca ligeramente fosfática

Cuadro III-1: Nomenclatura de rocas fosfáticas de origen sedimentario

Los componentes no fosfáticos comunes en las fosforitas son cuarzo, arcillas (illita, caolinita y esmectita), carbonatos (dolomita y calcita), glauconita, entre otros.

Existe un segundo grupo minoritario de origen ígneo asociado a complejos alcalino-carbonatíticos que difieren de las fosforitas tanto en su mineralogía, como textura y características químicas. En general el contenido de P_2O_5 es menor (Cuadro III-2). La relación de abundancia fosfatos ígneos sobre sedimentarios es 13:87.

La apatita asociada a las rocas ígneas puede ser primaria o secundaria. Más allá que la apatita primaria se encuentra asociada a minerales de alta temperatura, también aparece en los últimos estadios magmáticos asociado a depósitos pegmatíticos (50°-100°C). Los minerales más comunes asociados a depósitos magmáticos son fluorapatita ($Ca_{10}(PO_4)_6F_2$) , hidroxilapatita ($Ca_{10}(PO_4)_6OH_2$) y cloroapatita ($Ca_{10}(PO_4)_6Cl_2$). Dentro de los minerales más comunes asociados en los complejos ígneos alcalinos se hallan: nefelina, feldespatos alcalinos, micas, piroxenos y anfíboles ricos en Fe y Mg. En algunos depósitos como los de Kola, Rusia, la apatita se encuentran como un componente cristalino dentro de la roca ígnea.

En muchos casos, los depósitos primarios se alteran parcial o totalmente bajo condiciones cercanas a la superficie (meteorización) dando como consecuencia cambios químicos, mineralógicos y texturales. Estos depósitos ígneos sometidos procesos de meteorización (ej: laterización en Brasil), dan como resultado depósitos de tipo residual. Las apatitas secundarias son comunes en zonas de meteorización o enriquecimiento supergénico de yacimientos ígneos. Estas apatitas son generalmente microcistalinas y pueden presentar cierto grado de sustitución por aluminio y hierro como por ejemplo crandalita ($CaAl_3(PO_4)_2(OH_5).H_2O$, wavellita ($Al_3(PO_4)_2(OH_3).5H_2O$, strengita ($FePO_4.2H_2O$), entre otros.

Por el otro lado las fosforitas varían su grado de compactación desde muy inconsolidados a parcialmente cementados o altamente indurados. En general los depósitos fosfáticos sedimentarios más jóvenes que no han sufrido un soterramiento profundo y principalmente están compuestos por partículas de carbonato-flúorapatita (CFA), se presentan inconsolidados, en cambio, el soterramiento produce tanto cambios texturales como mineralógicos. En ese caso, la roca se torna menos porosa, más compacta y más consolidada. Los fosfatos sedimentarios sometidos a alta presión, y tal vez a mayor temperatura generan una nueva categoría, las rocas fosfáticas metamórficas; ésto también puede ocurrir desde el extremo de las rocas ígneas.

Geoquímica

La francolita (CFA) con > 1% de F y apreciables cantidades de CO_2, es el mineral esencial en fosforitas no alteradas por metamorfismo o meteorización. No todas las sustituciones tienen la misma valencia que el ión original; por lo tanto, en general, se producen sustituciones acopladas para mantener el balance de cargas. Los elementos geoquímicos mayoritarios de francolitas inalteradas presentan sorprendentemente poca variación. Las francolitas no alteradas del Cenozoico contienen 32% P_2O_5, 52% CaO, 4% F y típicamente incluyen Na, Sr, Mg, CO_2 y SO_4. En general, el nivel de sustitución mostrado por este mineral decrece progresivamente cuando aumenta la edad, la diagénesis de soterramiento y/o la meteorización, lo cual promueve una transición hacia la fluorapatita [Ca_{10} $(PO_4)6F_2$].

La química de los elementos mayores de las fosforitas refleja tanto la composición de éstas como de sus minerales accesorios. El Cuadro III-2 muestra una comparación de la composición de distintas rocas fosfáticas sedimentarias en el mundo y a su vez los valores obtenidos de una carbonatita.

Cuadro III-2: Comparación de la composición química de rocas fosfáticas de distintos yacimientos / depósitos del mundo Jarvis et al. (1994); Damasceno (1989); Mc. Clellan (1989); Born (1989) y Casanova (en este libro)

	Florida (1) Fosforita	Marruecos (1) Fosforita	Brasil (2) Fosforita	Perú (2) Fosforita	Venezuela (4) Fosforita	Brasil (5) Carbonatita
SiO_2	11,2	2,09	33.7	3.2	36	0.6
Al_2O_3	1,8	0,55	8.7		0.3	0.1
Fe_2O_3	0,79	0,23	3.3			6.1
MgO	0,33	0,403		0.50	0.11	5.5
CaO	43,6	51,76	24.4	46.5	38.3	44.3
P_2O_5	30,2	32,98	20,2	30.2	25-30	5.3
CO_2	n.d.	5,1		4.4		
F	3,2	4,04		2.9	2	

Si se compara la composición de las rocas fosfáticas con una pelita (roca sedimentaria de grano fino) promedio, se observará en algunos casos un valor de enriquecimiento y en otros de empobrecimiento (Cuadro III-3).

El estudio de elementos trazas tiene suma importancia, desde dos puntos de vista; por un lado para evaluar su economicidad como subproductos (U y Tierras Raras) en la explotación de fosfatos y por el otro para controlar su toxicidad (Cd, derivados radionucleidos del uranio) y la consecuente influencia en el ambiente tanto en los fertilizantes como en la formación de fosfoyeso. (Jarvis et al., 1994).

Elemento	Pelita promedio	Factor Enriquecimiento	Abundancia normal	Factor Empobrecimiento
Ag	0,07	30		
As	13		N	
B	100			6
Ba	580		N	
Be	3		N	
Cd	0,3	60		
Co	19			3
Cr	90		N	
Cu	45		N	
Ga	19			5
Hg	0,4			7
La	40	4		
Li	66			13
Mo	2,6	4		
Ni	68		N	
Pb	20	2		
Sc	13		N	
Se	0,6	8		
Sn	6			2
Sr	300	2		
U	3,7	30		
V	130		N	
Y	26	10		
Yb	2,6	5		
Zn	95	2		2
Zr	160			

Cuadro III-3: Comparación de las rocas fosfáticas con una pelita (roca sedimentaria de grano fino promedio. En Jarvis et al.(1994).

Potencial Geológico Minero

Ambiente geológico

Los depósitos de la roca fosfáticas localizados en diferentes áreas del mundo responden a distintos modelos genéticos. La ubicación y tipo de rocas fosfáticas en el mundo puede visualizarse en la Figura II-3 del trabajo de VanStraten en este libro.

A partir del esquema de Glenn et al. (1994) se ubican en la figura III-1 los ambientes de formación de las fosforitas.

La búsqueda de fosforitas está condicionada por factores paleoambientales relacionados a su vez con la posición de los continentes en determinado tiempo geológico, las características físico-químicas presentes en el área de sedimentación, la profundidad y temperatura de las aguas y

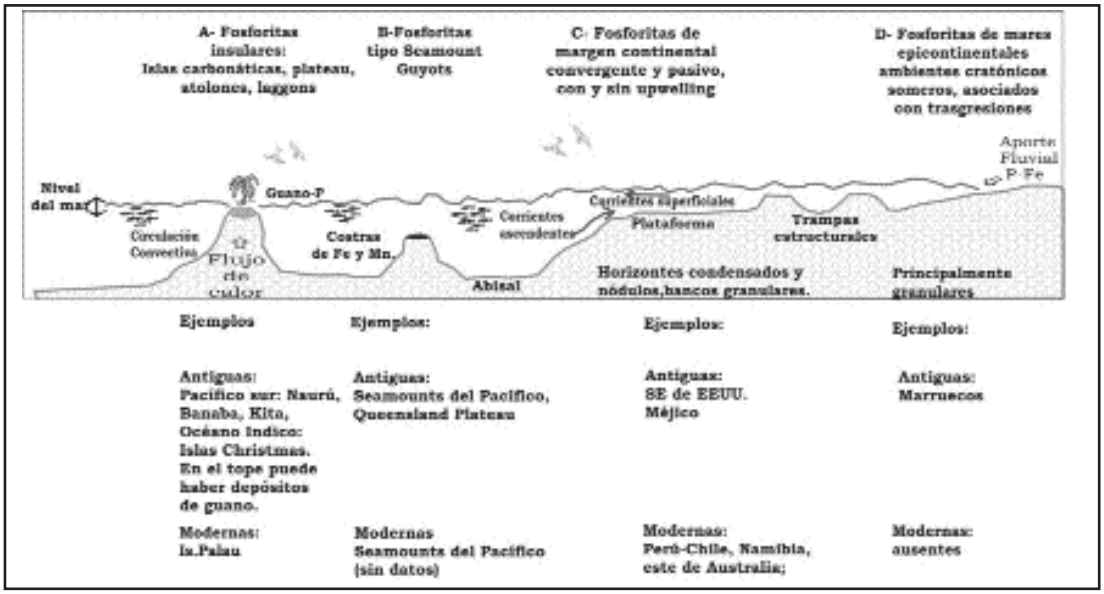


Figura III-1. Ambientes de formación de las fosforitas a partir del esquema de Glenn et al. (1994).

condiciones particulares de pH, Eh y biota. Existen a lo largo del tiempo geológico períodos más favorables (Cook y McElhinny, 1979, Fig. III-2) vinculados a ascensos en el nivel del mar, más específicamente con las transgresiones marinas.

La mayoría de las fosforitas fueron depositadas en aguas relativamente someras en márgenes continentales, convergentes, pasivos, con o sin corrientes ascendentes (upwelling) o bien en mares epicontinentales (Glenn et al, 1994). Los episodios transgresivos pueden favorecer la acumulación de fosfatos en las plataformas; la acción de las olas y otras corrientes contribuyen al retrabajo y concentración de minerales autigénicos con la consecuente formación de extensos depósitos. Las glaciaciones y el enfriamiento global pueden aumentar la circulación oceánica vertical, con la consecuente liberación de fósforo de su estadio primario en profundidad (Sheldon, 1980) y también la conjunción de transgresión con calentamiento global origina un aumento en la meteorización química y el desarrollo de extensos sectores de agua pobres en oxígeno (Arthur y Jenkins, 1981) lo que permite un ambiente propicio para la formación de fosforitas "gigantes".

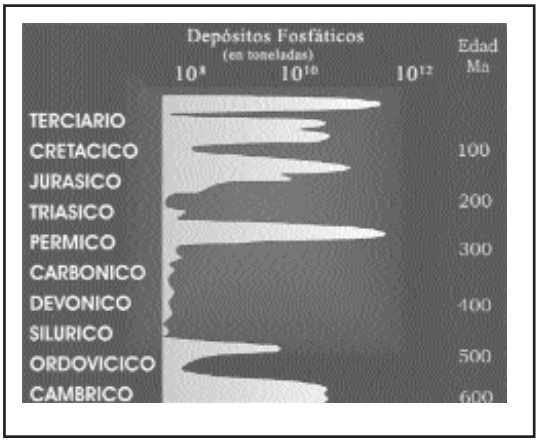


Figura III-2. Abundancia estimada en toneladas en los distintos períodos geológicos (Cook y McElhinny,

Las fosforitas aparecen frecuentemente como cuerpos estratificados formando horizontes condensados. Glenn et al. (1994) consideran que la geometría y la estructura interna de los cuerpos son el producto final de la precipitación sindeposicional o diagenética temprana de minerales fosfáticos y en algunos casos un subsecuente retrabajo mecánico. La mayoría de las fosforitas económicas son depósitos granulares consistente en conglomerados fosfáticos o peloides tamaño arena.

Rocas fosfáticas en el mundo

Nothold et al, (1989) divide a los depósitos explotables de fósforo en tres tipos: (1) rocas sedimentarias marinas o fosforitas, tales como las del Cretácico-Eoceno del norte de África y Medio Oriente y las del Mioceno del SE de Estados Unidos; (2) rocas ígneas particularmente carbonatitas y otras rocas alcalinas como los de Península de Kola en el NW de Rusia, Goiás y San Paulo en Brasil, y Palabora en Sud África; (3) depósitos insulares como los de las islas tropicales del Pacífico y del océano Indico. De todas ellas el 80 % de lo explotado proviene de las fosforitas (Glenn et al, 1994).

En la actualidad más de 30 países están produciendo roca fosfática para abastecer tanto mercados locales como internacionales. Los primeros doce países que producen en el mundo ocupan casi 95% de la producción total del fosfato. Los tres productores principales, es decir los E.E.U.U., China y Marruecos, producen actualmente cerca de los dos tercios de la producción mundial.

Las reservas probadas de Marruecos cubren alrededor 50% del total y a su vez sus reservas potenciales y los recursos se ubican aproximadamente en el 60% de los recursos totales del mundo. Los E.E.U.U. y la China abarcan cerca del 20% de recursos mundiales.
Las reservas y recursos de rocas fosfáticas en los distintos países son inciertas, siendo en algunos casos información clasificada y en otros no evaluada. Existe en muchos casos una falta de la información referente al grado de la exploración y de los criterios usados el potencial económico. En ocasiones, los cuadros de producción y reservas que involucran distintos países se basan en datos recogidos de diversas fuentes que no siempre son comparables. El cuadro III-4 indica los países, su producción y reservas.

Reservas y Producción en Latinoamérica

Latinoamérica no posee en la escala del cuadro III-4 reservas de magnitud. Con escasas excepciones, los depósitos y las manifestaciones, si bien numerosos están distribuidos irregularmente y la mayoría están en regiones remotas sin infraestructura y de calidad insuficiente para sustentar una industria a escala económica. Por esa razón, la industria de fosfatos no ha jugado un rol primario y buena parte de ésta depende de la importación de roca fosfórica de otros países.

Sólo Brasil, México, Venezuela y Colombia han desarrollado algo su industria de fertilizantes fosfatados, basándose en sus recursos nacionales traccionados por su demanda local, influida por suelos muy deficientes en fósforo, pero gran parte de esta industria depende de la importación de roca fosfórica. Pequeñas cantidades se producen en Uruguay y Perú, y países con un sector agropecuario competitivo como Chile, Argentina y Paraguay son demandantes importadores

País	Producción mundial		Reservas	Reservas Base'
	2003	2004e		
Australia	2 290	2.300	77.000	1.200.000
Brazil	5 600	5.650	260.000	370.000
Canada	1 000	1 100	25 000	200 000
China	24 500	25.000	6.600.000	13.000.000
Egypt	2 140	2.150	100.000	760.000
Estados Undos	35 000	37.000	1.400.000	4.000.000
India	1 180	1.200	90.000	160.000
Israel	13 210	3.000	180.000	800.000
Jordan	6 760	6.300	900.000	1.700.000
Marruecos y Sahara Occ	23 000	23.000	5.700.000	21.000.000
Rusia	11 000	11.000	200.000	1.000.000
Senegal	1 470	2.000	50.000	160.000
Siria	2 430	2.400	100.000	800.000
Sud Africa	2 610	2.300	1.500.000	2.500.000
Togo	1 480	1.500	30.000	60.000
Tunez	7 890	8.000	100.000	600.000
Otros paises	5-000	3.500	800.000	2.000.000
Producción mundial	137 000	138.000	18.000.000	50.000.000

Cuadro III-4: Reservas y recursos de fosfatos en el mundo (en miles de toneladas) extraído de http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/phosphate_rock/

netos. El cuadro III-5 muestra una estimación de las reservas explotables económicamente. La ley de contenido de fósforo se expresa en porcentaje de P_2O_5 .

Los informes de los países representados en este libro detallarán los recursos geológicos en los capítulos siguientes. Appleton y Nothold 2002 detallan una excelente recopilación destinada a Latinoamérica y Orris y Chernoff (2002) resumen las principales características de cada país. Puede encontrarse más y mejor información la geología, recursos y características de los depósitos de fosfatos en Latino América en numerosas fuentes bibliográficas así como en los servicios geológicos de cada país o literatura científica especifica. Appleton y Nothold

	Reservas # Mt	Producción (1999-2003)* t x 000	P_2O_5
Perú	1,502	450,240	14
Brasil	2,776	242,293	4831
México	2,109	185,872	561
Colombia	532,000	118,012	31
Venezuela	509,000	116,615	391
Ecuador	185,00	46,250	-
Chile	88,000	9,240	-
Bolivia	3,000	779	-

*Cuadro III-5. Reservas estimadas y producción de roca fosfórica Fuentes: Appleton y Notholt, 2002 ;*IFA, 2003.*

(2002) citan entre otras fuentes a Burnett y Riggs, (1990); Cook y Shergold, (1986), Notholt et al. (1989) Notholt, (1994); Ricaldi y Escalera, (1984 y 1985) y Savage, (1987).

En Latinoamérica se observa la misma desigual distribución del recurso que la que se ve en el resto del mundo, en donde unos pocos países de cada continente contienen la mayoría de las reservas de roca fosfática (RF) (Sheldon y Davinson, 1987). Para uso directo en agricultura no obstante, sólo la roca de los depósitos de Perú podría ser considerada de alta reactividad, con más de 5,9

			PBI Precios constante de mercado 2002	
	Producción per capita	Consumo P_2O_5	Total	Agrícola
País	T/ha	Kg/ha	000 x Millones US	
Argentina	3,25	336	229.9	13.7
Bolivia	1,34	7	8.3	1.2
Brasil	3,28	1924	758.9	67.8
Chile	1,59	137	93.3	5.7
Colombia	1,48	137	99.6	13.5
Costa Rica	2,57	26	15.4	1.7
Dominicana	1,03	38	18.5	2.2
Ecuador	1,71	30	23.3	4.6
El Salvador	1,24	34	11.5	1.3
Guatemala	2,06	65	18.6	3.7
Honduras	1,17	25	4.9	0.9
México	1,32	419	478.6	21.0
Nicaragua	1,12	16	4.2	0.9
Panamá	1,74	5	9.6	0.7
Paraguay	2,43	25	8.5	2.4
Perú	1,16	24	63.6	5.8
Uruguay	1,49	81	16.5	1.4
Venezuela	0,90	62	70.2	3.9

Cuadro III-6. Consumo de fosfatos y PBI total y agrícola de países de América Latina Fuente: Anuario 2004 www.cepal.org, (FAO, 2005), IICA 2002

% de P soluble en NAC neutro según la clasificación de Hammond y León (1983). Sin embargo, como se describe más adelante, muchos países explotan estos recursos ya sea para uso directo o procesados.

La proporción que un país destina a la fabricación o uso directo de sus recursos minerales en agricultura no está directamente relacionada con el tamaño de su PBI en agricultura. Pero existe una buena relación entre el consumo de fertilizantes de fósforo y su PBI agrícola (cuadro III-6). Estas cifras no tienen relación alguna cuando se las compara con el tamaño de sus recursos minerales, o con la proporción de éstos y la producción y consumo de fosfatos, sea en forma directa o como materia prima para fabricar fertilizantes.

Además, salvo el caso de las rocas de Perú, de mayor aptitud para uso directo o de proceso, las demás rocas no serían aptas para un comercio internacional, sino más bien para un procesamiento local, como de hecho ocurre. La mayoría de las rocas fosfóricas comercializadas internacionalmente oscilan entre 60 y 80 BPL[2] (27 a 36 % de P_2O_5). Además de su contenido en P, los factores principales son el contenido de carbonatos (limitado al componente de francolita), de óxidos combinados de Fe_2O_3 y Al_2O_3 (> 3 % R_2O_3), y de cloruros (> 200 ppm, Van Kauwenbergh, 2003).

Explotación y remediación

La explotación de yacimientos fosfáticos puede ser a cielo abierto (open pit) o subterránea. Más del 75% de la roca fosfática económicamente explotable de origen sedimentario se extrae a cielo

[2] *BPL: Bone phosphate of lime, equival a 2.185 x P205, antigua expresión de contenido de fosfato tricalcico [$Ca_3(PO_4)_2$]*

abierto empleando desde métodos manuales hasta los de alta tecnología de extracción. En general, los costos de la explotación a cielo abierto son muchos más bajos que los de la explotación subterránea, estimándose una relación de 1 a 2-3 veces.

La explotación a cielo abierto implica la removilización de gran cantidad de material (la sobrecarga, la mena y el mineral de mena) lo que conduce también en la mayoría de los casos al consumo de grandes cantidades de agua.

Las rocas fosfáticas pueden beneficiarse por varios métodos, en general se utilizan métodos combinados tales como separación granulométrica, flotación y en algunos casos calcinación.
Existen una serie de parámetros a tomar en cuenta en el momento de la decisión:

a) La proporción, distribución, tamaño de granos y características texturales tienen importantes implicaciones para la extracción y beneficio de un depósito En los depósitos fosfáticos que contienen cristales bien definidos de apatita o granos de apatita que pueden separarse fácilmente de otros cristales o del cemento, se tiene en general un buen grado de liberación y una buena recuperación. Por el otro lado, si existen intercrecimientos cristalinos o matrix fosfáticas microcristalinas con gran proporción de ganga o cementos que requieren tamizados muy finos, el resultado es la pérdida de fosfatos y el consecuente bajo grado de recuperación.

b) El contenido de fosfato en los depósitos explotables varía entre más del 40% a menos del 5%. Es esencial el proceso de remoción de impurezas sobre la muestra total para beneficiar y por lo tanto aumentar la ley del concentrado. El proceso de beneficio generalmente permite una concentración cercana al 1,5x llegando, en algunos yacimientos a una concentración mayor (hasta 9x). Luego de la concentración de la roca fosfática varían su contenido entre 26% hasta 34% de P_2O_5 y alcanza en algunos casos al 42%. (Jarvis et. al, 1994).

c) La relación de los constituyentes químicos debe ser tomada en cuenta a la hora de decidir el proceso de beneficio para ser utilizado como fertilizante, (Unido, 1998). Uno de los criterios más usados para hacer la evaluación mineralo-metalúrgica es la relación CaO/P_2O_5. En el caso de apatitas puras de origen ígneo esa relación es 1,32 en tanto que en la francolita el rango varía entre 1,66 a 1,32. Esta relación está influenciada dentro de la roca fosfática por la presencia de otros minerales fosfáticos y no fosfáticos. Por ejemplo la presencia de fosfatos de calcio-aluminio, aluminio o hierro decrecen la relación CaO/P_2O5, por el otro lado la sustitución de carbonato por fosfato aumenta la relación. Muchos cálculos para la fabricación de fertilizantes están basados en los niveles de CaO y/o CaO/P_2O_5 El consumo de ácidos en el proceso de ataque está relacionado a su vez con el contenido de CaO.

d) Las características de las menas de un depósito son cruciales en la evaluación del yacimiento. Por ejemplo si la relación CaO/P_2O_5 es baja y los contenidos de Fe_2O_3 y Al_2O_3 son elevadas sugiere que existen zonas desfavorables dentro de la mena y esto permite plantear guías de exploración. Las áreas desfavorables deben ser descartadas para realizar los cálculos de recursos/ reservas (UNIDO, 1998).

e) En los depósitos de baja ley el consumo de energía y reactivos químicos son mayores por to-

nelada de fosfatos producidos, consecuentemente el costo de recuperación y beneficio aumenta significativamente.

Explotación a cielo abierto:

La explotación a cielo abierto puede ser de diferentes maneras desde métodos manuales (pico y pala) hasta grandes operaciones mecanizadas.

Por ejemplo en el yacimiento de Riecito, Venezuela se utilizan topadoras, palas cargadoras (5 m^3) para sacar la sobrecarga y explotar cerca de 100.000 t /año de roca fosfática de los niveles con espesores mayores a 20 m. El material extraído luego es transportado en grandes camiones (35 t) hasta la planta de concentración donde se produce ácido fosfórico.

A modo de síntesis y ejemplo se enuncian los pasos a seguir en una explotación hasta la remediación en un área de yacimientos fosfáticos. Estos pasos deben respetarse en la mayoría de los casos. La figura III-3 muestra un esquema de explotación tratamiento basado en IMC, Florida.

a) Limpieza del área. Esta tarea consiste en el retiro de plantas y otros vegetales del sector a explotar y la remoción de la sobrecarga (nivel de arena, limo y arcilla por encima del horizonte de fosfato). Este material estéril se apila en escombreras exteriores a la propia "fosa"para ser utilizado post-explotación (Remediación).

b) Explotación del horizonte fosfático: Luego de ser removida la sobrecarga se extrae el horizonte fosfático (matrix) Se denomina matrix a la mezcla inconsolidada de pellets fosfáticos, gravas, calizas fosfatizadas, cuarzo, limo, arcilla u otros componentes líticos o fósiles En el caso de Florida, E.E.U.U. se utilizan dragalinas con una capacidad de 2000 t/hora para la extracción, lo que lleva a 50.000 t/día y unas 12.000.000 de t/año. Generalmente se trabajan 11 meses y uno de descanso para mantenimiento. La dragalina tiene un peso de 65 t con un brazo de 70 m y 50 t de capacidad de balde. La recuperación promedio es de 10.500 t/ha.

c) Arranque hidraúlico: Se hace con mangueras a alta presión formando así una pulpa (slurry) compuesta por agua más material, la cual es llevada por cañerías a la primera planta. El material removido y llevado a los "lavaderos" es pasado por clasificadores donde se separa de la matrix, los clastos y las arcillas. Las arcillas es uno de los grandes problemas asociados al proceso explotación/beneficio, que por supuesto se minimiza si el contenido de arcillas de los depósitos es insignificante. Las arcillas como material muy fino tienen una gran superficie areal lo que hace que sus características de decantación sean muy pobres. Sin tratamiento pueden requerir décadas para decantar solo entre el 5 y el 20% del total. En cambio, si se utilizan métodos de decantación, por ejemplo en lagunas artificiales este porcentaje puede alcanzar entre el 40 y 60% de la fracción arcillosa del área minera (Jarvis et al, 1994). En la actualidad se utilizan en algunos países, técnicas de deshidratación utilizando floculantes y colectores coagulantes que produce una decantación del 25% del contenido sólido en pocos minutos (Mc Farlin, 1992 en Jarvis et al, 1994).

d) Tratamiento: El material separado se trata en la mayoría de los casos por el método de flotación con aminoácidos llegando al producto final concentrado.

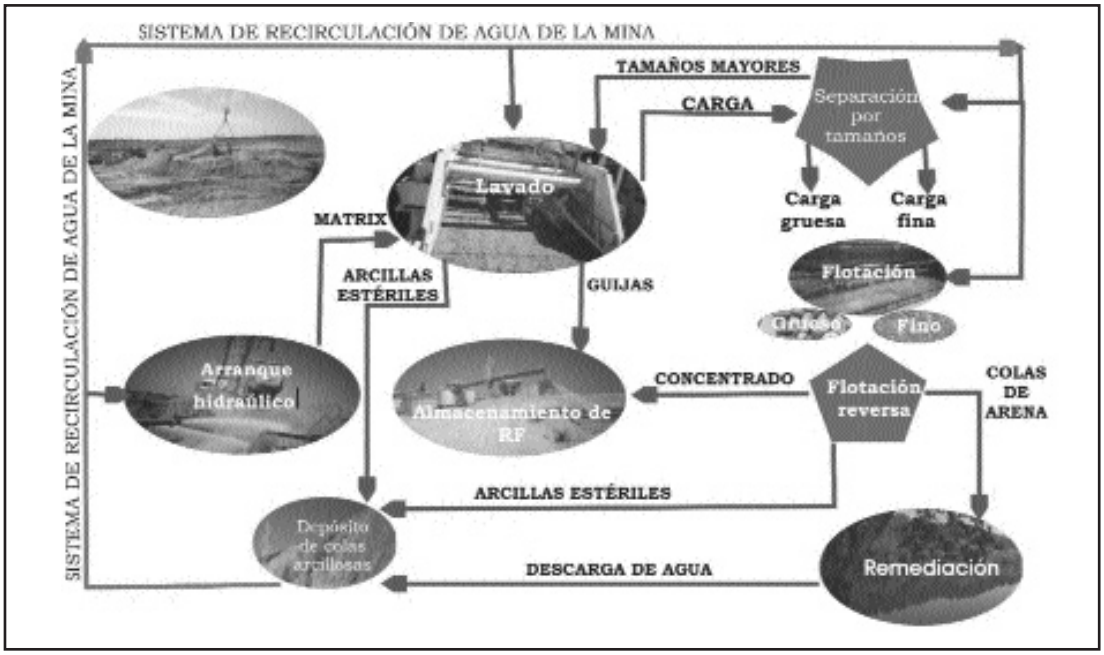


Figura III-3. Esquema de explotación y tratamiento de rocas fosfáticas.

e) Remediación: Una vez que termina la explotación, equipos de ingenieros, biólogos, ecólogos y geólogos comienzan la remediación, es decir volver a las condiciones casi similares a las existentes antes de la explotación. El horizonte superior (estéril) que había sido removido en la etapa inicial se usa para cubrir los terrenos minados. Se le agrega esta sobrecarga (arena-arcilla) para emparejar el terreno, y además una capa de suelo que permite plantar árboles y cultivos. También se le puede dar a estos terrenos recuperados otros usos como canchas de golf, áreas de caza y pesca, sitios industriales, plantas de energía, autopistas, pantanos, lagos, habitat de vida silvestre, pasturas, granjas, parques, centros comerciales, edificios públicos.

Minería subterránea:

Existen varios métodos de explotación subterránea y como en la minería a cielo abierto éstos varían de labores subsuperficiales a explotaciones altamente mecanizadas (UNIDO, 1998).

Un ejemplo de este tipo de explotación está en Baja California, Méjico en la mina San Juan de la Costa. Se trata de un yacimiento sedimentario fosfático moderadamente bien cementado, subhorizontal, donde se aplicó para la explotación el método de cámaras y pilares dentro de una configuración de espina de pescado (herringbone). Los bancos explotables fueron contínuos con un espesor promedio de 1 m y el porcentaje de extracción alcanzó al 65% de la mena. El mineral era trasladado en vagonetas a la estación de alimentación y de ahí una cinta transportadora lo llevaba el mineral a una de las entradas de la mina. Cintas transportadoras o camiones llevaban

la roca fosfática a la planta de beneficio. La roca se beneficiaba cerca de un 30% en la pila con aire seco. La cercanía de la planta de beneficio y el puesto simplificó la tarea de transporte y carga sobre barco.(UNIDO, 1998)

Industrialización de la Roca Fosfórica

Mientras algunas rocas fosfáticas (fosforitas solubles) pueden ser utilizadas sin ningún proceso, es decir para su aplicación directa, la gran mayoría deben ser tratadas previamente. La solubilidad de la apatita está fuertemente relacionada con el grado de sustitución por CO_2 y el tamaño de grano.

La importancia estratégica que merece la roca fosfórica se debe a que es la materia prima para fabricar fertilizantes fosfatados, a través de su producto principal el ácido fosfórico. De hecho, la capacidad de las plantas de ácido fosfórico es tan elevada que la industria de fertilizantes fosfáticos es la mayor consumidora de ácido sulfúrico en el mundo. Más allá que el ácido fosfórico se puede hacer de varias maneras el método más común es aquél donde la roca fosfática se la hace reaccionar con ácido sulfúrico por vía húmeda.

En el 2003, la producción de fertilizantes fosfatados fue de 21 millones de t, aproximadamente el 69 % de la producción total de ácido fosfórico (IFA, 2004), sin considerar el superfosfato simple (cuadro III-7). El ácido fosfórico tiene, además, usos en la industria alimenticia y es materia prima para fabricar fosfato dicálcico, ampliamente utilizado como suplemento mineral en la producción animal.

El ácido fosfórico es la materia prima para fabricar los fertilizantes fosfatados más difundidos, principalmente los fosfatos de amonio, (mono y di amónico) y el superfosfato triple. Otros fertilizantes pueden derivarse, como los polifosfatos de amonio, fosfato-sulfatos de amonio, y otros de uso minoritario. El superfosfato simple proviene del tratamiento de la roca fosfática con ácido sulfúrico, ha sido por décadas el principal fertilizante fosfatado y fue desplazado del mercado debido a su baja concentración de fósforo, pero recientemente ha cobrado un mayor demanda por su aporte de azufre, que ha sido revalorizado como nutriente. Otros fertilizantes fosfatados pueden obtenerse haciendo reaccionar la roca con distintos ácidos como el nítrico (nitrofosfatos) o el clorhídrico.

Los principales procesos de fabricación de fertilizantes han sido recopilados por el IFDC en su conocido Fertilizer Manual (UNIDO-IFDC, 1998) a través de la experiencia recogida en décadas de funcionamiento del Centro Nacional de Desarrollo de Fertilizantes en Tennessee Valley Autorithy (TVA), y posteriormente fuera transformado en el Centro Internacional de Desarrollo de Fertilizantes (IFDC, 2005). Una breve síntesis del origen de cada fertilizante se da en los próximos párrafos, pero el lector puede referirse a esta obra para mayor detalle de la fabricación de diferentes fertilizantes.

Superfosfato Simple

El superfosfato simple o normal se ha producido en grandes cantidades desde hace más de 140 años en muchos países. La práctica más común de producción de SSP consiste simplemente en mezclar la roca fosfórica molida con ácido sulfúrico puro o diluido. Después de permitir que

	1999	2000	2001	2002	2003
			T x 1000		
DAP	12,432	11,684	11,354	12,060	11,806
MAP	5,144	5,657	5,632	6,339	6,995
SPT	2,481	2,451	2,347	2,363	2,590
Total mundial	20,058	19,791	19,332	20,761	21,390
Ácido Fosfórico Total	28,065	27,848	27,838	29,876	30,889
	71%	71%	69%	69%	69%

Cuadro III-7. Producción mundial de fertilizantes fosfatados. Fuente: IFA, 2005.

la reacción progrese en toda la masa de mineral (curado) el producto puede usarse directamente una vez seco, granularse para uso directo como tal o utilizarse como ingrediente en fertilizantes complejos. Las variables principales de proceso para producir SPS incluyen la finura de molienda de la roca, la concentración del ácido sulfúrico, la relación ácido-roca y la composición de la roca fosfórica. Normalmente el ácido sulfúrico se agrega diluido al 70% aunque en algunos casos se agrega ácido concentrado, agua y roca simultáneamente al mezclador. La relación típica ácido-roca es cerca de 0.6 kg de H_2SO_4 (base 100%) por kilogramo de roca. Se usa una gran variedad de dispositivos para mezclar, tanto por lotes como continuos. Su función es mezclar la roca y el ácido agregado rápida y exhaustivamente, y descargar la mezcla semifluida en el curador mientras sea semi-fluida.

La reacción que representa la acidulación de la roca con ácido sulfúrico para producir superfosfato simple ó normal, es la siguiente:

$$2Ca_5(PO_4)_3F + 7H_2SO_4 + 3H_2O \rightarrow 3CaH_4(PO_4)_2 \cdot H_2O + 7CaSO_4 + 2HF$$

El sulfato de calcio se encuentra normalmente como anhidrita, y sólo pequeñas cantidades en forma de yeso, $CaSO_4 \cdot 2H_2O$. Sin embargo, el fosfato monocálcico se presenta principalmente como un hidrato cristalino. Aún cuando el ácido sulfúrico es el reactivo más barato que se puede emplear para acidular la roca, tiene una desventaja; el P_2O_5 disponible en el producto es aproximadamente del 20% debido a las grandes cantidades de sulfato de calcio que se forman en la reacción.

Acidulación parcial. La roca fosfórica puede acidularse con un porcentaje variable de ácido sulfúrico o de ácido fosfórico. Ese porcentaje se expresa en forma relativa al total necesitado para producir superfosfato. La roca fosfórica parcialmente acidulada (RFPA) es esencialmente una mezcla de fosfato monocálcico, que es soluble en agua y RF sin reaccionar, que es insoluble en agua pero algo soluble en una solución de citrato. Las características químicas de la RFPA dependen principalmente de la reactividad de la RF, sus impurezas, el tipo y la cantidad de ácido usado, y la condición de preparación. Los productos preparados con ácido fosfórico siempre contienen más P soluble que los preparados con sulfúrico. Uno de los problemás frecuentes de calidad de las RF´s es su alto contenido en óxidos de Fe y Al. A igual porcentaje de acidulación, el P soluble es más bajo con estos materiales que con productos de bajo contenido de óxidos, y con efectos más pronunciados a mayor acidulación.

Productos de compactación. Pueden preparase fertilizantes por compactación de fertilizantes

solubles (SFS o SFT) con roca fosfórica. La composición química de estos compuestos compactados es similar a la de RFPA ya que ambos contienen fosfato monocálcico y roca fosfórica sin reaccionar. La solubilidad de los productos compactados con SFS o SFT puede ajustarse variando las proporciones entre la RF y el SFT o SFS para lograr la misma solubilidad que una RFPA a un determinado porcentaje de ácido equivalente.

Cuando se acidulan con ácido sulfúrico RF´s con altos contenido de óxidos de Fe y Al, ocurre reversión del P soluble en agua a productos insolubles durante el secado. En cambio, cuando estas RF´s son compactadas con SFT o SFS, pueden resultar en productos con mayores contenidos en P soluble en agua ya que no se necesita secado durante el proceso de preparación.

En Latinoamérica se produce superfosfato simple en México, Brasil, Uruguay y Perú en las cantidades que se muestran en el cuadro III-8. Salvo Uruguay que produce exclusivamente en base a la importación, los demás países emplean sus recursos nacionales de rocas fosfóricas. Venezuela y Colombia producen rocas parcialmente aciduladas utilizando también minerales nacionales. Existen varios proyectos nuevos y de ampliación en Brasil, Uruguay y Argentina que basarán su producción todos en mineral importado.

Ácido fosfórico, superfosfato triple

Aproximadamente el 70 % de los fosfatos explotados se convierten inicialmente en ácido fosfórico, producto importante intermedio en la manufactura de fertilizantes fosfáticos, y, además, se produce una cantidad sustancial de yeso como subproducto conocido como "fosfoyeso" (phosphogypsum). La reacción química simplificada es la siguiente:

$$\underset{\text{roca fosfática}}{Ca_{10}(PO_4)_6F_2} + 10\,H_2SO_4 + 20\,H_2O \rightarrow \underset{\text{fosfoyeso}}{10\,CaSO_4 \cdot 2\,H_2O} + 6\,H_3PO_4 + 2\,HF$$

Mientras que la relación molar entre el yeso y el ácido fosfórico es 5:3. la relación de masas es 3:1; es decir, por cada 3 toneladas de yeso se produce 1 tonelada de ácido fosfórico. Es por eso que en gran parte del mundo se denomina "industria de fosfoyeso". El yeso puede cristalizar tanto dihidratado ($CaSO_4 \cdot 2\,H_2O$) o hemihidratado ($CaSO_4 \cdot ½\,H_2O$) dependiendo del proceso. El fosfoyeso producido es filtrado y bombeado conteniendo cerca de un 20% de sólidos y depositados

	Plantas	Capacidad Instalada	Producción t x 1000	Periodo
Brasil	4	6,391	3,860	(1999-2002)
México	2	392	130	(1997-1999)
Uruguay	2	100	S/D	
Perú	1	15	8.6	(1999)
Colombia	2	-	12-25	(2000-2001)
Venezuela	1	...	150	(1999)

Cuadro III-8. Plantas de producción de superfosfato simple y roca parcialmente acidulada en producción Fertilizantes América Latina (2000, 2001).

en pilas (gyp-stacks) donde se enfría y se deshidrata.

Aunque en algunos países este fosfoyeso es utilizado para la fabricación de cemento y otros productos para construcción (p.e. Japón), en otros (p.e E.E.U.U) sólo pequeñas cantidades son permitidas para enmiendas de suelos. (Jarvis et al, 1994). En Venezuela existen grandes yacimientos de rocas fosfáticas o fosfóricas, la cual es expendida en forma micronizada por PEQUIVEN y sus distribuidores. El fosfoyeso residual se está investigando tendiente a determinar su utilidad agrícola en diferentes suelos y cultivos del país. En ese sentido, de acuerdo con los resultados de algunas de esas experiencias y por los antecedentes obtenidos en otras naciones, el fosfoyeso se podría emplear como fuente de fósforo y calcio y, para aumentar el pH de los suelos ácidos, así como también para mejorar las propiedades físicas de los suelos y en aquéllos con altos niveles de sodio y/o magnesio. (http://www.ceniap.gov.ve/publica/divulga/fd53/fertilizantes.htm)

Se puede obtener un producto mucho más concentrado, acidulando la roca con ácido fosfórico para producir superfosfato triple. La reacción es la siguiente:

$$Ca_5(PO4)3F + 7H_3PO4 + 5\,H_2O \longrightarrow 5\,CaH_4(PO4)2 \cdot H_2O + HF$$

Como en el caso de superfosfato normal, alrededor de la mitad del flúor se desprende como SiF_4, que se absorbe en el agua, se desecha o se convierte en fluosilicatos.

La mayor parte del superfosfato triple se fabrica empleando ácido fosfórico del proceso húmedo porque es más barato que el ácido obtenido en el arco eléctrico. La concentración teórica del ácido requerida para el superfosfato triple es del 88% de H_3PO_4. Sin embargo, el uso de ácido a esta concentración origina reacciones colaterales indeseables y también da reducidos rendimientos de fosfato monocálcico debido a que algo de agua debe estar presente para que la reacción proceda a una velocidad razonable. Si el superfosfato triple no se seca artificialmente, la concentración del ácido es normalmente de 70% a 78% de H_3PO_4. Esto introduce algo de humedad en el producto final pero no la suficiente para causar problemas en el manejo. Sin embargo, si el superfosfato triple se seca antes de embarcarse o si ha de ser subsecuentemente amoniacado(agregado de NH3), incorporado a fertilizantes mezclados, la concentración del ácido puede ser del 34% de H_3PO_4.

Dependiendo del tipo de roca y de la concentración del ácido fosfórico que se usen, el superfosfato triple contiene de 40 a 49% en peso de P_2O_5 disponible, lo que representa más del doble de la concentración que el superfosfato simple. Cuando el producto debe enviarse a distancias considerables no hay duda que el superfosfato triple es más económico desde el punto de vista del productor y del consumidor. Por esta razón el superfosfato simple se comercializa en general en distancias reducidas e internacionalmente a escala regional.

En los últimos años se ha valorizado el contenido de azufre en el superfosfato simple resultando en una progresiva reversión de la tendencia al uso de fertilizantes más concentrados en P. En particular en Latinoamérica los grandes productores de soja del Mercosur, Brasil, Argentina y Paraguay están utilizando crecientes cantidades de superfosfato simple, y muchas de sus indus-

trias locales han sido revitalizadas y ampliadas. Por el contrario, excepto por el uso de los fosfatos de amonio, el superfosfato triple es hoy día un producto de uso decreciente.

Fosfatos monoamónico y diamónico

Los fosfatos mono y diamónicos son los fertilizantes más ampliamente producidos y comercializados a escala mundial. Desde la década del 60, sus excelentes cualidades fisicoquímicas y alto grado de análisis, movieron la construcción de plantas con grandes economías de escala. Existen dos tipos de fosfatos de amonio: monoamónico, diamónico y tienen una solubilidad equivalente a los superfosfatos.

El primero es un fertilizante soluble con un valor nutriente doble, ya que aporta alrededor de un 11% en nitrógeno y un 48% en P_2O_5. Se obtiene a partir de la neutralización de amoníaco con ácido fosfórico. Su fórmula química es $NH_4H_2PO_4$. Por su contenido amoniacal genera un efecto ácido en el suelo. No hay un grado estándar ya que varia según las plantas entre 11-55-0 a 10-50-0. En cambio el fosfato diamónico por su parte, posee un grado estándar de 18% de N y un 46% de P_2O_5 y tiene por fórmula química $(NH_4)_2HPO_4$.

En el proceso básico se prepara haciendo reaccionar ácido fosfórico al 40 % con amoniaco en un pre - neutralizador; el calor de reacción eleva la temperatura del fluido y evapora parte del agua; este fluido con 16 a 20 % de agua se envía al granulador que recibe más amoniaco en solución que calienta aun más la mezcla haciéndole perder el exceso de agua. Luego los gránulos son secados y tamizados, haciendo reciclar los descartes de tamaño. Las impurezas principalmente fosfatos de hierro y aluminio son los que ayudan a la granulación por formar una textura gelatinosa y sirven a su vez como acondicionadores para prevenir el endurecimiento de las mezclas (Caking). El mismo equipo se usa para producir uno u otro variando las relaciones molares NH_3: H_3PO_4 en alguna etapa del proceso industrial. La mezcla admite el agregado de sales de potasio u otro elemento para fabricar fertilizantes compuestos N-P-K.

En Latinoamérica, los profundos cambios devengados de la globalización, privatizaciones durante la década pasada y consolidación de grupos industriales, junto con incrementos en la demanda global, han resultado en un reacomodamiento de las industrias de fosfatos en México y en Brasil, cambios que se ilustran en el cuadro III-9. Más allá de la obvia dependencia de la provisión de roca fosfórica en esta industria, los vaivenes derivados de la industria del petróleo y del gas por extensión determinan una alta sensibilidad de los precios al amoniaco, un insumo clave en los fosfatos de amonio. Como la estructura de comercialización internacional del gas es totalmente diferente de la de la roca fosfórica y esta sujeta a consideraciones geopolíticas el precio del amoniaco para la industria mexicana en el bloque del NAFTA no tiene nada que ver con el que consigue la industria de Brasil, con precios subsidiados de Argentina o Bolivia.

Cuadro III-9. Producción de fertilizantes fosfatados a partir del ácido fosfórico en Latinoamérica, en equivalente

		1999	2000	2001	2002	2003
			000 x T P_2O_5			
Brasil	MAP	409	443	442	476	534
	DAP	8	3	2	3	2
	SPT	215	214	193	158	223
Sub Total		631	660	637	637	759
México	MAP	60	116	86	4	0
	DAP	285	144	101	0	0
	SPT	116	140	97	65	72
Sub Total		461	401	284	69	72
Venezuela	DAP	47	31	22	20	20
Total		1 139	1 091	943	726	851

P_2O_5.

Uso directo de rocas fosfóricas

El uso como fertilizantes de rocas fosfáticas sin tratamiento previo, significa una disminución de costos que incidiría en la factibilidad de explotación de los depósitos. La aplicación directa de rocas fosfáticas reduciría de manera significativa el impacto ambiental provocado por la explotación del recurso, si se considera que en la fabricación de gran parte de los fertilizantes se trata la roca fosfática con ácido sulfúrico para convertirlo en ácido fosfórico, producto intermedio en la manufactura de los fertilizantes fosforados.

A pesar de estos argumentos, el uso directo de la roca fosfórica decae progresivamente (cuadro III-10). Según Van Kauwenbergh (2003) en veinticinco años, el consumo de rocas fosfóricas para uso directo cayó desde un 5.6 a 1.4 % tomando como base el consumo total mundial de P_2O_5. Si bien no puede obviarse el efecto de fenómenos locales ocurridos en grandes países consumidores como Rusia y China, lo cierto es que el uso de fuentes solubles presenta ventajas económicas difíciles de superar por las rocas fosfóricas. En China, anteriormente un gran consumidor, sólo se usa en suelos ácidos en cercanías de las minas, situación parecida

Año	Porcentaje del consumo mundial	Millones de t
	(Sobre la base del % nutrientes)	(aprox a 30% P_2O_5)
1975	5.6	4.8
1980	4.9	5.2
1985	4.0	4.5
1990	3.0	3.6
1991	1.7	2.0
1995	1.5	1.5
1998	1.4	1.5

Cuadro III-10. Consumo mundial de roca fosfórica para aplicación directa. (Van Kauwenbergh, 2003).

a Colombia y Venezuela. El transporte a largas distancias vuelve prohibitiva una carga de roca con menos de 30 % de P_2O_5 cuando se compara con fosfatos concentrados. Similarmente, aún en los países con buena infraestructura, el costo del transporte marítimo es mucho menor que el terrestre por camión dentro del país.

Se estima que menos del 1 % del fosfato producido en Latinoamérica tiene aplicación directa. Las rocas fosfóricas de origen latinoamericano no son relevantes en cuanto a su reactividad cuando se las compara con otras especialmente famosas como las de Túnez (Gafsa) ó de Carolina del Norte. Entre las locales más reactivas se encuentran las de Bayóvar (Perú). Brasil es un gran usuario con más de 320 mil t para uso directo (Chien, 2004), pero el origen de éste es roca reactiva importada del Norte de África (Marruecos y Túnez) y Medio Oriente (Israel). Argentina importó entre 1995 y 1999 unas 21 mil t de roca fosfórica reactiva de Carolina del Norte y de Túnez pero el consumo relativamente escaso, estimado en 4 mil t/año, desalentó a las empresas a continuar importando. Para Uruguay se reportan unas 2 mil t/año (Maene, 2000) pero es difícil estimar un consumo ya que la mayor parte se procesa industrialmente. Se reportan usos esporádicos en Perú y Chile. La roca reactiva de Bahía Inglesa, explotada por la compañía Bifox declara unas 10 mil t anuales comercializadas en los suelos del sur del país, de origen volcánico con alto poder de fijación de P. El uso de la roca altamente reactiva de Sechura o Bayóvar ha sido bastante esporádico. Debido a varios problemas operativos, sólo se han producido escasas cantidades para exportar a Chile. Colombia y Venezuela se citan también como usuarios importantes de rocas fosfóricas locales para uso directo. Sus suelos tropicales, ácidos, deficientes en P y con alta capacidad de fijación de fósforo son ideales para el uso directo de rocas fosfóricas. Chien (2004) cita para Colombia que Fosfacol comercializa unos 25 mil t anuales del fosfato de Huila. Para Venezuela, la compañía estatal Pequiven no comercializa rocas fosfóricas para uso directo sino que lo usa para producir roca parcialmente acidulada.

Factores que afectan el resultado agronómico de las rocas fosfóricas

Los factores más importantes que determinan buenos resultados dependen de la combinación de las características del suelo y de la roca fosfórica, factores que han sido extensamente cuantificados en varios trabajos (Khasawneh y Doll, 1978; Chien, 1992; Chien y Friesen, 1992; Chien y Van Kauwenbergh, 1992; Chien y Menon, 1995; Rajan et al., 1996; Zapata, 2003).

Sintéticamente entre los factores de suelo la acidez es el más importante sin dejar el obvio factor de nivel de P disponible en el suelo. El tipo de mineral de arcilla dominante y factores climáticos son otros factores normalmente asociados a la acidez del suelo. Los minerales de arcillas de baja actividad, con predominancia de caolinitas, y óxidos de hierro y aluminio, tienen un bajo poder regulador y alto punto isoleléctrico lo que normalmente determinan baja capacidad de cambio y retención de bases. Los climas con alta pluviosidad y temperatura están asociados a alta meteorización del material madre y alta acidez.

Entre los factores secundarios se mencionan al tipo de cultivo, si es perenne o anual y su estructura radicular. En un cultivo perenne la disponibilidad más lenta de P soluble derivada de la solubilización de la roca pierde importancia ante el mayor tiempo bajo cultivo. Las raíces en cabelleras de las gramíneas en un cultivo denso tienen más posibilidades para absorber P que una raíz pivotante de cultivos en líneas. También se ha detectado factores específicos de algunas

especies como las crucíferas.

Así, considerando sólo los factores de suelo, puede afirmarse que los cultivos perennes en suelos ácidos una roca fosfórica reactiva responderá de manera casi equivalente a un fertilizante fosfatado, al disolverse en el tiempo. Suelos de origen calcáreo en regiones subhúmedas o semiáridas, por el contrario indican bajo potencial de uso directo de la roca fosfórica.

La propiedad más relevante de las rocas fosfóricas con relación a su desempeño agronómico en aplicación directa es su solubilidad, que se mide normalmente con un ácido débil. La solubilidad o reactividad química de una RF´s depende de las características químicas y mineralógicas del mineral de P en la RF´s. El principal mineral de P en la mayoría de las RF´s es apatita, pero las apatitas varían ampliamente en sus propiedades fisicoquímicas, y cristalográficas. En general, la solubilidad aumenta a medida que se incrementa la sustitución del ion fosfato (PO_4^{-3}) por carbonato (CO_3^{-2}) en la estructura de las apatitas, según consideraciones teóricas de la estructura y de termodinámica. Así, el grado de sustitución isomórfica en la estructura de la apatita es el factor clave que determina la reactividad química de las RF´s. A mayor grado de sustitución de CO_3^{-2} por PO_4^{-3} resulta en un aumento en la solubilidad de la apatita resultando así más reactiva. Entre las explicaciones ofrecidas para este comportamiento se menciona que el mayor grado de sustitución de CO_3 por PO_4 resulta en una disminución del tamaño del cristal de apatita. Además, el ion PO_4^{-3} es una estructura tetraédrica que al ser sustituida por una estructura plana como el CO_3^{-2} causa una inestabilidad en la estructura que resulta en un incremento de la reactividad, (Chien, 1995). Como es de esperar, existe una muy buena correlación entre el grado de sustitución, la solubilidad en ácidos débiles y la reactividad y performance agronómica.

Otro factor importante es la granulometría de la RF. Como fenómeno de superficies, la disolución de la RF por la acción de los iones H* presentes en la solución del suelo es más rápida cuanto mayor sea la superficie de contacto y en consecuencia cuanto más pequeña sea la partícula de RF en contacto con el suelo. Esta situación explica la extraordinaria reactividad de las algunas rocas sedimentarias con estructura porosa, resultando que la superficie geométrica es apenas 5 % del área total. Esto lo diferencia de las rocas ígneas con estructura cristalina y sin diferencias entre el área total y geométrica (Leer y Mc Clellan, 1972). No obstante este factor influye en la reactividad total de algunas rocas que funcionan mucho mejor cuando son molidas, mientras que otras con alta superficie interna no muestran diferencias importantes molidas o no (Chien, 1995).

La solubilidad de las RF´s correlaciona bien con la respuesta de los cultivos. Sin embargo, es difícil comparar las respuestas de los cultivos entre las RF´s y los fertilizantes solubles como el SFT debido a interacciones entre el fertilizante y el suelo. Por lo tanto, es difícil predecir la efectividad agronómica relativa de fertilizantes sólo sobre la base de su solubilidad. La RF´s finamente molida puede ser tan efectiva como el SFT o inferior, dependiendo, entre otras cosas, del origen de la RF´s.

El uso directo de la roca fosfórica tiene aplicaciones bien recomendadas y apropiadas en numerosos escenarios de producción. Su aplicación es más justificada adonde no se requiere una disponibilidad inmediata, o durante un único ciclo de cultivo. Los cultivos perennes frutícolas, las pasturas tanto naturales como cultivadas, pretendida son ejemplos. También aquellos sistemas

de producción adonde se pretenda levantar los niveles de P de base, y complementar las aplicaciones anuales de P de fertilizantes solubles es otro posible destino. Sin duda entonces que esto será posible en cuanto se combinen condiciones de suelos, ácidos y deficientes en P, con rocas reactivas, de buena solubilidad en ácidos débiles

Factores que afectan el uso directo de la roca fosfórica en Latinoamérica

Latinoamérica tiene millones de hectáreas afectadas por acidez y limitantes de fertilidad asociadas como bajos niveles de fósforo y toxicidad de aluminio (Cochrane et al, 1985). Sin embargo, ésta no es condición suficiente para el uso directo generalizado de rocas fosfóricas, aun la producción local. Tampoco el argumento de ser más económicas que los fertilizantes solubles importados se puede aplicar indiscriminadamente en todos los países, inclusive en aquellos países bendecidos con el recurso.

El cuadro III-11 muestra un resumen de los principales depósitos de las rocas más reactiva en Latinoamérica.

Roca Fosfórica (Pais)	P_2O_5 Total	P_2O_5 Soluble		
		Citrato amonio neutro [1]	Ácido citrico 2 %	Ácido fórmico 2%
	%		% de Roca	
Bayovar (Perú)	30.5	5.3	15.2	21.9
Huila (Colombia)	6.6	3.5	5.3	6.2
Bahia Inglesa (Chile) (1)	7-16	2.4	3.9	4.1
Río Chico (Argentina)	18 1	2 4	5 8	4 5
Riecito (Venezuela) (2)	25 30	5 7	14 9	15 8
Napo (Ecuador)	28 30	1 4	5 0	4 2
Araxa (Brasil)	37	1 7	3 5	3 9
Baja California (México)	30.5	6.4		
Gafsa (Túnez) (3)	28.8	4.0	5.1	12.9
Arad (Israel)	32.4	6.5	12.1	19.8
North Carolina Gr. 2da. Extracción.	30.0	1.2	6.o	13.1

Cuadro III-11. Solubilidad de las rocas más reactivas de países de Latinoamérica. (1) Besoaín et al 1999; (2) Melgar y Chien, 2003 y (3) Chien y Hammond 1978

La falta de articulación del sector minero con el agrícola también dificulta la comercialización de rocas fosfóricas y por consecuencia, el acceso de los agricultores a los recursos minerales. En el sector agrícola, las cadenas de provisión de insumos, son empresas integradas con el comer-

cio internacional de granos o bien con una coordinación industrial y comercial que privilegia la comercialización de productos de mayor valor agregado, como los fertilizantes industriales. Para una empresa de envergadura nacional de fertilizantes, la roca fosfórica es una especialidad. El desarrollo de este mercado no es una prioridad sino que es eventualmente una competencia a los productos más concentrados y solubles.

Cuando se da el caso de depósitos lo suficientemente valiosos para sustentar una industria de escala, normalmente este será de propiedad de estas industrias, como es el caso de la mina de San Juan de la Costa, (Fertinal) en México; las de Brasil de propiedad de Fosfértil y Ultrafértil, las de Venezuela (Pequiven) y de Boyacá (Fosfonorte, Fertilizantes de Boyacá y Fosfatos de Boyacá). Tal es el caso de la principal reserva de fosfatos de Latinoamérica, Bayóvar en Perú, que ha sido recientemente adjudicada a CRVD, un gigante minero y productor de fertilizantes. Cuando este no es el caso, los depósitos tienen las limitantes usuales de infraestructura, accesibilidad y lejanía de los centros de consumo o de concentración industrial, que determinan que la provisión de roca fosfórica de igual o mejor calidad puede asegurarse por la importación, como en Argentina, Chile o Ecuador.

Los fertilizantes fosfatados solubles mantienen además ventajas en los sistemas modernos de máquinas aplicadoras de fertilizantes. En los dispositivos dosificadores de las sembradoras, el granulado de los fertilizantes comerciales es normalmente preferido antes que el polvo para aplicación en el cultivo, aunque en algunos casos se granula la roca fosfórica luego de una molienda, súmese a ello la mayor eficiencia agronómica cuando el fósforo es colocado junto a la semilla.

Consideraciones finales

En el presente la producción mundial de fosfatos es cercana a los 40 millones de toneladas de P_2O_5 derivada de 140 millones de roca fosfática. Del total cerca del 80% se utiliza en la industria de fertilizantes. Si se considera el rol de los fertilizantes está ligado directamente al desarrollo de la agricultura y está a su vez con el crecimiento de la población y sus necesidades de alimentación, es evidente que la que la producción futura de fosfatos aumentará. Los datos estadísticos indican que la tasa de población aumenta el 2 % por año. Con ese concepto en mente y el decrecimiento de disponibilidad de fertilizantes orgánicos, la producción de fósforo debe aumentar para mantener la relación de nutrientes per capita y consecuentemente brindar una adecuada dieta para la población.

Appleton (2001) citado por Zapata y Roy (2004) destaca que la roca fosfática es un *commodity* de bajo precio, con gran volumen y alto costo para ser transportada, por lo tanto su potencial económico depende en gran medida de su localización en relación con el mercado local e internacional. La gran mayoría de los depósitos fosfáticos comercialmente explotados se localizan cerca de las costas y en países que cuentan con puertos de aguas profundas. Si la infraestructura de transporte es poco desarrollada y especialmente si no existen medios ferroviarios o mineraloductos para transportar las rocas fosfáticas al hacer el análisis costo beneficio resultará más económico importar fertilizantes como DAP que desarrollar una industria local. Los recursos de rocas fosfáticas situados en lugares remotos a grandes distancias de los mercados o sin transporte adecuado no resultan factibles económicamente para competir en un mercado internacional, probablemente

puedan cubrir un mercado local o quizás regional. Por el otro lado, donde existen áreas agrícolas distantes de puertos, especialmente en aquellos países sin salida al mar, la resultante costo beneficio inclina la balanza hacia la utilización de recursos de rocas fosfáticas locales para aplicación directa. Los altos costos del transporte se deprecian si la roca fosfática puede convertirse en un producto de alto valor agregado.

Argentina

Ricardo J. Melgar[1] y Liliana N. Castro[2] (Ex aequo)

Introducción

Los fertilizantes fosfatados junto con los nitrogenados son los de más importantes consumos en el país. A diferencia de los fertilizantes nitrogenados, no se destinaron inversiones importantes en la industria de los fertilizantes fosfatados hasta este año. Los primeros contaron con un recurso abundante como materia prima, el gas natural, y cuando el tamaño del mercado lo justificó, se realizaron las inversiones apropiadas.

En cambio, siempre se argumentó que la ley de los depósitos era baja en fosfatos para justificar la instalación de una industria, pero el planteo no tiene el mismo valor cuando el consumo interno de fertilizantes era de 50 mil toneladas de fosfatos que ahora que está cerca de las 800 mil t por año, y creciendo. Con las terminales portuarias aptas para la importación de grandes volúmenes de áridos, la importación de rocas fosfóricas puede resultar más barata que la prospección y desarrollo minero de un depósito lejano. Además, de la provisión de amoniaco como insumo básico para los fosfatos de amonio, la creciente necesidad de azufre en la agricultura pampeana puede justificar la instalación de una planta de superfosfato simple, que requiere un capital mucho menor.

Por esas razones, y a pesar de la marcada dependencia de estos abonos, Argentina no posee fábricas de fertilizantes fosfatados, y confía su suministro desde la importación. No obstante, la creciente fortaleza del sector agropecuario y la percepción de un sostenido crecimiento motivan inversiones no sólo en la instalación de fábricas sino también en la prospección de nuevos yacimientos.

Oferta de P de los suelos agrícolas

La agricultura argentina se concentra en la región pampeana, que en su gran extensión distingue regiones naturalmente bien provistas de P, de otras genéticamente deficientes. El mapa adjunto (Fig. III-4) muestra las reservas totales en base a un relevamiento de P en los horizontes superficiales y subsuperficiales realizado hace algunos años, (Morras, 2001). Pueden distinguirse que el sudeste de Buenos Aires y la región de Entre Ríos son las de menores reservas y coinciden con las de menor disponibilidad.

Ahora bien el fósforo total no es una medida muy apropiada para mostrar la disponibilidad. El P en el suelo está sujeto a un equilibrio entre el más inmediatamente disponible en la solución del suelo, con una fase lábil o reservorio, y a su vez éste, con otra fase de mediana a lenta disponibilidad. El P disponible puede decaer rápidamente como consecuencia de un ciclo agrícola sin reposición por fertilización; pero con el tiempo, luego de un ciclo ganadero, éste se repone desde la fase menos lábil. La región pampeana es precisamente la que más ha sufrido la degradación por muchos años de producción sin fertilizantes, ya que en otras regiones agrícolas, deficientes

[1] *INTA . Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Pergamino. rmelgar@pergamino.inta.gov.ar*
[2] *Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Argentina lilianacastro@fibertel.com.ar;*

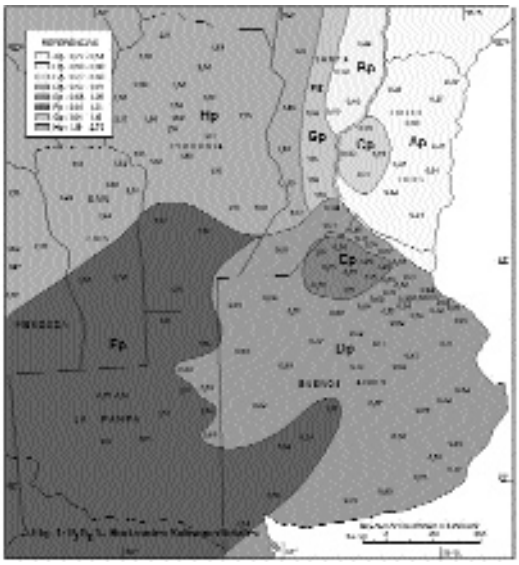


Figura III-4. Contenido de P en los horizontes subsuperficiales de la región Pampeana.

en fósforo la producción económica dependió del agregado de fertilizantes, y en éstas, la constante adición ha permitido aumentar las reservas debido al efecto residual de estos fertilizantes.

En los primeras décadas de producción agrícola del siglo pasado, con la quema de rastrojos, agricultura sin prácticas de conservación y producción relativamente unitaria baja, las reservas sufrieron una importante disminución (Darwich, 1980, Bernardos et al, 2001). Recién en los 80 con el comienzo de la difusión en fertilizantes, reforzada por una creciente investigación del INTA se revierte el proceso y el balance comienza progresivamente a ser menos negativo. (Melgar, 2005).

La dinámica de los últimos veinte años, en que la producción de granos y carnes aumentó desde 35 hasta casi 80 millones de toneladas, fruto en parte de la entrada en producción de nuevas tierras como de la intensificación agrícola que elevó los rendimientos unitarios aceleró el ciclos de depleción como de reconstrucción. A pesar que hoy día el balance global regional, considerando como tal a la diferencia entre lo exportado por los cultivos de grano, y el aporte de P de los fertilizantes, continúa siendo negativo, se dan considerables diferencias entre localidades. Además en los cultivos de cereales más importantes si bien no hay aumentos del área fertilizada, existen aumentos de la dosis promedio. Por otra parte se da una creciente adopción de la fertilización en soja y girasol. (FAO, 2004).

No hay un modelo simple para ilustrar las variaciones temporales y regionales, pero la creciente profesionalización del agro, sugiere que los procesos más agudos de degradación de por expoliación de nutrientes han disminuido en los casos mas extremos. Los suelos genéticamente deficientes reciben aplicaciones regulares de fósforo. Pero los suelos naturalmente ricos, principalmente en el noroeste del país, adonde se está expandiendo la frontera agrícola, sufren un activa disminución de las reservas de P ya que no reciben aportes de fertilizantes. En el cuadro III-12 se muestra la variación del balance de fósforo para un ciclo determinado reciente, pero hay se habla de una reposición cercana al 50 %, un 10 % más que cinco años atrás.

Cuadro III-12. Balance de Fósforo (Extracción vs. Reposición por fertilización) ciclo 2001/02. Fuente: Cruzate et al, 2003.

Cultivo	Exportado (tn)	Reposición (tn)	Balance (tn)	% Fertilizado
Girasol	15.578	6.119	- 9.350	39 %
Maíz	45.747	30.242	- 14.967	66 %
Soja	191.790	30.419	-160.830	16 %
Trigo	58.899	73.401	+ 14.502	124 %
Sorgo	7.979	1.919	- 6.026	24 %
Total	319.993	142.100	-176.671	44 %

Manifestaciones fosfáticas en Argentina

Resultados del Plan Fosforita

El fósforo junto a otros nutrientes de origen mineral, comenzaron a extraerse en gran escala a nivel mundial en 1940, lo que marca el inicio de la moderna industria de los abonos químicos. A partir de allí se intensificó la búsqueda de rocas fosfáticas en todo el mundo y ese interés se reflejó también en nuestro país a comienzos de los años 70, cuando se puso en marcha el "Plan Fosforitas" del Servicio Geológico Minero Nacional. El objetivo de este plan fue hallar depósitos fosfáticos económicamente explotables. Mastandrea et al. (1982) y Leanza et al. (1989a), sintetizaron la prospección sistemática de fosfatos sedimentarios dentro de las diferentes cuencas marinas, aportando datos sobre volúmenes y leyes (Cuadro III-13, Fig. III-5).

Nuevos resultados

A mediados de los años 80, un grupo de investigación del Departamento de Geología de la Universidad de Buenos Aires, encaró la estudio de nuevas áreas para la prospección de fosfatos, lo que actualmente continúa en el marco de proyectos UBACYT de la Secretaría de Ciencia y

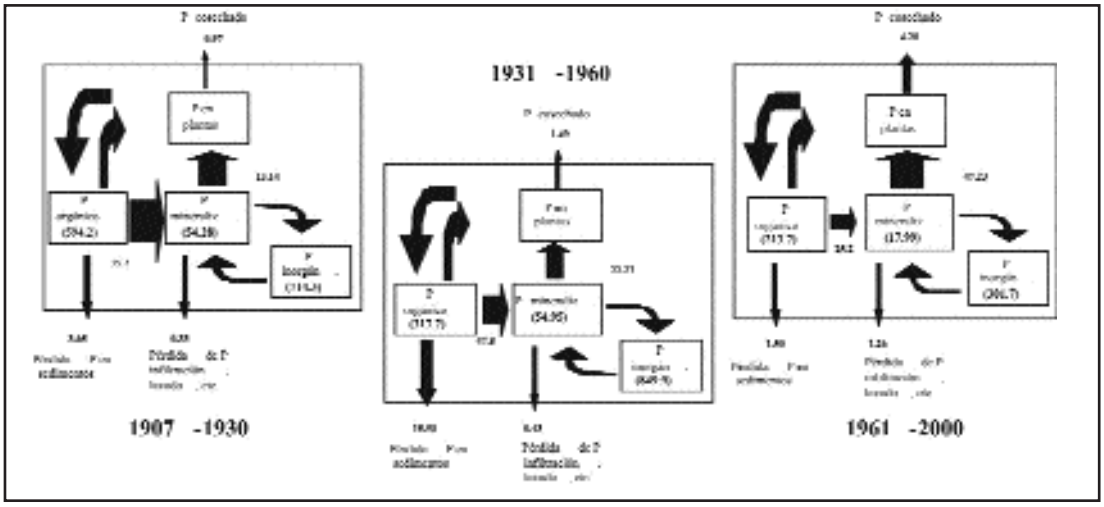


Figura III-5.Estimación de cambios en el ciclo fósforo durante el período 1907 - 2000 en la Pampa subhúmeda argenti-

Técnica de la Universidad de Buenos Aires que se enfoca a la prospección, génesis y ambiente de sedimentación de depósitos fosfáticos en distintas cuencas especialmente en Patagonia A partir de la manifestaciones halladas se realizó una base de datos con más de 90 registros con 14 entradas. (Castro et al, 1998a, Olivero et al., 1998; Scasso y Castro, 1999, entre otros).

Cabe destacar que los principales períodos fosfogénicos en el mundo (Cook, y McElhinny, 1979) también están representados en la columna geológica de la Argentina (Leanza et al, 1986). Estas prospecciones arrojaron estos resultados (Castro et al., 1998a).

Formación San Isidro (Cámbrico medio) y Formación La Cruz (Cámbrico superior), Precordillera, Mendoza.

Constituyen las primeras menciones de eventos fosfáticos en el Cámbrico en Precordillera (Castro y di Pasquo, 1993; di Pasquo y Castro, 1994). Los afloramientos analizados están ubicados en la Quebrada de San Isidro, 20 km al Oeste de la ciudad de Mendoza.
Formación San Isidro: Los niveles fosfáticos se localizan en wackstones arenosos y en las areniscas calcáreas de la sección inferior de la secuencia. Los fosfatos se presentan como nódulos, pátinas y pellets de varios mm a fracción de mm de diámetro y están compuestos por carbonato fluorapatita isótropa asociada con francolita (2 a 5% de P_2O_5). Son lentes discontinuos y con espesores que no superan los 20 cm.

Formación La Cruz: Los fosfatos se presentan como costras fosfáticas y peloides de color negro en las calizas finas que se intercalan con lutitas oscuras, formando una secuencia rítmica de origen marino, con valores de P_2O_5 que varían entre el 2 y el 7 %. Los bioclastos presentes son de dos tipos: caparazones de trilobites con un incipiente grado de fosfatización y conchillas de Lingula sp.

En ambos casos la discontinuidad de los bancos como la ley de la muestra total no justifican la continuidad de la prospección (Castro y di Pasquo, 1994)

Formación Pican Leufú (Tithoniano medio -Berriasiano inferior); Formación Mulichinco ((Berriasiano- Valanginiano); Formación Agrio (Hauteriviano- Barremiano), Cuenca Neuquina.

Los primeros hallazgos se realizaron en 1971 el área de la Sierra de la Vaca Muerta y posteriormente en una faja situada estratigráficamente en la parte superior de la Formación Vaca Muerta, entre la lengua superior de la Formación Picún Leufú y la base de la Formación Mulichinco, con anomalías entre 1 y 10 % P_2O_5. (Leanza et al., 1975). De acuerdo a estos estudios prospectivos, era improbable la explotación redituable de estas manifestaciones debido a su baja ley y su posición estratigráfica. Bajo el proyecto UBACYT se efectuó una prospección sobre ruta nacional 40, 100 km al norte y al sur de la ciudad de Zapala (Bajada del Agrio y Picún Leufú, respectivamente) y sobre ruta provincial 10 que une Bajada del Agrio y las Lajas, provincia de Neuquén., en afloramientos del Grupo Mendoza, en localidades previamente analizadas y otras cinco localidades De los perfiles revisados previamente por otros autores (Mastandrea et al, 1982), se corroboró la falta continuidad y espesor de los niveles en Cerro Punta Alta y La Porfía. En las localidades muestreadas los valores de P_2O_5, no superan el 2 %. P_2O_5. El valor más elevado se detectó sobre la margen izquierda del Arroyo Picún Leufú (Formación Picún Leufú), en los niveles de composición dominante pelítico-arenosa. En la actualidad se ha informado la explotación a escala artesanal de bancos 0,5 m de espesor de calizas fosfáticas con un 7% P_2O_5.

Por el otro lado en la Formación Mulichinco en las cercanías de Catan Lil, SO de la provincia de Neuquén, se localizaron dentro de las facies marinas fosfatos y otros minerales autigénicos (Castro et al, 1996). El contenido de fósforo varía entre el 1 y 3, 5 % de P_2O_5 en espesor de 0,20 a 0, 50 m

Formación Lefipan (Mastrichtiano a Paleoceno).

En el valle medio del río Chubut, al sudoeste del Macizo de Somún Curá, afloran depósitos marinos marginales. Se compone de sedimentos marinos y mixtos con fauna de invertebrados donde se han identificado horizontes portadores de abundantes concreciones fosfáticas (18 al 20% de P_2O_5) provenientes de los niveles inferiores de esta unidad y se han formado alrededor de estructuras biogénicas, Las evidencias texturales indican que la cementación fosfática fue previa a una mínima compactación del sedimento. (Pereira. y Scasso, 2002), El porcentaje promedio de los bancos alcanza al 2 % de P_2O_5 (Fazio et al, 2002),

Formación Santa Marta (Campaniano superior - Mastrichtiano inferior)

Las anomalías fosfáticas localizadas en el Miembro Gama de la Formación Santa Marta, en la isla James Ross, Península Antártica (Fig. III-6), representan un acontecimiento fosfogénico antártico que se correlaciona con el episodio fosfogénico global del Cretácico Tardío-Paleógeno. (Castro y Scasso, 2005). Este evento está representado en un área de 250 km^2. El Miembro Gam está principalmente compuesto por areniscas de grano fino, bien seleccionadas, interestratificadas con lutitas carbonosas, escasos conglomerados y areniscas conglomerádicas. Los niveles de areniscas varían entre 0,3 y 1 m de espesor, son masivas o muestran estratificación paralela. La parte media de la sección está caracterizada por un conglomerado bioclástico con gran extensión areal formado por múltiples eventos de retrabajo sedimentario. Los elementos fosfáticos están concentrados en el conglomerado bioclástico, que tiene un máximo de 0,6 m de espesor, aparecen como nódulos esféricos y elípticos de (2 a 4 cm en diámetro), ricos en carbonato -flúorapatita con 13 % P_2O_5 en promedio, y en restos de huesos de anquilosaurio y plesiosaurio, escamas, vértebras de tiburón, restos vegetales, trazas fósiles y valvas fosfatizados. Estos son los principales componentes de los bancos fosfáticos, los cuales se presentan como niveles aislados dentro de un intervalo estratigráfico de 45 metros de espesor.

Formación Roca (Mastrichtiano)

En las restingas de Playa Dorada, adyacencias de la Ruta Nacional Nº 3, en el Departamento de San Antonio Oeste, a unos 35 km al SO de la Mina Sierra Grande, los afloramientos de esta unidad mostraron anomalías fosfáticas (1,47 % de P_2O_5) Dicha unidad está compuesta por coquinas y coquinas arenosas de color amarillento, moderadamente consolidadas y con estratificación paralela y entrecruzada de gran escala. Los bancos presentan gran extensión lateral en las restingas costeras, aunque el espesor aflorante no supera los 3 metros en una única sección. (Castro et al, 1998a).

Formación Gaiman (Mioceno inferior)

La presencia de fosfatos en la Formación Gaiman o Patagonia fue estudiada por Leanza et al.

(1981), Scasso et al., (1996), Scasso y Castro (1999), Castro et al, (2004) y Tourn et al. (2004), entre otros. Las anomalías fosfáticas se concentran en dos sectores: Valle del río Chubut, en particular en el área de Loma Blanca, donde se detectaron varios niveles fosfáticos dentro de la Formación Gaiman. El más importante es un nivel conglomerádico de 0,2 a 0,5 m de espesor con concreciones fosfáticas, parcialmente cementadas por carbonato, con huesos, dientes de tiburones y rayas, restos de conchillas muy fragmentadas y bivalvos enteros desarticulados. Los nódulos fosfáticos muestran alto contenido de P_2O_5, (entre 15 a 21%) mientras que el contenido de P_2O_5 en muestra total alcanza el 5,78%; las fracciones más finas presentan bajo contenido de P_2O_5 (0,20%). Las concreciones y bioclastos fosfatizados presentan en ocasiones estructura zonal con áreas isótropas y otras con características cristalinas y criptocristalinas. Esta manifestación fosfática se ubica dentro de una secuencia marina somera, de carácter regresivo. El nivel fosfático se interpreta como un conglomerado residual producto del retrabajo de depósitos preexistentes y su posterior redepositación. (Scasso y Castro, 1999)

Formación Río Claro (Paleoceno-Eoceno).

En la región central de Tierra del Fuego se hallaron fosfatos en la Formación Río Claro, al N del Lago Fagnano, dentro de la Cuenca Austral o Magallanes. Comprende un potente paquete de areniscas y wackes líticas, medianas a muy finas y en forma subordinada se asocian bancos delgados de conglomerado y coquinas. Los lentes de coquinas presentan espesores variables entre 15-30 cm y 2-3 m de corrida, excepcionalmente se extienden lateralmente por más de 10 m de corrida (Olivero et al., 1998). Los nódulos fosfáticos corresponden a carbonato flúor-apatita, elongados, con un diámetro promedio de 2 cm., están presentes tanto en la porción fosilífera de las areniscas como los lentes de coquina. Las concreciones fosfáticas muestran características típicas de retrabajo mecánico. Los valores obtenidos alcanzan al 20, 1 % en las concreciones y algo más del 2% de P_2O_5, en muestra total. Los depósitos de la Formación Río Claro presentan rasgos similares a los de la probablemente coetánea Formación Salamanca (Mastandrea et al., 1983; Castro y Martínez, 1993) en la región costera de Chubut y corresponderían al mismo período fosfogénico (Leanza y Hugo, 1992).

Las concreciones fosfáticas presentes en las Formaciones Lefipán, Río Claro y Gaiman no sólo fueron analizadas por su contenido de fosfatos sino también por su enriquecimiento en algunos elementos traza con respecto a las pelitas sedimentarias como roca de referencia y a los valores de fosforitas promedio mundiales (Tourn et al, 2004). Análisis específicos de los elementos de tierras raras para las mismas Formaciones fueron analizados por Fazio et al, (2002) y Castro y Fazio (2004) arrojando valores que duplican los promedios mundiales.
Plataforma Continental Argentina.

Leanza et al. (1989b) sugieren como áreas favorables para la depositación de fosforitas submarinas las de las zonas comprendidas entre los 44 y 54° de latitud sur. Castro (1992) indica los valores obtenidos de sedimentos de fondo obtenidos por el ARA Comodoro Rivadavia, consignando

	Nombre de la Cuenca o área de sedimentación	Superficie Km²	Prospectado km²	Ley % P_2O_5	Espesor en metros	Edad (m.a)	Tipo
1	Sas Subandinas, Cordillera Oriental y Puna	38.980	3.000	12-4,5	1.20-2,50	Ordovícica	Caparazones fosfáticos (Lingula Sp)
2	Sistema de Famatina	7.460	800	-	-	Ordovícica	
3	Precordillera de La Rioja San Juan y Mendoza	26.580	22.580	3-12	0,20-0,70	Cámbrico Ordovícica-Silúrica	Wackestones Areniscas calcáreas con contenido fosfático lutitas calcáreas subordinadas y mudstones.
4	Subcuenca de Cacheuta	22.000	200	29??	-	Triásica	Lentes fosfáticos en lutitas carbonosas
5	Sierras Septentrionales, Prov. de Bs As	5.500	3.000	3	-	Precámbrica-Paleozoica inferior	Dolomitas con anomalías de fósforo
6	Cuenca de Sierra Grande y Malvinas	7.000	-	2-5	-	Devónica	Anomalías de fósforo vinculadas a horizontes ferríferos
7	Neuquina	130.660	90.000	1-6	0,1-4	Cretácica	Lentes fosfáticas areniscas y calizas
8	Mesozoico de la Patagónica Extrandina	4.500	2.100	<1	-	Cretácica	Pelitas y calizas
9	Cuenca Austral	26.400	4.000	2,5	0,3	Cretácica	Lentes y concreciones fosfáticas
10	Mesopotamia	3.600	3.600	0,70	-	Mio-Pliocena	
11	Mar Mastichibaio Paleoceno, (Region del Comahue)	100.000	55.000	4	-	Eocena-terciaria	Sedimentitas marinas
12	Fm. Salamanca Río Chico	80.000	60.000	15-22	0,20	Paleocena	Costras y nódulos fosfáticos
13	Fm. Patagonia Fm. Gaiman	137.000	100.000	10	0,2a 0,5-	Mioceno inferior	Niveles con costras y nódulos Conglomerado bioclástico
14	Islas Guaníferas	430	-	17	-	(Guano)	
15	Cuenca Marina Fueguina Fm. Río Claro	17.560	-	15-21	0,2a 0,3-	Paleoceno	Nódulos fosfáticos
16	Península Antártica Fm. Santa Marta	250		13	0,60		Conglomerado bioclástico
17	Plataforma Continental	Entre 43 y 44° Lat S	1.000.000	1,8		Actual	Arenisca fosfática

Cuadro III-13. Síntesis del Plan Fosforitas Mastandrea et al. (1982) y Leanza et al. (1989a). Se suman los nuevos resultados (Ver en el texto).

registros hasta 1,8% de P_2O_5.

Otras regiones

Dentro de las regiones con mayor importancia quedaría ampliar la información las manifesta-

1) Puna-Sierras Subandinas

2) Sistema de Famatina

3) Precordillera La Rioja, San Juan, y Mendoza,

4) Cacheuta

5) Sierras Septentrionales

6) Sierra Grande

7) Cuenca Neuquina

8) Mesozoico de la Cordillera Patagónica Central

9) Cuenca Austral

10) Mesopotamia,

11) Área del mar Mastrichtiano (Comahue)

12) Salamanca Fm.

13) Gaiman Fm (Patagonia Fm)

14) Islas de Guano,

15) Fueguina (Río Claro Fm).

16) Península Antártica (F. Santa Marta)

17) Plataforma continental Argentina.

Figura. III-6. Localización de las cuencas sedimentarias con potencial fosfático

ciones de la cuenca eopaleozoica marina de las Sierras Subandinas, Cordillera Oriental y Puna de Salta y Jujuy. En este sector se seleccionaron seis áreas de interés. Los niveles de mayor concentración están vinculados a la presencia de restos de Lingula braquiópodos con caparazón quitono-fosfática (Mastandrea et al, 1982 y De los Hoyos, 2003).

Existe un prospecto denominado Laja Colorada ubicado a 55 km al NE de S.S. de Jujuy, provincia de Jujuy. Litológicamente son areniscas ortocuarcíticas grises; cuarcitas verdes, moradas y rosadas; pelitas arenosas y micáceas; areniscas medianas y finas gris oscuras; y areniscas gris verdosas constituyen el núcleo de la Sierra de Zapla y portadoras de la mineralización organógena. Macroscópicamente se observan restos fósiles de variados tamaños de las conchillas de *Língula sp*. Análisis por rayos X indican la presencia de cuarzo, feldespatos, apatita (predominando la variedad francolita y fluorapatita). Las leyes fluctúan entre el 4 y 12 % de P_2O_5, estando la media entre 5 y 6,5 %. En cuanto a los recursos, a la fecha, se contaría con: 83.500 t al 6,30 % de P_2O_5 y 78000 t 5,98 % de P_2O_5. El recurso estimado ronda en 630.000 t con 4,5 % de P_2O_5. Sin embargo, el recurso geológico sería mucho mayor, dado que la cobertura vegetal y topografía hace difícil la exploración. http://www.jujuy.gov.ar/ mineria/pr4.htm. Otras fuentes indican que la potencia media del banco llega a 3 m en el afloramiento, con una corrida de 1 km y con una ley de 6% de P_2O_5 Se han realizado ensayos de rendimiento, obteniéndose altos contenidos de

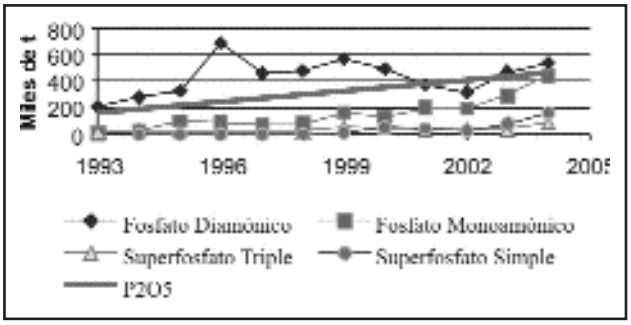


Figura III-7. Evolución de las importaciones de los principales fertilizantes fosfatados FDA, FMA, y SFT.

P_2O_5 asimilables.
Otro depósito con potencial interés se relaciona con el yacimiento de hierro de Sierra Grande, provincia de Rio Negro el cual contiene apatita. Las colas producidas durante la explotación (hasta comienzos de los 90) registran hasta un 7% de P_2O_5. En la actualidad con la apertura de la mina bajo la denominación de Sierra Grande S.A, adjudicada a una empresa china, comenzaría un nuevo estudio de factibilidad para la utilización del fósforo para la fabricación de fertilizantes. Los ensayos realizados estas rocas y sobre un concentrado de las colas de flotación se resumen potencial para uso directo de as rocas fosfóricas en este capítulo.

Situación del Mercado Actual

Fertilizantes fosfatados

El consumo de fertilizantes fosfatados crece a un ritmo de 8.5 % anual promedio en la última década, de la mano de la expansión de la producción agrícola, por vía de aumento del área sembrada y de la adopción de fertilización. Los fertilizantes más populares fueron desde el comienzo, el fosfato diamónico y monoamónico, el primero en una proporción de 60-70%. El superfosfato triple siempre tuvo un destino de uso directo en pasturas y nunca representó mas del 10-15% del total de fosfatados. La importación procede de tres orígenes principales: E.E.U.U., con origen en el estado de Florida, de Rusia con depósitos en Kazajstán y en la península de Khola, y del Norte de África, de Túnez o Marruecos.

Recientemente ha comenzando a importarse superfosfato simple, en parte por su provisión de Brasil y Uruguay con las ventajas arancelarias intrazona del Mercosur (Fig. III-7).

El principal destino de los fertilizantes son los cultivos de granos, de los que los cereales comprenden el 50 %. La práctica agronómica indica que debe contarse con una buena disponibilidad de P a la siembra que se logra con dosis entre 40 y 80 kg/ha de P_2O_5 en la línea de siembra de todos los cultivos y pasturas. El cuadro III-14 muestra la distribución relativa del consumo de fosfatados para 2003, (FAO, 2004). Sin embargo existen variaciones menores según las áreas

sembradas cada año de los cultivos principales (trigo, maíz y soja).

Potencial para uso directo de las rocas fosfóricas

La necesidad de combinar rocas reactivas con suelos ácidos para lograr un buen resultado conduce a un bajo consumo potencial de rocas fosfóricas para uso directo. Además de la ausencia de depósitos importantes de rocas locales, los principales suelos agrícolas de Argentina no son demasiado ácidos, resultado de su material de origen desarrollado bajo praderas y en un clima templado. Los suelos más ácidos se encuentran principalmente en el litoral, en la región más húmeda del país (Fig. III-8).

Durante algunos años se importaron rocas fosfóricas reactivas que dieron buenas respuestas agronómicas y se comercializaron con algún éxito. Los primeros intentos se realizaron en la década del 80, impulsados por la desaparecida empresa Agromax, apelando a su uso mas apropiado en pasturas. Con estos antecedentes positivos, en los 90 se importaron unas 15 mil de roca fosfórica de Carolina del Norte. En esa época también se realizaron ensayos con respuestas positivas en arroz (Melgar et al, 1998) y pasturas (Berardo y Marino, 1994).

CULTIVO	P_2O_5 Miles de t/año	%
Trigo	119.8	33%
Soja	84.6	24%
Pasturas	57.6	16%
Maíz	53.6	15%
Fruti - horticultura e industriales	18.5	5%
Girasol	14.1	4%
Otros Granos	11.4	3%
TOTAL	**359.6**	

Cuadro III-14. Distribución del consumo de fosfatos para los principales cultivos de Argentina en 2003, (FAO, 2004)

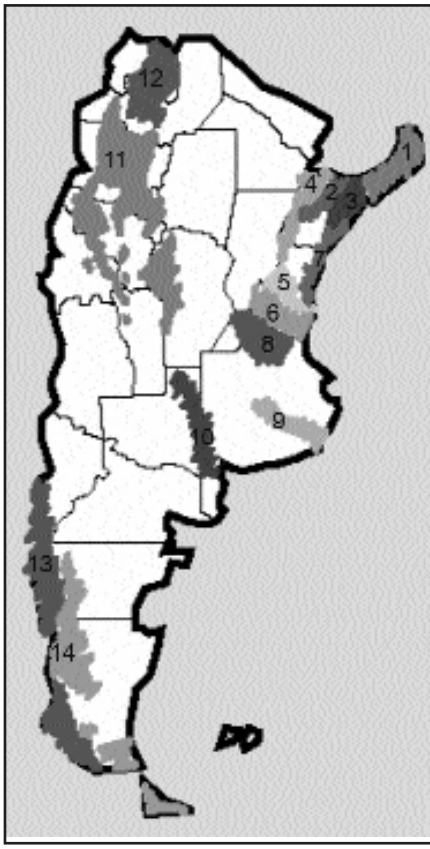
En los últimos años, una empresa intentó reactivar el nicho comercial que representa este producto, importándose unas 5 mil t de Gafsa, Túnez. Se llevaron a cabo nuevos ensayos de campo que validaron esa tecnología con resultados positivos en trigo, (Fig. III-9, Melgar y Lavandera, 2002) y en alfalfa, (Cuadro III-15, Informe INTA - Túnez no publicado, 2001).

Con respecto a las rocas de origen local, un estudio reciente caracterizó muestras de distintos orígenes (cuadro III-16). Las rocas evaluadas fueron tres: de Río Negro (Sierra Grande, 6, Fig. III-6), de Jujuy (Laja Morada, 1, Fig. III-6) y de Chubut (Río Chico, 12, Fig. III-6); de la primera se evaluó además un concentrado de las colas de flotación.

Los valores de solubilidad fueron bastante bajos como para su uso directo, sin embargo utilizadas

Localidad		pH	P-Bray	Resp. Relativa al SFT %		Responsable (Est. Exp.)	Roca Fosfórica
				1° año	2° año		
La Emilia	Santa Fe	5.6	12.7	29.5	65.3	H. Vivas (Rafaela)	GAFSA
Esperanza	Santa Fe	5.5	8.5	69.8	-	H. Vivas (Rafaela)	GAFSA
Concepcion	Entre Ríos	6.0	8.0	117.5	123.1	N.Arias (Conc. Uruguay)	GAFSA
Villegas	Buenos Aires	5.9	9.0	36.1	-	M. D. Zorita (Villegas)	GAFSA
25 de Mayo	Buenos Aires	6.2	6.0	42.2	29.7	R.Melgar (Pergamino)	GAFSA
Pergamino	Buenos Aires	5.9	21.0	59.4	64.9	R.Melgar (Pergamino)	GAFSA
Balcarce	Buenos Aires	5.5	12.0	45.0	104.0*	A. Berardo (Balcarce)	Car. Norte

Cuadro III-15. Resumen de resultados de ensayos de eficiencia agronómica de rocas fosfóricas en alfalfa.



1. Misiones - NE de Corrientes: Suelos rojos. Meteorización avanzada. Sesquióxidos libres. Bien provistos de MO, P fijado, ácidos con bajo CIC y % SB. pH entre 4,3 - 5,8. Precipitación 1600 mm.

2. Este de Corrientes: Hidromórficos. Bien provistos de MO. Acidez con pH de 5,5. Precipitación: 1400 mm.

3. Centro-Norte de Corrientes: Mal drenados, reacción ácida, no salinos. Precipitación: Media anual 1600 mm.

4. Oeste de Corrientes y NO de Entre Ríos: Albardón arenoso y profundo, reacción ácida. Precipitación: 1100 a 1300 mm.

5. Oeste de Entre Ríos: Area ondulada. Vertisoles con Argiudoles vérticos. Baja permeabilidad. Acidez en superficie, con pH que aumenta en profundidad de 5,5 a 8. Precipitación: 1000 mm.

6. Sur de Entre Ríos, Islas y Delta del Río Paraná: Arenosos, con napa de agua cercana, anegadizos. Acidos. Precipitación: 950 a 1050 mm.

7. Margen derecha Río Uruguay en Entre Ríos y Corrientes: Arenosos sobre subsuelo arcilloso-arenoso, moderadamente drenados. Acidos. Bajo CIC y % SB. Precipitación: 1300 a 1400 mm.

8. Centro, Este y Sur de Santa Fe, NO de Buenos Aires: Argiudoles, con B2 textural. Bien provistos de MO y nutrientes. Levemente ácidos en superficie y modera-damente alcalinos en profundidad. Precip.: 950 mm.

9. Sistema de Tandilla-Centro SE de Buenos Aires: Bien drenados. Ricos en MO y en nutrientes, son ligera-mente ácidos a neutros. Precipitación: 800 mm.

10. Centro Este de La Pampa y pequeñas áreas de SO de Buenos Aires y SO de Córdoba: Textura liviana. Horizonte petrocálcico a 1 m de profundidad. Moderadamente provistos de MO y nutrientes. Ligeramente ácidos en superficie. Precipitación: 550 a 600 mm.

11. Sector serrano de Catamarca, La Rioja, Córdoba, San Luis, San Juan y Tucumán: Suelos someros. Perfil poco desarrollado. Pobres en MO y en nutrientes. Acidos a neutros. Precipitación: 500 mm.

12. Este de Jujuy, NO y Sur de Salta: Las zonas de bosque: Bien provistos de MO y ácidos.

13. Centro Oeste de Neuquén: Desarrollados sobre cenizas volcánicas. Horizonte A 1 ácido, con bajo % SB. Ricos en MO y nutrientes.

14. Santa Cruz y Tierra del Fuego: Suelos medianamente profundos. Horizonte A 0

Figura III-8. Distribución de los suelos ácidos en Argentina (INTA, Castelar).

en fertilizantes compactados con fertilizantes solubles en una proporción de 50:50 (la mitad del P_2O_5 total de la RF y la otra mitad del SFT), presentó una efectividad agronómica relativa aceptable, en el orden del 60 % en experiencias en macetas (Melgar, 2004); resultados que coincide con otras experiencias independientes (Castro et al, 1998b, Castro y Tourn, 2003).

El uso recomendado de rocas fosfóricas de acuerdo a la experiencia recogida se indica para suelos ácidos, de pH menores a 6.2, en fertilización de reconstrucción, o complementaria con el uso de fertilizantes solubles a la siembra, y agricultura orgánica en general. Actualmente no hay oferta de roca fosfórica importada en el mercado local. Recién el año pasado una pequeña empresa intenta la explotación y comercialización de roca fosfórica local del depósito de Bajada del Agrio en Neuquén (7, cuadro III-13, Fig. III-6).

Proyectos industriales

Los resultados concretos del aumento de la demanda de fertilizantes y la creciente madurez del mercado condujeron en los últimos años al desarrollo de proyectos industriales para fabricar

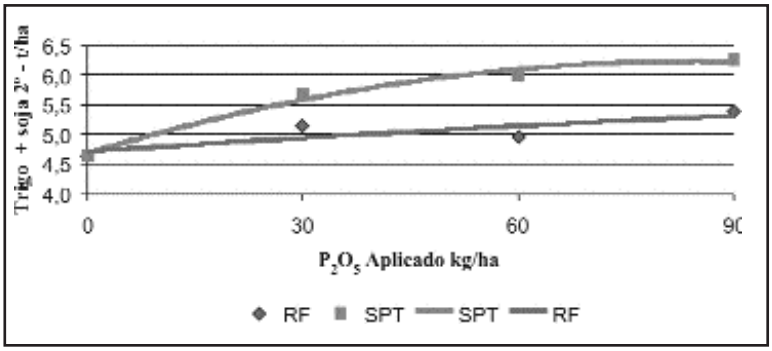


Figura III-9. Respuesta relativa de la roca fosfórica de Gafsa en aplicaciones al trigo en relación al Superfosfato, (Melgar y Lavandera, 2002).

superfosfato simple, debido también a la creciente demanda de azufre por la agricultura Argentina. La falta de una provisión local de roca fosfórica en parte se compensa por una mediana capacidad instalada y potencial suministro de ácido sulfúrico en el cordón industrial de Rosario.

Los proyectos pertenecen a tres importantes empresas que participan del mercado, y a la fecha de escribir este informe, una de ellas (Mosaic S.A, ex-Cargill) ya está en producción preliminar y tendrá una capacidad instalada de 250 mil t de producción anual, con planes de expansión futuros. Los otros dos proyectos pertenecen a Bunge de 200 mil t y Petrobras Energía de 350 mil t /año. Tienen en común con la planta de Mosaic, que adquirirían la roca fosfórica de materia prima del exterior y el ácido sulfúrico de empresas locales. Estarían instalados sobre el Río Paraná y prevén exportar lo que no puedan ubicar en el mercado interno. La demanda posible prevista para los próximos años hace difícil pensar que se concreten los dos proyectos restantes, aunque es posible que otro adicional avance.

Consideraciones Finales

De los tres nutrientes primarios nitrógeno, potasio y fósforo, necesarios para los cultivos, el fósforo es el más crítico ya que solo se puede reponer por fertilizantes de los que se depende de la importación, mas de 800 mil t por año mientras que hay buena provisión local de nitrogenadas y las necesidades de potasio no son acuciantes. Recién a partir del 2006 Argentina contará con un suministro local, aunque basado en la importación de roca fosfórica.

En nuestro país se registran más de 90 manifestaciones de depósitos sedimentarios marinos con potencial fosfático, a lo largo de toda la columna geológica. De la evaluación de los depósitos conocidos los del Cretácico y los del Paleógeno y Neógenos de Patagonia son los considerados con mayor potencial económico. Otras fuentes indican buenas perspectivas para los de edad ordovícica del Noroeste argentino. Más allá del alto potencial fosfático que tiene la Argentina, sólo existe una incipiente explotación en la provincia de Neuquén, por lo se cual justifica intensificar la búsqueda para cubrir en un futuro cercano la demanda local parcial o total.

Si se considera que la agricultura incide en un 8 % del PIB nacional y genera ganancias por exportaciones agrícolas por 12 mil millones de dólares anuales, no cabe duda que es de principal importancia intensificar la búsqueda para lograr en un futuro próximo no sólo tender al autoabas-

tecimiento sino generar fuentes alternativas de exportación con base en la minería beneficiando a la industria agrícola e incidiendo positivamente al desarrollo sustentable del país.

Bolivia

Liliana N. Castro[1] y . Ricardo J. Molgar[2] (Ex aoquo)

Introducción

Bolivia es un país de grandes contrastes. La división del país en tres grandes regiones el área andina de tierras altas y la de las llanuras o tierras bajas traslada contrastes similares a toda la economía y la sociedad. Es un país minero con grandes recursos minerales, pero su agricultura no los demanda, y no porque sus suelos no los necesiten. Mientras que el área andina mantiene una agricultura tradicional con cultivos de subsistencia que aseguran la provisión de alimentos para su población, el área de llanuras o yungas cultiva productos de renta con destino a la exportación, desde la coca hasta la soja. A su vez experimenta el mismo proceso de todos los países de la región subtropical, expandiendo su agricultura a expensas de la deforestación de selvas y bosques nativos.

Los altísimos costos de transacción de la economía de Bolivia resultan en los fertilizantes más caros de Latinoamérica. Por otra parte, pertenece a la comunidad de países con recursos fosfáticos abundantes que podrían satisfacer plenamente las necesidades nacionales. Los principales cultivos del país, sea de alimentación o de renta precisan fertilizantes. Pero en la medida que el sector distribuidor o productor de fertilizantes no desarrolle el negocio, poco podrá avanzarse en la integración de la oferta de productos mineros con la demanda de la creciente agricultura del país.

Manifestaciones fosfáticas

Los estudios geológicos han identificado dentro de las secuencias precámbricas, ordovícicas, cretácicas y recientes anomalías de fosfato (Appleton y Nothold, 2002). De éstas, dieciséis se localizan en fosfatos sedimentarios de la edad ordovícica superior. Lentes de fosforita se han detectado en las secuencias marinas ordovícicas correlacionables con los niveles localizados en Argentina y Perú.

Proterozoico Medio

La cuarcita proterozoica media de la Formación Esquistos Cristal (1.600-1.280 mA) contienen

[1] *Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Argentina lilianacastro@fibertel.com.ar;*
[2]. *INTA Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Pergamino. rmelgar@pergamino.inta.gov.ar*

10% P_2O_5 (Appleton, 1991). Aunque se ha reconocido a nivel mundial un episodio fosfogénico global en el Proterozoico medio (? 1200-1600 mA), en la Formación Esquistos Cristal no se observan las fases comúnmente asociadas a fosforitas de este episodio.

Proterozoico superior-Eocámbrico

En Cerro Colorado en el este Bolivia, (Litherland, 1986; Appleton, 1991) localizaron niveles de poco espesor enriquecidos en fosfato (hasta 11.9% P_2O_5) asociados a hierro hematítico jasperoide. Los niveles ferrosos son probablemente equivalentes en edad a las fosforitas de Patos de Minas en el Brasil.

Ordovícico

En 1976, GEOBOL junto con RTZ han realizado investigaciones geológicas de detalle. Se localizaron aproximadamente 1.5 millones de toneladas de reservas entre medidas e indicadas de roca fosfática con el objeto de instalar una planta de fertilizante. Se concluyó que los niveles fosfáticos del Cardociano (Ordovícico Superior) de la Formación Anzaldo, ubicados en el área de Capinota, (aproximadamente 35 km al suroeste de Cochabamba -66°21'W, 17°39'S- presentaban las mejores características. De acuerdo con los estudios realizados, se han detectado quince áreas de interés, donde los recursos se calculan en 2,8 millones t de roca fosfática, de las cuales 1,2 millones t, tienen una ley media de 25.4% P_2O_5. Estos niveles de 11 m de espesor denominados "capa 37" se localizan en el sector de la Pampa de la Paloma, 13 km NO de Capinota y a 9 km SSO de Parotani (GEOBOL-ENAF, 1979).

Figura. III-10 Localización de los depósitos de fosfatos en Bolivia

Las fosforitas de Capinota se componen de valvas fosfatizadas y pellets fosfáticos de hasta 1000 micrones en longitud en una matriz de chert-goethita. Las valvas fosfatizadas son composición apatítica casi pura mientras que los pellets fosfáticos contienen trazas de sílice (Appleton, 1991). La apatita forma aproximadamente el 60% de la roca fosfática de alta-ley. La reactividad química de la roca fosfática de Capinota indicada por su solubilidad en el ácido cítrico es del 2% (7,4% P_2O_5), similar a la las rocas fosfáticas Florida y de Lobatera (Venezuela) y más alta que la de los Patos de Minas (Brasil) y Huila, Sardinata y Pesca (Colombia); materiales que no son o no han sido utilizadas como fertilizantes de uso directo (Appleton, 1990; Appleton, 1991; Appleton, 1995; Goedert et al., 1987).

El contenido medio P_2O_5 de la roca fosfática en

Capinota es del 25% y las concentraciones medias Fe_2O_3, Al_2O_3 y SiO_2 son aproximadamente del 7%, 3% y 21%, respectivamente. El cociente Fe_2O_3 + Al_2O_3/P_2O_5 (0,32 a 0,87) cerca de diez veces más alto que el valor máximo recomendado que es de 0.05 para las plantas del ácido fosfórico (Hignett, 1985) Esto implica que debería concentrarse por lo menos al 30% P_2O_5 y menos del 3-5% R_2O_3 (Fe_2O_3 + Al_2O_3). Estas impurezas no limitarían el uso directo de la roca fosfática de Capinota como fertilizante. Los elementos potencialmente tóxicos son bajos (<1 a 1 mg/kg Cd) lo cual no generaría problemas ambientales.

Las pruebas experimentales preliminares indicaron que se puede llegar a una concentración mayor de la roca fosfática de Capinota para mejorar la ley P_2O_5, (Appleton, 1995). Además, la cantidad de reservas de roca fosfática es probablemente bajo para justificar la inversión de capitales requerida para una planta flotación que sería necesaria producir ácido fosfórico o TSP.

El consumo estimado P_2O_5 en Bolivia es de solamente 8.300 t/año (www.cepal.org), escaso para justificar la instalación de una planta del ácido fosfórico solamente para abastecer al mercado boliviano.

En el sector de la Pampa de la Paloma sería posible una explotación de la roca fosfática a cielo abierto en pequeña escala. En sectores pequeños en Capinota, sería posible una explotación subterránea "artesanal" con métodos no mecanizados. Sin embargo, las condiciones inestables desde el punto de vista estructural causadas por la composición litológica de las paredes (pelitas de la pared colgante) y la falta de experiencia local de este tipo de explotación, no harían rentable la explotación subterránea en Capinota.

Existen otros sitios, por ejemplo como el del km 47 en el camino nuevo de Cochabamba a Oruro, donde los horizontes de roca fosfática (0,7 - 0,9 m de espesor) están aflorando y la sobrecarga compuesta por pelitas es relativamente de poco espesor (1 a 5 m). Aproximadamente 140.000 y 200.000 t de reservas inferidas se estiman en dos localidades cercanas al km 47, donde la roca fosfática se podría explotar más económicamente que en Capinota por métodos a cielo abierto. Además, los recursos de la roca fosfática en el km 47 están cerca de 1 km del camino principal mientras que en Capinota sería necesario construir una vía de acceso de 5 km. Los costos de explotación serían bajos y la inversión inicial debería ser en maquinaria para molienda y tamizado. Más allá de ser depósitos muy pequeños podrían abastecer parcialmente el mercado local especialmente para el uso directo en suelos ácidos.
Además de las manifestaciones de la roca fosfática del Ordovícico (Gonzáles 1985; 1983), Notholt (1999) registró cerca de Chacarilla, en la provincia de Sicasica, Departamento de Paz, a 72 kilómetros ONO de Oruro, niveles fosfáticos de 10 a 30 cm de espesor con una ley promedio del 24% P_2O_5. Estos niveles fosfáticos están asociados a calizas ferruginosas fosilíferas y fueron los primeros depósitos marinas de fosfato de la edad de ordovícica que se descubrieron en Sudamérica.

Cretácico

Dentro del Complejo carbonatítico silicificado de Cerro Manomo (este de Bolivia) se localiza un cuerpo de probable edad cretácica compuesto principalmente por apatita, goethita y meta-autu-

nita-autunita; (Fletcher et al., 1981). El cuerpo fosfático tiene aproximadamente 150 m de largo, 30 m de ancho y de profundidad desconocida. La ley de P_2O_5 varía entre 4 y 25% (promedio el 5%) mientras que la de U entre 0.01 a 0.7% (el promedio 0.1% U). Minerales de tierras raras y niobio se asocian al Complejo Carbonatítico (Burton, 1982; Burton, 1983; Fletcher et al., 1981; Llanos, 1984).

Reciente

Los depósitos superficiales recientes del fosfato terroso aparecen en Huari y Soledad Huari-Challapata, Pazña, Poopó, Paria, Soledad, Sepulturas, Agua de Castilla. (Dpto de Oruro). De éstos, solamente el depósito de Sepulturas (a 7 km al E de Oruro) se ha estudiado detalladamente. Cubre un área de 10.000 m2 y se estima un volumen de 300.000 m3 con un espesor medio de 0.5 m y una ley de de 9.3% P_2O_5 (González, 1983).

En la vecindad de Laguna Mandiore, cerca de la frontera brasileña, se informó de depósitos fosfáticos de la edad desconocida que pueden alcanzar 20 Mt (Gonzáles, 1985; González, 1983). Esta manifestación no fue confirmada por Proyecto Precámbrico (Appleton, 1991).

Producción

Notholt (1999) indicó que los depósitos descubiertos en 1951 en la provincia de Chichas del Sur (40 km al sur de Sucre) presentaban una ley promedio del 9% P_2O_5 con una reserva estimada en más de 1 millones de toneladas Éstas son probablemente las manifestaciones de Quivincha, de Buey Tambo, de Betanzos y de Lagunillas de edad ordovícica situada cerca de 55 km al S de Sucre (González, 1985; Gonzáles, 1983).

Según la bibliografía una pequeña compañía en 1952 produjo entre 80 y 100 toneladas/año de fosfato finalmente molido para aplicación uso directo como fertilizante. Sin embargo, el fosfato de liberación lenta estaba parcialmente disponible debido a la naturaleza alcalina de los suelos en esa parte de Bolivia. No se indica ninguna otra producción (Notholt, 1999). Solo algunas toneladas de roca fosfática de la Pampa y del km 47 de Paloma en el área de Capinota se han extraído y molido para ensayos agronómicos.

Requerimientos de nutrientes por los cultivos en Bolivia

Agro-ecosistemas agrícolas

Puesto que Bolivia es un país de gran heterogeneidad ecológica, para abordar los problemas de la erosión actual y potencial conviene dividirla en ecoregiones uniformes (MACA 1975; Ellenberg, H. 1981) (Cuadro III-17, Figura III-11). Las características fisiográficas, climáticas y edáficas, dividen el territorio nacional en tres pisos ecológicos sea este alto (Altiplano), medio (Valles y yungas) ó bajo (Llanura Chaco beniana), y cada uno presenta suelos con limitaciones nutricionales en los cultivos propios de cada piso ecológico.

Ecorregiones	Área 000 km^2	Alturas m snm	Fisiografía	Precipitación mm/año
Selva húmeda montañosa	68.9	1500-3000	Sub-andino	2000-5000
Selva sub-húmeda baja	211.1	280-400	Esc. Brasilero, Lomas del Acre	2400-1900
Sabanas inundadas mas de cinco meses	150.9	180-250	Esc. Brasilero, Llanura Chaco Beniana	1000-1800
Bosques semi-húmedos montañosos y bajos	151.7	500-700	Zona Subandino, Llanura Chaco Beniana, Esc. Brasilero	1000-1200
Valles y montañas semi-áridas	121.6	1500-2500	Sub-Andino	250-1200
Monte semi-árido bajo	125.0	300-900	Llanura Chaco Beniana	300-900
Puna semi-árida/Puna semi-húmeda (altiplano)	25.6	3500-4100	Altiplano	520-650
Puna semi-árida/Puna semi-húmeda (altiplano)	70.4	3000-3500	Altiplano	300-400
Piso alto Andino semiárido - semihúmedo	57.6	3900-5000	Cadena Montañosa	500-800
Piso alto Andino semiárido - semihúmedo	44.8	3900-5000	Complejo Volcánico	50-300

Estos ecosistemas tan diferentes condicionan dos agriculturas totalmente distintas. Mientras que en el altiplano se cultivan productos para la alimentación básica de la población, en las tierras bajas empresarios productores de países vecinos cultivan soja en grandes extensiones mecanizadas.

Cuadro III-17. Ecorregiones de Bolivia (MACA 1975; Ellenberg, H. 1981).

En el altiplano la papa es por lejos el cultivo principal; constituye el alimento básico de los coyas (chollas) desde los tiempos preincaicos. Con 135 mil has es el cultivo más importante en la mayor parte en el altiplano y en los valles. También consume mas del 80 % de las 27 mil t de fertilizantes importados. El maíz es el segundo cultivo más importante, y se distinguen dos subtipos el blanco con 170 mil has que se produce en el altiplano y las yungas, y el maíz amarillo que se cultiva en las tierras bajas tropicales de Santa Cruz. El 60 % es cultivado por pequeños productores, que lo usan tanto para consumo propio, para alimentación animal o para fabricar chicha; y el restante produce cerca de la mitad de la producción nacional por medianos a grandes productores en Santa Cruz y se destina principalmente a plantas de alimentos balanceados. Otros cultivos menores del altiplano son el trigo, la cebada entre los cereales. La quínoa es un cultivo tradicional de la puna que ha aumentado su participación. (CIA, Facts, 2004).

Entre los cultivos de renta, la soja es el más lucrativo entre los legales. La exportación de harina de soja es crítica para la economía boliviana, segunda en valor después del gas natural, habiendo exportado el año pasado más de 1 millón de t. El principal destino es la comunidad andina que tiene preferencias arancelarias contra otros países productores. Santa Cruz de la Sierra es la principal provincia que la cultiva, en tierras desmontadas a una de las tasas mas agresivas de Latinoamérica. Considerando que el área con soja cubría un área de 19 mil has en 1978 y una década después ésta llegaba a 65 mil el área cultivada crece exponencialmente; y en los últimos años, a una tasa del 7,5 % anual, acercándose al millón de has (950 mil has en 2004). Ya en la década de los 1950 el área vecina a la capital Santa Cruz de la Sierra se había convertido en un importante polo agrícola nacional, autoabasteciendo al país con caña de azúcar, arroz y frutas cítricas. En los 90, productores mecanizados llegados desde el extranjero rápidamente deforestaron grandes áreas alrededor de la ciudad que en 1998 habían llegado a 30.700 km^2. En los

últimos años la soja se va expandiendo hacia el Chaco a tierras más fertilidad (Steininger et al 2001). Debido al dinamismo de este cultivo, los productores reciben la mayor disponibilidad de crédito. Sin embargo, a pesar de la definida importancia del cultivo en la economía nacional, no se registran aplicaciones de fertilizantes para soja.
El cultivo paradigmático de Bolivia, sin embargo, es la coca. Por su procesamiento a cocaína es por lejos el más lucrativo. Tiene además la singularidad que aún con los avances científicos, los intentos de sintetizarlo químicamente no han reemplazado al producto generado por la agricultura. Bolivia es el segundo productor mundial después de Colombia, y la economía generada equipara a la exportación generada por la agricultura legal. La coca se ha cultivado por siglos y sus hojas son consumidas por los habitantes de la Puna, incluido en Argentina. Su cultivo creció fuertemente desde los 80 y la cadena agroindustrial generó millones de dólares al país, aún con enormes riesgos para sus trabajadores.

El gobierno comprometió esfuerzos para limitar la explosiva expansión del cultivo en 1983, que luego amplió en 1987 con apoyo dinerario y logístico de E.E.U.U. Los esfuerzos apenas contribuyeron a disminuir el área, y tuvo más efecto en desalentar el cultivo una caída del precio local de la coca derivada de la disminución del precio de la cocaína en EEUU en 1988 que los intentos por sustituirlo por otros supuestamente rentables (Sanabria, 1993). El esfuerzo fue frustrante ya que a medida que se destruía la coca el precio local aumentaba haciéndola más atractiva a otros que entraban en el negocio de producirla.

En 1988 el cultivo se volvió ilegal por fuera de unas 12 mil has "legales" para el consumo local con adicionales esfuerzos para convertir el área de coca en cultivos legales. Varios cultivos se ofrecieron como alternativa a pesar de que el margen era apenas una fracción que lo que daba la coca. El Programa de Desarrollo Alternativo Regional en el Trópico de Cochabamba (TC) desde hace varios años atrás ha promocionado el cultivo de varias especies para diversificar la producción agrícola de la zona, incluyendo banano, piña, palmito, maracuyá, pimienta, pasturas y otras en cuyo cultivo están involucrados miles de pequeños productores (Ferrufino y Junco 2004).

Fertilidad de los suelos y demanda de fertilizantes

El Mapa de Suelos de FAO, indica a los Acrisoles y Litosoles entre los que proporcionalmente mas extensión ocupan; son suelos ácidos, de baja fertilidad y alta toxicidad de aluminio, propio de climas tropicales y húmedos. Una significativa proporción de suelos con mal drenaje (Gleysoles) ocupan extensiones de la llamada Llanura Beniana. Bolivia, en su región andina, tienen una proporción alta de suelos superficiales y en pendientes pronunciadas (Litosoles) y suelos de origen volcánico (Andosoles).

En el cuadro III-18 se muestra la extensión en porcentaje del área total de los tipos de suelos de Bolivia con limitaciones de suelos para la producción agrícola. La interpretación para las limitaciones de suelos se ha basado en una adaptación del Sistema de Clasificación de Capacidad de los Suelos por Fertilidad (Sánchez et al., 1982) a la versión digital del Mapa de Suelos del Mundo y de la Clasificación ZAE de clima (FAO/Unesco 1971-1981 y FAO, 1978-1981, respectivamente).

A pesar de la extensa proporción de suelos con deficiencias de nutrientes, Bolivia es el país de menor consumo de nutrientes minerales de Latinoamérica, con 9 kg/ha/año. Muy distante de

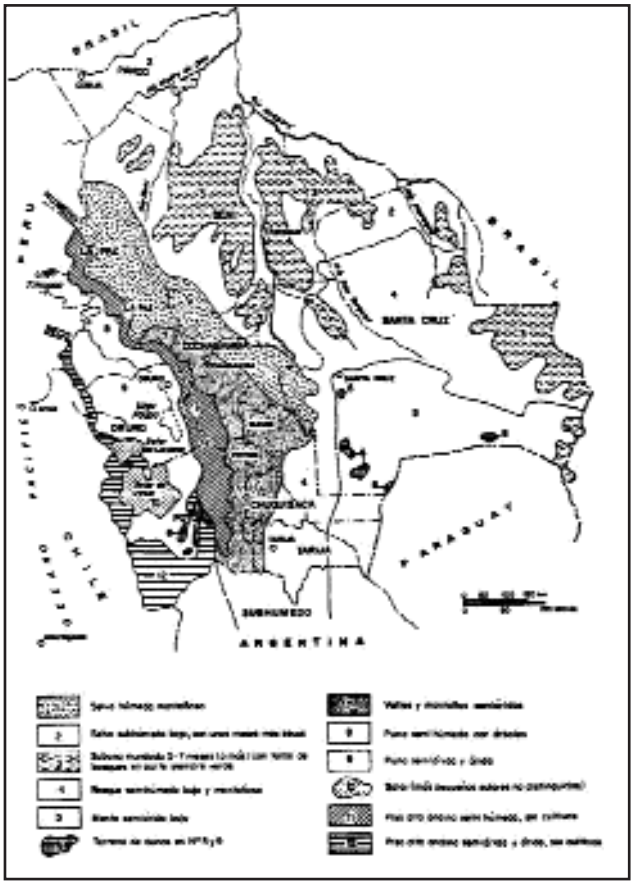


Figura III-11. Ecorregiones de Bolivia según Cuadro III-17. (Ellenbergh, 1981).

otros países de la región, que también se caracterizan por un bajo consumo. En Argentina, por ejemplo, el consumo en 1991 fue de 6,6 kg/ha de nutrientes y ascendió a 30 kg/ha en 1996; es decir, un crecimiento de 350% en cinco años o un crecimiento anual compuesto de 35% y Perú incrementó su consumo entre 1991 y 1996, de 22.6 kg/ha a 31 kg/ha. Si bien no se disponen de suficientes datos estadísticos hay datos que indican que Paraguay incrementó su consumo, en el mismo período, de 9,3 kg/ha a 18 kg/ha y Ecuador de 49,4 kg/ha a alrededor de 90 kg/h. Los datos más recientes de consumo de fertilizantes (FAO, 2002) marcan unas 6,3; 6,6 y 0,9 miles de t de fertilizantes de N, P_2O_5 y K_2O respectivamente. Lo que sugiere un bajo uso promedio en general.

El relevamiento mencionado de la fertilidad de los suelos de la región de Chapare indica que los factores más restrictivos para la productividad y persistencia de los cultivos de banano, palmito, piña y pastos son la acidez, la baja fertilidad y el drenaje restringido. Los suelos del Trópico de Cochabamba (TC) presentan, predominantemente, bajos contenidos de Ca y Mg intercambiables (hasta 3 cmol/kg). En la cuenca del río Chapare se encuentran contenidos intermedios de estos nutrientes, debido a que en la zona cordillerana de esta cuenca se encuentran depósitos de dolomita en la porción cordillerana de la cuenca, material arrastrado por los sedimentos que acarrea ese río.

Los contenidos de K intercambiable son principalmente bajos a medios en los suelos. Sin embargo, presentan contenidos diferentes de minerales meteorizables que pueden aportar K para los cultivos, que generalmente extraen K en cantidades importantes. En los suelos de la cuenca del río Chapare se menciona la presencia de micas y feldespatos, principalmente

La mayor parte de los suelos del TC tienen niveles de pH entre 4 y 5, lo que los caracteriza como suelos ácidos. Los suelos de la cuenca del río Chapare son los menos ácidos de la zona. Los niveles de P son limitantes para la producción de cultivos; en su mayor parte el contenido de P asimilable oscila entre 1 y 10 mg/kg, requiriendo fertilizantes fosfatados para su explotación económica. Si bien los contenidos de P en la zona son bajos, en general la capacidad de fijación

Tipos de Suelos		Limitantes de suelos
		QUIMICAS
	%	
Acrisols	21	Toxicidad de aluminio
Litosols	20	Bajas reservas de potasio
Luvisols	9	Fijación de fósforo
Gleysols	7	Suelos ácidos
Planosols	6	Materiales amorfos
Cambisols	6	Salinidad
Xerosols	5	Exceso de sodio
Kastanozems	4	Carbonato de calcio libre
Andosols	4	Bajas reservas de nutrientes
Flavisols	3	***FISICAS***
Regosols	3	Terrenos en pendiente
Solonetz	2	Suelos superficiales
Ferralsols	2	Drenaje pobre
Arenosols	2	Propiedades vérticas
Otros	6	Sin limitaciones

Cuadro III-18. Distribución de tipos de suelos y limitantes de orden químico o físico para la productividad agrícola en Bolivia.

	Altiplano	Valles & Yungas	Tierras bajas	Total
	Miles de Toneladas			
Papa	10,10	10,00	2,15	22,25
Cebada	0,05	0,05		0,10
Maiz(Choclo+grano)	0,10	1,20	0,03	1,33
Trigo &cebada	0,09	0,35	0,14	058
Caña de azúcar			0,80	0,80

Cuadro III-19. Consumo de fertilizantes por cultivo y región en Bolivia (1999).

de P es baja, en comparación de otros suelos de los trópicos de Sud América y aumenta con el contenido de arcilla de los suelos (Ferrufino y Alvarado, 1990).

La combinación de niveles de acidez elevada, con presencia de aluminio, y bajos niveles de fósforo hacen que la región sea una importante demandante potencial de rocas fosfóricas y dolomitas. Sin embargo se registra un uso marginal de calcáreos en la región del Chapare (Iriarte y Quiroga, 1993).

Un estudio de FAO en 1999, reveló que los cultivos que más demandaban fertilizantes fueron jus-

tamente aquellos en que la relación costo beneficio era la mas baja, precisamente en papa y maíz en segundo lugar (Cuadro III-19). Los precios de los fertilizantes en Bolivia bajo el actual régimen impositivo, son 30 a 50 % mayores que en Argentina y Chile. Sin embargo, éste no es el único problema. El mercado de los fertilizantes en Bolivia es en estado de confusión. Los fertilizantes a menudo están adulterados, hay pocas posibilidades de elección y a veces hay escasez. Mas aún, este pequeño mercado está limitado por el alto nivel impositivo, las donaciones, las importaciones ilegales, la falta de control de calidad y las dificultades para obtener licencias de importación.

Proyectos

Si bien no directamente desde la minería, desde hace unos años, está en marcha un proyecto para la fabricación de fertilizantes localizado en las cercanías de Santa Cruz. El proyecto consiste en la construcción y operación de una planta de nitrato de amonio con una capacidad de 90 mil t año y dos unidades de mezclas físicas de fertilizantes con una capacidad de mezcla de 25,000. Una de las plantas en Santa Cruz y la otra en Cochabamba. La producción atendería dos mercados diferentes (1) como grado fertilizante para venderse para aplicación directa o para preparar mezclas NPK con materiales importados; y (2) como grado industrial para la minería y proyectos de construcción de infraestructura. La compañía operante es Petroquimica Boliviana SA. El proyecto estuvo demorado a raíz del tratamiento de la nueva ley de hidrocarburos por más de dos años. Esta (Ley 3058) ha sido recientemente aprobada con lo cual el proyecto se ha reactivado. El complejo entrará en producción en enero de 2007.

El proyecto contempla la instalación de una red de distribución propia con un tercer punto de distribución mayor en la ciudad de El Alto, departamento de La Paz. La infraestructura comercial estará apoyada por un departamento de asistencia técnica[3].

Existe además un proyecto para construir una planta de urea del orden de 100 mil t año logrando el autoabastecimiento con excedentes exportables para Argentina y Brasil. El proyecto aprovecha las abundantes reservas gasíferas nacionales.

Consideraciones finales

El alto costo de transacción que caracteriza a la economía de Bolivia hace difícil pensar en una integración exitosa entre la explotación minera y agropecuaria. Si bien limitado, existe un mercado actual y con posibilidades de expandir la demanda varias veces para productos de rocas explotables locales, ya sea rocas fosfóricas como calcáreos o yesos.

Estos recursos no obstante precisarían de otra estructura industrial para poder explotarse y comercializarse en el mercado local o de exportación. La limitada infraestructura vial en este senti-

3. Raul Vargas Delos. Comunicación personal

do, así como la escasa demanda de la agricultura regional de los países vecinos no haría posible económicamente la exportación de estos minerales.

El proyecto de fabricación de nitrato de amonio en el área de Santa Cruz podría hacer viable eventualmente el desarrollo de una industria local de fertilizantes que integre los recursos mineros locales.

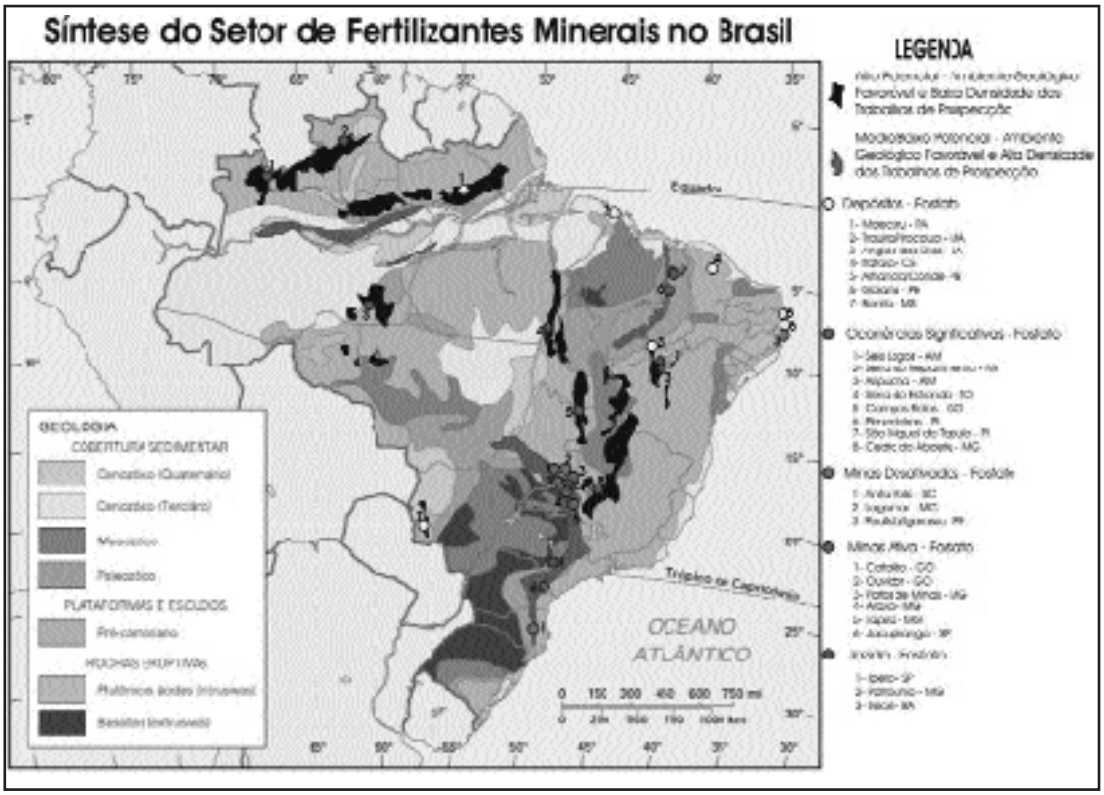
Brasil

Recursos Minerais e produção de fosfatos

Francisco Eduardo Lapido-Loureiro[1], Núria Fernandez Castro[1] y Rosana Elisa Coppedê da Silva[1]

Introdução

A prática de usar materiais fosfáticos como fertilizantes é tão antiga que não há registro de seu início. Excrementos de aves eram usados pelos cartagineses há mais de 200 anos a.C. e os incas utilizavam guano muito antes da chegada dos espanhóis à América do Sul (Waggaman, 1969a).



1Centro de Tecnologia Mineral - CETEM - flapido@cetem.gov.br

O fósforo foi isolado pela primeira vez em 1669 pelo alquimista alemão Henning Brandt ao evaporar grandes quantidades de urina humana. Foi somente em 1840 que o químico Justus von Liebig formulou a base científica de produção de ácido fosfórico. Em 1842, o fazendeiro inglês Bennet Lawes patenteou um processo de acidulação de nódulos fosfatados (coprólitos) e deu a este produto o nome de superfosfato, que se mantém até hoje (Waggaman, 1969a).

Sendo um dos três macronutrientes principais, o fósforo é elemento fundamental no processo de conversão da energia solar em alimento, fibra e óleo pelas plantas. "Desempenha função chave na fotossíntese, no metabolismo de açúcares, no armazenamento e transferência de energia, na divisão celular, no alargamento das células e na transferência da informação genética. O fósforo promove a formação inicial e o desenvolvimento da raiz, o crescimento da planta /.../ e é vital para formação da semente" (POTAFOS, 2005).

Habitualmente apenas estão presentes pequenas quantidades de fósforo no solo. Há uma liberação natural, constante, a partir dos constituintes minerais e da matéria orgânica, mas a um ritmo insuficiente para compensar o seu consumo pelas plantas e pela exportação nos produtos agrícolas. A complementação ou reposição durante o processo de cultivo é realizada com a aplicação de fertilizantes, indispensável na agricultura intensiva.

São conhecidos 370 minerais com teores de fósforo acima de 10 % (WEBMINERAL, 2005). Destes, 96 apresentam teores superiores aos da apatita (18,43 %). A grande maioria, porém, tem apenas significado mineralógico e cristaloquímico.

Embora o fósforo esteja presente em numerosos minerais, apenas os da série da apatita constituem minerais de minério. As variedades fluorapatita [$Ca_5(PO_4,CO_3,OH)_3.(F,OH)$], a hidroxiapatita [$Ca_5(PO_4)_3.(OH,F)$] e, mais raramente a cloroapatita [$Ca_5(PO_4)_3.(Cl,OH)$] ocorrem nas rochas de origem ígnea, principalmente em carbonatitos. Já na maioria dos depósitos sedimentares predominam as variedades de carbonatoapatita [$Ca_5(PO_4,CO_3)_3.(OH,F)$] e carbonato-fluorapatita [$Ca_5(PO_4,CO_3)_3.(F,OH)$] (McClellan e Kauvenbergh, 1990; Zapata e Roy, 2004).

São as características mineralógicas, químicas e texturais dos minérios / concentrados fosfáticos que determinam: i) a melhor opção para seu beneficiamento e remoção de impurezas; ii) o melhor processo químico; iii) a vantagem de sua utilização como Rocha Fosfática de Aplicação Direta (DAPR - Direct Application Phosphate Rock) (Zapata e Roy, 2004)

Devido ao componente fósforo, a principal aplicação da apatita é na fabricação de ácido fosfórico para fertilizantes que, tanto em escala mundial quanto nacional, consome cerca de 90% da sua produção, restando, portanto, apenas 10% para outras aplicações. Dos fertilizantes fosfatados, 90% são obtidos por via química, 2% por via térmica e 6% são aplicados sob a forma natural. Os restantes 2% são obtidos de forma específica para outras aplicações.

Em 2003, foram comercializadas, no Brasil, 22,8 Mt de fertilizantes com crescimentos de 19,4 e de 33,3 % relativos a 2002 (19,1 Mt) e a 2001 (17,1 Mt), respectivamente (ANDA, 2004). Em escala mundial o País apresenta a segunda maior taxa de crescimento (YARA, 2004).

O mercado nacional de fertilizantes triplicou o seu volume entre 1991 e 2003 com uma taxa de crescimento anual de 8,6%, mas a produção interna satisfaz apenas uma parcela do consumo:

fósforo, 52% ; nitrogênio 32% ; e potássio 10 %. Todos os indicadores mostram claramente que essa dependência continuará a aumentar fortemente se não forem implantados novos projetos,

Itens	N	P_2O_5	K_2O	Total
1-Estoque inicial	268	377	314	959
2-Produção	762	1.923	384	3.069
3-Importação	1.694	2.102	3.942	7.738
4-DISPONIBILIDADE (1+2+3)	2.724	4.402	4.640	11.766
5-Exportação	40	14	81	262
6-Entregas	2.245	3.457	3.910	9.612
7-Quebras/Ajustes	66	98	92	256
8-ESTOQUE FINAL (4-5-6-7)	373	706	557	1.636

tanto mais que "em geral, o balanço de nutrientes na agricultura brasileira é insatisfatória. A quantidade de nutrientes removida é superior à aplicada" (FAO, 2004).
O balanço de nutrientes no Brasil, em 2004, é apresentado, de forma sintética, na Quadro (Cuadro) III-20.

Quadro (Cuadro) III-20: Balanço de fertilizantes no Brasil em 2004 (103 t de nutrientes) (Fonte: ANDA)

Os fertilizantes promovem o aumento de produtividade agrícola, protegendo e preservando milhares de hectares de florestas e matas nativas, assim como a fauna (Puggina, in: Isherwood, 2000; Lopes et al., 2003). No Brasil, entre 1970 e 2001, a produção agrícola dos 16 principais produtos cresceu 3,4 vezes, enquanto a dos fertilizantes aumentou 4,4 vezes. Naquele período a área cultivada cresceu apenas 1,5 vezes, passando de 36,4 para 56,2 Mha (FAO, 2004).

O aumento de rendimento das culturas devido à aplicação de fertilizantes teve um reflexo muito positivo em termos de conservação ambiental, como se pode constatar na Figura III-12.

Em minucioso e extenso trabalho elaborado pela Land and Water Development Division da FAO e pela Agência Internacional de Energia Atômica, Zapata e Roy (2004) chamam a atenção para o fato de numerosos depósitos de rochas fosfáticas, localizadas nos trópicos e subtrópicos, não terem sido aproveitados até hoje. Uma das razões seria a das características destas rochas fosfatadas que, embora satisfaçam uma aplicação direta, não apresentam a qualidade necessária para produção de fertilizantes solúveis em água, seguindo o processo convencional.

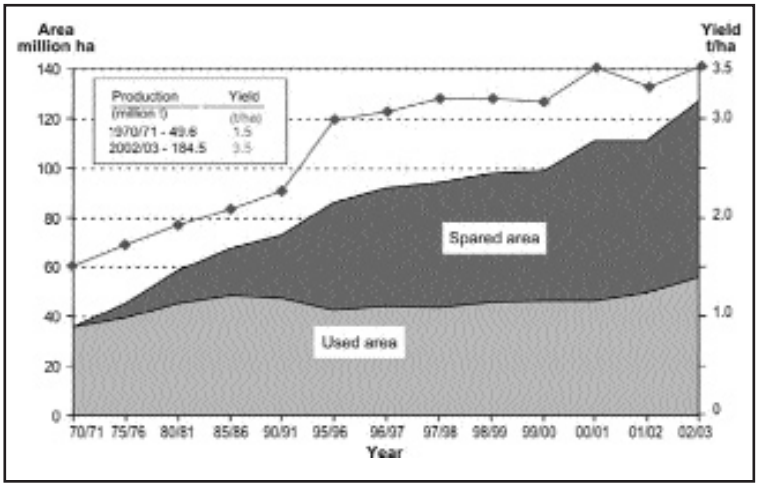


Fig. III-12 Área cultivada, produção agrícola e área poupada no Brasil. (Fonte: FAO, 2004)

As rochas mais acessíveis e de melhor qualidade tendem a ser explotadas ini-

cialmente. De acordo com as estatísticas da IFA, a média do conteúdo de P_2O_5 das 125 Mt de rocha fosfática explotadas em 1980 era de 32,7 %, enquanto as 141 Mt em 1996 foi de 29,5% (Isherwood, 2000).

A aplicação direta de rocha fosfática como fertilizante está sendo estudada em várias instituições de diversos países. Foram conseguidos progressos consideráveis nos anos 90 e os resultados estão disponíveis em várias publicações (Zapata e Roy, 2004). As de origem sedimentar são as mais adequadas para aplicação direta, porque são formadas por agregados microcristalinos de carbonatoapatitas, com uma área específica razoavelmente bem desenvolvida.

O caminho dos organo-fosfatados poderá ser mais uma opção/solução para o aproveitamento racional de minérios pobres e de rejeitos fosfatados (Oba e Pinto Chaves, 2000 e Oba, 2004).

Outro rumo que tem vindo a desenvolver-se é o da "Agricultura de Conservação"[4] ou "Agricultura Sustentável" que já é praticada no mundo inteiro em mais de 57 milhões de hectares, 3 % das terras aráveis (FAO, 2003). Esta nova prática agrícola irá modificar também o perfil da atual indústria de fertilizantes.

No Brasil o consumo aparente de fósforo pela agricultura tem crescido a taxas elevadas. De 48.200 toneladas em 1950 passou a ser de 3,54 milhões de toneladas em 2003 (Figura III-13), das quais apenas 49,3% (1,75 Mt) são produzidas no Brasil.

É neste contexto que a indústria dos fertilizantes no Brasil, nomeadamente a dos fosfatados, deve sinalizar objetivos e definir uma estratégia que lhe permita reduzir a forte e progressiva dependência externa

Recursos minerais e produção de fosfatos no Brasil

Os materiais fosfáticos no Brasil ocorrem em seis ambientes geológicos distintos (CPRM, 1997; Souza, 2001, Araújo, 2003; Lapido-Loureiro e Nascimento, 2003):

• Magmáticos - Complexos alcalino-carbonatíticos mesozóicos em que os minérios de mais elevados teores se formaram por enriquecimento supergénico de carbonatitos apatíticos e/ ou piroxenitos apatíticos: Catalão-GO; Tapira-MG; Araxá.-MG; Jacupiranga-SP; Anitápolis-SC; Iperó-SP; Patrocínio-MG, Ouvidor-GO.

• Ortomagmáticos - Complexos alcalino-carbonatíticos, proterozóicos, metamorfizados, nos quais ocorreram também concentrações residuais: Angico dos Dias-BA e Maecuru-PA.

• Metassedimentares - Nas bacias intracratônicas de idade proterozóica: Patos de Minas-MG; Irecê-BA; Lagamar-MG e Itataia-CE.

[4] Agricultura de Conservação - Surgiu como alternativa às práticas da agricultura convencional. Inclui, em geral, todo o processo que reduz, modifica ou elimina o trabalho de revolver o solo e evita a queima/remoção dos resíduos afim de manter a superfície do solo coberta durante todo o ano.

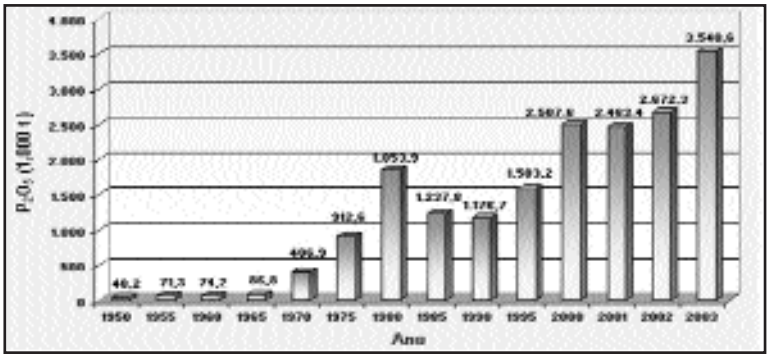


Fig. III-13 - Evolução do consumo aparente de fósforo no Brasil Fonte: POTAFOS, 2005)

• Sedimentogênicos - Nas bacias marginais mesozóicas: Paulista/Igarassu-PE, Goiana-PE.

• Lateríticos - Materiais fosfatados aluminosos resultantes da lateritização de rochas sedimentares e metassedimentares, com teores elevados de fósforo: Trauira e Pirocáua-MA. Seus minerais apresentam baixa solubilidade para o fósforo contido.

• Orgânicos - Constituídos por excrementos de aves (guano): Ilha Rasa - PE. Sem interesse econômico pelas suas baixas reservas e localização.

A apatita, embora cristalize nas fases precoces dos carbonatitos, sua principal rocha-fonte no Brasil, pode persistir, como mineralização tardia, sob a forma de fluorapatitas ou carbonato-fluorapatitas, ricas de TR e Sr . As apatitas dos carbonatitos mostram-se, com freqüência, zonadas, habitualmente com enriquecimento de ETR e Na no anel periférico e de Sr e F no núcleo.

O intemperismo dos complexos carbonatíticos, além de concentrar a apatita, pode originar alumino-fosfatos, ricos de TR, sendo os mais comuns os do grupo da crandalita $CaAl_3(PO4)_2(OH)_5.H_2O$: goyazita $SrAl_3(PO_4)_2(OH)_5.H_2O$; gorceixita $BaAl_3(PO_4)_2(OH)_5.H_2O$; florencita $CeAl_3(PO_4)_2(OH)_6$; plumbogumita $[PbAl_3(PO_4)_2(OH)_5]$.

Verifica-se, em relação aos fertilizantes fosfatados, que: i) o Brasil vem aumentando a sua dependência externa, de fosfato e derivados, com um déficit na balança comercial que atingiu, em 2003 um valor superior a US$ 630 milhões; ii) o tímido desenvolvimento da indústria extrativa nacional, de matérias primas para fertilizantes, não vem acompanhando o dinâmico crescimento da agro-pecuária.

Embora os minérios apatíticos de origem ígnea, como os do Brasil sejam complexos e, conseqüentemente, também seus processos de concentração, é possível atingirem-se teores de P2O5 superiores aos das rochas sedimentares, como se pode constatar, por exemplo, no caso dos minérios sedimentares da Flórida / EUA (31,3%), Khouribga / Marrocos (32,9%), em comparação com os das rochas ígneas, de Phalaborwa / República da África do Sul - 36,5 a 39,9% (Schorr e Lin, 1997 e "Phosphorus & Potassium" no 169, 1990). No Brasil oscilam entre 33,5 % (Tapira) e 38,0 % (Catalão).

A produção brasileira de produtos intermediários, os de maior valor agregado, que representava 64,3% da demanda em 2000, passou, em 2003, a cobrir apenas 48% das necessidades do País.

No mesmo período o consumo aparente cresceu 27% enquanto que a produção interna aumentava 18% (Quadro (Cuadro) III-22).

Em relação aos fertilizantes fosfatados, um dos bens minerais que movimenta maior volume de rochas/minério, apresenta-se na Quadro (Cuadro) III-23 uma síntese dos seus principais parâmetros.

Lavra e Processamento

No Brasil, a lavra das jazidas de fosfatos, totalmente mecanizada, é realizada a céu aberto. Os equipamentos utilizados variam de empresa para empresa e de mina para mina.

O desmonte é também variável. Com explosivos, em malha de detonação de 3x5 m na mina de Cajati (SP) / Bunge Fertilizantes, passa a ser executado predominantemente com retroescavadeiras, na mina da Ultrafértil em Catalão I, devido ao minério ser friável.

A relação estéril/minério e o teor de corte varia, também, de mina para mina e até entre frentes de lavra.

Os processos de beneficiamento de minérios fosfáticos, no Brasil, compreendem, normalmente:

- Britagem (primária, secundária e até terciária, por vezes);
- Estocagem e homogeneização;
- Moagem primária e separação magnética de baixo campo;
- Moagem secundária e classificação;
- Deslamagem;
- Concentração por flotação e espessamento.

O processo hidrometalúrgico de produão de ácido fosfórico (WPA - Wet Process Phosphoric Acid) consite em três estágios principais (Schorr e Lin, 1997)
- Ataque (acidulation) pelo ácido sulfúrico;
- Filtração para separar os sólidos, principalmente gesso, do licor (30 % P_2O_5);
- Concentração, por evaporação, até obtenção do teor comercial (52-54 % P_2O_5).

A produção de fertilizantes a partir de minérios fosfatados naturais é realizada em complexos industriais constituídos por unidades que podem agrupar-se numa mesma área ou atuarem separadamente (Figura III-14).

No complexo minero-químico Tapira-Uberaba da FOSFERTIL cujo esquema se apresenta na Figura III-14, podem distinguir-se as seguintes unidades produtoras: ácido sulfúrico, ácido fosfórico, fosfato monoamônio (MAP), superfosfato triplo (TSP), superfosfato simples (SSP), nitrato de amônio e urêia.

O processo para obtenção de ácido fosfórico, a partir de concentrados apatíticos, pela rota sulfúrica, a única seguida no Brasil, pode ser dividido em três etapas - sub-unidades (Santos e Araújo,

Localização/Empresa	Reservas (10^3 t) e teores de P_2O_5			Concentrado	
	Minério	Teor (%)	Inferidas	Cap. Prod(*)	P_2O_5 (%)
Tapira (MG) - Mina Ativa / FOSFÉRTIL	920.000	8,36	380.000	1.600 88	35,5 33,5
Patos de Minas (MG) - Mina Ativa /FOSFÉRTIL	232.111	12,79	106.085	150	24,0
Catalão (GO) - Mina Ativa / ULTRAFÉRTIL	170.000	9,00	360.000	905 140	36,5 34,0
Araxá (MG) - Mina Ativa / BUNGE FERTIL.	103.055	14,88	186.726	530 300	35,0 33,0
Cajati (SP)- Mina Ativa / BUNGE FERTIL.	88.979	5,50	-	560	36,0
Ouvidor (GO) - Mina Ativa / COPEBRÁS	29.700	14,16	-	1.208	38,0
Irecê (BA) - Mina Ativa / GALVANI	6.200 3.963	17,73 14,72	- -	150 -	34,0 -
Lagamar (MG) / Mina Ativa / TREVO-YARA	3.463	22,91	6.751	250	-
Angico dos Dias (BA) / Mina Ativa	12.500	15,40	-	-	-
Anitápolis (SC) - Projeto	256.460	6,20	-	-	-
Paulista / Igarassú (PE) / Mina Desativada	21.105	20,31	5.573	-	-
Patrocínio (MG) / Mina Desativada	133.860	11,30	-	-	-
Iperó (SP) / Mina Desativada	74.863	6,83	-	-	-
Traúira / Pirocaua (MA) / Depósito	16.700	18,62	-	-	
Alhandra / Conde (PB) / Depósito	9.693	12,81	-	-	-
Itatala (CE) / Projeto	9.478	5,25	-	-	-
Bonito (MS) / Depósito	3.834	5,95	-	-	-
Ilha Rasa (PE) / Depósito	607	10,21	-	-	-
Goiana (PE) / Depósito	424	9,14	-	-	-
Maecuru (PA) / Depósito	-	15,0	-	-	-

Quadro (Cuadro) III-21 - Minas em produção e jazimentos de rochas fosfáticas do Brasil
Fontes: DNPM - Anuário Estatístico 2003 e Texto Explicativo do "Mapa Síntese do Setor de Fertilizantes Minerais (NPK) no Brasil", CPRM, 1997
** Capacidade de produção: 103 t/ano*

Ano ⇒	2000	2001	2002	2003
Produção mundial	133.000	126.000	135.000	138.000
Produção brasileira:				
Concentrados de rocha fosfática	4.725	4.865	5.084	5.790
Ácido fosfórico	1.843	1.820	1.891	2.079
Produtos intermediários(a)	5.848	5.679	5.920	7.024
Importações brasileiras:				
Concentrados de rocha fosfática	980	1.004	1.058	1.104
Ácido fosfórico	270	335	387	392
Produtos intermediários(a)	2.327	2.737	2.774	3.633
Total de importações (103 US$)	573.794	693.156	558.132	630.652
Consumo aparente:				
Concentrados de rocha fosfática	5.705	5.688	6.141	6.894
Ácido fosfórico	2.109	2.153	2.274	2.462
Produtos intermediários(a)	7.935	8.119	8.446	10.067

Quadro (Cuadro) III-22: Produção, importação e consumo de produtos fosfatados (103t). Dados da indústria mínero-química, apresentados pelo DNPM
Produtos intermediários: MAP, DAP, SSP, TSP.

em edição): produção de ácido fosfórico diluído (27-30%), filtração/clarificação e concentração do ácido produzido (52%).

O ataque do concentrado fosfático com ácido sulfúrico ocorre em reator agitado (para homogeneização do meio reacional e aumento da velocidade de reação), onde é produzido ácido fosfórico 27 a 30% P_2O_5 e sulfato de cálcio dihidratado (fosfogesso), $CaSO_4.2H_2O$, como resíduo (cada tonelada de P_2O_5 contido no ácido fosfórico gera cerca de 5 t de fosfogesso).
O produto principal da reação entre o concentrado fosfático e o ácido sulfúrico é o ácido ortofosfórico:

$$Ca_3(PO_4)_2 + 6H_2O + H_2SO_4 \rightarrow 3CaSO_4.2H_2O + H_3PO_4 \quad (1)$$

(fosfato tricálcico + água + ác. sulfúrico → gesso + ác. ortofosfórico)

2.2 Matéria prima e produtos intermediários

A apatita, principal mineral de fósforo, é utilizada predominantemente na indústria dos fertilizantes. Como se trata de um mineral insolúvel há necessidade de transformá-lo em produtos que possam liberar fósforo para as plantas. A principal aplicação da apatita é na fabricação do ácido fosfórico para fertilizantes, campo que absorve cerca de 90% do total produzido.

Matérias-primas básicas

Designa-se por rocha fosfática, rochas ricas de minerais do grupo da apatita (não confundir, como acontece freqüentemente, com o termo concentrado fosfático ou concentrado apatítico, produto que resulta do beneficiamento da rocha fosfática). No Brasil, as rochas fosfáticas apresentam teores de P_2O_5 oscilando entre 5% (Jacupiranga - SP) e 22% (Paulista - PE). Depois de beneficiamento o concentrado fosfático atinge teores de P_2O_5 que variam entre 32% e 38%. O teor de fósforo é medido sob a forma de P_2O_5 (pentóxido de difósforo) contido, ou em BPL ("Bone Phosphate Lime") que exprime o P em termos de fosfato tricálcico - $Ca_3(PO_4)_2$, isto é, 1% de P_2O_5 = 2,185% de BPL). Na Quadro (Cuadro) III-23 resumem-se as especificações para os concentrados de rocha fosfática (phosphate rock).

O produto comercial típico de fósforo, é um concentrado cálcio-fosfatado com 36% de P_2O_5 e 3 a 4 % de flúor, tendo como principais impurezas óxi- hidróxidos de ferro, argila, fosfatos de alumínio e sílica, geralmente sob a forma de grãos de quartzo. Elementos-traço comuns são os ETR (por vezes com teores significativos), Th-U, Sr, Ba, Mg, Zn e outros elementos raros, ainda mal definidos.

Enxofre - Não são conhecidos depósitos econômicos de enxofre natural (elementar) no Brasil, onde toda a produção provém de gás de refinaria, da usina de concentração de piritas carbonosas (Criciúma - SC), de sulfetos de cobre (Caraíba Metais - BA) e de sulfetos de zinco (Paraíbuna Metais - MG). Para complementar a demanda interna o País foi obrigado a importar US$ 124 milhões em 2003.

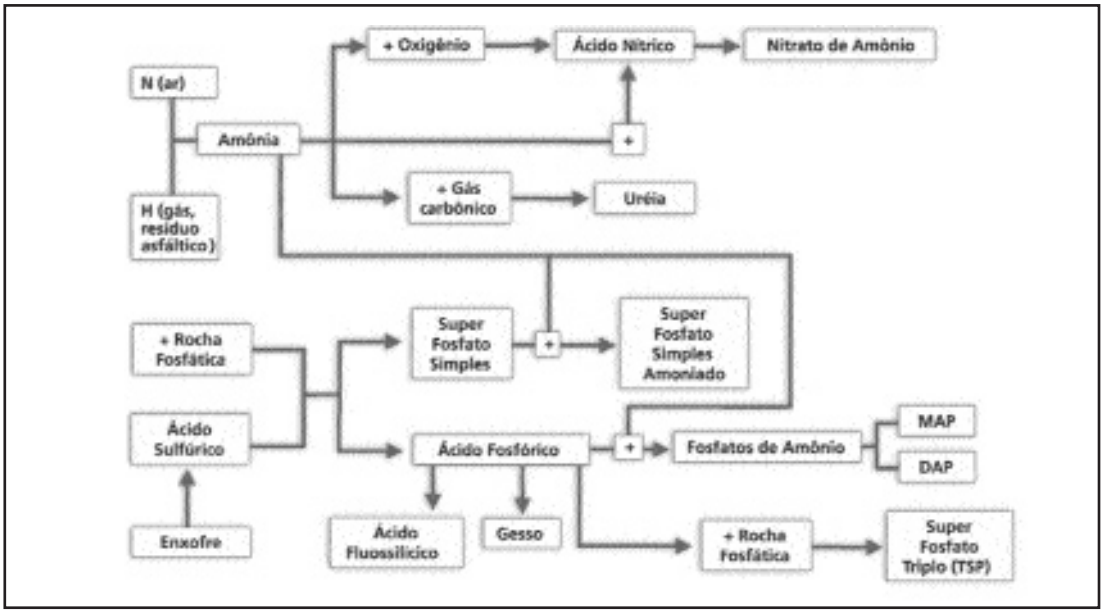


Figura III-14: Esquema simplificado da produção de fertilizantes (Fonte: FOSFERTIL).

Amônia anidra (NH3) - Obtem-se por reação entre o nitrogênio e o hidrogênio, a pressão e temperatura elevadas, na presença de catalisador. O nitrogênio provém do ar e o hidrogênio pode ter várias fontes, sendo as mais comuns o gás natural e os derivados do petróleo. A amônia, matéria-prima básica para fabricação de fertilizantes nitrogenados, é utilizada na produção de uréia, nitrato de amônio, fosfato monoamônio (MAP), fosfato de diamônio (DAP) e sulfato de amônio.

Produtos intermediários

Ácido fosfórico - Ácido fosfórico, ou mais corretamente, ácido ortofosfórico (H_3PO_4), é um importante composto químico na indústria dos fertilizantes, intermediário entre os minérios fosfatados e os principais produtos utilizados na agricultura, tais como: fosfato de amônio, superfosfato triplo, nutrientes líquidos mistos, nutrientes sólidos mistos de alta pureza e vários tipos de fosfatos nítricos.

Utiliza-se a via térmica quando o objetivo é a obtenção de ácido fosfórico de grau alimentar.

As principais matérias-primas na produção de ácido fosfórico são o concentrado fosfático e o ácido sulfúrico. É utilizado na produção de fertilizantes fosfatados de alta concentração. Aplica-se também em nutrição animal. Obtém-se por dois processos: via úmida e via térmica. Na via úmida faz-se reagir a rocha (ou o concentrado) fosfática com um ácido (H_2SO_4, HNO_3, HCl), separando-se e concentrando-se posteriormente o ácido fosfórico.

Itens	Valores	Considerações
P_2O_5	Até 42%	
CaO : P_2O_5	1,32 – 1,61	Deve ser o mais baixo possível para diminuir o consumo de H_2SO_4
Fe e Al	Fe_2O_3 ou Al_2O_3 < 3-4%. P_2O_5/R_2O_3 ≈ 20 Desejável: 0,1-2% Fe_2O_3 ou 0,2-3% Al_2O_3 com 60-90% passando para o ácido	Formam fosfatos complexos; influenciam a viscosidade do ácido; originam resíduos de pós-precipitação
Mg	05-1,5% na apatita. Desejável P_2O_5/MgO ≈ 78% com 0,2-0,6% MgO	Forma fosfatos coloidais complexos com Al e F que entopem os filtros
F	F: 2-4%; P_2O_5/F: 6-11 nas apatitas; Si/F pode ser maior. F passando 25-75% para o ácido	Corrosivo. Pode modificar a formação de cristais. Possível co-produto
SiO2	1-10%. 5-40% passando para o ácido	Em quantidades elevadas causa abrasão. Transforma o HF em ac. Fluossilícico, menos corrosivo. Forma complexos com Al, Na, Mg e Fe
Si:F	Baixa razão dá origem a ácido com teor de F elevado	
Sr	0-3% SrO	Inibe a recristalização de gesso hemihidratado
Cl	0-0,055. passa totalmente para o ácido	Acima de 0,03% provoca forte corrosão
Carbonato	0,7-8%	Aumenta o consumo de H2SO4
Matéria orgânica	0,1-1,5%. 15-705 passa para o ácido	Dificulta a filtração. Estabiliza a espuma durante o ataque ácido
Elementos menores	Mn, Fe, Zn, Ti e Cu	Podem contribuir para a pós-precipitação de fosfatos insolúveis
Elementos tóxicos	Cd, Hg, Cr, As, Pb, Se, U-Th, V Impõem teores baixos (< 0,8- 255 ppm de Cd, por exemplo)	Podem ser micronutrientes potenciais. Passam para o ácido proporções significativas
U	35-400 ppm U3O8. 75-80% passando para o ácido	Recuperável podendo constituir um subproduto

Quadro (Cuadro) III-23: Especificações para o concentrado de rocha fosfática (phosphate rock).
Fonte: The Industrial Minerals HandyBook

No ácido fosfórico obtem-se uma concentração de P_2O_5 da ordem de 52-54%. Exemplo: FOSFÉRTIL/Complexo Industrial de Uberaba: P_2O_5 total (52% mín.)

Especificações padrão para o ácido fosfórico:
- Concentração em P_2O_5 => 52,00%
- Sólidos => 2,00%
- SO_4^{-2} (sulfato livre) => 1,85%
- Densidade => 1,7 (35 oC)

Ácido sulfúrico - É obtido, principalmente, pelo processo de absorção dupla, a partir da oxidação do enxofre, e por ustulação de piritas, obtendo-se um produto a 98,5%. Fator de consumo médio: 0,35t de S por tonelada de H_2SO_4 produzido.
Especificações para o ácido sulfúrico:
- Concentração: 98 a 99 % (em peso)
- Densidade: > 1,84 g/cm3 (30^oC)
- MgO: 1,10 %

Ácido nítrico - É produzido comercialmente pelo processo de oxidação da amônia e absorção na água a pressão variável.
No Brasil o ácido clorídrico não é utilizado na produção de ácido fosfórico embora sua indústria apresente forte capacidade ociosa e até produção de excedentes. É obtido, principalmente, como produto da fabricação da soda. Segundo o Anuário da Indústria Química Brasileira - ABIQUIM, de 2003, a capacidade instalada, produção e vendas em 2002 foram, respectivamente, 283.100 t, 131.632 t e 131.342 t, o que traduz forte capacidade ociosa (53,5%).

Principais produtos comerciais da indústria dos fertilizantes fosfatados no Brasil, suas especificações e capacidade de produção

Composição (%) =>	P_2O_5	CaO	Fe_2O_3	Al_2O_3	MgO	F
Especificações =>	≥ 34,7	≤ 52,5	≤ 1,60	≤ 0,4	≤ 1,1	
Tapira =>	35,0	50,8	1,2	0,2	0,8	1,3

Concentrado fosfático Depois do beneficiamento a rocha fosfática atinge concentrações de P_2O_5 que variam entre 32% e 38%. Os valores de BPL oscilam, normalmente, entre 55 e 77% e a umidade, limitada a 3%, raramente excede 1,5% nos produtos comerciais. Na Quadro (Cuadro) III-24 apresentam-se as especificações e a composição do concentrado produzido em Tapira, a maior mina do Brasil.

Quadro (Cuadro) III-24: Especificações e composição do concentrado fosfático de Tapira.

Concentrado Fosfático Seco Microgranulado ("Rocha Fosfática Seca"), 90 a 95% <200#, é comercializado, para aplicação direta, com base nos teores de P_2O_5. Exemplo: FOSFERTIL => P_2O_5 (36,0% máx.); Fe_2O_3 (3,0% máx.); SiO_2 (2,8% máx.); umidade (0,5% máx.)

Rocha Fosfática sem Umidade, é comercializada tendo como base o teor de $Ca_3(PO_4)2$ - fosfato tricálcico (BPL - "Bone Phosphate Lime"), sendo fatores de penalização teores de óxidos de Fe e Al (I&A - Iron and Aluminium - sigla internacional) que ultrapassarem os limites estabelecidos. Os valores de BPL oscilam, normalmente, entre 55 e 77% e a umidade, limitada a 3%, raramente excede 1,5% nos produtos comerciais.

Rocha Fosfática com Umidade, é aplicada na produção de fertilizantes de aplicação direta. Exemplo: ULTRAFÉRTIL/Catalão => P_2O_5 (36,0 ± 0,5%); Fe_2O_3 (2,5 ± 0,5%); SiO_2 (1,8 ± 1,0%); +325 # (78 ± 12%); umidade (10 ± 5%).

Superfosfato Simples (SSP) - É o principal ingrediente de fertilizantes mistos. Resulta da acidulação da rocha fosfática. A presença de Fe e Al na produção de superfosfato aumenta o consumo de ácido sulfúrico na acidulação, dando origem, além disso, a um produto de menor qualidade. Por outro lado, teores elevados de Fe são indesejáveis em fornos elétricos porque o ferro, combinando-se com o fósforo, origina o ferrofósforo, produto de difícil venda. Exemplos: Superfosfato Simples Farelado produzido no complexo industrial da FOSFÉRTI/ Uberaba => P_2O_5 CNA + água (18,0%); P2O5 sol.

água (16,0%); Superfosfato Simples da SERRANA => P_2O_5 solúvel em CNA + água (18%); P_2O_5 sol. água (16,0%); Ca (18 a 20%); S (12%).

Superfosfato Simples Amoniado (SSPA) - Aplicações: Fertilizante. Exemplo: FOSFERTIL / Complexos Industrial de Uberaba e Minero-Químico de Catalão => Nitrogênio Amoniacal (3,0%); P_2O_5 CNA + água (17,0%).

Superfosfato Simples (SSP) Farelado - Aplicações: Fertilizante. Exemplo: FOSFERTIL / Complexos Industrial de Uberaba e Minero-Químico de Catalão => P_2O_5 CNA + água (18,0%); P_2O_5 Sol. Água (16%).
Superfosfato Triplo (TSP) Granulado - Aplicações: Fertilizantes. Exemplo: FOSFÉRTIL / Uberaba => P_2O_5 CNA + água (46,0%); P_2O_5 sol. água (39,0%).

Superfosfato Triplo (TSP) Farelado Grosso - Aplicações: Fertilizantes. Exemplo: FOSFERTIL / Complexos Industrial de Uberaba => P_2O_5 CNA + água (44,5%); P_2O_5 sol. água (38,0%).

Fosfato Diamônico (DAP) - É aplicado em fertilizantes, no tratamento de efluentes e em fermentação alcoólica. Exemplo: FOSFÉRTIL / Piaçaguera => N total (18,0%); P_2O_5 Scan + água (46,0%); P_2O_5 sol. água (38,0%).

Fosfato Monoamônico (MAP) - Aplicações em fertilizantes, no tratamento de efluentes e em fermentação alcoólica. Exemplos: FOSFÉRTIL/Piaçaguera => N total (11,0%); P_2O_5 Scan + água (52,5%); P_2O_5 Sol. Água (43,0%). FOSFÉRTIL/Uberaba => N total (10,5%); P_2O_5 Scan + água (54,0%); P_2O_5 sol. água (49,0%); Granulometria - retida 4,0mm (0%); passante < 0,5mm (< 5,0%).

Formulações NPK

Formulações ou misturas NP e NPK resultam da reunião de 2 ou mais nutrientes, em proporções tais que atendam às necessidades nutricionais das culturas (Quadro (Cuadro) III-25).

Quadro (Cuadro) III-25: Teores de P em alguns fertilizantes, no Brasil.

Misturas / Fertilizantes	P_2O_5 (%)
Fertilizantes NPK	5 - 24
Fertilizantes NP	6 - 34
Fertilizantes PK	5 - 30
DAP	42 - 48
MAP	52

Fonte: YARA, 2004

As formulações ou misturas NP e NPK dependem de variáveis como solo, tipo de cultivar, clima e morfologia.

Na Quadro (Cuadro) III-26 indica-se capacidade de produção de produtos intermediários fosfata-

dos, em t / ano das principais empresas.

Necessidades agrícolas

O maior e mais eficiente uso de fertilizantes e corretivos agrícolas num país como o Brasil com mais de 8,5 milhões de km2 dos quais 64% (550 Mha) são considerados potencialmente agricultáveis (FAO, 2004), foram responsáveis, entre outros fatores, por um aumento de 50% da produção e produtividade. Há que se considerar ainda que 92% da área agrícola localiza-se em região intertropical, com predominância de clima quente nas regiões de baixa altitude. Segundo Coelho et al. 2002, 73% dos solos brasileiros são dos tipos latossolo (38,7%), argissolo (20%) e neossolo (14,6%).

As dimensões continentais do país, a variedade de solos, climas e tipos de cultura refletem-se no volume e nas proporções de aplicação dos nutrientes.

Os solos brasileiros são, na generalidade, pobres de nutrientes e apresentam, com freqüência, elevado grau de acidez. Porém o recurso a tecnologias sustentáveis, amplamente disponíveis, e o uso mais eficiente e generalizado de calcário agrícola e de fertilizantes vem aumentando significativamente a produtividade da indústria agropecuária.

Constata-se assim que o Brasil pode exercer, cimentar e desenvolver, em sua plenitude, uma de suas maiores vocações naturais: a de grande produtor de alimentos (Lopes, Guilherme & Silva, 2003).

O uso de tecnologias sustentáveis que levem ao aumento da produtividade nas áreas já incorpo-

Produto / Empresa	Localização	P_2O_5 (%)	Capac. de Prod.
Superfosfato triplo (Pó)			
Copebrás	Catalão (GO)	41,0	40.000
Copebrás	Cubatão (SP)	41,0	28.000
Fosfértil	Uberaba (MG)	44,5	435.000
Rouler	Rio Grande (RS)	42,0	50.000
Trevo	Rio Grande (RS)	42,0	78.000
Fosfato Monoamônio (MAP)			
Copebrás (Pó)	Catalão (GO)	48,0	113.000
Fosfértil (Pó)	Uberaba (MG)	54,0	150.000
Fosfértil (Granulado)	Uberaba (MG)	54,0	460.000
Ultrafértil (Granulado)	Piaçaguera (SP)	52,5	253.000
Fosfato Diamônio (DAP)			
Ultrafértil	Piaçaguera (SP)	46,0	8.000
Termofosfato			
Mitsui do Brasil	Poços de Caldas (MG)	18,0	160.000

Quadro (Cuadro) III-26: Capacidade de produção de produtos comerciais fosfatados das principais empresas, no Brasil (t / ano). Fonte: ANDA (2004), COPEBRAS (2005), FOSFERTIL, (2005).

radas ao processo produtivo é também um poderoso instrumento de preservação ambiental. O Brasil apresenta cerca de 90 Mha de pastagens degradadas que poderiam, com base em tecnologias disponíveis, ser incorporados na produção de grãos (ob. cit).

Não pode esquecer-se que a produção agrícola precisará atingir 4 bilhões de toneladas para alimentar uma população que será de 8,3 bilhões de habitantes em 2025. Brasil, e também a Argentina, poderão ocupar o espaço de potências mundiais na produção de alimentos, com preservação ambiental.

O aumento do consumo de fertilizantes minerais, conjugado com seu uso mais eficiente, tem sido um fator importante no crescimento da indústria agropecuária no Brasil. Mesmo assim, no caso do fósforo, o déficit anual estimado é superior a 400 mil toneladas de P_2O_5, bem menor que o do nitrogênio (cerca de 1 milhão de toneladas), mas semelhante ao do potássio. (Lopes, Guilherme & Silva, 2003).

No ano 2002, considerando-se o consumo da soja, a razão N: P_2O_5 : K foi de 0,79:1,00:1,14 ou de 1,18:1,00:1,21 sem ela. No mesmo ano, nos países com agricultura tecnificada, aquela razão foi de 2,82:1,00:1,00 (ob. cit.).

Na Quadro (Cuadro) III-27 mostra-se o perfil do consumo dos produtos fosfatados no Brasil.

Quadro (Cuadro) III-27 - Consumo de produtos fosfatados no Brasil

Produto	103 t	%
MAP / DAP	1.313	45
SSP	831	29
TSP	478	16
Termofosfato	22	1
Rocha Fosfática	116	4
NPK	140	5
Total P_2O_5	2.900	100

O consumo de nutrientes (N+ P_2O_5+K) pelo grupo de culturas de exportação - citros (122 kg/ha), soja (138 kg/ha), cana de açúcar (195 kg/ha), café (195 kg/ha) - que se desenvolvem predominantemente em grandes propriedades com alta produtividade e utilizando tecnologia de ponta, é superior ao consumo de fertilizantes dos produtos pertencentes à cesta básica - mandioca (10 kg/ha), feijão (32 kg/ha), arroz (83 kg/ha), milho (119 kg/ha) - com seus cultivares localizados, com freqüência, em pequenas propriedades, fortemente carentes de tecnologia, principalmente nas que desenvolvem apenas uma agricultura de subsistência.

Panorama de Mercado

A indústria dos fertilizantes fosfatados, que absorve mais de 90 % da produção de fósforo, "evoluiu consideravelmente nos anos 90 com a chegada dos programas de ajuste estrutural a longo termo" (FAO / IFA, 2000). A produção de fertilizantes de base passou a deslocar-se progressiva-

mente para as regiões com matéria prima abundante e preços competitivos (IFA, 2002 e 2004). Por outro lado deve acentuar-se que "... uma usina de fertilizantes moderna é altamente eficiente e o seu impacto negativo no ambiente é insignificante. É após a saída dos fertilizantes da usina que começam as más práticas" (FAO / IFA, 2000).

No Brasil, segundo estimativas do IBGE, só em grãos, o País perdeu, no último ano, cerca de 13 % do que é produzido, devido à "lamentável condição da nossa infra-estrutura, em especial das rodovias e ferrovias /.../. Os indicadores agropecuários registrados pelo IBGE, no período de 1996 a 2003, mostram que o Brasil perdeu 81,7 Mt de grãos, o que dá uma média de 13,6 Mt por ano" (Morais, 2005).
A Figura III-13 mostra que a taxa de crescimento do consumo aparente de fósforo, entre 1995 e 2000 foi de 58% e entre 2000 e 2003 correspondeu a 41%. Como o Brasil produz menos de metade (49,3% em 2003) do que consome (3,54 Mt no mesmo ano), há um forte mercado comprador de bens pri-

Produtos	Produção Nacional	Importação
Rocha fosfática	4.677.975 (7,9%)	1.185.626 (39,8%)
Ácido fosfórico (100% P_2O_5)	1.527.489 (2,9%)	90.331 (23,8%)
SSP (Pó)	5.628.486 (6,1%)	427.667 25,0%)
SSP amoniado	---	6.804 (-68,4%)
TSP (Pó)	650.021 (22,5%)	1.042.261 (19,6%)
MAP	966.679 (-4,3%)	2.157.746 (88,1%)
DAP	7.071 (62,4%)	285.389 (1,0%)
Termofosfato	135.050 (-13,1%)	---
Fosfato natural de aplicação direta	28.862 (-25,0%)	376.050 (6,9%)

mários e produtos intermediários, tanto mais que o déficit anual de nutrientes, tomando-se como base dados médios do período 1993-1996, é de 888 mil toneladas de N mesmo considerando todo o N da soja e do feijão como provenientes da fixação biológica (hoje já deve ultrapassar 1 milhão), 414 mil toneladas de P_2O_5 e 413 mil toneladas de K_2O (Lopes, Guilherme & Silva, 2003). Segundo os mesmos autores na média, o processo produtivo agrícola, nas taxas atuais de consumo de fertilizantes está, em realidade, minando o recurso solo. Isso pode, no longo prazo, levar a conseqüências altamente danosas para a sustentabilidade da nossa agricultura.

Na Quadro (Cuadro) III-28 apresenta-se uma síntese da capacidade usual de produção e das importações de matérias primas e produtos intermediários no Brasil, em 2004.
Quadro (Cuadro) III-28 - Produção e importação de produtos fosfatados, no Brasil, em 2004 -Fonte ANDA 2004 (entre parênteses: % de variação em relação a 2003).

Verifica-se que o Brasil, à exceção do superfosfato simples, é grande importador de produtos intermediários, os de maior valor agregado. Todos os indicadores apontam para o contínuo aumento do consumo de fertilizantes, incluindo os fosfatados, mesmo mantendo-se constante a área cultivada, dado que o déficit anual estimado de fósforo é superior a 400 mil toneladas/ano de P_2O_5, como já foi referido.

Síntese e Sugestões

O Brasil é um país que detém cerca de 20% das reservas mundiais de água doce e as suas terras agricultáveis são as mais extensas do mundo. É o 4o maior consumidor de fertilizantes, mas com grande dependência externa, mesmo sendo modesta a sua aplicação média por hectare.
A indústria de produção de fertilizantes, utilizando bens minerais existentes no País, tem-se desenvolvido, nos últimos anos, a um ritmo bem inferior ao do crescimento da demanda. Deve levar-se ainda em consideração que os solos do "cerrado", uma das mais importantes fronteiras agrícolas do país, exigem, pelas suas características, alta taxa de aplicação de fertilizantes.

Foi na década de 60 que começou a crescer a aplicação de fertilizantes na agricultura brasileira. No período de 1965 a 2003 o consumo de adubos NPK cresceu 39 vezes. O do fósforo 41 vezes. A sua influência pode ser avaliada pelas taxas de crescimento relativas ao período 1984 e 2004, quase sempre positivas neste período:

- Produção agro-vegetal => 79%
- Produção de grãos => 101%
- Consumo de adubos NPK => 172%
- Consumo de NPK (kg/ha de área colhida) => 129%
- Produtividade (produção kg/ha) => 50%
- Área colhida das 16 principais culturas => 19%

O Brasil como um dos maiores produtores em agropecuária e grande consumidor / importador de fertilizantes deveria estabelecer, na área dos fertilizantes fosfatados, alvos e políticas, de médio e longo prazos, apoiada em ações integradas do governo, centros de pesquisa, universidades e empresas privadas, visando:

• o desenvolvimento e implantação de tecnologias sustentáveis na sua agroindústria;
• dinâmicas de prospecção e pesquisa, sistemática e abrangente, de novos depósitos;
• promover a entrada em produção de jazidas já definidas como técnica e economicamente viáveis, mas não ativas, como por exemplo, Itataia (CE), Anitápolis (SC) e Angico dos Dias (BA);
• pesquisar o aproveitamento de minérios pobres e ou rejeitos para aplicação direta;
• aumentar a capacidade de produção dos pólos já existentes e a criação de novos centros de produção;
• incentivar o estudo de novos materiais e novas metodologias para produção de fertilizantes que se adaptem às diferentes condições solo-clima e sócio-econômicas do País.

Glossário

Ácido fosfórico (H_3PO4) - Designação comercial para o ácido ortofosfórico. É um sólido branco rômbico de densidade 1,834 , ponto de fusão 42,35^{o}C . Perde água a 213°C. Muito solúvel em água e solúvel em etanol. Muito deliqüescente, é geralmente fornecido como solução aquosa concentrada a 85%. Comercialmente é o derivado de fósforo mais importante, respondendo por mais de 90% do consumo de rochas fosfáticas. Muito usado na indústria dos fertilizantes (90 %), por isso é designado também por Ácido Agrícola (Agricultural Acid).

Agricultura de Conservação - Surgiu como alternativa à agricultura convencional em razão da

perda de produtividade dos solos devida à degradação, pela erosão e pela compactação, por exemplo. Visa diminuir os fatores de degradação dos solos seguindo várias práticas que reduzem ao mínimo a alteração da composição e da estrutura do solo e os efeitos nefastos sobre a biodiversidade natural.

AMA - Associação dos Misturadores de Adubos do Brasil.
Apatita - $Ca_5(PO_4)3$ (F,OH,Cl) - Fosfato de cálcio e flúor/cloro. Composição de referência: 41,8% P_2O_5, 55,0% CaO, 1,2% F, 2,3% Cl, 0,6%H_2O. Cristaliza no sistema hexagonal, classe bipiramidal hexagonal. Dureza 5; densidade relativa 3,1 - 3,2. Fluorescência amarelo-alaranjada e termoluminiscência branco-azulada. Cor - geralmente incolor, podendo ser também branca, azul-esverdeado, violeta-azulado, amarelo, marrom, cinza, vermelho.
BPL ("Bone Phosphate Lime") - Indicador da composição em P2O5 (pentóxido de difósforo) de materiais fosfáticos: BPL (%) = 2,1853 x P_2O_5(%) ou 5,0073 x P (%).
Carbonatito - Rocha de origem ou descendência magmática com mais de 50% de minerais carbonáticos, principalmente calcita [Ca (CO_3)], dolomita [Ca,Mg(CO_3)], mas também ankerita [Ca(Fe,Mg,Mn)(CO_3)$_2$], siderita [Fe CO_3] e magnesita [Mg CO_3]. É o principal ambiente geológico dos minérios apatíticos no Brasil.
Concentrado Fosfático ou Concentrado Apatítico - Produto obtido por beneficiamento de rochas fosfáticas. Apresenta valores oscilando entre 33% (33,4% em Khouribga, Marrocos) e 39% de P_2O_5 (38,9% na Península de Kola, Rússia).
Coprólitos - Nódulos fosfáticos - remanescentes fósseis de peixes.
DAP- Fosfato Diamônico.
DAPR - Direct Application Phosphate Rock.
ETR - Elementos de terras raras.
FAO - Food and Agriculture Organization. Organismo das Nações Unidas com sede em Roma.
Fertilizantes Minerais - São materiais naturais ou manufaturados que contêm nutrientes essenciais para o crescimento normal e o desenvolvimento das plantas. Nutrientes de plantas: são alimentos para as espécies vegetais (Isherwood, 2000).
Guano - Do quíchua, wánu, 'esterco'. Acumulação de fosfato de cálcio resultante de excrementos de aves marinhas.
IFA - International Fertilizer Industry Association. Tem a sua sede em Paris.
Ma - Milhões de anos.
MAP - Fosfato Mono- amônico.
Mha - Milhões de hectares.
Mt - Milhões de toneladas.
P_2O_5 - Pentóxido de difósforo - unidade utilizada universalmente para exprimir o teor de fósforo nos materiais fosfáticos: P_2O_5 (%) = P (%) x 2,2915 ou H_3PO_4 (%) x 0,4576.
POTAFOS - Potash & Phosphate Institute (PPI)/ Potash & Phosphate Institute of Canada (PPIC)

/ Brasil (POTAFOS)
ppm - Partes por milhão
Remineralização - Restabelecimento da fertilidade do solo por um tempo mais longo que o dos adubos químicos convencionais, utilizando pó de rochas.
Rochagem - Utilização de pó de rocha como fertilizante. Termo inspirado no de "calagem" que é o uso de pó de calcário na correção da acidez dos solos.
SSP - Superfosfato Simples.
TR - Terras raras.
TSP - Superfosfato triplo.
YARA - Yara Internacional ASA foi criada a partir da Norsk Hydro ASA e existe como companhia de comércio independente a partir de 25/03/2004.

Uso agrícola dos solos do Brasil e balanço de nutrientes

Alberto C. de Campos Bernardi[1] *y Pedro L. O. A. Machado*[2]

Introdução

A agricultura brasileira tem tido grandes avanços nas últimas décadas, pela intensificação no uso das terras para produção. A área agrícola do Brasil entre 1990 e 2003 expandiu 24,3%, com crescimento de 125% da produtividade. Na safra de 2002/2003, o agronegócio brasileiro, em razão do recorde de produção de grãos e de bons resultados em outras atividades agrícolas, foi responsável por 25% do PIB nacional, 37% dos empregos gerados, 44% das exportações brasileiras e US$22 bilhões de superávit na balança comercial. Com esses números, consolida-se o papel determinante do agronegócio brasileiro na geração de riqueza e desenvolvimento nacional.

No entanto, a grande maioria dos solos do país não possui reservas de nutrientes suficientes para sustentar altas produções. O modelo atual de exploração agrícola propõe resgatar a aplicação de insumos, como fertilizantes e corretivos, para eliminar as limitações químicas dos solos e atender às exigências nutricionais das culturas. Este paradigma contribuiu grandemente para o sucesso da Revolução Verde, que, no entanto, não considera as inter-relações ecológicas do sistema solo-planta.

Apesar do sucesso econômico que este modelo de exploração proporcionou à maioria dos sistemas de produção agrícola, as quedas de produtividade, a necessidade de aumentos de produção e a grande extensão de terras degradadas têm mostrado a necessidade de um novo modelo que considere não apenas o aumento da produtividade, mas sim a sua sustentabilidade.

Desde a implementação da Agenda 21, o solo deixou de ser considerado pela sociedade em geral apenas como um meio de produção para também ser considerado como um recurso natural. Daí surge a necessidade de exploração racional deste recurso natural, preservando sua capacidade produtiva, com simultânea manutenção do seu papel no ecossistema e, recuperando aqueles

[1] *Embrapa Pecuária Sudeste, Rod. Washington Luiz km 234, Cx. Postal 339, CEP 13560-970 - São Carlos - SP, Brasil. alberto@cppse.embrapa.br*
[2] *Embrapa Arroz e Feijão, Rod. Goiânia - Nova Veneza, km 12, Cx. Postal 179, CEP: 75375-000, Santo Antônio de Goiás, GO, Brasil, pedro@cnpaf.embrapa.br*

solos marginais ou degradados pelo uso inadequado.

Por isso, o conhecimento dos atributos que compõem os sistemas produtivos e suas inter-relações são cada vez mais necessários. Dessa nova concepção, surge um novo paradigma, que enfatiza os fatores bióticos da produção, como a adaptação das plantas às limitações do solo, o aumento da atividade biológica, a otimização da ciclagem de nutrientes e o uso eficiente dos insumos (Sanchez, 1997).

Deste modo, o objetivo deste estudo foi o de caracterizar os solos do Brasil e sua ocupação com agricultura, elaborar um diagnóstico do balanço de nutrientes na agricultura brasileira atual e apresentar alternativas ecologicamente viáveis de fornecimento de nutrientes.

Solos do Brasil e suas limitações

O território brasileiro é caracterizado por uma grande diversidade de tipos de solos, condicionados pelas diferentes formas e tipos de relevo, clima, material de origem, vegetação e organismos associados. Esta diversidade pode ser observada na Figura III-15, elaborada a partir do Mapa de Solos do Brasil (Embrapa, 1981), e atualizada com base no atual Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 1999) por Coelho et al. (2002). Neste Mapa pode-se distinguir 13 principais classes de solos representativas das paisagens brasileiras, onde se observam a grande abrangência dos Latossolos e dos Argissolos.

A extensão de cada classe por região encontra-se no Quadro (Cuadro) III-29, também extraída de Coelho et al. (2002). Os resultados mostram que os solos que predominam na Região Norte são profundos, altamente intemperizados, ácidos, de baixa fertilidade natural e saturados por alumínio, predominando os Latossolos e Argissolos. Na Região Nordeste, ocorrem solos de média a alta fertilidade natural, em geral pouco profundos em decorrência de seu baixo grau de intemperismo, caracterizados nas classes dos Latossolos e Neossolos. A Região Centro-Oeste, é uma vasta superfície muito intemperizada pelos processos erosivos naturais, onde predominam os solos profundos, bem drenados, de baixa fertilidade natural, porém com características físicas favoráveis, na sua grande maioria pertencente à classe dos Latossolos. Na Região Sudeste predominam os Latossolos e Argissolos, bem desenvolvidos e geralmente também de baixa fertilidade natural. E por fim a Região Sul, cujos solos, originados de rochas básicas e sedimentos diversos, são geralmente férteis, distribuídos nas classes dos Latossolos, Neossolos, Argissolos e Nitossolos. Esta diferenciação regional, apresentando considerável variabilidade de solo, clima e relevo, se reflete diretamente no potencial agrícola das terras, na diversificação das paisagens e nos aspectos vinculados ao uso do solo.

Através do Quadro (Cuadro) III-29 e do mapa anteriores nota-se a grande predominância dos Latossolos e Argissolos, os quais ocupam respectivamente 39 e 20% do território nacional. Por definição, os solos distribuídos nestas classes são muito intemperizados com predominância de minerais de argila 1:1 (caulinita, principalmente) e de óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio. São solos que devido ao processo intenso de intemperização, sofreram uma grande perda de bases trocáveis, e são predominantemente ácidos e com baixa capacidade de troca de cátions. As exceções com relação à acidez são os solos localizados na região do semi-árido nordestino.

As principais limitações físicas e químicas ao desenvolvimento da agropecuária na América Tropical, sua extensão e porcentagem de ocorrência foram apresentadas por Sanchez e Salinas

Tipos	Brasil		Relativa por regiões				
De Solos	Absoluto km^2	Relativo %	Norte	Nordeste	Centro Oeste %	Sudeste	Sul
Alissolos	371.874,5	4,36	8,67	0,00	0,00	0,00	6,34
Argissolos	1.713.853,5	19,98	24,40	17,20	13,77	20,68	14,77
Cambissolos	232.139,2	2,73	1,06	2,09	1,59	8,64	9,28
Chernossolos	42.363,9	0,53	0,00	1,05	0,27	0,21	3,94
Espodossolos	133.204,9	1,58	3,12	0,39	0,26	0,37	0,00
Gleissolos	311445,3	3,66	6,41	0,78	2,85	0,5	0,4
Latossolos	3 317 590,3	38,73	33,86	31,01	52,81	56,30	24,96
Luvissolos	225.594,9	2,65	2,75	7,60	0,00	0,00	0,00
Neossolos	1.246.898,9	14,57	8,49	27,55	16,36	9,38	23,23
Nitossolos	119.731,3	1,41	0,28	0,05	1,22	2,56	11,48
Planossolos	155.152,1	1,84	0,16	6,61	1,73	0,16	3,00
Plintossolos	508 539,4	5,95	7,60	4,68	8,78	0,00	0,00
Vertissolos	169 015,3	2,01	3,20	0,99	0,36	1,20	2,60

Quadro (Cuadro) III-29: Extensão e distribuição das classes de solos nas regiões do Brasil
Fonte: Coelho et al. (2002).

Limitações	América tropical		Solos Ácidos	
Do solo	1.000.000 ha	% total	1.000.000 ha	% total
Deficiência N	1332	89	960	93
Deficiência P	1217	82	1002	96
Deficiência K	799	54	799	77
Deficiência Ca	732	49	732	70
Deficiência Mg	731	49	739	70
Deficiência S	756	51	745	71
Deficiência Cu	310	21	310	30
Deficiência Zn	741	50	645	62
Alta fixação P	788	53	672	64
CTC efetiva baixa	620	41	577	55
Toxidez Al	756	51	756	72
Baixa disponibilidade de água	626	42	583	56
Alto risco erosão	543	36	304	29
Endurecimento	306	20	123	12
Compactação	169	11	169	16
Laterização	126	8	81	8
Estresse hídrico (> 3 meses)	634	42	299	29

Quadro (Cuadro) III-30: Extensão geográfica das maiores limitações na América tropical.
Fonte: Adaptado de Sanchez e Salinas (1981).

encontram-se nos solos arenosos ou com elevada mudança de textura em profundidade, e também naqueles rasos, localizados em relevos dissecados, configurando classes de suscetibilidade a erosão média, alta ou muito alta. Com base nestas interpretações, 65% das terras brasileiras podem ser consideradas como de moderada a baixa suscetibilidade a erosão. Isto não significa, entretanto, que o planejamento conservacionista deva ser desconsiderado (Hernani et al.,

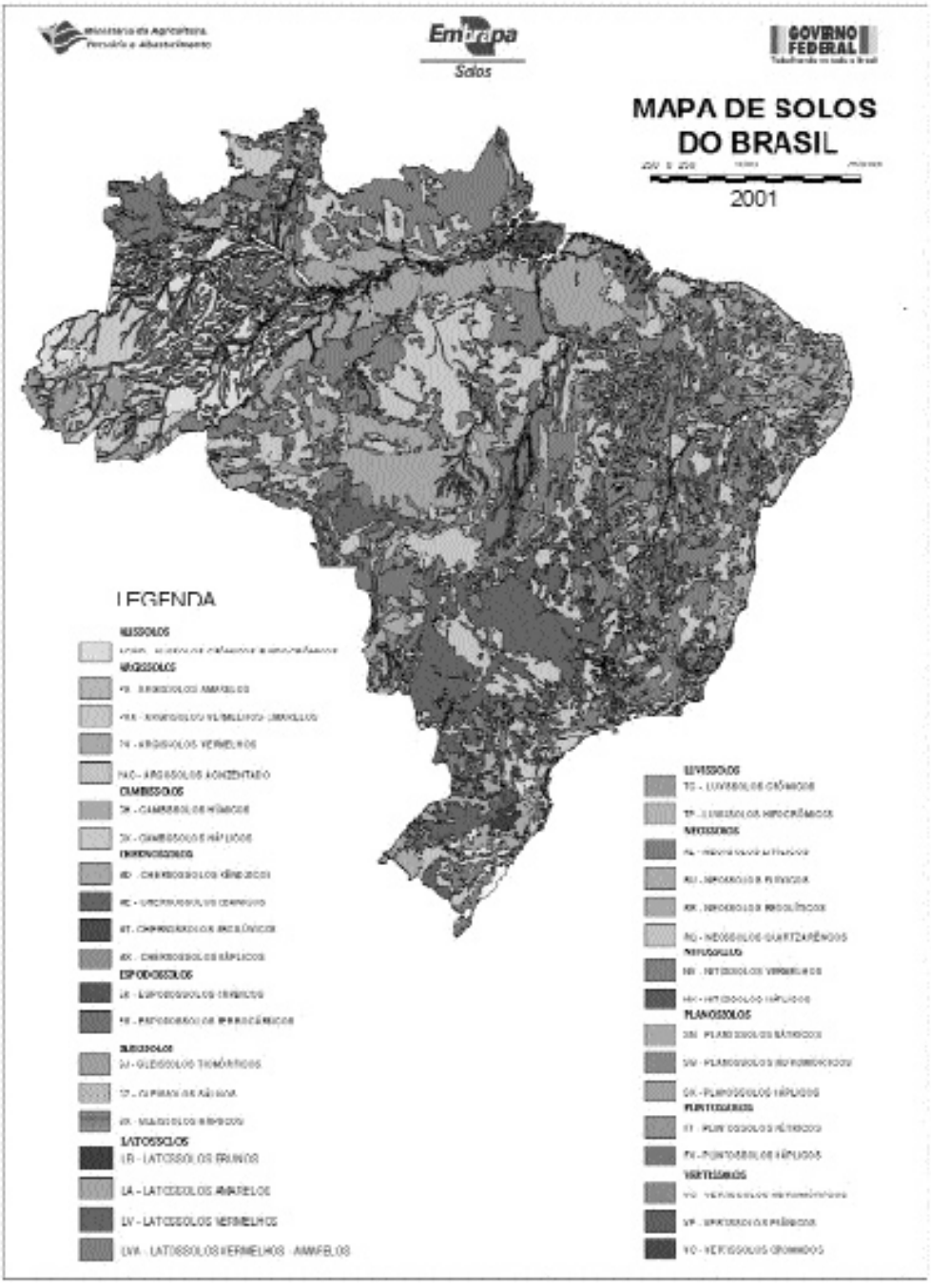


Figura III-15: Atualização da legenda do mapa de solos do Brasil na escala 1:5.000.000 (Embrapa, 1981), com base na 4ª aproximação do Sistema Brasileiro de Classificação de Solo (Embrapa,1999). Fonte: Coelho et al. (2002).

(1981), e estão ilustradas no Quadro (Cuadro) III-30. Devido às dimensões continentais, estas limitações apresentadas, principalmente as relacionadas aos solos ácidos, são representativas dos solos do Brasil. Além dos problemas já citados, destacam-se ainda as baixas disponibilidades dos macronutrientes primários (N, P e K), secundários (Ca, Mg e S), e de micronutrientes (Zn e Cu). Existem também grandes extensões de solos ácidos com baixa CTC e alto poder de fixação de fósforo, assim como elevada acidez trocável (Al3+). Com relação às limitações físicas há problemas com baixa disponibilidade de água, e o alto risco de erosão.

A suscetibilidade dos solos à erosão é reflexo da interação entre clima, relevo e tipo de solo. A Figura III-16 é a representação da interação destes fatores associados a estimativas experimentais de perdas de solo. As condições mais favoráveis ao desenvolvimento de processos erosivos

Uso atual das terras

De acordo com o Censo Agropecuário (IBGE, 1996), as atividades agropecuárias ocupam cerca de 27,6% do território (Quadro (Cuadro) III-31). O principal uso do solo no país é destinado à atividade pecuária, sendo que 21% do território brasileiro é ocupado por pastagens, ou seja, mais que o triplo das terras destinadas à produção de culturas permanentes e lavouras. O aproveitamento de pastagens naturais ainda permanece significativo, com 78 milhões de hectares em todo Brasil. Já para pastagens plantadas, a Região Centro Oeste possui pouco menos da metade da área, com 45 milhões de hectares, seguida pela Região Sudeste com cerca de 20 milhões de hectares.

Região	Cultura permanente	Cultura temporária	Pastagem natural	Pastagem plantada	Floresta plantada
			1.000.000 ha		
Norte	0,7	2,3	9,6	14,8	0,3
Nordeste	2,6	11,8	20,0	12,1	0,4
Sudeste	3,3	8,4	17,3	20,5	2,5
Sul	0,6	12,8	13,7	7,0	1,9
Centro-Oeste	0,2	7,2	17,4	45,3	0,3
Total	7,5	42,6	78,0	99,7	5,4

Apesar da expressiva área ocupada e do rebanho bovino nacional ser atualmente o segundo maior do mundo, com aproximadamente 160 milhões de cabeças (20% leiteiro e 80% para corte), as práticas extrativistas de exploração ainda prevalecem. A realidade da grande maioria dos produtores é a de baixa rentabilidade e conseqüente baixo uso de tecnologias, que na maioria das vezes levam ao processo de degradação das pastagens e consequentemente do solo. No entanto, já existem alternativas tecnológicas disponíveis como os programas de melhoramento genético, que incluem inseminação artificial e transferências de embriões, integração lavoura-pecuária, confinamento e semi-confinamento, e o recente programa oficial de rastreabilidade eletrônica de animais (Kluthcoususki et al., 2003; Manzatto et al., 2002; Santos e Câmara, 2002).

Quadro (Cuadro) III-31: Uso agrícola atual das terras do Brasil. FONTE: IBGE (1996).

A área de 43 milhões de hectares atualmente ocupada com lavouras (Quadro (Cuadro) III-31), é relativamente pequena se comparada com a área potencial que o país dispõe para este uso. No entanto uma análise a Figura III-17, retrata uma situação positiva da taxa de crescimento anual

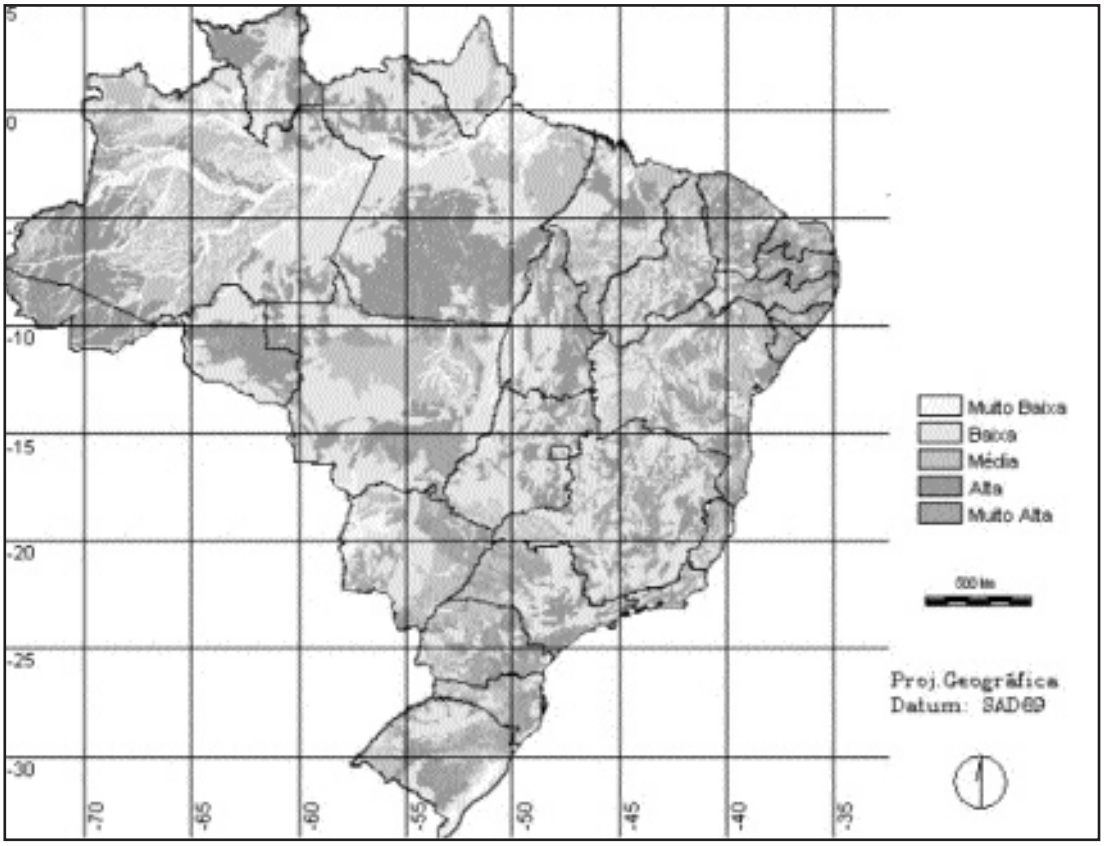


Figura III-16: Mapa de suscetibilidade dos solos à erosão hídrica. Fonte: Hernani et al. (2002).

da produção grãos, ou seja arroz, feijão, milho, soja e trigo e da área destinada ao plantio.

No período entre 1975 e 2001, houve uma evolução da área plantada de 34% (28,36 para 38,11 milhões de hectares), enquanto a produção e a produtividade obtiveram aumentos de 148% (de 38,1 para 97,3 milhões de toneladas) e 84% respectivamente. Esta evolução mostra que o aumento da produção, que até a década de 60 era obtido pela expansão da área agrícola, mais recentemente foram quase que exclusivamente devido aos aumentos de produtividade. Vários fatores contribuíram para a melhoria da produtividade entre eles a utilização de sementes de variedades geneticamente melhoradas, adoção de práticas de conservação do solo, medidas de controle fitossanitário mais eficientes, e a utilização de adubos e corretivos. Outro fator a ser considerado é de que estes aumentos de produtividade resultaram numa diminuição na utilização de terras no Brasil de aproximadamente 60 milhões de hectares, os quais tiveram outro destino (Cassales e Manzatto, 2002).
A região dos Cerrados brasileiros (Centro-Oeste) ocupa uma área de 204 milhões de hectares, dos quais apenas 7 milhões são ocupados com lavouras temporárias e 45 milhões de pastagens (Quadro (Cuadro) III-31), que representam cerca de 16 e 25% das áreas totais com lavoura e pastagens, respectivamente. Porém, contribui com cerca de 33% da safra de grãos, 40% do rebanho bovino nacional e 30% da produção de leite. Estes solos possuem um significado estratégico para

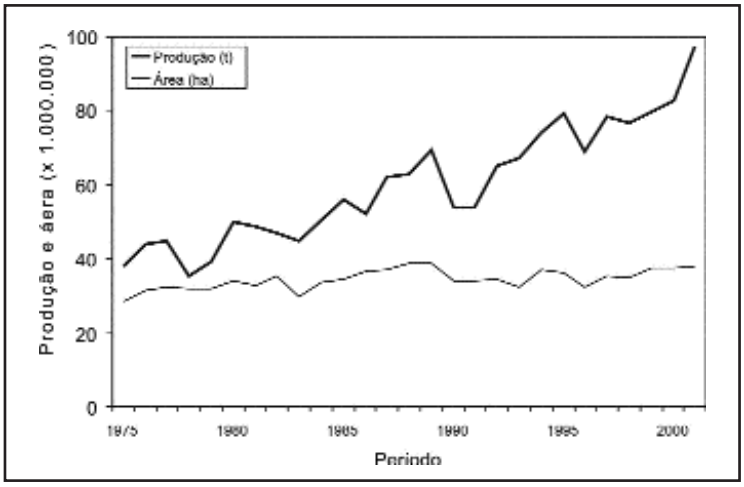


Figura III-17: Evolução da área e produção agrícola de grãos (arroz, feijão, milho, soja e trigo) no Brasil no período de 1975 a 2001. Fonte: IBGE

a produção futura de alimentos e a competição agrícola, reserva esta que poucos países do mundo dispõem (Manzatto et al., 2002; Santos e Câmara, 2002).

Na área ocupada pelas lavouras tem havido um significativo crescimento da adoção do sistema de plantio direto, uma prática de manejo conservacionista de solo que se caracteriza pela semeadura ou plantio sem prévio preparo do solo com arado, grade ou escarificador. Atualmente abrange uma área de mais de 14 milhões de hectares no Brasil, que representa aproximadamente 30% da área plantada com lavouras temporárias. Foi estabelecido inicialmente na região Sul do país, e na década de 90, verificou-se um incremento de mais de 1,2 milhões de ha na região do Cerrado (FEBRAPDP, 2002 a e b; Saturnino e Landers, 2002). Além dos efeitos positivos do plantio direto sobre o controle da erosão hídrica, existem outras importantes vantagens como a melhoria na das características físicas, químicas e biológicas do solo, tais como retenção de umidade, oscilação térmica, distribuição do fósforo e matéria orgânica, teor de nitrogênio e distribuição de alguns organismos do solo (Machado e Freitas, 2004). Há ainda evidências indicando que esta prática pode conduzir à economia da utilização de nutrientes, pois em solo sob plantio direto o maior acúmulo de matéria orgânica nos primeiros 10 cm de solo, em relação ao solo sob aração ou gradagens freqüentes, permite que haja menor fixação de fósforo nos minerais do solo pois frações orgânicas como os ácidos húmicos podem bloquear os sítios de adsorção no mineral (Wiethölter et al., 1998). Em sistemas de plantio direto, a inclusão da rotação de culturas com leguminosas resulta em economia no uso de adubo mineral nitrogenado na cultura subseqüente.

Potencial de uso das terras

O uso adequado da terra é uma das etapas no processo de conservação do solo, como um recurso natural. O emprego de cada parcela de terra de acordo com a sua aptidão, capacidade de sustentação e produtividade econômica, propicia que os recursos naturais sejam colocados à disposição no melhor uso e benefício, e sejam, ao mesmo tempo, preservado para gerações futuras. O Quadro (Cuadro) III-32, extraído de Ramalho Filho e Pereira (1999), apresenta a aptidão agrícola das terras do Brasil por região, evidenciando os diferentes níveis tecnológicos de manejo (primitivo, intermediário e avançado) e tipos de usos indicados.

Verifica-se que há uma grande predominância de terras aptas para lavouras quando comparadas às demais atividades. Considerando os diferentes níveis tecnológicos, o país dispõe de aproxi-

madamente 65% do seu território (5.552.673 km^2) de terras aptas ao uso agropecuário. No nível de manejo primitivo (A), predominam terras da classe Restrita, com sérias limitações em todas as regiões do país. Estes resultados confirmam que a utilização de tecnologias rudimentares limitam grandemente o cultivo de lavouras por agricultores. No nível de manejo pouco desenvolvido (B), verifica-se um certo equilíbrio entre as terras das classes Regular e Restrita, que apresentam limitações moderadas e fortes na maioria das regiões brasileiras. Já no nível de manejo desenvolvido e altamente tecnificado (C) ocorre o predomínio de terras com restrições moderadas. Observa-se que as terras mais férteis e propícias à agricultura (classe Boa) estão nos níveis de manejo B e C, e predominantemente nas regiões Sudeste e Sul. Aproximadamente 10% do território nacional, ou cerca de 926.137km^2 possuem terras indicadas para uso com pastagem plantada. A Região Sul se destaca positivamente, apresentando elevado potencial para essa atividade. Cerca de 56% de suas terras apresentam aptidão Boa para pastagens plantadas. As demais regiões se apresentaram constituídas de terras com classe de aptidão Regular e Restrita para pastagem plantada. Com relação à silvicultura, na Região Sul, cerca de 48% de suas terras tem aptidão variando de Boa a Regular. E a Região Nordeste apresenta alta percentagem de terras com aptidão Restrita, com 67% (Manzatto et al., 2002).

Tipo		Classe de aptidão por nível de manejo (km^2)								
De	Região	Nível de manejo A			Nível de manejo B			Nível de manejo C		
Utilização		Boa	Regular	Restrita	Boa	Regular	Restrita	Boa	Regular	Restrita
Lavouras	Norte	25,9	205,0	2046,9	106,9	1.751,6	427,4	30,0	1.731,0	328,1
	Nordeste	13,4	145,1	435,3	15,6	421,1	321,2	7,5	436,5	267,0
	Sudeste	22,7	118,7	147,5	102,9	130,8	330,8	78,2	266,3	46,0
	Centro-Oeste	2,5	68,1	356,1	10,7	385,9	579,2	107,4	636,9	231,5
	Sul	46,2	96,8	142,7	65,0	171,5	162,4	38,4	233,9	48,1
	Total	110,7	633,6	3.130,5	301,0	2.860,8	1.820,9	261,6	3.304,5	918,7
Pastagem plantada[1]	Norte	-	-	-	-	234,1	4,9	-	-	-
	Nordeste	-	-	-	4,9	91,6	26,0	-	-	-
	Sudeste	-	-	-	2,9	40,2	96,8	-	-	-
	Centro-Oeste	-	-	-	-	338,3	22,1	-	-	-
	Sul	-	-	-	34,1	16,8	10,2	-	-	-
	Total	-	-	-	42,0	722,1	162,0	-	-	-
Silvicultura[2]	Norte	-	-	-	-	-	3,8	-	-	-
	Nordeste	-	-	-	1,9	33,9	71,9	-	-	-
	Sudeste	-	-	-	-	58,6	9,4	-	-	-
	Centro-Oeste	-	-	-	-	139,4	71,0	-	-	-
	Sul	-	-	-	3,1	7,3	11,2	-	-	-
	Total	-	-	-	5,1	239,3	167,3	-	-	-
Pastagem natural[3]	Norte	-	-	9,5	-	-	-	-	-	-
	Nordeste	0,3	141,6	280,8	-	-	-	-	-	-
	Sudeste	-	0,9	77,1	-	-	-	-	-	-
	Centro-Oeste	-	-	209,2	-	-	-	-	-	-
	Sul	19,8	10,4	3,1	-	-	-	-	-	-
	Total	20,1	152,9	589,7	-	-	-	-	-	-

Quadro (Cuadro) III-32: Aptidão agrícola das terras do Brasil por região e por nível de manejo para os diferentes tipos de uso indicados.

[1]Terras com aptidão exclusiva para pastagem plantada; não aptas para lavouras. [2]Terras com aptidão exclusiva para silvicultura; não aptas para lavouras e pastagem plantada. 3Terras com ocorrência exclusiva de pastagem natural. Fonte: Ramalho Filho e Pereira (1999).

País	Area cultivada	Taxa de aplicação NPK	Relação N:P:K
	(10^6 ha)	(kg ha^{-1})	
China	153,9	257,2	1:0,4:0,2
Índia	170,1	94,8	1:0,4:0,2
EUA	178,1	108,6	1:0,4:0,4
Canadá	45,9	58,5	1:0,4:0,2
Austrália	48,8	46,9	1:1,1:0,2
Rússia	125,3	11,8	1:0,4:0,2
França	19,6	202,6	1:0,3:0,4
Argentina	35,0	21,1	1:0,7:0,1
Chile	2,3	197,2	1:0,8:0,4
Brasil	66,6	115,4	1:1,5:1,7

Quadro (Cuadro) III-33: Área cultivada, proporção da área que recebe fertilizantes e o consumo total de fertilizantes dos principais países consumidores.
Fonte: FAOSTAT (2004).

Uso de fertilizantes

Uso no mundo

O consumo de fertilizantes no mundo tem sido sistematicamente avaliado por 3 organizações: IFA - International Fertillizer Industry Association, IFDC - International Development Center e FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. O levantamento mais recente mostra que as culturas do trigo, arroz e milho consomem 50% do total de fertilizantes no mundo (FAOSTAT, 2004). Somados os consumos com pastagens, hortaliças, algodão, soja e cana-de-açúcar, este valor fica próximo a 80%. Os principais consumidores mundiais de fertilizantes são mostrados no Quadro (Cuadro) III-33. O Brasil é um dos maiores consumidores mundiais de fertilizantes químicos. Comparado com outros países em desenvolvimento, o Brasil destaca-se pelo nível relativamente alto de uso de fertilizantes químicos por área (115,4 kg ha-1 NPK), superado na América Latina somente pelo Chile (197,2 kg ha-1). Outro ponto a destacar são as proporções entre os macronutrientes. A relação entre N, P e K no Brasil é de 1:1,5:1,7, indicando alta proporção de uso de K em comparação com os Estados Unidos, países europeus, China e Índia, nos quais predomina o uso de N. No entanto, o baixo consumo proporcional de fertilizantes nitrogenados também pode ser indicativo das baixas produtividades observadas no País. Esta relação de consumo é histórica e, em média, de 1:1,43:1,55, segundo Yamada e Lopes (1999).

Uso de fertilizantes no Brasil

Como exposto anteriormente, os solos brasileiros são em geral ácidos, pobres em fósforo, cálcio, magnésio e com teores altos de alumínio. No entanto, aplica-se muito menos fertilizante e corretivo que o recomendado. Observa-se que apenas nas culturas da soja e cana-de-açúcar há uma utilização mais abrangente de fertilizantes, sendo que as taxas médias de adubação estão na faixa de 95 e 97%, respectivamente. As demais as taxas de fertilização não ultrapassam os 88% da área total (Quadro (Cuadro) III-34).

Os dados apresentados pela FAO (1999) mostraram que as culturas que mais utilizaram fertilizantes são soja (24%), milho (23%), cana-de-açúcar (21%), seguidas pelo café, arroz, feijão, trigo,

	Area	% Area	Taxa de aplicação			Consumo			
Culturas	Cultivada	Fertilizada	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O	Total
	1000 ha		Kg ha^{-1}			1000 Mt			
Milho	13888	76	35	36	36	369,4	380,0	380,0	1129,4
Soja	11376	97	5	51	51	55,2	562,8	562,8	1180,8
Feijão	4939	68	11	21	12	36,9	70,5	40,3	147,7
Cana-de-açúcar	4802	95	70	96	95	326,0	260,8	442,4	1029,2
Arroz	3805	76	30	46	27	82,2	126,0	74,0	282,2
Café	2021	84	97	24	97	164,7	40,7	164,7	370,1
Trigo	1837	83	8	41	41	12,2	62,5	62,5	137,2
Laranja	971	85	55	28	55	45,4	23,1	45,4	113,9
Algodão	662	85	26	49	49	15,1	28,4	28,4	71,9
Batata	181	88	93	324	185	14,8	51,6	29,5	95,9
Total	44402	-	-	-	-	1121,9	1686,5	1829,9	4538,2

Quadro (Cuadro) III-34: Área plantada das principais culturas no Brasil, porcentagem da área fertilizada, taxa de aplicação e utilização total de nutrientes, dados referentes a 1996.
Fonte: FAO (1999).

laranja, batata e algodão. Essas 10 culturas consomem aproximadamente 94% dos fertilizantes do País (Quadros (Cuadros) III-33 e III-34). Os dados mostrados por Yamada e Lopes (1999) corroboram estas constatações.

Embora responsável por três quartos do consumo total de fertilizantes (N, P2O5 e K2O) na América Latina, no período entre 1975 e 1989 o Brasil não ultrapassou o consumo de 5,0 milhões t anuais e entre 1989 e 1999 o consumo aumentou apenas 800 mil t. A partir de 2000 tem havido grande crescimento do consumo e atualmente o montante total está próximo de 7 milhões t (Figura III-18). As quedas de consumo relacionam-se a problemas de crédito, frustração de safras e baixos preços dos produtos agrícolas, enquanto os aumentos geralmente envolvem relação de troca favorável entre fertilizantes e produtos agrícolas em associação a safras satisfatórias quanto à produtividade.

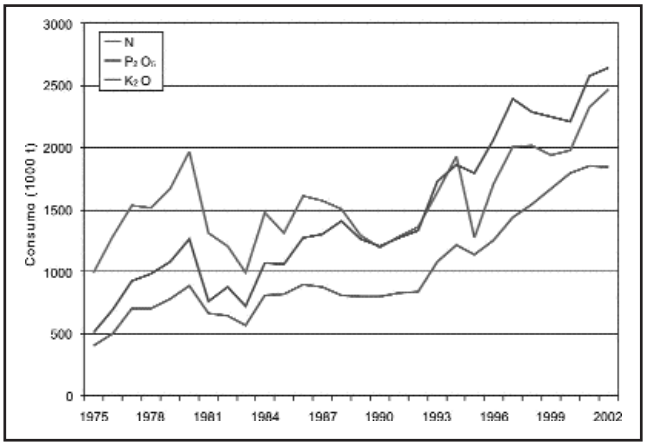


Figura III-18: Consumo de fertilizante N, P2O5 e K2O no Brasil.
Fonte: FAOSTAT (2004).

O K tornou-se, no Brasil, o principal macronutriente consumido desde o início dos anos 90 e a tendência atual de desenvolvimento do setor agropecuário está favorecendo o crescimento do uso de fertilizantes potássicos, sendo a maior parte comercializada como cloreto de potássio. No caso da soja, por exemplo, depois do N, o K é o segundo elemento absorvido em grandes quantidades pela planta e em cada 1.000 kg de sementes produzidas são extraídos 20 kg de K2O (MASCARENHAS et al., 2004).

A principal fonte de fertilizante nitrogenado utilizada é a uréia, apesar de seus grandes problemas de perdas por volatilização quando aplicada em superfície ou sobre a palha, como em SPD. Já o

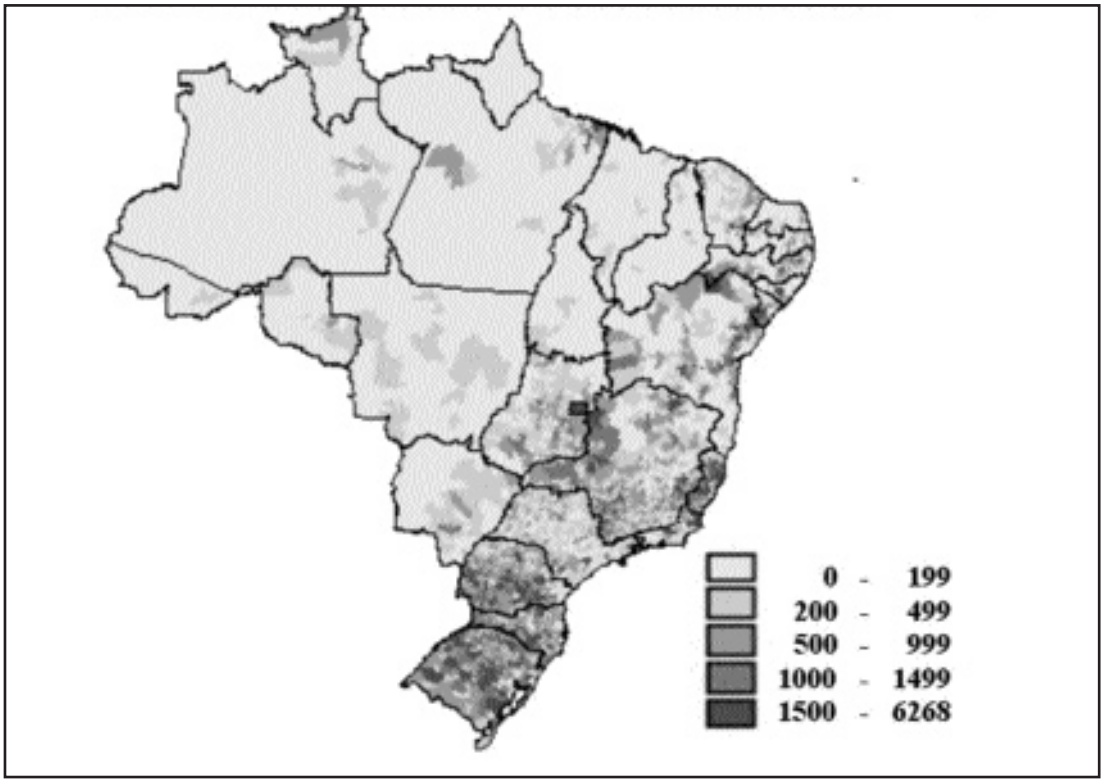


Figura III-19: Número de estabelecimentos que relataram uso sistemático de fertilizantes químicos, por município. Fonte: Dados de IBGE (1996) e IBGE (2003b), adaptado de Oliveira et al. (2005).

fertilizante fosfatado mais utilizado é o superfosfato simples, sendo, além de excelente fonte de P, também de Ca e enxofre (S).

O IBGE (1996) apresentou dados estatísticos em nível municipal indicando o número de estabelecimentos que sistematicamente aplicaram fertilizantes químicos, sem diferenciar entre N, P e K. O resultado, representado no cartograma da Figura III-19, com base nos dados do Censo Agropecuário (IBGE, 1996) e mostram o avanço tecnológico da agricultura na Região Sudeste, com investimentos muito altos, e o extremo oposto que ocorre na Região Nordeste, com baixo uso de tecnologias adequadas tanto nos minifúndios como nos latifúndios. Mas, para o País em geral, o nível de uso de fertilizantes químicos está ainda longe do ótimo. Segundo esse levantamento, apenas 31,9% dos 4,86 milhões de estabelecimentos relataram o uso sistemático de fertilizantes químicos.

O Quadro (Cuadro) III-35 mostra o consumo aparente de fertilizantes e matérias primas no Brasil no período de 1991 a 2000. A principal fonte de fertilizante nitrogenado utilizada é a uréia, apesar dos grandes problemas de perdas por volatilização deste fertilizante, quando aplicado em superfície ou sobre a palha como no plantio direto. Já o fertilizante fosfatado mais utilizado é superfosfato simples, sendo uma excelente fonte, além de fósforo, também de cálcio e enxofre. E a maior parte do fertilizante potássico é comercializada como cloreto de potássio. Destaca-se

ainda o consumo de fosfato monoamônio (MAP) e sulfato de amônio.

A partir da década de noventa, houve grandes investimentos na indústria de fertilizantes, que modificou uma situação em que a maior parte das matérias primas para fabricação de fertilizantes era importada. As produções nacionais das principais matérias primas estão no Quadro (Cuadro) III-35. A situação em 1996, de acordo com Yamada e Lopes (1999), era de que cerca de 47% da oferta de fertilizantes era suprida pela indústria nacional, e o restante suprido pela importação.

Para os micronutrientes não existem dados estatísticos disponíveis, como existem para os macronutrientes. Segundo Yamada e Lopes (1999), a estimativa do consumo total de produtos como fonte de micronutrientes era de 150 mil toneladas por ano, com as concentrações médias de: 4 a 8% de boro, 2 a 6% de cobre, 8 a 15% de manganês e, 12 a 15% de zinco. Em termos de quantidades seriam: 9 mil t de boro, 6 mil t de cobre, 17 mil toneladas de manganês e, 20 mil toneladas de zinco. Dados recentes publicados indicam a evolução do uso vem crescendo constantemente, e já chegou a cerca de 500 mil toneladas anuais (em 2003). Os micronutrientes para uso foliar alcançaram 200 mil toneladas comercializadas.

Em função da acidez excessiva dos solos, deveriam ser aplicados cerca de 75 milhões de toneladas anuais de calcário. Aplica-se hoje no país cerca de 20 milhões de toneladas de calcário por ano (Quadro (Cuadro) III-36). Embora a capacidade instalada para mineração e processamento seja atualmente de 50 milhões de toneladas anuais, a quantidade aplicada permaneceu pratica-

	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
	Fertilizantes (1000 t)									
Sulfato de amônio	921	843	960	918	1.077	1.239	1.347	1.195	1.365	1.864
Uréia	868	912	1.298	1.278	1.284	1.407	1.672	1.570	2.135	2.250
Nitrato de amônio	199	213	216	270	327	371	423	396	346	711
Superfosfato simples	2.145	2.267	2.812	2.954	2.707	2.949	3.529	3.701	3.650	4.297
Superfosfato triplo	776	755	701	844	653	774	945	844	760	937
Fosfato mono-amônio (MAP)	553	583	975	1.060	1.058	1.210	1.496	1.519	1.616	2.045
Fosfato di-amônio (DAP)	123	110	128	157	91	76	80	63	35	175
Fosfato parcialmente acidulado	93	119	131	144	171	89	49	37		8
Cloreto de potássio	2.071	2.175	2.851	2.802	2.369	3.381	3.955	3.619	3.733	4.781
Outros	824	914	895	787	658	866	887	608	423	474
Total	8.573	8.921	10.967	11.214	10.395	12.368	14.383	13.552	14.083	17.545
	Matérias primas (1000 t)									
Amônia	940	938	821	1.016	1.011	1.000	1.147	876	1.099	989
Ácido fosfórico	649	520	699	619	640	646	640	647	627	817
Ácido sulfúrico	2.452	2.066	2.221	2.631	2.776	2.397	3.026	3.161	3.070	3.513
Enxofre	1.021	843	887	1.133	1.167	1.172	1.229	1.208	1.349	1.335
Total	5.062	4.367	4.588	5.399	5.584	5.215	6.042	5.892	6.145	6.684

Quadro (Cuadro) III-35: Consumo aparente de fertilizantes, nutrientes e matérias primas no Brasil no período de 1991 a 2000. Fontes: IBGE; SECEX/MDIC; ANDA; SIACESP

mente constante nos últimos anos (Yamada e Lopes, 1998). Portanto, a cada ano, cerca de 60 milhões de toneladas de calcário deixam de ser aplicadas, resultando em menor eficiência dos fertilizantes, menor produtividade das lavouras, menor renda para os agricultores, maior perda

	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
					1.000 t					
Produção	10.525	15.624	19.390	20.457	12.245	14.763	17.432	16.285	15.768	19.305
Consumo aparente	10.525	15.408	19.659	20.435	12.262	15.617	17.059	16.136	15.304	19.812

da capacidade produtiva dos solos e, conseqüentemente, pressão sob os recursos naturais. No Quadro (Cuadro) III-37 estão apresentados os Estados com os maiores consumos de corretivos,

Estado	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
					1.000t					
São Paulo	2.000	3.430	3.611	4.567	3.362	3.437	3.724	3.597	3.205	3.323
Mato Grosso	1.000	1.426	2.228	2.284	774	1.343	1.254	1.914	1.351	3.100
Minas Gerais	1.700	1.800	2.300	2.341	1.770	1.870	1.968	1.877	2.177	2.987
Goiás	800	1.762	1.940	2.330	1.180	2.350	1.644	1.591	1.990	2.550
Paraná	2.000	2.073	2.812	3.481	1.852	2.422	2.907	2.532	2.166	2.285
Rio Grande do Sul	1.175	2.818	3.696	3.122	1.392	1.799	2.319	2.103	1.871	2.004

Quadro (Cuadro) III-37: Consumo aparente de calcário nos principais Estados (1000 t).
Fontes ANDA/ABRACAL

os quais são também onde se tem as maiores áreas agrícolas e a agricultura é mais tecnificada.

Provavelmente nas regiões que não estejam utilizando calcário, ou que este uso esteja abaixo do recomendado, deve estar havendo uma menor eficiência no uso de fertilizantes. Isso ocorre, pois existe uma interação positiva da calagem com o eficiência da adubação. Por exemplo, para uma melhor eficiência da adubação fosfatada em culturas anuais, é imprescindível que se faça antes a correção do solo. O efeito da calagem, na melhoria da eficiência de utilização de P pelas culturas, não está associado apenas à maior disponibilidade do P, mas também a um maior desenvolvimento do sistema radicular das culturas e a uma menor ou nenhuma interferência do Al trocável na absorção e utilização do P e dos outros nutrientes.

Quadro (Cuadro) III-36: Produção e consumo aparente calcário no Brasil no período de 1991 a 2000.
Fontes ANDA/ABRACAL

No Quadro (Cuadro) III-38 são apresentadas as áreas plantadas das principais culturas e as taxas de utilização dos fertilizantes macronutrientes nos Estados brasileiros. Os dados indicam grandes diferenças geográficas. No Estado de São Paulo, 64,7% dos estabelecimentos usaram fertilizantes químicos sistematicamente. No Estado do Paraná, que foi o principal produtor de soja até a inclusão da região do Cerrado, e em cujo setor agrícola predomina o cooperativismo com tecnologia moderna, o nível médio de uso sistemático de fertilizantes químicos foi de 60%.

Região ou Estado	Area plantada das principais culturas*	Utilização dos fertilizantes (macronutrientes)				Formula
		N	P2O5	K2O	Total	N : P : K
	(1000 ha-1)	(kg ha-1)				
Brasil	**54.574**	**32,7**	**45,8**	**50,3**	**128,8**	**7 : 17 : 17**
Norte	**2.120**	**5,5**	**9,9**	**10,3**	**25,7**	
Rondônia	464	2,4	4,4	4,1	10,9	4 : 16 : 14
Acre	102	0,5	0,7	0,5	1,7	n.d.
Amazonas	144	3,8	3,5	5,1	12,4	5 : 21 : 8
Roraima	38	2,0	7,3	5,9	15,2	12 : 13 : 13
Pará	1.309	4,0	7,9	8,3	20,2	5 : 12 : 22
Amapá	13	47,6	76,4	120,0	243,0	0 : 8 : 21
Tocantins	350	20,4	35,8	34,9	91,1	5 : 20 : 10
Nordeste	**10.135**	**13,1**	**17,1**	**21,2**	**51,4**	
Maranhão	1.294	7,5	21,7	19,5	48,7	4 : 17 : 22
Piauí	799	3,3	9,0	8,7	21,0	7 : 19 : 17
Ceará	1.492	1,4	1,0	1,8	4,2	12 : 12 : 21
Rio Grande do Norte	311	12,0	10,2	16,8	39,1	11 : 20 : 11
Paraíba	484	8,6	5,4	11,1	25,1	12 : 27 : 10
Pernambuco	1.361	17,5	10,2	22,0	49,7	14 : 15 : 14
Alagoas	653	40,7	22,5	53,4	116,6	12 : 13 : 12
Sergipe	264	10,0	7,5	9,5	27,0	13 : 12 : 16
Bahia	3.777	17,5	29,4	30,9	77,8	5 : 16 : 14
Sudeste	**12.794**	**68,0**	**59,2**	**78,7**	**205,9**	
Minas Gerais	5.481	71,2	66,7	81,4	219,3	8 : 16 : 15
Espírito Santo	869	49,5	19,3	50,9	119,7	20 : 7 : 17
Rio de Janeiro	236	22,2	17,8	33,7	73,7	8 : 8 : 17
São Paulo	6.208	70,3	60,9	82,5	213,6	12 : 14 : 17
Sul	18.010	30,1	44,5	44,0	118,0	
Paraná	8.734	32,4	48,8	47,0	128,3	9 : 17 : 17
Santa Catarina	3.300	42,4	36,8	33,0	112,2	14 : 16 : 13
Rio Grande do Sul	7.477	24,4	40,9	44,5	109,8	8 : 18 : 19
Centro-Oeste	**11.242**	**28,5**	**115,0**	**72,0**	**215,5**	
Mato Grosso do Sul	2.167	29,6	66,5	63,0	159,1	5 : 19 : 18
Mato Grosso	5.313	22,7	74,9	73,5	171,1	2 : 19 : 17
Goiás	3.370	36,1	81,8	75,4	193,3	5 : 19 : 18
Distrito Federal	93	59,2	106,1	86,9	252,2	10 : 16 : 17

Quadro (Cuadro) III-38: Utilização de fertilizantes (macronutrientes) nos Estados brasileiros.
**Algodão, arroz, batata, cacau, café, cana, citros, feijão, mandioca, manga, melão, milho, silvicultura, soja, tomate e trigo.*

Extração de nutrientes

Principais culturas

A produtividade média e os teores macro e micronutrientes na parte colhida das principais culturas brasileiras (algodão, arroz, batata, cacau, cana-de-açúcar, café, laranja, eucalipto, feijão, mandioca, manga, melão, milho, soja, tomate e trigo) estão no Quadro (Cuadro) III-39. A partir deste dados calculou-se as quantidades extraídas através da multiplicação da concentração de

	Produção	Área	Macronutrientes						Micronutrientes					
Culturas		plantada	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Mo
	10^3 t ou m ^{3}	10^3 ha	kg por t						g por t					mg por t
Algodão	2.166	764	23,0	4,0	16,0	8,4	3,7	7,7	33,0	10,0	243,0	14,6	12,3	150
Arroz	10.446	3.172	12,0	3,0	3,0	1,0	1,0	0,7	4,4	6,3	60,9	25,2	40,9	160
Batata	3.126	161	3,0	0,3	4,0	0,2	0,2	0,2	2,0	2,0	20,0	20,0	4,0	1000
Cacau	175	680	32,0	6,0	48,0	1,0	2,0	1,0	12,0	16,0	80,0	28,0	47,0	40
Café	2.611	2.429	18,0	1,2	27,0	3,4	1,4	1,5	25,0	16,5	105,0	25,0	39,3	6
Cana	364.389	5.207	1,2	0,2	1,1	0,1	0,2	0,2	2,0	1,8	25,0	12,0	5,0	20
Citros	19.515	882	2,2	0,2	1,8	0,5	0,1	0,1	2,2	1,2	6,6	2,8	0,9	8
Feijão	3.064	4.322	35,0	3,5	14,7	3,1	2,6	3,7	70,0	10,0		17,0	30,0	1000
Mandioca	23.148	1.747	3,0	0,3	3,0	0,6	0,3	0,1	1,8	0,8	24,0	1,6	4,6	-
Manga	850	68	1,3	0,2	1,6	-	-	0,2	0,9	1,3	3,6	3,5	1,4	4,40
Melão	352	17	2,0	0,5	2,4	-	-	-	8,8	22,0	45,2	28,3	10,9	-
Milho	35.941	12.305	20,0	4,0	5,5	0,1	1,8	1,7	1,5	8,0	40,0	8,0	40,0	1000
Silvicultura*	196.541	4.247	1,1	0,1	0,7	1,6	0,4	0,5	3,7	2,3	10,0	20,0	1,1	29
Soja	42.108	16.376	60,6	5,2	18,7	1,9	2,2	3,2	30,0	15,0	100,0	20,0	42,5	3000
Tomate	3.653	63	1,8	1,0	2,1	0,1	0,2	0,3	5,0	10,0	25,0	24,0	25,0	12
Trigo	3.106	2.152	22,5	4,5	13,5	1,0	3,0	1,3	133,0	0,0	40,0	30,0	0,1	-

Quadro (Cuadro) III-39: Produtividade atual e ótima e extração de nutrientes das principais culturas no Brasil.
**Eucalipto e Pinus, produção de lenha, madeira em tora, para papel e celulose para outras finalidades.*
Fonte: Barbosa Filho (1987); Burton (1989), Castelane et al. (1991); Haag et al. (1991a), Haag et al. (1991b), IBGE (2002), Malavolta (1986); Malavolta e Violante Neto (1989); Malavolta et al. (1997); Oliveira e Thung (1988); Nakagawa (1991); Raij et al. (1997); Yamada e Lopes (1999).

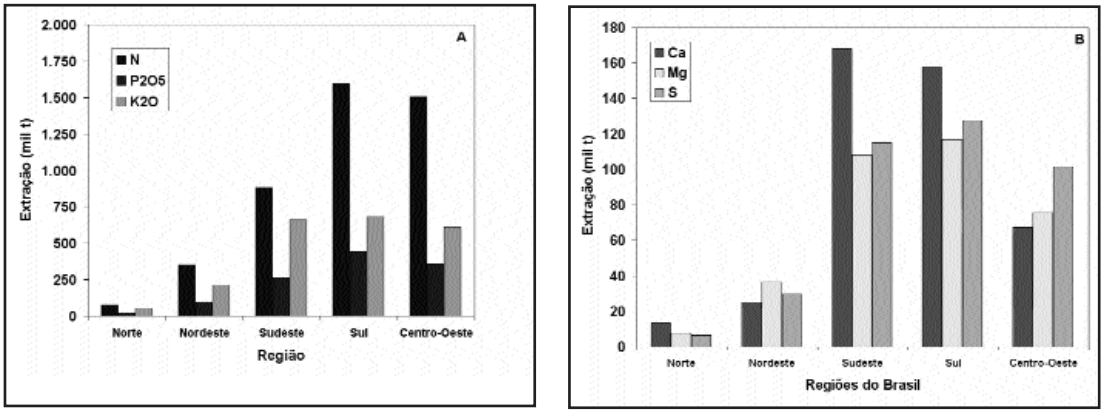


Figura III-20 A y B: Extração de macronutrientes primários N, P e K (A), secundários Ca, Mg e S (B) pelas principais culturas no Brasil, com base no ano de 2002.

nutrientes na parte colhida pela respectiva produção brasileira. A partir do estabelecimento de produtividades ótimas, foi feita uma simulação das quantidades a extração de nutrientes para estas produtividades.

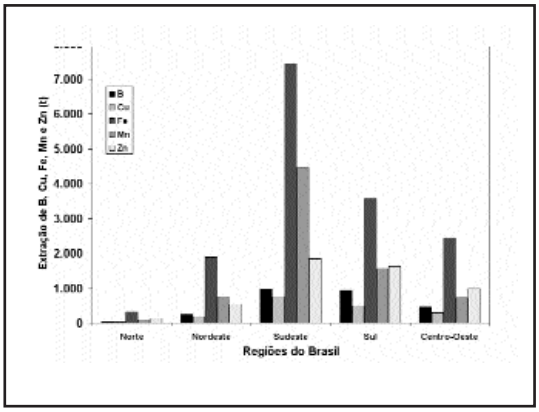


Figura III-21: Extração de micronutrientes B, Cu, Fe, Mn e Zn pelas principais culturas no Brasil, com base no ano de 2002.

A avaliação da quantidade de macronutrientes primários extraídos em 2002 pelas principais culturas brasileiras (Figura III-20A) mostra que o nitrogênio foi o nutriente mais extraído com 4.404 mil toneladas, seguido do potássio com 1.846 mil toneladas, equivalentes a 2.233 mil toneladas de K_2O, e do fósforo com 520 mil toneladas, equivalentes a 1.191 mil toneladas de P_2O_5. A relação N:P_2O_5:K_2O foi de 3,7:1,00:1,87.

Quanto aos macronutrientes secundários (Figura III-20B), as extrações de cálcio, magnésio e enxofre foram respectivamente, 444, 339 e 384 mil toneladas. Dos micronutrientes (Figura 6), o ferro foi o mais extraído pelas plantas em 2002 (18.654 t), seguido pelo manganês (9.194 t), zinco (6.100 t), boro (3.513 t), cobre (2.182) e molibdênio (182 t).

Observa-se na Figura III-20A, que em termos regionais, no Sul as culturas geraram em 2002 as maiores quantidades de extração de nutrientes primários: 1.598 mil toneladas de N, 444 mil toneladas de P_2O_5 e 682 mil toneladas de K_2O, as quais respectivamente representaram 36, 37 e 31% do total do país. A segunda maior extração foi a da Região Centro-Oeste com 1.506 mil toneladas de N; 358 mil toneladas de P_2O_5 e, 613 mil toneladas de K_2O, que representaram respectivamente 34, 30 e 27% do total. Em seguida as extrações da região Sudeste (20, 22 e 30% do total de N, de P_2O_5 e K_2O), Nordeste (8, 8 e 10% do total de N, de P_2O_5 e K_2O) e, Norte (2, 2 e 2% do total de N, de P_2O_5 e K_2O).

No entanto, há uma inversão das quantidades extraídas dos macronutrientes secundários Ca, Mg e S (Figura III-21), sendo que a ordem decrescente de extração por região é: Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Nordeste e Norte. Já a ordem decrescente de extração dos micronutrientes B, Cu, Fe, Mn e Zn (Figura III-21) é Sudeste, Sul, Centro-Oeste, Nordeste e Norte. A extração de molibdênio não foi representada na Figura III-21 por ser de ordem muito inferior aos demais valores. Porém a ordem de extração por região é: Centro-Oeste, Sul, Sudeste, Nordeste e Norte, com respectivamente 39, 38, 16, 6 e 1% do total de 182 toneladas extraídas do micronutriente.

Pastagens

Dos quase 178 milhões de hectares sob pastagem, cerca de 100 milhões são de pastagens plantadas ou cerca de 13% da área total do País. As principais forrageiras utilizadas são: as do gênero Brachiaria (B. decumbens, B. brizantha, B. ruziensis e B. humidicola), Panicum maximum (Capim-Tanzânia, Mombaça e Colonião), Andropogon gayanus, Hyparrhenia rufa (jaraguá), Digitaria decumbens (pangola) e outros de expressão mais regionalizada.

A maior parte da pecuária brasileira caracteriza-se como uma atividade extensiva e extrativista, que apresenta baixos índices produtivos. O rebanho bovino nacional é mantido, na sua maioria,

em pastagens implantadas em solos de baixa fertilidade e que não recebem corretivos ou fertilizantes. A ausência desses insumos, tanto na implantação como na manutenção, e o manejo inadequado das gramíneas e dos solos são as principais causas de degradação das pastagens no país. Estima-se que apenas no Brasil Central, aproximadamente 80% dos aproximadamente 50 milhões de hectares de pastagens estejam degradados ou em processo de degradação.

A degradação das pastagens estão entre as principais causas para que a pecuária nacional apresente índices zootécnicos muito baixos. A taxa média brasileira de ocupação é de 0,5 UA ha-1 (UA = 450 kg peso vivo), com produtividades anuais de carne e de leite em torno de 50 e 2.000 kg ha-1, respectivamente.

A remoção de nutrientes pelas forrageiras varia de 200 a 300kg de N, 30 a 60kg de P e 200 a 500kg de K por hectare. Já a remoção devida aos animais é muito baixa, pois numa pastagem de braquiária de alta produção com 2 a 4 cabeças por hectare, com ganho de peso diário de 1kg por ha, a exportação anual é de cerca de 9 kg de N, 5 kg de P_2O_5 e 0,84 kg de K_2O por hectare (Monteiro e Werner, 1994).

No Brasil, a adubação da pastagem nativa ou plantada é insignificante gerando índices zootécnicos pífios. Entretanto, os efeitos benéficos da adubação são observados já no primeiro ano após a aplicação, enquanto a reposição das perdas pode melhorar em muito a eficiência da adubação, uma vez que a reciclagem é muito alta em pastagens produtivas e de qualidade.

Balanço de nutrientes

Os balanços para macronutrientes primários (N, P e K), representados pela diferença entre as entradas e saídas encontram-se no Quadro (Cuadro) III-40. Este balaço foi calculado com os dados mais recentes disponíveis, com informações sobre o consumo de fertilizantes (ANDA, 2003) e área plantada e produção das principais culturas brasileiras (IBGE, 2002).

Desse modo, as entradas foram calculadas com base no Quadro (Cuadro) III-38, resultado do produto da área cultivada com as principais culturas e as quantidades dos macronutrientes primários utilizados. Outro aspecto que foi considerado foi a eficiência de utilização dos fertilizantes, os quais segundo dados da literatura (IFA, 1992) são de 60% para o nitrogênio, 30% para o fósforo e de 70% para o potássio. Já as saídas foram calculadas com base no Quadro (Cuadro) III-39 e são o produto da extração de nutrientes por tonelada das principais culturas e sua produção. Portanto o Quadro (Cuadro) III-40, onde é apresentado o balanço, representa a subtração das entradas e saídas de nutrientes por Estados brasileiros.

Observa-se que há um balanço negativo apenas para o nutriente nitrogênio, sendo que para P e K a situação está praticamente equilibrada. Refazendo o cálculo e descontando-se as 2.551 mil toneladas de nitrogênio extraídas pela cultura da soja, que no Brasil é cultivada sem fornecimento deste nutriente, ainda assim teríamos um balanço negativo com um déficit 781 mil toneladas.

O balanço mais adequado seria o do fósforo, que apresenta no Brasil todo o superávit de 525 mil toneladas. Já a situação do potássio está tendendo ao equilíbrio, uma vez que o balanço apesar

	N	P_2O_5	K_2O
	toneladas		
Brasil	**-3.333.062**	**525.741**	**91.213**
Norte	**-68.391**	**23.544**	**-26.077**
Rondônia	-12.614	1.066	-6.503
Acre	-2.756	-851	-1.932
Amazonas	-3.792	-129	-3.390
Roraima	-1.530	-172	-410
Pará	-33.473	6.804	-24.287
Amapá	303	2.213	1.592
Tocantins	-14.859	22.228	6.255
Nordeste	**-220.153**	**298.022**	**44.708**
Maranhão	-44.909	40.544	6.534
Piauí	-8.651	13.258	2.730
Ceará	-112.435	-23.214	-43.766
Rio Grande do Norte	-4.404	4.363	-946
Paraíba	-6.473	2.125	-2.738
Pernambuco	-9.574	14.206	-62
Alagoas	-7.465	20.925	6.077
Sergipe	-3.642	2.573	-2.447
Bahia	-107.595	230.187	85.149
Sudeste	**-12.584**	**1.488.341**	**595.151**
Minas Gerais	88.840	748.382	365.829
Espírito Santo	9.643	33.342	16.670
Rio de Janeiro	-5.754	4.777	-2.436
São Paulo	-99.091	697.722	179.494
Sul	**-1.007.235**	**1.545.520**	**374.632**
Paraná	-616.504	731.746	106.822
Santa Catarina	-4.309	241.936	66.525
Rio Grande do Sul	-359.320	545.244	184.257
Centro-Oeste	**-1.185.456**	**2.602.573**	**366.792**
Mato Grosso do Sul	-185.442	270.139	60.248
Mato Grosso	-685.831	777.344	173.024
Goiás	-310.477	521.393	130.306
Distrito Federal	-5.351	19.484	5.400

Quadro (Cuadro) III-40: Balanço de macronutrientes primários na agricultura brasileira.

de positivo apresenta superávit de apenas 91 mil toneladas, sendo que a região Norte e alguns Estados da região Nordeste, apresentam balanço negativo.

Adubações balanceadas e meio ambiente

A prática da adubação é um dos principais fatores para a obtenção de altas produções e qualidade adequada dos produtos agrícolas. A questão reside na possibilidade de se obter altas produtividades com o mínimo de impacto no meio ambiente.

Resultados experimentais têm mostrado que a resposta está no fornecimento balanceado de nutrientes pela adubação como ponto chave para a redução do impacto ambiental dos adubos. Dentre as ferramentas à disposição a análise de solo talvez seja a mais facilmente acessível. Esta técnica permite avaliar a disponibilidade de nutrientes às culturas, e é atualmente a principal prática utilizada para a recomendação das doses de corretivos e adubos. Outro fator são as boas práticas de manejo visando o uso eficiente de adubos, as quais incluem a forma de aplicação do adubo e época adequada de fornecimento.

Como já foi mostrado, uso de adubos minerais (fertilizantes químicos) e orgânicos (adubação verde de inverno e verão e estercos) no país é ainda baixa, por isso ainda não causam problemas ao ambiente (contaminação de águas subterrâneas, por exemplo) como os registrado em países como Holanda e Alemanha. Os itens a seguir servem para destacar como o manejo integrado de nutrientes deve nortear a estratégia de adubação das culturas na busca do aumento da produtividade como da proteção ao meio ambiente para as gerações futuras (Gruhn et al., 2000).

Fatores que interferem na eficiência do uso de nutrientes

Inicialmente a fertilidade do solo atendia às necessidades de produção na agricultura. Os esforços

Fatores da Planta	
Efeitos ambientais	**Fisiológicos**
Intensidade e qualidade da luz	Estado nutricional
Temperatura e umidade	Idade e taxa de crescimento
Efeitos do pH do solo	Relação raiz/parte aérea
Geometria da raiz e pêlos radiculares	Taxa de absorção de água
Número e comprimento	Taxa de efluxo de nutriente
Taxa de crescimento	Taxa de transporte de nutriente
Raio da raiz	Distribuição do nutriente na planta
Rizosfera	Eficiência de utilização
Solubilidade do nutriente	Baixa necessidade funcional do nutriente
Exudados	
Associação microbiana	
Fatores do Solo	
Solução do solo	**Difusão e Fluxo de massa**
Equilíbrio iônico	Umidade do solo
Solubilidade, precipitação	Tortuosidade
Íons competitivos	Propriedades iônicas
Íons orgânicos	Concentrações iônicas
pH	**Outros fatores**
Umidade e temperatura	Propriedades físico-químicas do solo

e conhecimentos eram basicamente dirigidos para os fatores que influenciam a disponibilidade dos elementos essenciais no solo, métodos de análise de solo e tecidos vegetais para avaliação dos teores destes elementos, as interações entre os nutrientes e o solo, ciclagem de nutrientes, métodos de aplicação de fertilizantes, e o desenvolvimento de técnicas de manejo de solo para otimização e o uso eficiente de nutrientes. Várias técnicas têm surgido nas últimas décadas com potencial para alterarem significativamente o manejo da fertilidade do solo (Sims, 2000). O entendimento mais profundo sobre os processos de difusão e fluxo de massa dos nutrientes na rizosfera foram obtidos nas décadas de 70 e 80 (Barber, 1984). No entanto, atualmente sabe-se que cada planta tem uma influência diferenciada no ambiente radicular, indicando a necessidade do novos estudos sobre as interações do sistema solo-planta. A disponibilidade de nutrientes para as

plantas é controlada por um complexo conjunto de fatores ligados às características dos vegetais e às condições do solo. Estes fatores foram listados por Baligar et al. (1990) e são apresentados no Quadro (Cuadro) III-41.

Quadro (Cuadro) III-41: Mecanismos e processos que contribuem para o uso eficiente de nutriente nas plantas. Fonte: Baligar et al. (1990)

Práticas visando o uso eficiente

Na busca pela otimização da utilização de insumos é necessário que inicialmente se alcance o aperfeiçoamento da eficiência na utilização desses insumos. Por isso, a seguir são apresentados sucintamente aspectos que devem ser considerados para a otimização do uso destes insumos.

Uso de genótipos mais eficientes

O emprego de cultivares eficientes na absorção e utilização de nutrientes é uma importante estratégia para a redução de custo da produção agrícola, por permitir menor uso de fertilizantes e corretivos na agricultura. A literatura indica que existe grande diferença entre os cultivares quanto à capacidade de absorção e utilização de nutrientes. Essas diferenças entre cultivares podem ser relacionadas ao processo fisiológico da planta ou às mudanças favoráveis para o cultivar na rizosfera (Fageria, 1992).

Calagem e gessagem

As raízes das plantas não se desenvolvem adequadamente em solos muito ácidos, contendo excesso de alumínio trocável ou teores muito baixos de cálcio. A origem da acidez pode ser decorrente da rocha de origem, remoção das bases (Ca, Mg, K), decomposição da matéria orgânica e absorção de nutrientes pelas plantas. A prática agrícola pode aumentar a acidificação através da aplicação de fertilizantes, especialmente os nitrogenados na forma amoniacal (sulfato de amônio). A calagem possibilita a correção da acidez nos solos, porém para que os resultados sejam adequados, aspectos como a qualidade do calcário, dose, época, e modo de aplicação desse insumo devem ser considerados. Outros efeitos benéficos são o aumento da disponibilidade dos nutrientes (principalmente fósforo e molibdênio), aumento do volume de solo explorado pelas raízes, aumento da capacidade de troca de cátions, diminuição da fixação do fósforo, diminuição dos teores excessivos de alumínio tóxico e de manganês, favorecimento da fixação simbiótica do nitrogênio, e melhoria das propriedades físicas e biológicas do solo.

Os efeitos da calagem podem ficar restritos à camada arável ou superficial do solo e, o subsolo permanecendo ácido impossibilita o desenvolvimento do sistema radicular e limita a absorção de água e nutrientes, principalmente em períodos curtos de seca, como nos veranicos. Existem vários resultados mostrando que a correção da acidez das camadas profundas favorece a produção das culturas, e essa correção pode ocorrer com a prática da gessagem (Raij, 1988).

Fertilizantes nitrogenados

Nos principais adubos nitrogenados comercializados no Brasil, o nitrogênio está presente nas formas amídica, nítrica e amoniacal, sendo todas solúveis em água. Quando aplicadas no solo, em curto período de tempo, a maior parte do N amídico ou amoniacal sofre oxidação e passa para a forma nítrica. Esta é a forma predominantemente absorvida pelas plantas, no entanto, pouco retida no complexo de troca do solo, e sujeita a perdas por lixiviação. A eficiência da adubação nitrogenada é aumentada por meio de diversas práticas como: emprego de formas com disponibilidade controlada, parcelamento das doses recomendadas, localização adequada em relação às plantas e sementes, e calagem. Outra fonte de perda de N é através da volatilização de amônia e pode ocorrer em solos com pH acima de 7 quando os adubos contendo o N amoniacal aplicados na superfície. A uréia, aplicada em superfície está sujeita a perdas por volatilização, mesmo em solos ácidos. Estas perdas são potencializadas se a uréia for aplicada na superfície de solos úmidos, ou sobre resíduos de plantas, como no caso do plantio direto. Em solos de várzea, que permanecem inundados, não se deve utilizar adubos com N na forma nítrica, pois as condições redutoras do solo provocam rápida desnitrificação e formação de N2 e N2O (FAO, 1998; Isherwood 1998; Johnston, 2000).

Fertilizante fosfatados

O fósforo é o nutriente que mais limita a produtividade na maioria dos solos tropicais. Com a prática das adubações os teores no solo tendem a se elevar, devido ao efeito residual. Considerando-se que os fosfatos são recursos naturais não renováveis, é imperioso utilizá-los de forma eficiente. Para que as culturas utilizem o fósforo aplicado é necessário que ocorra uma reação entre o fosfato e o solo, por isso a disponibilidade deste nutriente depende do equilíbrio e dinâmica no solo. A fração argila dos solos da região tropical é constituída predominantemente por caulinita e óxidos de Fe e Al, ou seja minerais de carga variável, e que possuem um alto poder de fixação do fosfato. Como conseqüência, a maior parte do P aplicado em solos argilosos é adsorvida de forma não-trocável, com poucas chances de retornar à solução do solo e de ser aproveitada pelas plantas. Desse modo, uma opção para melhorar a recuperação do fosfato aplicado via fertilizantes é diminuir, antes de sua aplicação, a capacidade do solo em fixar o íon-fosfato. Os fatores que afetam a disponibilidade deste nutriente no solo são as quantidades adicionadas, o tempo e o volume de contato do fertilizante com o solo, o tipo e a quantidade de minerais presentes no solo, e o pH do solo. Por isso, a observação e controle destes fatores podem, efetivamente, reduzir a adsorção do fosfato aplicado. Assim, as práticas essenciais no manejo da adubação fosfatada e na economia deste nutriente são: análise de solo e recomendação de doses adequadas, melhoria do volume de solo explorado pelas raízes, através da calagem, e redução do contato do fosfato com o solo através do uso de adubos na forma granulada, e a incorporação de forma localizada nos sulco ou covas de plantio (FAO, 1998; Isherwood 1998; Novais e Smyth, 1999; Johnston, 2000).

Fertilizantes potássicos

A adubação potássica nos solos tropicais é de grande importância, em função da grande extração pela maioria das culturas, associada às baixas reservas do nutriente nestes solos muito intemperizados. Portanto, a sua restituição às plantas deve ser feita através da adubação potássica.

O suprimento de potássio às plantas varia em função da forma em que se encontra no solo, da sua quantidade e do seu grau de disponibilidade nas diferentes formas, além dos fatores que interferem no deslocamento do nutriente na solução do solo até as raízes. O manejo da adubação, com relação às doses e modos de aplicação (sulcos, a lanço e parcelada) deve ser considerado, devido ao alto potencial de perdas por lixiviação que alguns solos podem apresentar. A aplicação de plantio normalmente é recomendada para ser realizada no sulco, porém também possa ser feita a lanço, antes do plantio, sendo que em solos com baixa fertilidade, aplicação no sulco pode ser mais viável economicamente. No entanto, a aplicação de altas doses de potássio no sulco de plantio deve ser evitada devido ao efeito salino pelo aumento do potencial osmótico e, em alguns casos, para diminuir as perdas por lixiviação, principalmente nos solos arenosos, com baixa capacidade de troca. Por isso, a doses elevadas devem ser reduzidas no plantio, e o restante da aplicação pode ser feita em cobertura e a lanço, no período de maior exigência da cultura. Outro aspecto que deve ser considerado é o de que a adubação tardia em cobertura a lanço em solos argilosos pode não ser eficiente (FAO, 1998; Isherwood 1998; Johnston, 2000).

Fertilizantes com micronutrientes

Os micronutrientes desempenham papéis importantes no metabolismo vegetal, seja como constituintes de compostos ou como reguladores do funcionamento de sistemas enzimáticos. O suprimento adequado destes elementos é importante, para se evitarem diminuição da produção agrícola. No entanto, tem se observado no Brasil, um aumento da deficiência de micronutrientes. Isso tem ocorrido devido ao aumento de produtividade das culturas, à incorporação de solos de baixa fertilidade ao processo produtivo, ao uso crescente de calcário e adubos fosfatados, à incorporação inadequada de corretivos, e ao cultivo de variedades com alto potencial de produção e alta demanda por micronutrientes. As quantidades destes nutrientes requeridos pelas plantas são muito pequenas, quando comparadas aos macronutrientes. As aplicações em excesso podem ser mais prejudiciais às plantas que a própria deficiência. Existem ainda grandes diferenças de comportamento de espécies vegetais, e até mesmo variedades, dentro das mesmas espécies, com relação às exigências de micronutrientes. As formas de fornecimento dos micronutrientes podem ser através da aplicação no solo (no sulco ou covas, ou na superfície em culturas perenes), da adubação foliar, da fertirrigação ou das sementes. Nas aplicações localizadas as formas solúveis em água são mais prontamente disponíveis, já as fontes insolúveis devem ser utilizadas em área total (Lopes, 1999).

Alternativas aos fertilizantes minerais

Visando a redução ou substituição dos fertilizantes comerciais utilizados, existem diversos sistemas alternativos, os quais utilizam novas técnicas e conceitos de manejo de solo e da fertilidade. Estas incluem o uso de espécies leguminosas como adubo verde, rotação de culturas, uso de adubos orgânicos, e o uso de resíduos urbanos, industriais e agrícolas. Algumas destas alternativas são destacadas a seguir.

Adubação orgânica

O principal efeito que se deseja com a adubação orgânica é a melhoria das propriedades físicas e biológicas do solo. Com sua utilização observa-se melhoria na porosidade do solo, retenção de umidade do solo e, menor temperatura do solo (com cobertura morta na superfície ou 'mulch'). Estes produtos podem também ser utilizados como fontes de nutrientes, levando-se em conta que possuem-nos em teores mais baixos e desbalanceados, necessitando, muitas vezes, de complementação com fertilizantes minerais. Alguns nutrientes, presentes nos adubos orgânicos, principalmente nitrogênio e fósforo, sofrem um processo de disponibilização mais lenta que os adubos minerais, no entanto este efeito é mais prolongado. De modo geral pode-se considerar que no 1º ano de aplicação 50% do N, 70% do P_2O_5 e 100% do K_2O serão disponibilizados. Um aspecto importante que deve ser observado é o processo de cura (fermentação), o qual é essencial para a utilização de estercos e compostos. O objetivo é a obtenção de um produto homogêneo, estruturado, sem os odores desagradáveis característicos, isento de sementes viáveis de plantas daninhas, pragas e patógenos causadores de doenças. Além disso este processo auxilia na obtenção de produtos com uma relação C/N ideal, boa mineralização dos compostos orgânicos e conseqüente liberação dos nutrientes através da mineralização (Ribeiro et al., 1999).

Comparações diretas entre adubo orgânico e mineral não são convenientes e gera mais polêmica que esclarecimento, pois os adubos orgânicos têm efeito de amplo espectro nas propriedades do solo, ou seja, efeitos físicos e biológicos, além do químico, sem considerar a diversidade de fontes e composições, modo, época e quantidade de aplicação e os efeitos específicos da matéria orgânica no solo. O maior interesse atual talvez esteja em estudos do uso associado destas 2 fontes de nutrientes (Sanchez, 1997).

Um aspecto muito importante na adubação orgânica é a escolha do adubo. O melhor adubo orgânico é aquele que atenda às necessidades do solo e da planta cultivada. Este deve ser obtido em quantidades compatíveis com a área cultivada e a um custo compatível com a capacidade do agricultor e também com o benefício que ele irá trazer a longo prazo. É sempre importante consultar um agrônomo para auxiliar na escolha do adubo orgânico, pois é preciso saber das exigências da cultura, analisar o solo, analisar o adubo orgânico existente na região, verificar sua origem (adubos oriundos de resíduos industriais podem conter metais pesados em excesso como zinco e cádmio, que podem causar problemas à saúde pública) e verificar se ele atende às necessidades.

Fixação biológica do N_2 e associações com fungos micorrízicos

A substituição da parte de N mineral aplicado como adubo, pela fixação biológica do N_2 é uma opção para que se possa reduzir os custos de produção, através da redução da utilização deste insumo. A fixação biológica do N_2 é o processo pelo qual os organismos vivos conseguem aproveitar o N do ar, incorporando-o à biosfera. Em termos de importância agrícola, o principal sistema de fixação biológica do N_2 é a simbiose rizóbio-leguminosa. Na cultura da soja tem-se verificado os maiores sucessos e avanços na utilização desta simbiose, sendo que atualmente a principal fonte desse nutriente é a fixação biológica do N2. Esse processo supre totalmente as necessidades de N da planta, sendo inclusive desnecessárias as pequenas doses utilizadas nos plantios (Vargas e Suhet, 1982; Hungria et al., 1997). Entretanto, é necessário que a soja esteja bem nodulada e, para isso, as condições de solo mais apropriadas ao processo devem ser observadas,

assim como a adequada inoculação das sementes (nos primeiros anos de cultivo).

A associação simbiótica de fungos micorrízicos com raízes de certas plantas é um fenômeno muito conhecido, no qual as hifas desses fungos se constituem em uma extensão do sistema radicular das plantas. Isso resulta em maior superfície para absorção de nutrientes, principalmente aqueles que se movimentam no solo por difusão, por exemplo, P e Zn. A grande maioria das plantas que nodulam e fixam nitrogênio atmosférico, formam associações micorrízicas. Isto é de grande importância ecológica e agronômica, pois a nodulação e a fixação biológica de nitrogênio (FBN) dependem de um adequado balanço nutricional na planta hospedeira, especialmente do fósforo. Uma vez que plantas micorrizadas absorvem maiores quantidades de P do solo, a micorrização pode beneficiar o processo de FBN, e as plantas nodulada e micorrizadas estarão melhor adaptadas para enfrentar as situações de deficiências nutricionais existentes nos solos tropicais (Lopes e Siqueira, 1981).
A natureza dos efeitos do P na simbiose leguminosa-rizóbio-MVA não é bem entendida, mas evidências indicam que o efeito benéfico das MVA sobre FBN é conseqüente ao melhor estado nutricional da planta micorrizada (Bethlenfalvay e Yoder, 1981), pois a atividade da nitrogenase é dependente de ATP e fonte redutora, que são processos que possuem elevado requerimento de P.

Adubos verdes

Além de contribuir com a matéria orgânica do solo, as leguminosas utilizadas como adubos verdes poderiam ainda auxiliar no controle da erosão e propiciar reciclagem às camadas superficiais do solo de alguns nutrientes que são perdidos por lixiviação. Além da reciclagem estas espécies poderiam funcionar como fontes de nutrientes pouco disponíveis no solo como P e Mo. Há ainda evidências de que a mucuna e a Crotalaria juncea podem não apenas controlar os nematóides como também algumas plantas daninhas (Alvarenga et al., 1995). A grande vantagem da adubação é a possibilidade de ser conduzido em grandes áreas a um custo muito mais baixo que a adubação orgânica convencional.

Uso de resíduos

O uso de resíduos orgânicos de diferentes origens deve ser incentivado pelo fato de que, quando isso não acontece aumentam-se as chances de o meio ambiente ser prejudicado. Isso ocorre, por exemplo com o lodo de esgoto que é uma fonte de matéria orgânica e nutrientes, principalmente fósforo. Na maioria dos casos, o destino que se dá ao lodo no Brasil não é o agrícola, sendo comum o descarte desse insumo em rios e córregos, que se tornam altamente poluídos e desprovidos de peixes e outros organismos.

A aplicação de compostos de lixo urbano em solos cultivados proporciona aumentos na fitodisponibilidade de P, K, Ca e Mg, elevação do pH, da CTC e redução da acidez potencial do solo. Entretanto, é comum encontrar na composição de compostos de lixo metais pesados, cujas concentrações variam conforme as regiões onde são gerados. Dessa forma, a utilização agronômica desses resíduos, por anos sucessivos, traz preocupações quanto ao acúmulo desses elementos no solo e à possibilidade de sua absorção pelas plantas cultivadas. Os metais pesados, em solos

tratados com compostos orgânicos de lodo de esgoto e lixo urbano, são mantidos em formas que não estão prontamente disponíveis às plantas, demonstrando que a capacidade de adsorção específica dos metais provenientes dos resíduos irá persistir pelo tempo que esses elementos persistirem no solo (Hoitnk e Keener, 1993).

Uso de rochas trituradas

Ultimamente vem crescendo o interesse pelo uso de rochas trituradas ou moídas como adubos fertilizantes para as culturas. A justificativa reside na combinação entre fatores químicos dos solos tropicais e econômicos. No Brasil, há uma vasta fonte de rochas ricas em potássio, fósforo, magnésio e cálcio que poderia reduzir a excessiva dependência nas fontes convencionais de adubos. Segundo algumas análises, os teores de fosfato (1.215 a 3038 mg kg-1), cálcio e magnésio (40 a 73 mg kg-1) e potássio (158 a 308 mg kg-1) são adequados para serem utilizados como adubos de liberação lenta. Como exemplo destas rochas pode-se citar as rochas ígneas como o basalto, andesito, fonolito, anortosito e sienito, assim como as rochas metamórficas ou sedimentares como a marga e o serpentinito. Entretanto, há a necessidade de mais pesquisas para avaliar o desempenho das rochas moídas, misturadas ou não com adubos minerais convencionais e adubos orgânicos, na agricultura tropical em solos ácidos (Leonardos, et al., 2000).

Novas tecnologias para o manejo integrado de nutrientes

Nas últimas décadas algumas tecnologias têm se destacado como sendo propostas de alteração no manejo do solo, e que podem alterar significativamente o uso de fertilizantes. Estas técnicas são o preparo conservacionista (incluindo o plantio direto), os sistemas agroflorestais, e as técnicas de agricultura de precisão.

Plantio Direto

O preparo conservacionista ou plantio direto representa a mais significativa alteração no manejo de solos da história moderna da agricultura. Esta técnica permite que se obtenha a produção agrícola com um mínimo risco de erosão. Foi inicialmente introduzida na América do Norte, e atualmente está sendo largamente utilizada, na América do Sul (especialmente no Brasil), Austrália e em menores extensões na Europa (Bradford and Peterson, 2000). Aproximadamente 37% das terras agricultáveis nos Estados Unidos estão sendo manejadas com sistemas conservacionistas, que incluem o plantio direto e o cultivo mínimo (Lal et al., 1999). O sistema de plantio direto está tomando impulso em várias regiões do Brasil, como já foi apresentado anteriormente, ocupando cerca de 25% das terras com culturas anuais. Neste sistema, as características físicas, químicas e biológicas do solo são afetadas diferencialmente em relação ao plantio convencional, tais como retenção de umidade, oscilação térmica, distribuição do fósforo e matéria orgânica, teor de nitrogênio e distribuição de alguns organismos do solo (Muzzilli, 1983; Wiethölter, 2000; Machado e Silva, 2001).

Sistemas agroflorestais

A utilização dos sistemas agroflorestais tiveram maior destaque a partir da década de 1980. Propõem a combinação d árvores de crescimento rápido com sistemas agrícolas, que incluem também a utilização de pastagem para alimentação animal (Mergen, 1986). Este sistema proporciona uma maior biodiversidade associada com a produção agrícola, além disso proporciona um aumento no seqüestro de carbono (Schroeder, 1993).

Agricultura de precisão

As técnicas de agricultura de precisão, ou de manejo de sítios específicos, tem sido utilizadas com sucesso em alguns locais, como uma alternativa economicamente viável para a otimização do uso de nutrientes. Esta técnica se baseia na amostragem intensa das áreas de cultivo e uso de técnicas de geoestatística e de modelagem. Como propõem a quantificação, processamento e diagnósticos de vários fatores quer interferem na produção agrícola, representa atualmente um das alternativas de manejo mais científicas e avançada. A agricultura de precisão pode ser considerada como o início de uma revolução no manejo de recursos naturais baseada na tecnologia de informação. Mas esta técnica também pode ser vista como uma evolução, uma vez que o manejo mais preciso dos solos e das culturas é possível através do uso de informações mais precisas e novas tecnologias. Com o uso destas técnicas a agricultura alcançou um novo patamar, no qual as etapas do processo produtivo são integradas e todo o processo controlado através de tecnologias de aquisição e processamento de informações (Heuvel,1996; Bouma et al., 1999; Sims, 2000).

A agricultura de precisão, certamente, não está limitada ao uso de tecnologias e equipamentos de ponta pelos produtores de países desenvolvidos. Segundo Machado et al. (2004), o maior desafio está justamente na quantificação e integração das variações espaço-temporais da produtividade das culturas, variáveis essas associadas ao solo e à planta, e condicionadas pelos mais de 54 fatores determinantes do crescimento e desenvolvimento das culturas.

Efeitos benéficos das adubações balanceadas

Aumento da eficiência do uso do solo, nutrientes e água

Culturas nutridas de forma balanceada podem produzir mais com a mesma quantidade de água disponível. Estas plantas serão mais saudáveis e vigorosas, com maior produção de biomassa e, conseqüentemente, com uma melhor cobertura da superfície solo, levando à redução das perdas de solo e de nutriente por lixiviação e escoamento superficial. O processo foi esquematizado por Resek (1996) da seguinte maneira: melhor condição química > CTC > maior produção de biomassa vegetal > população microbiana > maior decomposição > cargas e subprodutos cimentantes > agregação do solo > maior armazenamento > de água > disponibilidade de nutrientes para as plantas.

Preservação ambiental

Os níveis adequados de nutrientes no solo podem aumentar significativamente o potencial de seqüestro de carbono. As culturas mais produtivas tendem a aumentar os níveis de carbono orgânico dos solos e seqüestro do CO_2 atmosférico, além de que para seqüestrar 10 toneladas de

1 ha em opção de manejo sustentável	ha salvos do desflorestamento anualmente
Arroz irrigado	11,0
Pastagens de leguminosas e gramíneas	10,5
Culturas com alto uso de insumos	8,8
Culturas com baixo uso de insumos	4,6

carbono, são necessários 833 kg de nitrogênio, 200 kg de fósforo e 143 kg de enxofre (Himes, 1998; Stewart, 2002).

O uso de adubações balanceadas também pode reduzir o potencial de desflorestamento e preservação ambiental. De acordo com Lopes e Guilherme (1991), mostraram que com a utilização adequada de fertilizantes e corretivos é possível verticalizar a produção agrícola por área (produtividade), evitando dessa forma que haja a necessidade de incorporação de novas áreas para aumentar o volume de produção. Esta redução da área necessária para agricultura, propiciando mais áreas para lazer e preservação ambiental. Um exemplo desta troca é apresentado no Quadro (Cuadro) III-42, adaptada de Sanchez et al. (1990) que avalairam diversas opções de manejo para Yurimaguas no Peru. Para cada hectare adaptado às tecnologias de manejo do solo visando uma agricultura sustentável, 5 a 10 hectares por ano de florestas tropicais são salvas do cultivo convencional, em função da alta produtividade que pode ser alcançada pelas tecnologias alternativas.

Quadro (Cuadro) III-42: Áreas que podem ser salvas do desflorestamento por várias opções de manejo, estimada para Yurimaguas noPeru.

Chile

Carlos Rojas Walker [1] y Liliana N. Castro[2]

Introducción

El Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN), inició en 1963 la exploración de yacimientos fosfáticos en Chile comenzando por la Bahía de Tongoy y siguiendo en 1976 con el Proyecto "Fosforitas de Mejillones detectando un primer depósito de importancia en Chile. Posteriormente entre 1982-85, CORFO y la Comisión de Energía Nuclear, estudian el área de Bahía Inglesa, detectando el segundo depósito de importancia. Ambas instituciones desde 1980 exploran el sector de Bahía Salado (27º 38º-27º 54' S y 70º47'-78º8' W. (Besoaín E., 1989).

Posteriormente, las tres empresas estudian con precisión el Área Puerto Aldea-Tongoy-Pachingo indicándose que ésta área presenta las mejores opciones para detectar nuevos recursos de fosforitas.

La matriz fosfórica de las rocas de Mejillones y Bahía Inglesa es la carbonato fluor apatita.(francolitas) "de origen sedimentario marino con alto grado de sustitución isomórfica de fosfato por carbonato, de allí su buen valor fertilizante. Las rocas de La Serena, en cambio, son clorhidroxiapatitas de origen ígneo metamórfico de más baja solubilidad.

Las rocas de Mejillones y Bahía Inglesa son de alta reactividad y potencial fertilizante, para uso directo, usadas en suelos volcánicos de pH ácido (<6) y alto contenido de materia orgánica.

En este trabajo, se presenta una síntesis de las principales características geológicas, físico- químicas y agronómicas de las rocas fosfóricas chilenas, mediante el apoyo de recientes resultados obtenidos.

[1]*CRI-La Platina Santa Rosa 11610, Comuna La Pintana Santiago, Chile. crojas@inia.cl*
[2] *Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Argentina lilianacastro@fibertel.com.ar*

Manifestaciones Fosfáticas

Los yacimientos chilenos son de mediana importancia para su explotación. Se reconocen tres tipos de depósitos: (a) Rocas sedimentarias terciarias (fosforitas), (b) Vetas de apatita y (c) Acumulaciones del guano (Salas, 1985).

a) Fosforitas

Las rocas sedimentarias de origen marino (fosforitas) de edad miocena- pliocena se localizan principalmente en tres depósitos: Mejillones, Caldera y Tongoy .Se encuentran desde el Norte en Mejillones (III Región a 23º, 06'S y 70º 27'W). Bahía Inglesa, Bahía Salado, Bahía de Tongoy, Puerto Aldea y Pachingo más al sur (IV Región, a 30º 20" S y 71º 22'W), orientados en una faja alargada entre la III y IV Regiones. Se estiman las reservas totales de fosforita en 3,7 x108 toneladas métricas con contenidos de 6-17% de P_20_5. Reservas de mayor ley, 12-30% de P_20_5, no superan las 3,2 x 106 ton métricas.
Las manifestaciones fosfáticas se localizan en la Formación Caleta Herradura, que es parte de la secuencia marina aflorante en Península de Mejillones. Está compuesta por areniscas fosilíferas calcáreas, calizas pelitas arenosas y pelitas con importantes niveles de diatomeas y fosfatos.

En Caleta Herradura, se compone de cinco miembros. El Miembro 4 es el más importante en términos de potencial económico ya que en él se ubican los niveles fosfáticos (de 3 a 5 m de espesor) junto con pelitas, arenisca bioclásticas finas y medianas, areniscas calcáreas, con un espesor total que varia entre 32 y 94 m (Valdebenito, 1989). Son de edad neógena y yacen discordantes sobre las rocas más antiguas. Basado en su contenido fosilífero se asigna a los niveles fosfáticos al Mioceno medio a temprano tardío (Martinez Pardo, 1978). La mineralogía de las fosforitas se componen de feldespato, cuarzo, apatita, anfíbol, calcita, caolinita y sericita (Valdebenito, 1979). Las rocas fosfáticas se la pueden clasificar como arenisca fosfática feldespática lítica fosilífera. Los componentes aloquímicos incluyen pellets y oolitas de francolita bien redondeados entre 0.2 -0.5 mm en diámetro, los bioclastos se encuentran fosfatizados. El ambiente de formación sugerido es el de plataforma externa en áreas de corrientes de upwelling. El trabajo mecánico posdepositación favoreció a la concentración de los fosfatos, (Valdebenito y Gutierrez, 1979 en Valdebenito, 1989) estiman el recurso en 56 Millones de toneladas con un 6-7% de $P_2 O_5$.

En el área de Bahía Inglesa-Caldera de Bahía existen varios niveles fosfáticos de 0.2 m a 3m de espesor, aflorantes en un área de 15 km^2. Los recursos estimados son de 15 Mt con el 18% $P_2 O_5$ y de 88 Mt con 7-17% $P_2 O_5$, y se reportó 5 Mt contenidos en un solo banco con una ley promedio de 16.3% $P_2 O_5$. Un perfil generalizado de base a techo, se compone de areniscas y conglomerados con intercalaciones de coquinas y coquinas arenosa, con alto contenido fosilífero (10 a 30 m), conglomerados fosfáticos fosilíferos, que en sectores gradúan a areniscas oolíticas fosfáticas de hasta 3 m de espesor, (0,2 a 1,5 m), limolitas con intercalaciones de niveles conglomerádicos (8 a 16m) y coquinas semiconsolidas.

Las areniscas fosfáticas en parte conglomerádicas son de color castaño rojiza muy consolidada, masiva, con intensa bioturbación dada por la presencia de trazas fósiles. Al microscopio se observa una textura clástica flotante a tangencial formada por un 35 % de clastos subredondeados a subangulosos de cuarzo, plagioclasa, feldespato potásico, microclino, piroxenos (augita e hi-

persteno), parcialmente alterados, fragmentos líticos, principalmente de vulcanitas mesosilícicas y cuarzo policristalino. La matriz que constituye el 25 % de la muestra tiene una composición similar a los clastos, parcialmente fosfatizada. La abundante cantidad de gastrópodos (turritelas), briozoos y bivalvos (ostreas y pectínidos), restos óseos, dientes de rayas y tiburones parcial a totalmente fosfatizados. El cemento que constituye el 40 % del total de la roca es de composición fosfática (francolita) en mosaicos de fosfato cristalino, parcialmente reemplazado por calcita (Castro, 2005, com.pers)

Las características presentes en Bahía Inglesa indican la fosfogénesis primaria fue el resultado de la precipitación sinsedimentaria o diagenética de apatita dentro de los sedimentos favorecida por corrientes de upwelling. El posterior retrabajo mecánico y la meteorización por medio de olas y corrientes, concentró en algunos niveles, partículas tales como concreciones, dientes, huesos, entre otros, formando bancos conglomerádicos -arenosos.

En el área de Tongoy, los fosfatos se encuentran dentro de los niveles de areniscas ooliticas fosfáticas, con una ley menor (13% P_2O_5). La reserva estimada es de 5-6 Mt. El nivel principal fosfático cubre 405 km^2, con un espesor promedio de 0.6m y localmente está cubierto de 80 m de sedimentos cuaternarios (Appleton y Nothold, 2002). Otros datos (Notholt,1999) indican para los depósitos de Tongoy-Guanaqueros un área de aproximadamente 50 km^2 con niveles fosfáticos con un contenido promedio del 7.2% $P_2 O_5$.

Los depósitos de Bahía Salado incluyen niveles con concreciones fosfáticas de 0.4 m de espesor con 13-22% $P_2 O_5$. Los recursos se estiman en 30 MT con promedio del 17% $P_2 O_5$ (Notholt, 1999; Salas, 1985).

Cabe destacar que Chile cuenta con una extensa Zona Económica Exclusiva (ZEE) de 4.264.560 km^2, donde existen recursos minerales de potenciales económico. Las áreas de interés potenciales respecto de este recurso se encuentran asociados al margen continental, ligado al proceso de surgencia de aguas frías profundas ricas en contenido de nutrientes (upwelling). Los sectores más interesantes son Península de Mejillones y la cuenca de Caldera.

b) Vetas de apatita

Se localizan en las provincias de Coquimbo y de Atacama. Estos depósitos se les atribuye un origen hidrotermal de alta temperatura o pneumatolítico. Están alojados en rocas dioriticas y gabricas ubicadas una faja costera entre el pueblo Hundido, el sureste de Taltal, y el sur de Coquimbo. Las vetas y las lentes varían desde menos de 1 m a aproximadamente 10 m en longitud y excepcionalmente exceden 500 m, con un espesor menor a 4 m. Están compuestas por cloroapatita asociada a magnetita, anfíbol, y a mica sericitica. La manifestación más importante está en la Serena y contiene el 28% $P_2 O_5$, el 37% CaO, el 9% SiO_2, el 2% Al_2O_3, el 18% Fe_2O_3, 5% Cl, y trazas de MgO y del CO_2. Las reservas totales estimadas son en 2.5 MT con 25-28% $P_2 O_5$ y 3 MT adicionales con 10-12% P2O5 (Notholt, 1999).

c) Guano

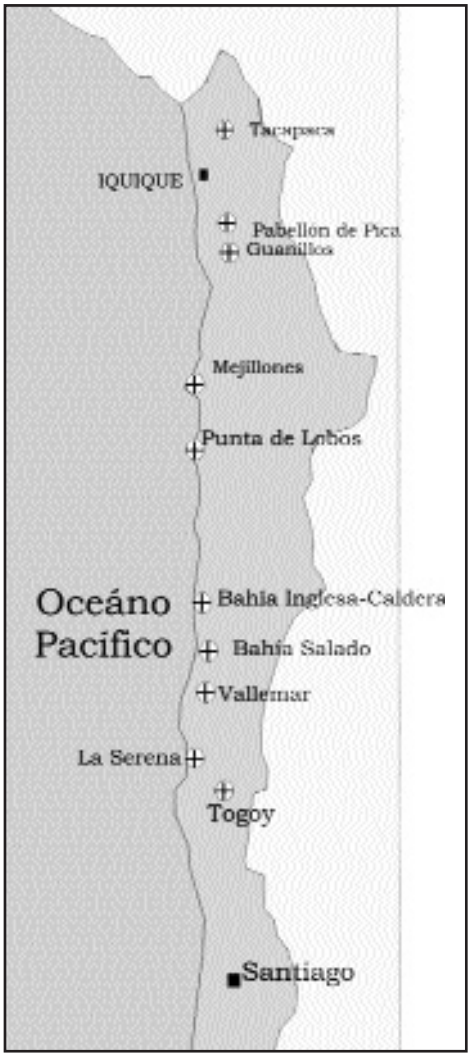


Figura III-24 ,Los yacimientos de fosforita e ígneos de de Chile (Castro, 2005).

Similares a lo depósitos de Perú, a lo largo de la costa norte de Chile (provincias de Tarapaca y de Antofagasta) aparecen extensos depósitos de guano fosfático cubriendo los sectores bajos y las cárcavas, alcanzando un espesor de 20 m en el área costera. El guano rojo o fósil es el más valioso, contiene hasta un 18-20% P_2O_5 y menos el de 2% N y K_2O. Las reservas totales del guano rojo con 18% P_2O_5 se estiman en 1 MT y con 15% de P_2O_5 en 500.000 toneladas (Notholt, 1999).

Recientemente, FAO (2004), ha hecho una recopilación de los antecedentes mundiales de rocas fosfóricas y ha citado algunos de estos recursos nacionales.

En la Figura III-24, se destacan los yacimientos de fosforita y apatita en las regiones consideradas de Chile.

Los principales depósitos de rocas fosfóricas chilenas, su ubicación y origen, se observan en Cuadro III-44. Estos antecedentes, solo consideran los depósitos continentales del país y no aquellos recursos marinos susceptibles de explotar en la Zona Económica Exclusiva (ZEE) de 4.264.560 km2, cuya presencia parece ser de gran magnitud, pero su potencialidad depende de la preparación de recursos humanos en la exploración futura y factibilidad de explotación económica de estos recursos (Vergara H. Profesor, Instituto de Oceanología, Universidad de Valparaíso, Comunicación personal).

Características químicas de los minerales fosfáticos

Actualmente, se conoce con cierta precisión los principios físicos-químicos que condicionan la eficiencia fertilizante de las rocas y así es posible deducir también luego de una eficiente caracterización, su potencialidad fertilizante. Este efecto sin duda, depende también de la interacción de estos materiales con las propiedades del suelo, su pH, materia orgánica y composición mineralógica, contenido de Calcio y la disponibilidad y capacidad de sorción de fósforo de los suelos. Estas interacciones, condicionan un resultado final, en la medida que estos componentes van interactuando con las raíces y el comportamiento de la planta que crece en el suelo (Rojas -Walker, C. y Besoaín E, 1991).

Mineral fosfatico	Rocas Asociadas	Ubicación de Depósitos	Ley Promedio P_2O_5 %	Potencia
APATITA	Igneas y metamórficas contacto + plutones graníticos.	Sector occidental de III y IV Regiones.	12 – 30	4 millones TM
		Pampa Soledad (Chañaral)	12-30	No precisado
CARBONATO FLUOR - APATITA (FRANCOLITA)	Fosforita Rocas sedimentarias marinas	Mejillones. II Región	6,2	56 millones TM
		Bahía Inglesa	7-17	88 millones TM
		Bahía Salada III Región	5-20	30 millones TM
		Tongoy-Guanaqueros IV R.	4-22	200 millones TM
		Arauco, VIII Región	0,5 - 3	No precisado

Cuadro III-44. Principales depósitos de rocas fosfóricas en Chile y sus características generales (Adaptado de Valdebenito y Gutiérrez, A. 1979; Osses, 1986).

Fósforo soluble, % de la roca					
Roca fosfórica	Citrato amonio neutro [1]	Acido cítrico 2%	Acido fórmico 2%	Citrato amonio pH 3	Solub. absoluta en citrato
Chile					
La Serena	0.14	2.90	3.40		
Mejillones	0.26	2.10	1.70		
Bahía Inglesa	2.35	3.90	4.11	4.54	
Colombia					
Huila	1.50	2.30	2.70	10.50	12.20
Pesca	0.80	3.00	2.30	8.50	9.70
Perú					
Bayovar	2.40	6.60	9.50	24.10	14.90
USA					
Carolina del Norte	3.10	6.90	11.20	19.80	

Solubilidad de las rocas

La solubilidad de las rocas, constituye una primera aproximación para predecir la reactividad química, en este caso las rocas molidas y tamizadas por 100 mesh, son tratadas con diversos extractantes tales como ácido cítrico 2 M y ácido fórmico al 2%.

Algunos resultados de solubilidad de las rocas chilenas, se aprecian en el Cuadro III-45 en comparación con algunas rocas de Perú y Colombia y la roca de Carolina del Norte, calificada como de amplia reactividad. Se observa que en América Latina, la roca peruana de Bayovar, resulta de una alta reactividad en cualquiera de los extractantes empleados.

La solubilidad al citrato de amonio neutro, obtenida después de una segunda extracción, liberan los carbonatos libres que pueden enmascarar los resultados de la primera extracción y de este modo lograr una aproximación de su potencial agronómico relativo (León A., 1999).

[1] *Segunda extracción.*

Cuadro III-45. Reactividad química de algunas rocas fosfóricas de América Latina incluyendo las rocas fosfóricas

Roca fosfórica						
Componente	La Serena	Mejillones	B. Inglesa	Florida	N.Carolina	Bayovar
Carbonato apatita		3	5	5	5	5
Clorhidroxiapatita	5					
Cuarzo	tr	3	2	2	1	1
Plagioclasa		5	2	2	1	1
Biotita		1		tr		
Anfibol	2	1	tr	tr		
Clorita		1				
Yeso	1	1				
Ilmenita		1				
Calcita	1	1	1	1	1	1
Otros*	1	1	1	1	1	1

chilenas. (Besoaín y otros, 1999).

Composición mineralógica de las rocas

La apatita es el principal componente de las rocas fosfóricas (Lehr, 1967).
Según Chien (1977), la solubilidad de las rocas aumenta cuando la sustitución de fosfato por carbonatos en la estructura de la apatita se incrementa.

Así, el grado de sustitución isomórfica en la apatita es factor clave para determinar la reactividad química.

En el cuadro III-46, se observa la composición general de algunas rocas clásicas con algunas de las rocas chilenas.
Coeficiente de frecuencia: 5= dominante, 4 abundante, 3= común, 2= presente, 1= escaso o raro.
** Halita, epsomita, caolinita, dolomita. (Besoaín y otros, 1999).*
Cuadro III-46. Composición mineralógica de las rocas fosfóricas.

Las mismas muestras, sometidas a análisis con apoyo de espectrometría infrarroja, ha permitido comparar sus características a través de los espectros infrarrojos con algunas rocas clásicas tradicionales tales como las de Florida, Bayovar y Carolina del Norte.

Estos antecedentes, han permitido conocer el índice de CO_2 (Mc Clellan y Gremillion, 1980) y así, el grado de sustitución de PO_4 por CO_3 en la estructura de la apatita, como índices apropiados de la caracterización de la reactividad de las rocas. De este modo, se ha observado que la roca de Bahía Inglesa y Carolina del Norte, presentan índices similares, así como la de Mejillones con la de Florida.

Antecedentes agronómicos de las rocas chilenas

Las principales conclusiones obtenidas de experimentos de campo, en suelos Andisoles de Chile, han indicado que las rocas fosfóricas nacionales, tienen potencialidad fertilizante. La más recomendable es la de Bahía Inglesa por su contenido medio de fósforo y alta reactividad. La roca

de Mejillones aunque es de excelente calidad, tiene un bajo contenido de fósforo (2,2% de P), al concentrarla a un 22% de P_2O_5 en experimentos en macetas, resultó tan eficiente como el SFT en ensayos de macetas. (Besoaín y otros, 1999).

Los cultivos más convenientes, en donde se observó una buena eficiencia del fósforo liberado por rocas fosfóricas nacionales, fueron los de período vegetativo largo, como las praderas y especies de cultivos con alta capacidad extractiva de fósforo como el lupino, raps y colza o aún en arroz en estado de inundación semi- permanente por la disolución de sus fosfatos en el largo plazo.

Las principales conclusiones obtenidas a partir de las rocas fosfóricas chilenas en su evaluación a partir de numerosos experimentos de campo (Montenegro y otros, 1992; Campillo R., 1999; Montenegro y otros 1999; Ortega R. y Rojas-Walker C., 1999) son las siguientes:

a. Preferir rocas de alta reactividad, con disoluciones mayores a 5,9% en citrato - NH_4 neutro.
b. Emplearlas de preferencia en suelos con pH inferior a 6.

c. Emplearlas en cultivos de requerimientos no muy elevados al inicio del ciclo de crecimiento.

d. Emplear rocas con suficiente contenido de fósforo, ya que las rocas contienen menos fósforo que los fertilizantes solubles.

Producción anual de Rocas Fosfóricas

La produccción anual de rocas fosfóricas es limitada, comprendiendo la actividad de extracción

PRODUCTO/AÑOS	1985	1990	1995	2004
Salitre Sódico			618,1	879,1 *
Salitre Potásico			155,4	
Guano rojo y blanco			3,2	0,2
Apatita			7,1	18,86

de la Roca de Bahía Inglesa y en menor grado la de Mejillones, ésta última de muy baja ley. Este abastecimiento restringido se completa con las importaciones de SFT, FDA y FMA. Los primero provienen principalmente desde USA y México, mientras que el FMA es importado en su totalidad desde USA. En el Cuadro III-47 que se presenta a continuación, se observan las cifras de producción de los fertilizantes chilenos que comprenden principalmente la industria salitrera con el salitre sódico, salitre potásico y nitrato de potasio. La mayor parte de estos fertilizantes se exporta y su producción se obtiene principalmente del caliche chileno como materia prima que se extiende por el desierto entre el límite con Perú y el río Copiapó. Las ventas de Salitre sódico del

año 2004, corresponden 59,5 miles de TM y de 706,8 miles de TM como Salitre Potásico+ Nitrato de Potasio. En lo que se refiere a la comercialización de las rocas fosfóricas, éstas se comercializan principalemente en forma interna en el país como rocas fosfóricas molidas para uso directo especialmente en praderas, de preferencia en los suelos ácidos de la X Región y también como producto elaborado granulado (alrededor de 1-2 mm) con el nombre de BIFOX (18% de P_2O_5).

**Incluye salitre sódico, potásico y nitrato de potasio del año 2003.*
Cuadro III-47. Producción de fertilizantes en Chile (t x1000) Periodo:1985-2004 Fuente: Servicio Nacional de Geología y Minería, 2005 y P. García, comunicación personal.

De acuerdo a los antecedentes disponibles, de la totalidad de apatita producida 10.130 toneladas se emplean para uso directo en la agricultura con la inclusión de molienda solamente. En cambio 8.732 toneladas corresponden al producto derivado de la roca de Bahía Inglesa denominado BIFOX que incluye cierto procesamiento para obtener un fertilizante granulado.

Colombia

Liliana Alvarado Flórez[1] *y Jairo Ricardo Barreto Reyes*[2]

Introducción

El consumo mundial de fertilizantes de síntesis ha venido sufriendo una baja cada vez más significativa, dados los elevados precios internacionales de las fuentes como gas natural y petróleo; de otra parte, yacimientos que parecían inagotables, como es el caso de la roca fosfórica de Carolina del Norte (USA) tan apetecida por su alto contenido de fósforo, se han venido agotando.

En Colombia, el uso de los fertilizantes con alto contenido de fósforo asimilable es bastante crítico, dado su elevado costo, por lo cual se vienen supliendo estas necesidades utilizando rocas fosfóricas nacionales, que a pesar de su relativamente bajo tenor de fósforo total (22 al 30 % P_2O_5), constituyen una alternativa agroeconómica viable para el mantenimiento de cultivos de periodo vegetativo mediano y largo. La roca fosfórica sin tratar, finamente molida o ligeramente granulada, se ha usado con éxito en suelos ácidos, para cultivos perennes y semi-perennes, ya que lenta reacción y solubilidad la hacen menos susceptible a la fijación o pérdida del suelo por lixiviación.

Por lo anterior, desde hace algunos años se han emprendido estudios serios para la explotación y procesamiento de minas de roca fosfórica, con el fin de poder ofrecer a los agricultores y ganaderos una fuente más económica de este mineral, especialmente en suelos ácidos de los Llanos Orientales de Colombia, en las sabanas de Bogotá y en el Oriente Antioqueño.

Gran parte de los suelos de Colombia, presentan reacción ácida, bajos contenidos de fósforo asimilable por las plantas y alta saturación de aluminio intercambiable. Estudios realizados han demostrado que para obtener buenos rendimientos de cultivos semestrales o anuales en estos suelos, es nece-

[1] *Instituto de Geología y Minería - INGEOMINAS - lalvarado@ingeominas.gov.co*
[2] *Instituto Colombiano Agropecuario - ICA- fertilizantes@ica.gov.co*
[5] *La descripción de los yacimientos corresponde a la información recopilada de estudios de INGEOMINAS y del Libro Recursos Minerales de Colombia, Publicación Especial de INGEOMINAS, 1987*

sario hacer aplicaciones de fósforo y calcio en cantidades relativamente altas.

Las fuentes de fósforo más utilizadas en Colombia: son: ácido fosfórico, fosfato monoamónico, fosfato diamónico, fosfato monopotásico, fosfato dipotásico, rocas fosfóricas, escorias de la industria del acero, rocas fosfóricas parcialmente aciduladas, superfosfatos simple, doble y triple, fosfitos de potasio y otras sales del ácido fosforoso.

Depósitos y manifestaciones[5]

La búsqueda de rocas fosfóricas en Colombia comenzó en los años cuarenta y se intensificó en los sesenta mediante un reconocimiento estratigráfico general y detallado en las rocas sedimentarias de origen marino. Como resultado se pudo definir la existencia de minerales fosfáticos en rocas del Cretácico Superior. El Inventario Minero Nacional a partir de 1964, integrado al programa conjunto con la Agencia Internacional para el Desarrollo (AID), intensificó la investigación y se obtuvo un gran progreso al identificar y seleccionar áreas con mayores posibilidades; igualmente se inició la evaluación de los depósitos de Sardinata (Norte de Santander) y Pesca (Boyacá), mediante perforaciones exploratorias y muestreo sistemático.

En Colombia se encuentran niveles de fosforita arenácea en formaciones del Cretácico Superior de la Cordillera Oriental. Los yacimientos que actualmente se explotan se hallan localizados en los departamentos de Norte de Santander, Santander, Boyacá, Cundinamarca y Huila. La mayor parte de la roca fosfórica producida en Colombia se muele y se comercializa como un producto para ser aplicado directamente sobre los suelos. También se utiliza como fertilizante la escoria fosfórica que genera como desperdicio el proceso siderúrgico de Acerías Paz del Río en la planta de Belencito (Boyacá).

Figura III-22. Yacimientos de Fosfatos en Colombia.

Durante las exploraciones adelantadas por el INGEOMINAS se localizaron numerosas manifestaciones fosfáticas en el Cretácico Superior, principalmente en las Formaciones La Luna y Monserrate y el Grupo Guadalupe; como resultado se identificaron depósitos con potencial económico. Estos depósitos han sido, en mayor o menor grado, objeto de estudios que han permitido establecer con diferente grado de precisión varios tipos de reservas.

A continuación se describen los yacimientos mejor conocidos

Departamento del Norte de Santander. La presencia de roca fosfórica en este departamento está principalmente asociada a la Formación La Luna caracterizada por sedimentos marinos, de borde de plataforma, con calizas, arcillas, cherts y fosforitas. Las características de los

principales yacimientos se sintetizan a continuación:

• **Yacimiento de Sardinata.** Se localiza entre los kilómetros 40 y 53 de la carretera Cúcuta Sardinata, el yacimiento dista unos 20 km. de la población del mismo nombre. La fosforita de Sardinata se compone principalmente de apatita, cuarzo, calcita y arcillas. El mineral fosfático es carbonato de fluorapatita, el cual se presenta como gránulos o nódulos, foraminíferos y fragmentos de huesos fosfatizados. Para este yacimiento se contabilizaron cerca e 3.5 millones de toneladas de mineral con porcentajes entre 23 y 18% de P_2O_5.

• **Yacimiento Gramalote-Salazar.** Este yacimiento está localizado a 30 km. al Occidente de Cúcuta formando una faja de 35 km. entre las poblaciones de Gramalote, Salazar y Arboledas. Se presentan dos niveles fosfáticos y los espesores van de 0,5 a 3,2 m con tenores del 10 al 27% de P_2O_5.

• **Yacimiento Tibú Oró Las Mercedes.** El área se localiza al occidente de la población de Tibú; tiene una longitud de 40 Km. El nivel fosfático principal se ubica hacia el techo de la Formación La Luna y corresponde a una fosforita cuyos espesores varían entre 1 y 5 m. La composición mineralógica de la fosforita es apetito (gránulos, oolitos, unos pocos nódulos, fragmentos de huesos) El porcentaje de P_2O_5 va del 8 al 19%. Las reservas (hasta 100 m bajo nivel freático) indicadas se calcularon en 13 millones de toneladas.

Departamento de Boyacá. La roca fosfórica de esta cuenca está principalmente asociada a la Formación Plaeners del Grupo Guadalupe, se exploraron unos 2.500 km. con cartografía geológica con especial énfasis en el Grupo Guadalupe. Los niveles fosfáticos que se hallan hacia la base de la Formación Plaeners, son los más conocidos y los que tienen mayor potencial económico, principalmente utilizados directamente sobre los suelos de la mayoría de los cultivos de la región.

Los yacimientos más importantes son:

• **Yacimiento de Iza Cultiva Tota.** Tiene una extensión de 6 km., se localiza al occidente de la Laguna de Tota. Se perforaron 5 pozos y se excavaron numerosas trincheras con lo cual se estima 21,7 millones de toneladas indicadas con un tenor promedio de 19,6% de P_2O_5. en un manto de 2,6 m. El mismo estudio señala la existencia de cantidades perjudiciales de carbonato de calcio con relaciones Ca0: P_2O_5 superiores a 1,8 lo que imposibilita la producción de superfosfatos con ácido sulfúrico.En el extremo meridional del mismo yacimiento se estimaron 8,5 millones de toneladas de fosfatos con 20,5% de P_2O_5 con una relación Ca0: P_2O_5 cercana a 1, 4. En el extremo norte se estimaron 5,8 millones de toneladas con 17,3% de P_2O_5 y un contenido de carbonato similar al anterior. De lo anterior cabe estimar un total de 36 millones de toneladas de reservas indicadas para todo el yacimiento, de los cuales, cerca de un 70% podrían dedicar se a la aplicación directa a los suelos.

• **Yacimiento de Piranchón.** Se localiza al NE de la población de Ventaquemada. Se presentan dos capas de interés económico hacia la base de la Formación Plaeners. La roca es una fosforita arenácea marrón claro a oscuro según su meteorización. Los minerales son apatito (gránulos y abundantes fragmentos de huesos fosfatizados, sílice como cuarzo, arcillas y ocasionalmente

calcita rellenando fracturas). El espesor acumulado aumenta hacia el sur desde 1,6 hasta 2,3 m. E1 contenido de P_2O_5 varia entre 20 y 29%. Las reservas inferidas se estiman en 19 millones de toneladas.

• Yacimiento La Conejera Pesca. El área está situada entre los municipios de Pesca y Tota a una distancia en línea recta de 6 km. de la población de Pesca. Se identificaron tres niveles fosfáticos. Uno superior hacia la parte media de la Formación Labor y Tierna; otro hacia el techo de los Plaeners y el más inferior hacia la base de la misma formación. Este último presenta dos capas de importancia económica que se hallan separadas por una intercalación estéril cuyo espesor varia entre 0,4 y 1 m. La capa superior del nivel inferior se denominó "Principal"; a la inferior se le llamó "Secundaria". La capa "principal" tiene espesor entre 1,9 y 4,2 m; la "secundaria" varía entre 0,3 y 1,2 m. La roca es una arenisca gris compuesta de gránulos. ("pellets"). Los minerales dominantes son apatito, sílice (cuarzo) y escasas arcillas (caolinita).

Se encontró que el P_2O_5 varia entre 16 y 25% para la capa "principal" y del 12 al 21% en la "Secundaria".El yacimiento de La Conejera ha demostrado ser hasta el presente el mayor de Colombia. Aunque la roca no es de alto tenor, su composición química, mineralógica y sus características físicas homogéneas, permiten fácil adecuación y tratamiento para su utilización como materia prima en la elaboración de fertilizantes, en especial ácido fosfórico y termofosfatos.

A continuación se enuncia una síntesis muy generalizada del "Estudio del Inventario Minero Fertilizantes" realizado por el Consorcio Instituto de Estudios Colombianos INTEGRAL (Julio 1984). Hablando de las reservas "determinadas" por el estudio, menciona 7'556.800 toneladas "probables" con 18,85% P_2O_5, que equivaldrían a 1.424.000 toneladas de P_2O_5; reservas "posibles" de 7.333.100 toneladas con 18,92 de P_2O_5 y reservas inferidas de 8.270.000.

Se menciona además que el espesor del manto fosfático principal es de 2,67 m y el tenor 20% P_2O_5. Con base en estas investigaciones se estimaron reservas recuperables de 1.200.000 toneladas de P_2O_5, (INTEGRAL, 1984) y que la relación Ca O- P_2O_5 es inferior .a 1,4 (libre de calcita).

Departamento del Huila. Las manifestaciones fosfáticas están ubicadas en los sedimentos marinos de la Formación Monserrate del Cretácico Superior, cuyo espesor varia entre 80 y 140 m. También se presentan en el Valle superior del Río Magdalena. Las localidades de interés económico son Palermo, la Guagua, Baraya, Aipe, Teruel, Yaguará y Tesalia.

• Yacimiento de Palermo (Buenos Aires). Se localiza al occidente de Neiva conformando el Sinclinal de Llano Verde con un área de 15 km^2. Los mejores afloramientos de la capa principal están en el flanco oriental donde se puede seguir a lo largo del rumbo por 12 km. En el flanco occidental hay escasos afloramientos y la roca está muy meteorizada. Se trata de una arenisca, fosfática de grano fino, gris amarillento, que presenta porosidades y el apatito se halla como "gránulos" y fragmentos de huesos fosfatizados. El espesor promedio de la capa principal es de 1,2 m, la cual en su parte media contiene 0,2 m de arcillolitas. El contenido de P_2O_5 es en promedio de 18%.

• **Yacimiento de La Guagua.** Estructuralmente corresponde al flanco occidental del anticlinal del mismo nombre y se localiza al occidente de la población de Palermo. Los buzamientos están entre 8 y 20°, los espesores van de 0,5 a 1,6 m y los tenores van del 19 al 28% de P_2O_5. Las reservas se estiman en 12 millones de toneladas.

• **Yacimiento de Baraya (Los Pinos Los Andes).** En esta área al NE de Neiva, se presentan areniscas, cuarzosas de grano muy grueso a medio; alternancia de 20 m de arcillolitas, limolitas, cherts y capas fosfáticas que pueden alcanzar 2 m y tenores hasta del 28% de P_2O_5, las reservas totales indicadas son de 20 millones de toneladas.

• **Yacimiento de Mapatá (Media luna).** Localizado al NE del municipio de Aipe, El espesor de la capa fosfórica principal (nivel inferior) varía entre 0,65 y 1,00 m. Los tenores de P_20_5 varían entre 25 y 30,8%. La relación Ca0: P_2O_5 es en promedio de 1,43. Las reservas inferidas se estiman en 17 millones de toneladas.

• **Yacimiento La Cañada.** Se localiza al norte de Aipe, extendiéndose por 15 km.; las capas tienen rumbo N30°E, buzando de 20 a 50° al NW. E1 espesor de la capa "económica" varia de 0,85 a 1,20 m (nivel inferior). E1 tenor varia entre 18 y 31% de P_2O_5. En este depósito cabe esperar la presencia de calcita en razón de existir ésta en las muestras de roca menos alterada (túnel). Las reservas inferidas se estiman en 8 millones de toneladas.

• **Yacimiento de Yaguará.** Las áreas están localizadas al suroeste de Neiva, en vecindad de la población de Yaguará; El nivel fosfático de importancia se subdivide en algunas localidades por arcillolitas o cherts intercalados cuyo espesor alcanza a 0,6 m. El espesor acumulado para las capas explotables varia de 1 a 2,4 m y el P_2O_5 está entre 18% y 30%. Estas variaciones de P2O5 son inversamente proporcionales al contenido de sílice; las reservas inferidas se calculan en 5 millones de toneladas.

Al Norte y NE del municipio de Yaguará, el espesor acumulado "explotable" también sufre rápidos cambios entre 0,7 y 2,0 m; el tenor cambia entre 13% y 23% de P_2O_5. Se estiman reservas

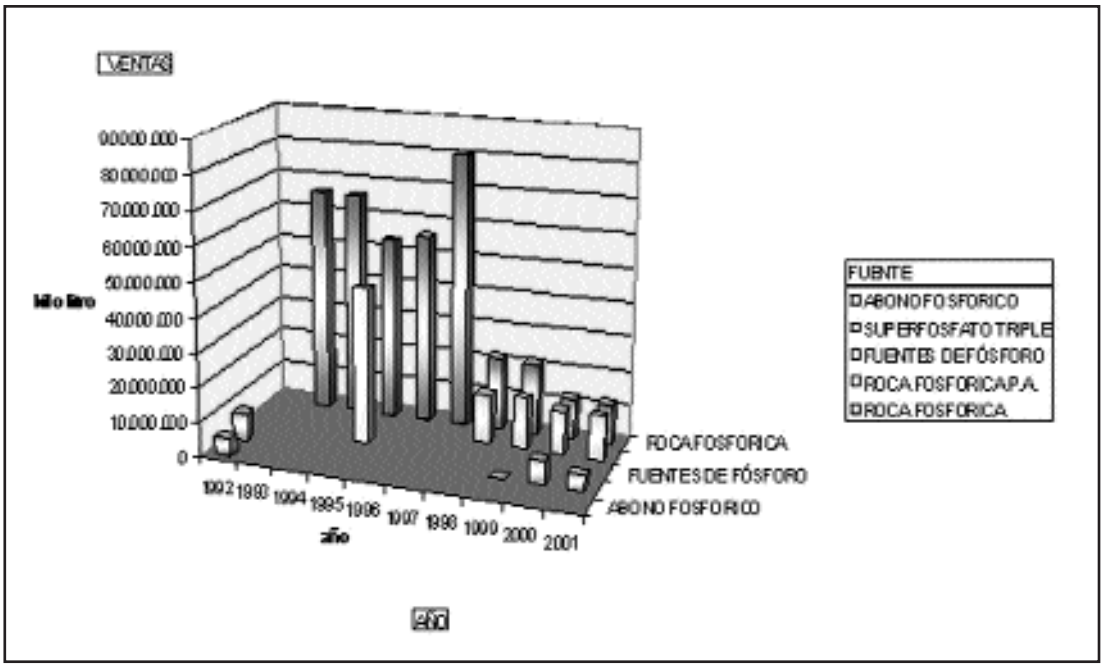
Departamento	Medidas	Indicadas	Inferidas	Total
N. de Santander	5.25	33.83	6.04	45.42
Santander	0.12	32.60	-	32.72
Boyacá	7.44	63.60	69.60	140.64
Huila	-	65.00	73.00	138.00
Pandi-Alpujarra	-	-	10.00	10.00
Totales	**12.81**	**195.0**	**157.4**	**366.78**

inferidas en 10 millones de toneladas.

• **Yacimiento Norte de Tesalia.** El depósito se localiza al norte de la población de Tesalia, el nivel fosfático inferior contiene una capa de fosforita, con espesores entre 0,8 y 1,2 m y tenores del 20 al 30% de P2O5; las reservas inferidas se calcularon en 6 millones de toneladas.

Reservas de roca fosfórica en Colombia

Colombia presenta los ambientes geológicos propicios para la acumulación de rocas fosfóricas de importancia económica, sin embargo, los estudios sistemáticos para conocer su potencial real en



términos de reservas medidas es limitado. Teniendo en cuenta el potencial de la roca fosfórica en el país y a fin de determinar y caracterizar los yacimientos en términos de calidad, además de ac-

tualizar las cifras de reservas que se han sugerido para los yacimientos del país, INGEOMINAS, incluirá dentro del Programa de Exploración que se formula para los próximos años, proyectos encaminados a obtener un mayor conocimiento del potencial de este recurso en el país.

Las cifras de reservas reportadas, se resumen a continuación (cuadro III-43):

Cuadro III-43: Reservas colombianas de Roca Fosfórica (Millones de Toneladas.)

La información disponible sobre producción e importaciones de roca fosfórica, indica que los volúmenes producidos en el país, entre 80.000 y 120.000 toneladas/año, no satisfacen la demanda interna; sin embargo, desde 1999 se registra una marcada disminución en el volumen de las importaciones y a partir del año 2000 se registran algunas exportaciones. Una balanza igualmente deficitaria se registra en los casos de la magnesita y el azufre, pero debe tenerse en cuenta que la gama de usos de estos minerales es muy amplia.

El mercado de fertilizantes fosfóricos en Colombia en un periodo de 10 años, muestra un descenso aparente en sus ventas, producido fundamentalmente por los procesos de transformación a fertilizantes tipo superfosfato doble y triple y a la producción de mezclas físicas con fertilizantes de rápida asimilación. (Figura III-23)

Figura III-23: El mercado de fertilizantes fosfóricos en Colombia

Ecuador

Ricardo Melgar[1] y Liliana Castro[2] (Ex aequo)

Introducción

Ecuador es un país básicamente petrolero con una escasa participación de la agricultura. Su participación en el PBI es de 8.7% mientras que la industria y servicios comprende el resto. El petróleo comprende el 40 % de las exportaciones y un cuarto del presupuesto del gobierno en años recientes.

Luego de la crisis de 1999, la dolarización estabilizó la economía, y en los últimos años el país se benefició de los altos precios del petróleo en el mercado mundial, pero se han realizado escasos progresos en disminuir la dependencia y evitar la vulnerabilidad del país al petróleo.

Entre los recursos mineros para la agricultura se destaca las formaciones de Napo, pero su ubicación, y la demanda relativamente escasa de fertilizantes no proyectan inversiones para su explotación

Suelos y Agricultura

[1] *INTA Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Pergamino - rmelgar@pergamino.inta.gov.ar*
[2] *Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Argentina lilianacastro@fibertel.com.ar.*

	Costa	Sierra	Amazonas
		ha x1000	
Cultivos anuales	686	667	46
Cultivos perennes	874	348	129
Pasturas	2,227	1,838	854
Otros	2,854	3,541	12,013
Total	6,641	6,394	13,042

Cuadro III-48. Distribución del uso de la tierra en las tres principales ecorregiones del Ecuador (Koning et al, 1997).

Ecuador continental está dividido en tres grandes ecorregiones (cuadro III-48):

1.- La "Costa", donde se encuentran las llanuras, y la cordillera costera. Es la región agrícola de mayor importancia, ya sea de cultivos de renta como banano, cacao, café, palmito, mango y piña destinados a exportación, como los productos que conforman la canasta alimenticia básica como el arroz, azúcar, maíz, leche, carne y soja.

2.- La "Sierra" representada por la "Cordillera de los Andes" con 650 km de largo y un ancho de 120 km, se divide en las cordilleras occidental y oriental. Aquí se producen las flores de corte para la exportación y la papa entre los productos sensibles de alimentación además de la leche, carne, maíz y hortalizas en general.

3.- La región "Amazonas", es donde se encuentran los recursos petrolíferos y las reservas de fosfatos. Existen plantaciones de palma africana para la exportación y algunos productos de subsistencia como la leche, carne y hortalizas en general.

Figura III-25 Mapa general de Suelos del Ecuador, (González Artieda, et al,

La frontera agrícola del Ecuador ha crecido en 25 años de 3.5 a 12.7 millones de hectáreas cultivables, de las cuales la mayor parte están ubicadas en la sierra y en la costa, cada una con el 38%, y el 23% restante en el Amazonas.
La frontera agrícola del Ecuador ha crecido en 25 años de 3.5 a 12.7 millones de hectáreas cultivables, de las cuales la mayor parte están ubicadas en la sierra y en la costa, cada una con el 38%, y el 23% restante en el Amazonas. Existen 850.000 ha bajo riego, sin embargo, el país dispone de 3.2 millones de hectáreas aptas para ser regadas. Las distintas áreas se visualizan en la Figura III-25.

Definición	Superficie km2
Ácidos sin Toxicidad de Aluminio	157,121
Con fijación de fósforo por Fe	95,246
Con deficiencia en K	95,184
Ácidos con toxicidad de Al	91,664
Aloténicos (Fijadores de P)	66,649
Mal drenados	34,793
Gravillosos	33,005
Secos	30,270
Vérticos	21,410
Calcáreos	16,822
Sin limitantes	11,645
Ácidos sulfatados	1,600
Salinos	630
Sódicos	630
Baja CIC	62

Cuadro III-49. Superficie acumulada por factores limitantes de fertilidad (Mejía Vallejo, 1997).

Un reciente relevamiento de los suelos y las principales limitantes de fertilidad (Mejía Vallejo, 1997) revela que los suelos arcillosos, ácidos con toxicidad de aluminio, pobres en fósforo y potasio, son preponderantes en el país, principalmente por el peso de los suelos de la región Amazónica. Sin embargo, esta restricción no evita que se considere a la mayor parte de los suelos arables del país con limitantes severas de fertilidad química, es decir aquella corregible por el uso de fertilizantes o enmiendas. El cuadro III-49 muestra la superficie afectada por distintos factores limitantes.

Los cultivos más importantes por extensión son bananos y sus plátanos, café, cacao, arroz, papas, mandioca (yuca, tapioca), y caña de azúcar. De ellos el banano y además las flores de corte son el principal producto agrícola de exportación. Y por esa razón son los cultivos que demandan más fertilizantes por unidad de superficie.

Aún considerando que los cultivos son relativamente bien fertilizados para su producción económica, los balances para los tres nutrientes primarios son en general negativos. Tanto para cultivos anuales como perennes, los balances de N son negativos en -28 y -29 kg/ha/año respectivamente, al igual que para el potasio en -6 y -18 kg/ha/año (Koning, et al, 1997). Este indicador confirma que los dos grandes problemas que afectan al suelo en el Ecuador son: la erosión y utilización de los suelos para actividades para las que no son aptos (Encalada, M., 2005).

Manifestaciones fosfáticas

Previo a 1975 no existía ningún dato concreto sobre la presencia de roca fosfórica en el Ecuador, salvo algunas indicaciones principalmente en la Formación Napo, (Torrez, 1964). El Servicio Nacional de Geología y Minería con la colaboración de la Misión de Asistencia Técnica de Gran Bretaña, inicio

Figura III-26: Ubicación de las manifestaciones fosfáticas Mapa base tomado de http://geology.about.com/library/bl/maps/blecuadormap.htm

una investigación preliminar en todo el país hasta 1979, la cual condujo a identificar tres Formaciones como potencialmente fosfáticas La Napo y Río Cazaderos del Cretácico y la Santiago del Jurásico (Wilkinson, inédito). De ellas la Formación Napo es la más destacable. Los niveles fosfáticos delgados se observan en diversos sectores de la cuenca oriental, principalmente en el sector Lumbaquí- Reventador, al norte de la carretera que une Quito con los campos petroleros orientales, donde se ubicó un horizonte de 0,7 a 1,4 m de espesor a lo largo de unos 6 km. El mapa de la Figura III-26 muestra la localización de las principales manifestaciones fosfáticas de Ecuador (Appleton y Nothold, 2002).

Torrez (1984) realiza un amplio informe sobre las manifestaciones fosfáticas principalmente las vinculadas a la Formación Napo, que se detallan a continuación:

Cretácico

En base a comprobaciones de campo y correlación con las formaciones fosfáticas colombianas se concluyó que la formación Napo del Cretácico superior constituye una litofacies fosfórica, con una ley de P_2O_5 entre 16% y 40 % con un promedio de 28%, existiendo, además, un contenido significativo de uranio (80 ppm).
La roca fosfatada Napo (RFN), se halla ocupando unos 800 km^2 en la provincia del Napo, en el nororiente ecuatoriano. El ambiente de formación se vincula a una plataforma marina cretácica (Espinosa et al., 1988). La Formación Napo aflora a lo largo de las estribaciones orientales de la Cordillera Oriental, y se presenta de sur a norte, aunque de una manera discontinua. La Fm. Napo se compone de cuatro niveles.

Napo Basal: Hacia el oeste está constituido por intercalaciones de lutitas negras, calizas, chert y areniscas glauconíticas, en tanto que hacia el este se compone por una sucesión de calizas, areniscas y limolitas. Su edad es Albiano inferior.

Napo Inferior: La litología es similar a la anterior, pero contiene importantes bancos de arenisca, designadas como la "T", la "U Inferior" y la "U" Superior, que constituyen reservorios de petróleo. La T y la U inferior aumentan su potencia hacia el oeste pero la U Superior se acuña y se más pelítica. En la misma dirección estas unidades arenáceas son a veces glauconíticas, feldespáti-

cas y fosilíferas. Sobre la arenisca "T" se encuentra la caliza "B", así designada por los geólogos petroleros y sobre la "U", la caliza "A" perteneciente a Napo Medio. Su edad es Albiano inferior - Cenomaniano inferior.

Napo Medio: Parece no existir el Cenomaniano medio y superior, siendo la Napo Medio de edad huroniana. Está constituido principalmente por calizas masivas y de color negro a gris, muy fosilíferas. Existen variaciones faciales que van desde fosilíferas a nodulares. La presencia de biomicritas se manifiesta como fragmentos desmenuzados, restos de equinodermos, foraminíferos y granos de cuarzo, en una matriz de grano fino y cemento calcítico. Esta unidad de gran espesor representa un ambiente marino de plataforma depositada durante una fase transgresiva.

Napo Superior: Es una secuencia de lutitas negras a gris verdosas con calizas, areniscas y limolitas. Las lutitas a veces contienen fósiles dispersos (bivalvos), pero las calizas son muy fosilíferas. Hacia el Oeste, tanto las lutitas como las unidades clásticas más gruesas contienen material fosfático ubicuo, algunas veces puntualmente, otras como concentraciones locales o detritos orgánicos y en algunas localidades en formas de capas de espesor variable (desde algunos centímetros). Su edad es Coniaciano- Campaniano.inferior.

Niveles fosfáticos.-El nivel basal denominado A consiste de hasta siete estratos de fosforita (Ao-A1.....) intercalados con lutitas negras a excepción de la primera intercalación que es caliza. El espesor de los estratos varia entre 0.4 y 0.8 m siendo más grueso el estrato A3. El contenido de P_2O_5 en las fosforitas de los niveles A1-A2-A3 es de 20 a 30%, mientras que el de las lutitas es de 3-14%. El nivel intermedio B está caracterizado por bancos finos de fosforita y lutitas fosfáticas (0.1 m), no teniendo ninguna importancia económica. El nivel superior C se localiza a pocos metros por debajo del contacto Napo-Tena y consiste de dos niveles con fosforitas con espesores entre 0.1 a 1.0 m intercalados con lutitas siliceas, el contenido promedio de P_2O_5 de las fosforitas C1 - C2 está entre 15 y 20% (Espinosa et at., 1988).

Del estudio de los diversos afloramientos a lo largo de la Fm. Napo, Wilkinson, (inédito) concluye que existen bandas fosfóricas delgadas en numerosos sitios, siendo por lo tanto esta Formación significativamente fosfática. Sin embargo, parece ser que el miembro superior lutítico contiene los depósitos más gruesos. La correlación Norte-Sur muestra que la parte Nororiental de los afloramientos es la más prometedora, ya que ella se ha encontrado verdaderas capas de fosfato, mientras al Sur hay evidencias principalmente en la caliza y merece una investigación más detallada.

El estudio paleogeográfico del Cretácico ecuatoriano (Wilkinson, inédito) encuadra a la Fm Napo como una "Provincia Fosfórica" favorable, donde los niveles fosfáticos se encuentran dentro de las litofacies caliza, lutita negra, chert. La mitad septentrional del margen occidental, presenta las mejores posibilidades, debido a que la Fm. Napo Superior está más preservada, su estructura se presenta localmente horizontal y su secuencia es más condensada.

En el área del Reventadora a lo largo de los 6 Km de la divisoria de aguas del río Dué y Coca, entre el Km 76 y 82 de la vía Lago Agrio-Quito se encontró un nivel fosfático, cuya parte principal tiene un espesor variable entre 0,7 y 1,4 m al tomar en cuenta los espesores de lutita fosfórica que existen ínter estratificadas con la fosforita principal o sobre ella, el espesor total puede llegar

a 3 metros. Por las evidencias de campo recogidas en la zona, dicho nivel podría prolongarse. La primera evidencia de la existencia de dicha banda se obtuvo a partir de la perforación que se realizó en el km 81. La ley de dicho banco va desde 15% hasta 40% P_2O_5 con valores más abundantes cercanos al 30%; tomando en cuenta los tenores de la lutita fosfórica se podría tener un promedio aproximado de 28%, lo cual permite hablar de un depósito de alta ley. Existe otro nivel fosfático situado en la parte superior del miembro Napo Superior, cuyo espesor máximo medido es de 0,15 m el cual debe ser tomado muy en cuenta en las futuras investigaciones.

Macroscópicamente la fosforita es de color gris-oscuro de grano medio a grueso. Es maciza, compacta, de dureza media a alta, densidad alta cuando está fresca. Microscópicamente su textura es clástica y está formada por gránulos, oolitos y fragmentos fosfáticos que constituyen una masa, con una matriz de calcita o de apatito criptocristalino. Dichos elementos son de color castaño oscuro hasta tonalidades amarillas isotrópicas. Tales gránulos son de diámetro inferior a 2 mm, de forma esferoidal a veces alargada y son los más abundantes, pudiendo tener grietas de deshidratación rellenadas por sílice o calcita. En algunos foraminíferos se nota el reemplazo orgánico por apatita y calcita y aún sílice. La difractometría de rayos X de todas las muestras han sido realizadas en la Escuela Politécnica Nacional y muestran que el mineral fosfático es carbonato fluorapatita. Dichos diagramas demuestran que los principales minerales son calcita, francolita y cuarzo, tal como sucede con las muestras colombianas (Zambrano Ortiz, 1976). , El contenido de P_2O_5 va de 16% a 40% P_2O_5, con muchas de las muestras cercanas al 30%. Las fosforitas lutíticas ínter estratificadas varían de 7% a 13% de P_2O_5, mientras que las lutitas fosfáticas contienen 8,3% de P_20_5 .El contenido promedio de una sección completa varía de 16,12% de P_2O_5 a 31,2% de P_2O_5 mientras el tenor promedio de todas las secciones es de 25,2% de P_2O5. La relación Ca/ P_2O_5 para las fosforitas del sector Lumbaquí - Reventador tiende a ser igual a 1,5. Por su parte el análisis de los elementos traza demuestra que existe enriquecimiento anómalo de La: 150 ppm; Sr: 1500 ppm e Y: 100 ppm. Además, no existe concentración de los elementos tóxicos como Cd y As.

En Colombia esta relación es del orden de 378 puesto que el contenido medio de U es de 80 ppm y de P_2O_5 es 21%. Las muestras ecuatorianas del río Chingual por el método fluorimétrico, dan valores de 66 a 88 ppm con un valor promedio de 81 ppm y una relación U/ P_2O_5 de 2,9 (P_2O_5 igual a 27,7%). Vera (1980) encuentra anómalas centilométricas in situ de 400 cpe que constituyen valores de 4 a 5 veces la lectura de fondo.

La correlación más inmediata que se puede establecer, es con las Formaciones colombianas Guadalupe del Cretácico Superior y la Formación La Luna, Turoniano-Coniaciano, las cuales presentan una secuencia similar a la de la Formación Napo: lutita negra, caliza y chert. El Miembro Superior Galembo de la Fm La Luna, constituye la zona fosfatada, con características similares a las de la parte superior de la Formación Napo. El contacto con el Miembro Inferior se ha puesto justamente donde comienzan a aparecer los lechos Fosfatados (Zambrano Ortiz, 1976). Los depósitos de San Vicente (La Azufrada) y Sardinata, constituyen una verdadera litofacies fosfórica de características similares a las encontradas en el Ecuador. En Venezuela, la unidad del

Cretácico superior equivalente es la Formación Chambana (Torrez, 1984) que contiene depósitos fosfáticos explotados en varias localidades principalmente en Lobatera, estado de Táchira.

Guano

Los depósitos de guano se localizan en una serie de islas situadas en la costa de Ecuador. Los más ricos se sitúan en El Pelado (1°1'S, 80°51'O) y contienen cerca del 20% P_2O_5 y 0.7% N; otros depósitos con menor ley se localizan en Los Farallones (2°44'S, 80°13'O), en el Canal de Morro, Santa Clara (3°15'S, 80°23'O), en el Golfo de Guayaquil y La Plata (3°15'S, 81°05'O) al SE del Cabo San Lorenzo (Notholt, 1999 en Appleton y Nothold, 2002).

Desarrollo del mercado de fosfatos y demás fertilizantes

Ecuador es un país dependiente de los mercados externos para satisfacer su demanda nacional de fertilizantes. Los principales productos importados se muestran en el Cuadro III-50 y corresponden al año 2001. La situación del mercado actual no permite imaginar cambios importantes, si bien existen avances en el área cultivada y las inversiones destinadas a la agricultura, su peso relativo disminuye debido al avance del sector petrolero.

	Regiones			
	Costa	Sierra	Amazonia	TOTAL
		Has x1000		
Anuales				
Maíz	192,3	135,9	21,1	349,3
Arroz	331,5	7,2	5,3	343,9
Soja	53,7	0	0	54,4
Papa	0,2	47,0	0,2	47,5
Frijoles	1,8	23,3	0,2	25,4
Sub Total	**579,5**	**213,5**	**26,8**	**820,5**
Perennes				
Cacao	205,4	19,2	18,6	243,1
Banano	151,8	21,8	6,8	180,3
Café	83,4	11,4	57,1	151,9
Palma	74,0	32,1	40,2	146,3
Caña	56,2	63,4	5,7	125,3
Plátano	37,1	24,8	20,4	82,3
Maracuyá	26,6	1,3	0,8	28,7
Sub Total	**634,6**	**173,9**	**149,7**	**958,2**
TOTAL	**1.214,1**	**387,3**	**176,5**	**1.778,7**

Cuadro III-51. Distribución de los cultivos relevados en el 3º Censo Agropecuario en las ecorregiones

Producto	Volumen
	T x 000
Urea	200,9
Fosfato diamónico	70,2
Cloruro de potasio	84,9
Otro potásicos	16,2
Otros npk	15,1

			Dosis			Consumo			
	Área (#)	Fertilizado	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O	N + P_2O_5 + K_2O
	ha x 1000	%	kg/ha			t x 1000/año			
Bananas	220	70	300	20	400	46.20	3.08	61.60	110.9
Maíz	470	60	120	40	40	33.84	11.28	11.28	56.4
Arroz	310	60	100	40	30	18.60	7.44	5.58	31.6
Papas	50	60	200	250	100	6.00	7.50	3.00	16.5
Palma aceitera	147	70	80	20	60	8.23	2.06	6.17	16.5
Caña azúcar	73	70	70	20	100	3.58	1.02	5.11	9.7
Cacao	380	5	80	15	60	1.52	0.29	1.14	2.9
Frijoles	89	50	10	20	20	0.45	0.89	0.89	2.2
Café	295	5	80	20	40	1.18	0.30	0.59	2.1
Soja	62	50	10	20	20	0.31	0.62	0.62	1.6
Cebada	46	5	80	20	60	0.18	0.05	0.14	0.4
Mandioca	26	10	20	20	20	0.05	0.05	0.05	0.2
Trigo	22	5	80	20	30	0.09	0.02	0.03	0.1
Algodón	3	50	100	20	30	0.14	0.03	0.04	0.2

Cuadro III-52. Distribución del uso de fertilizantes en los principales cultivos de Ecuador. Adaptado de FAO, IFA y IFDC, 1999. (#) FAO Statistics, 2004.

La distribución de los cultivos en cada una de las tres eco-regiones se muestran en el cuadro III-51 y en el cuadro III-52 enumera los cultivos que más demandan fertilizantes. El banano y los plátanos demandan más de la mitad de los fertilizantes importados por el país. Las flores de corte ocupan el segundo producto exportable agropecuarios del país y apenas cubren unos 4000 has (el 90 % se encuentran en la región de la sierra); las rosas comprenden unas 2500 has. Sin embargo según el 3º Censo Agropecuario (1999-2000), comprendieron más de 5,4 millones de dólares en ventas del año, y por supuesto son grandes demandantes de fertilizantes (http://www.sica.gov.ec/censo/contenido/index_ti.htm#us).

Potencial para uso directo de las rocas fosfóricas locales

A pesar de existir recursos de rocas fosfóricas en Ecuador, éstos no se explotan. Lo mismo puede decirse de algunos recursos de guano (Appleton y Notholt, 2002). La roca fosfórica de Napo tiene una reactividad media; de acuerdo a clasificaciones conocidas de reactividad publicadas (Zapata y Roy, 2004). El contenido de P_2O_5 soluble por una 2°d extracción con NAC (Neutral Ammonium acetato) es del 5 % y con ácido cítrico al 2 % es del 4.2 %. (IFDC databases).

Córdova, (1991) condujo un ensayo de invernadero para evaluar agronómicamente la roca fosfatada Napo. Se probaron dos tipos de rocas: la roca fosfatada Napo estrato A (RFN-A) y la roca fosfatada Napo estrato C (RFN-C) frente a la roca fosfatada Huila de Colombia (R. Huila) como testigo, teniendo como material comparativo al superfosfato triple (SFT), todos estos materiales se dosificaron a niveles: 150, 300 y 450 kg/ha de P_2O_5 con maíz como planta indicadora. Se usaron tres suelos, dos de ellos clasificados como Distrandepts, suelos negros de altura, fijadores de fósforo con alto contenido de materia orgánica y un suelo rojo de la Amazonia ecuatoriana

Localización	Volumen (Mt)	Ley (% P_2O_5)	Mt de P_2O_5
San Juan de la Costa Punta Coyote	38.5	20.00	7.7
Arenas San Juanico y Santo Domingo	1000	4.75	47.5
Tembabicho, capa Aguilera	44	26.42	11.6
Tembachi, capa del Castillo	66	22.10	14.6
San Hilario, capa inferior	114	12.73	14.5
San Hilario, capa superior	223	13.06	29.1
Santa Rita	2942	6.40	188.3
Banco Ranger	200	14.80	29.6
		Suma	343.0

[1] *Edafología, Colegio de Postgraduados Montecillo, Texcoco, Edo. De México - ronues@colpos.mx*

clasificado como Distropept con pH ácido. Los resultados obtenidos sugieren que la aplicación directa de roca Napo finamente molida no es una buena alternativa debido, fundamentalmente, a la baja reactividad del material y a la alta capacidad de fijación de P de los suelos ensayados. Mejores resultados se obtuvieron con la aplicación de la roca fosfatada Napo parcialmente acidulada. El efecto residual de la roca es suficiente como para mantener rendimientos comparables a los de los fosfatos más solubles.

México

Roberto Núñez Escobar[1]

Manifestaciones fosfáticas

Las exploraciones geológicas hechas en México han descubierto yacimientos de roca fosfórica en los Estados de Baja California Norte y Sur, Coahuila, Nuevo León, Durango, Tamaulipas, Zacatecas, San Luis Potosí, Querétaro, Hidalgo y Oaxaca. Los yacimientos de Coahuila, Zacatecas y Nuevo León, corresponden a un manto interestratificado en caliza. El de San Luis Potosí está constituido principalmente por fosfatos de aluminio de composición mineralógica no especificada. Los demás depósitos continentales constituyen pequeñas reservas, mientras que los de la península de Baja California son los más importantes y están formados por acumulaciones submarinas de nódulos de fosforitas y arenas fosfóricas, así como por yacimientos en el interior de la península (Mendoza, 1980).

De acuerdo con Cervantes (1987), los cinco yacimientos y nueve zonas de exploración de roca fosfórica en la península de Baja California totalizan 5 890 millones de toneladas (Mt) de mineral, clasificado en 778 Mt de reservas medidas, 579 Mt de reservas iniciadas y 5 533 Mt de reservas inferidas, aunque en su mayor parte se trata de reservas de baja ley, como se aprecia en el Cuadro III-53.

Cuadro III-53.Volúmenes y ley de distintos yacimientos de roca fosfórica de Baja California (Cervantes, 1987).

El Programa Económico de Minerales y Fundamentos Geoquímicos de Gran Bretaña, en su reporte sobre investigaciones geológicas para Centro y Sudamérica (Appleton y Notholt, 2002) describe la ubicación y características de los depósitos naturales de roca fosfórica en la República Mexicana.

Jurásico

Los depósitos del Jurásico se ubican principalmente en el Estado de Nuevo León, al noreste del país. Algunos de ellos, como Cañón de las Encinas, Dulces Nombres, Mercedes, Herminia, El Capote, La Casualidad, Rincón de Arizmendi y Topo Chico, se han venido explotando en pequeña escala desde principios del siglo XX. Estos yacimientos contienen alrededor de 20% P_2O_5, variando entre 7 y 34%. Los recursos remanentes en Nuevo León son limitados, pero en los Estados vecinos de Zacatecas y Coahuila, cerca de Saltillo (Sierra de la Carbonera), se localizan rocas fosfóricas del Jurásico superior en la Formación la Caja, en un área de unos 68 000 km^2. Las reservas probadas y probables ascienden a cerca de 77.4 Mt con un promedio de 18% P_2O_5, además de 76.4 Mt que contienen 13% P_2O_5. Su contenido en carbonatos, además de su localización en lugares de difícil acceso en terrenos montañosos y semiáridos, ha desalentado su explotación económica.

Oligoceno y Mioceno

En la península de Baja California, la Formación Monterrey consta de sedimentos finos y nódulos depositados durante una lenta transgresión marina del Oligoceno tardío y del Mioceno temprano. La Formación abarca conglomerados fosfático-volcánicos, tobas conteniendo facies diatomáceas y fosfáticas, así como esquistos silicáticos con facies calcáreas y de fosforitas. Las facies de fosforitas contienen de dos a nueve capas, con espesores entre 0.9 y 2 m cada una. En el área de San Juan de la Costa hay dos niveles principales, el Humbolt superior con espesor de 0.60 m y el Humbolt inferior con 1.8 m, ambos con un promedio de 19% P_2O_5.

Las reservas explotables de San Juan de la Costa totalizan unas 57.7 Mt, con un recurso adicional de alrededor de 16 Mt. Aunque previamente se ha explotado a una tasa de 6000 t/ día, en la actualidad por el bajo contenido de fosfatos, su baja ley o su baja recuperación durante el beneficio lo transformaron en no rentable. Los estratos fosfáticos marinos de la Formación Monterrey se extienden por mas de 130 km e incluyen los depósitos de San Hilario, localizados a unos 100 km ONO de la Paz, los cuales se estima contienen 841Mt promediando 14% P_2O_5. La explotación de este depósito también está suspendida.

Pleistoceno y reciente

En las playas de Santo Domingo en Baja California se encuentran depósitos de fosforitas. Están compuestas por arenas bien seleccionadas cuyo principal componente es carbonato- fluorapatita dentro de una matriz limo-arenosa fina. Las partículas fosfáticas en las fracciones más gruesas son derivadas de conchas fosfáticas de braquiópodos. Los sedimentos fosfáticos se extienden desde la superficie hasta unos 20 m de profundidad. Los depósitos de Santo Domingo en la Formación Soledad, en el extremo norte de Bahía Magdalena fueron prospectados desde 1978 y se estimó un ritmo de explotación anual de 1.5 Mt por año de concentrado conteniendo 24% de P_2O_5. Las investigaciones delimitaron un área de unos 60 km^2 cerca de Puerto López Mateos, compuesta de zonas contiguas (Elena y Prados) que se estima contienen 434 Mt con promedio de 4,29% P_2O_5 y 463 Mt con 4,56% de P_2O_5 respectivamente. Puesto que estas investigaciones se circunscriben solo a una pequeña proporción del área sobre la que se sabe que se extienden las áreas fosfáticas, los recursos totales son sin duda mucho mayores. Las reservas totales en Santo Domingo se estimaron equivalentes al menos a 1500 Mt de P_2O_5, asumiendo un contenido promedio de 5% de apatita, aunque en algunos lugares alcanzan 10 a 12% de apatita.

Los estudios de beneficio indicaron que podría producirse un concentrado con 29% P_2O_5 sometiendo las arenas fosfáticas a flotación aniónica, seguida de flotación catiónica y separación magnética. Se reporta que este concentrado es útil para fabricar superfosfato. La calcinación del concentrado elevó a 31% o más el contenido de P_2O_5.

Guano

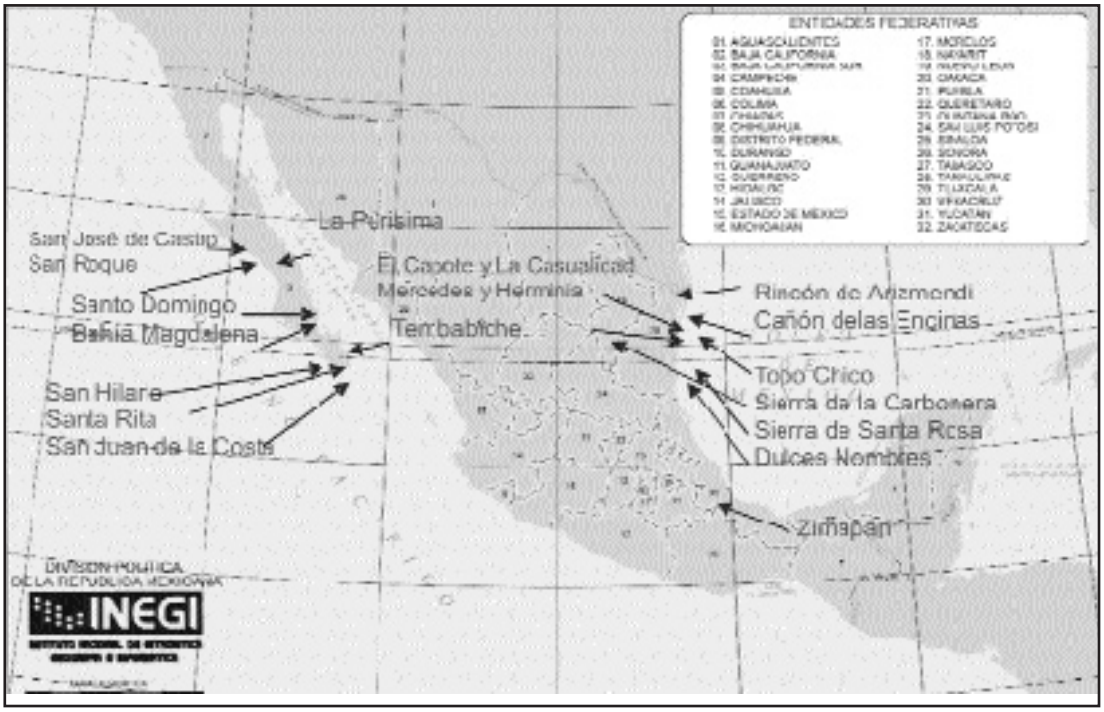


Figura III-27. Ubicación de los yacimientos de roca fosfórica de la República Mexicana.

Varios miles de toneladas de guano fosfático de aves marinas se cosecharon anualmente de pequeñas islas situadas en la parte noroccidental de México, cerca de la costa del Pacífico de Baja California y dentro del Golfo de California. Las fuentes más importantes fueron las islas de Elide (28º46'N, 114º12'O), las cuales fueron explotadas por vez primera en el siglo XIX, y Pájaros (24°38´N, 112°09´O) en Bahía Magdalena, cuyo guano contenía alrededor de 11% de P_2O_5. Entre 1918 y 1937 la compañía G.W Beermaker Inc. de San Diego, California, estuvo extrayendo unas 615 t/año de guano que contenía 8-13% P_2O_5, 8-11% N y 1-2% K_2O, el cual se enviaba a California para su uso como fertilizante. A partir de 1938 la explotación de guano en las islas de Baja California y otras partes del país estuvo bajo el control del gobierno mexicano, el cual en 1943 formó la empresa Guanos y Fertilizantes de México, S.A., para explotar estos depósitos. El guano se usaba en la fabricación de fertilizantes mixtos en Guadalajara, Jalisco.

En la Figura III-27 se muestra la ubicación de los diferentes depósitos de roca fosfórica de la República Mexicana.

Aplicación directa de roca fosfórica como fertilizante

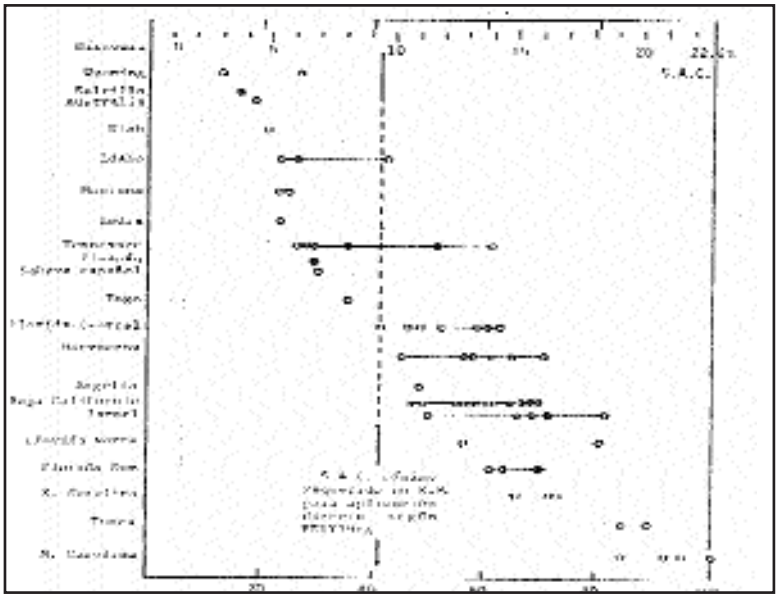
No existe en México una tradición sobre el uso de roca fosfórica en aplicación directa como

fertilizante; sin embargo, los resultados de numerosas investigaciones conducidas desde 1966, ponen de manifiesto que en los suelos ácidos, la utilización de roca fosfórica de Baja California puede ser una alternativa más redituable y económica que el uso de los fertilizantes tradicionales de alta solubilidad.

El uso económico de la roca fosfórica como fertilizante está supeditado a características de la propia roca y del suelo al que se aplicará a fin de lograr una suficiente solubilización del material, que asegure el abastecimiento del fósforo al cultivo.

Las características principales de la roca fosfórica que determinan su efectividad en aplicación directa, son su reactividad y su fineza de molienda. La reactividad está relacionada directamente con el grado de sustitución isomórfica de radicales fosfato con carbonatos (Leer y McClellan, 1972) y de cationes de calcio por sodio y magnesio en la estructura básica de la apatita. En el análisis de 11 diferentes muestras de roca fosfórica de San Hilario y de San Juan de la Costa, B.C.S., realizados por FERTIMEX y por el I.F.D.C., el grado de sustitución de fosfatos por carbonatos se encontró ser de 13,17 a 17,6%. Comparativamente, la roca de Marruecos, reconocida por su alta reactividad, mostró 18% de tal sustitución y la de la Florida 16,33%. En las rocas de Saltillo y Zimapán, conocidas por su baja reactividad, se encontraron sustituciones de solo 6,33 y 9,67% respectivamente.

Con fines prácticos, la reactividad de la roca fosfórica se evalúa mediante su solubilidad en diferentes solventes como son el citrato de amonio, el ácido cítrico y el ácido fórmico. En América el método más usado es el de la solubilidad en citrato de amonio neutro, expresado como porcentaje del fósforo contenido en la apatita, término conocido como solubilidad absoluta en citrato (S.A.C). En la Figura III-28 se muestra la ubicación relativa de las rocas mexicanas de Saltillo, Zimapán y Baja California Sur, en la gráfica de Lehr y McClellan (1972) que contiene los valores de S.A.C. de rocas fosfóricas procedentes de 19 diferentes lugares. En la misma gráfica se indica el límite inferior de S.A.C. señalado por Boy (1978) como requerido para que una roca fosfórica sea apta para aplicación directa (SAC = 9,44%). Todas las muestras de Baja California cayeron dentro de la zona de aceptación para aplicación directa, mostrando reactividades semejantes a las de rocas de Marruecos.



Las rocas fosfóricas del interior de la República en general han mostrado baja reactividad, lo que las hace inapropiadas para aplicación directa. Boy (1978) reporta índices de solubilidad absoluta en citrato

(ISAC), de 3.29 y 7.10 para las rocas de Saltillo y Zimapán, respectivamente; en cambio las rocas de Baja California tienen valores de ISAC que varían de 10,79 a 15,87 (Figura III-28), lo cual desde un principio hizo suponer una eficiencia agronómica aceptable en aplicación directa a suelos ácidos. La mayor reactividad de las rocas fosfóricas de Baja California se debe principalmente a la sustitución del ión fosfato por carbonato en la estructura de la apatita, dando origen a la francolita. Dentro de la fórmula general del carbonato- fluorapatita, (francolita):

$$Ca\ 10_{-a-b}\ N_{aa}\ M_{gb}\ (PO_4)_{6-x}\ (CO_3)_x\ F_{\ 2+0.4x}$$

Las rocas de Saltillo y Zimapán tienen valores de 0.09 y 0.14 para el índice "a", de 0,04 y 0,06 para "b" y de 0,38 y 0,58 para "x" respectivamente; por el contrario, las rocas de Baja California han mostrado valores de "a" entre 0,23 y 0,29; para "b" los valores fluctúan entre 0,08 y 0,11 y para "x" los valores van de 0,79 a 1,06 (Boy, 1978).

La fineza de molienda de la roca fosfórica es importante por su relación con la superficie específica y el grado de contacto con los agentes edáficos que promueven su solubilización. En general se considera que debe pasar el tamiz de malla 100 (U.S. Standard) ya que una molienda mas fina encarece los costos y tiene poca influencia en el comportamiento agronómico.

Unidad y Subunidad	Superficie (10^3 ha)
Gleysol mólico	1 717.3
Gleysol húmico	413.9
Cambisol dístrico	846.9
Cambisol húmico	9.5
Andosol húmico	746.6
Andosol ócrico	292.1
Andosol vítrico	7 334.3
Planosol dístrico	139.0
Acrisol órtico	641.1
Acrisol férrico	139.5
Acrisol plíntico	56.4
Acrisol gléyco	42.5
Nitosol dístrico	626.8
Histosol dístrico	122.4
Total	13 128.3

Cuadro III-54. Superficie ocupada por suelos ácidos en la República Mexicana, según la clasificación de FAO-UNESCO (Dirección General de Agrología, 1973).

Los factores edáficos de mayor importancia en la efectividad de la roca fosfórica son el pH y el contenido de calcio en la solución del suelo. La importancia de estos factores queda de manifiesto al observar la reacción de la apatita con la acidez del suelo:

$$Ca_5(PO_4)_3F + 6H^+ \rightarrow 5Ca^{++} + 3H_2PO_4^- + F^-$$

De tal suerte que la solubilización de la roca fosfórica se favorece al incrementarse la acidez del suelo y se reduce al aumentar la concentración de calcio en la solución del suelo.

Figura III-28. Comparación de índices de solubilidad absoluta en citrato, de rocas fosfóricas (tomando la de Carolina del Norte con SAC = 22.6 como 100 %) (Lehr y McClellan, 1972, adicionada de 13 rocas fosfóricas mexicanas).

Los suelos ácidos de México

Dado que la posibilidad del uso económico de la roca fosfórica como fertilizante se circunscribe a los suelos ácidos, es de interés conocer la superficie ocupada por suelos ácidos en la República Mexicana. En el Cuadro III-54 se reporta la superficie ocupada por los diferentes suelos ácidos de México, de acuerdo a la clasificación de la FAO (Dir. Gral. de Agrología, 1973). De acuerdo a este estudio puede observarse que la superficie total ocupada por suelos ácidos en la República Mexicana es de 13.128 millones de hectáreas, que representa el 6,70% del territorio nacional. Estos suelos se ubican principalmente en la zona intertropical, con abundante precipitación pluvial. Un total de 8.373 millones de hectáreas de suelos ácidos corresponden a Andosoles, principalmente vítricos y se ubican en el Eje Neovolcánico, que atraviesa el país desde los Tuxtlas, al sur de Veracruz, en el Golfo de México, hasta Nayarit y Colima en el océano Pacífico. En segundo orden de importancia se tiene a los Gleysoles, Cambisoles, Acrisoles y Nitosoles (estos dos últimos corresponden a los Ultisoles de la clasificación Americana) que se localizan principalmente en la zona lluviosa de Tabasco, Chiapas y Sur de Veracruz.

Los suelos ácidos del Sureste de México están dedicados principalmente a pastizales o al cultivo de café, cacao, yuca, plátano, caña de azúcar o piña, mientras que los de mayor altitud, clasificados en su mayor parte como Andosoles, están ocupados por bosques de coníferas o dedicados al cultivo de maíz o frutales caducifolios de clima templado.

Del total de los suelos ácidos de la República Mexicana, unos seis millones de hectáreas están cubiertas de bosque y aproximadamente cinco millones de hectáreas están dedicadas a pastizales y aunque tanto en especies forestales como en pastos se ha detectado una insuficiencia natural de fósforo, su fertilización todavía no es una práctica usual. Los aproximadamente dos millones de hectáreas de suelos ácidos restantes son dedicados a la agricultura, en los que habitualmente se aplican fertilizantes fosfatados de alta solubilidad, en dosis que van de los 40 a los 150 kg de P_2O_5 por hectárea. Los fertilizantes fosfatados usuales son superfosfatos simple, triple o fosfato diamónico. No se acostumbra la aplicación directa de roca fosfórica.

Producción de Roca Fosfórica y Ácido Fosfórico.

El nivel actual de explotación de roca fosfórica en México resulta insuficiente para abastecer las necesidades de la industria, por lo que México importa alrededor de 500.000 t/a de P_2O_5 en concentrado de roca fosfórica, procedente en su mayoría de Marruecos (Anónimo, 2002). Los únicos productos nacionales de roca fosfórica para fertilizantes en activo son Minerales Industriales localizado en Zimapán, Hidalgo, al centro del país, y Roca Fosfórica Mexicana (Rofomex), empresa del grupo Fertinal localizada en el sureste de la península de Baja California, la cual suspendió operaciones en octubre de 2001 a causa de los desperfectos sufridos en su planta por el paso de

un ciclón. Es posible su reapertura en el futuro próximo, una vez resueltos sus problemas técnicos, financieros y laborales. Según datos de la Secretaría de Economía, la producción nacional de fosforita que en el año 2000 alcanzó 1.052.464 toneladas, en el 2001 descendió a 787.283 t y

Empresa	Ubicación	Miles de toneladas por año				Estatus
		SFS	SFT	DAP	NPK	
Fertinal	L. Cárdenas, Mich.	300	330	525		Fuera de operación
A & Wilson Troy	Pajaritos, Ver.		270			Mercado industrial
Agrogen	Querétaro, Qro.	300				A mediana capacidad
Agrofermex Occ.	Guadalajara, Jal.	92				A mediana capacidad
Agrofermex Sur.	Coatzacoalcos, Ver.				92	A mediana capacidad
Fertimina	Minatitlán, Ver.				140	Fuera de operación

del 2002 a la fecha se desplomó a menos de 5000 t anuales.

El mineral del yacimiento de Rofomex en explotación ha sido caracterizado metalúrgicamente

Año	Miles de toneladas por año				
	Superfosfato simple	Superfosfato triple	Fosfato de amonio	Complejos NPK	Total En P_2O_5
1983	300	272	95	269	275
1984	229	248	82	295	248
1985	314	254	91	311	274
1986	220	217	153	281	262
1987	223	231	443	297	405
1988	253	230	400	229	379
1989	277	218	570	200	452
1990	176	235	684	157	485
1991	164	266	597	175	459
1992	60	141	213	165	203
1993	98	136	286	113	233
1994	86	229	472	135	363
1995	53	190	668	142	429
1996	136	300	567	201	460
1997	120	246	672	177	476
1998	147	275	667	66	474
1999	123	275	647	60	459
2000	111	270	582	54	423
2001	100	260	460	50	360
1002	90	220	40	48	146
1003	80	150	0	55	94

como francolita, con un grado moderado de carbonatación y, microscópicamente, como oolitas

Año	Miles de toneladas				
	Superfosfato triple	Fosfato Monoamónico	Fosfato diamónico	Complejos NPK	Total en P_2O_5
1990	1	0	0	2	1
1991	6	1	1	9	5
1992	7	13	51	28	39
1993	23	78	217	114	173
1994	3	155	148	193	187
1995	30	63	35	51	73
1996	38	145	135	63	170
1997	30	135	209	89	200
1998	34	117	224	193	215
1999	17	257	135	145	236
2000	2	86	300	273	233
2001	8	143	287	245	256
2002	9	172	444	171	332
2003	26	240	510	257	423

formados por capas concéntricas de fosfato alrededor de un núcleo de mineral no fosfático,

Año	Miles de toneladas				
	Superfosfato triple	Fosfato Monoamónico	Fosfato diamónico	Complejos NPK	Total en P_2O_5
1990	0	0	452	10	208
1991	0	0	243	10	112
1992	0	0	134	10	62
1993	0	0	50	10	23
1994	26	0	0	10	12
1995	29	35	278	10	160
1996	94	116	239	10	217
1997	137	164	293	10	288
1998	94	32	44	10	81
1999	164	477	88	10	378
2000	240	141	194	8	277
2001	228	160	194	6	282
2002	136	14	8	5	74
2003	50	10	5	3	31

cementados con arcilla y vidrio volcánico de alta cohesión y resistencia. Para la extracción del mineral se han empleado diferentes métodos: explotación a cielo abierto, subterráneo con explosivos y minado continuo, este último aplicado a una capa de 1.6 m de espesor con un contenido de 19% P_2O_5 que se beneficia por flotación directa para obtener un concentrado de 63 - 65 BPL (29-30 % P_2O_5), recuperando el 70% del P_2O_5 minado.

La producción nacional de roca fosfórica en 1998, fue de 756,000 toneladas y ascendió en 2001, a 1.025.000 toneladas. Las importaciones alcanzaron en 1999 casi 1.8 millones de toneladas, declinando anualmente para registrar casi 1.3 millones de toneladas en 2001. El origen principal de las importaciones es Marruecos, con algunas compras esporádicas a Togo (40.000 t en 1999).

Respecto a ácido fosfórico, existe una capacidad instalada de 900 000 t/a repartida como sigue: 50% en A & W Troy, 44% en Fertinal y 6% en Fertimina y Nitroamonia. A & W Troy cuenta entre sus plantas con una de ácido fosfórico de grado técnico para la producción de fosfatos industriales, y de grado alimenticio.

Producción, importación y exportación de fertilizantes fosfatados.

El monopolio gubernamental sobre la producción y distribución de fertilizantes en México terminó en 1991, con la desaparición de Fertilizantes Mexicanos (FERTIMEX) y la venta de sus plantas a la iniciativa privada (Anónimo, 2004).

En México existen seis plantas productoras de fertilizantes fosfatados, con una capacidad de

	Consumo (10^3 toneladas año^{-1})				
Año	Superfosfato simple	Superfosfato triple	Fosfato diamónico [1]	Complejos NPK [2]	Suma (en P_2O_5)
1990	176	236	232	159	278
1991	164	272	356	184	353
1992	60	148	143	193	179
1993	98	159	531	227	376
1994	86	207	774	328	524
1995	53	191	453	194	340
1996	136	244	491	264	410
1997	120	139	559	266	390
1998	147	215	931	259	601
1999	123	129	474	202	336
2000	111	32	633	325	383
2001	100	40	536	295	335
2002	90	93	633	219	389
2003	80	117	662	260	419

producción de 695.000 toneladas anuales de P_2O_5 en forma de superfosfato simple y triple, fosfato diamónico y complejos NPK (Cuadro III-55); sin embargo dos de ellas (Fertinal en Lázaro

Cárdenas, Mich., y Fertimina en Minatitlán, Ver.) están fuera de operación; tres están trabajando a mediana capacidad y una abastece al mercado industrial (Araiza, 2004).

La producción real anual de fertilizantes fosfatados llegó a alcanzar 485.,000 toneladas de P_2O_5 en 1990, pero a partir del año 2000 la producción sufrió un desplome llegando a solo 94.000 toneladas en el año 2003 (Cuadro III-56).

El desplome de la producción nacional ha hecho que las importaciones de fertilizantes fosfatados, que fueron casi nulas en 1990, hayan ascendido a 423.000 t de P_2O_5 en el año 2003 (Cuadro III-57). Por su parte, las exportaciones que aunque con altibajos alcanzaron las 378.000 toneladas en 1999, se redujeron a 31.000 toneladas en el año 2003 (Cuadro III-58).

Cuadro III-55. Capacidad instalada de producción de fertilizantes fosfatados en México en 2004 y situación de las plantas.

Cuadro III-56. Producción de fertilizantes fosfatados en México de 1982 a 2003 (Araiza, 2004).
Cuadro III-57. Importaciones de fertilizantes fosfatados en México de 1990 a 2003.
Cuadro III-58. Exportaciones de fertilizantes fosfatados en México de 1990 a 2003.

Consumo de fertilizantes fosfatados

El fósforo es, después del nitrógeno, el nutriente vegetal más importante en la agricultura mexicana tanto por la frecuencia de su deficiencia en los terrenos agrícolas, como por los volúmenes de fertilizantes fosfatados que se emplean anualmente, los cuales rebasan las 400.000 toneladas de P_2O_5.
Los fertilizantes fosfatados más usuales en México son los superfosfatos simple y triple y el fosfato diamónico (Cuadro III-59).

Perspectivas sobre fosfatos

La política actual de eliminación de subsidios y el alto costo del dinero, aunado al poco apoyo a las actividades agrícolas y la mayor tendencia a la globalización, hacen que las perspectivas de incremento en la producción de roca fosfórica y fertilizantes fosfatados en México no sean muy alentadoras, a pesar de disponerse de reservas de roca fosfórica nacional y de una alta capacidad instalada para la producción de fertilizantes fosfatados. La agricultura tecnificada con prácticas de fertilización para producir cosechas principalmente de exportación ha recibido mayor apoyo, por lo que es de esperarse que el consumo de fertilizantes fosfatados a nivel nacional continúe con tendencia ligeramente ascendente.

[1] Incluye MAP; [2] Considerado como triple 17
Cuadro III-59. Evolución del consumo de fertilizantes fosfatados en México (Araiza, 2004).

Paraguay

[1]INTA Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Pergamino. rmelgar@pergamino.inta.gov.ar
[2] Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Argentina lilianacastro@fibertel.com.ar

Ricardo Melgar[1] y Liliana Castro[2] (Ex aequo)

Introducción

Geomorfológica, geológica y sociodemográficamente Paraguay se divide en la Región Oriental, de aproximadamente 159 000 km^2 y la Occidental, de alrededor de 247. 000 km^2, ambas separadas por el río Paraguay. La región oriental posee la mayor densidad demográfica, con el 97,5 % de la población total del Paraguay. La principal actividad económica está constituida por el cultivo de la soja, la caña de azúcar, y el algodón, como así también la producción ganadera. Debido al desmonte de bosques nativos, el territorio está siendo transformado en amplias áreas deforestadas, constituyéndose la venta de rollos en un factor económico de importancia regional.

Suelos

Los suelos en el Paraguay varían notablemente entre las dos regiones naturales y constituyen un factor determinante en lo que se refiere a su uso. El país se encuentra ubicado sobre dos ambientes geológicos diferentes: el Escudo Brasilero y la Depresión Andina. La región oriental se encuentra sobre el Escudo y la occidental sobre la Depresión, lo que explica, en gran parte, las grandes diferencias biofísicas entre ambas. Casi la totalidad del territorio chaqueño, con pocas excepciones, corresponde a estratos del Terciario, con edades geológicas relativamente recientes de entre los 2 y 65 millones de años. El suelo de la región chaqueña se caracteriza por suelos sedimentarios de color grisáceo, arenosos - arcillosos y algo salobres La región oriental, en contraste, posee en su mayor parte formaciones originadas en el Mesozoico, Paleozoico e inclusive del Agnostozoico, que corresponden a formaciones mucho más antiguas. El Este de la región oriental está dominado por suelos rojos de alta fertilidad, mientras que en el sur se identifican suelos aluviales también muy fértiles y en el norte suelos más bien de origen calcáreo. (DB Environnement, 1999).

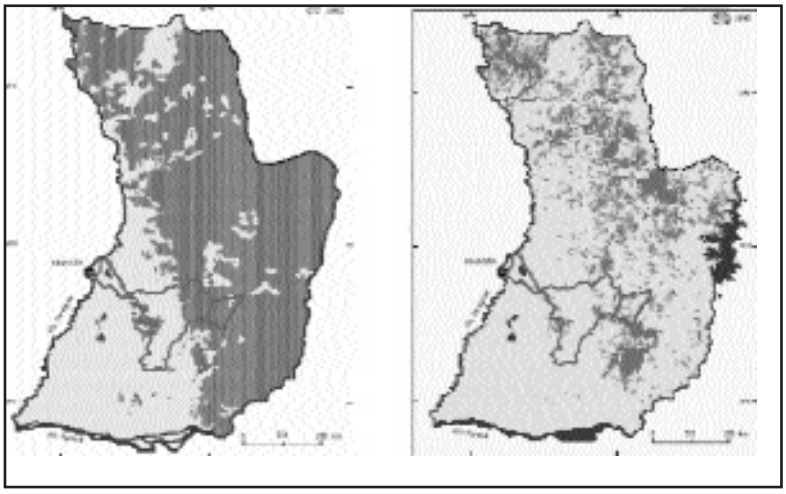


Figura III-29. Avance de la deforestación en el Paraguay Oriental. El área con cobertura boscosa que en 1945 era del 55 %, en 1997 se redujo al 16 %.

El desarrollo de los suelos está definido fundamentalmente por el material de origen y el relieve. Sobre las areniscas, en áreas suavemente onduladas, se encuentran suelos del orden Ultisoles, profundos, franco arenosos y pardo rojizos. Son suelos con

poca saturación de bases y con un horizonte más arcilloso en el subsuelo. Los Ultisoles permiten un enraizamiento profundo, pero tienen bajo contenido de nutrientes y son generalmente ácidos. Los Alfisoles, con mayor contenido de nutrientes, se formaron sobre materiales más arcillosos. Estos suelos son usados en su mayoría para la agricultura y para pasturas. Los contenidos relativamente bajos en nutrientes y el alto riesgo a la erosión hídrica de los suelos arenosos, son factores limitantes para el uso agrícola.

Los Entisoles se encuentran sobre relieves fuertemente ondulados (pendientes escarpadas). Son suelos de formaciones recientes y alta pedregosidad. A pesar de ésto, como consecuencia del alto riesgo a la erosión hídrica, estos suelos solamente son aptos para forestación o en áreas protegidas, se continúa con la deforestación e implementación de pequeñas parcelas para la agricultura. Los suelos subsuperficiales de los amplios valles son generalmente muy arcillosos y por ello acumuladores de agua. Después de intensas precipitaciones o inundaciones estas áreas se encuentran algunas semanas bajo agua. Debido a estas propiedades, estos suelos solamente son aptos para la práctica extensiva de pastoreo.

Actividad agropecuaria

La economía paraguaya es altamente dependiente del sector agropecuario, que aporta el 26% del Producto Interno Bruto (PIB). La agricultura contribuye el 15%; la ganadería, el 8%; y el sector forestal, el 2,5% respectivamente, y ejercen gran influencia en otras áreas de la economía. El sector agropecuario genera cerca del 90% de las exportaciones y ocupa al 43% de la fuerza laboral del país.

A mediados del siglo pasado la mitad de la superficie del Paraguay oriental se encontraba cubierto con bosques. Para cuantificar la deforestación en las últimas décadas se han evaluado imágenes satelitales del año 1997. El resultado obtenido demuestra que a la fecha 2/3 de los bosques han desaparecido como consecuencia de la habilitación de tierras para uso agropecuario, además del aprovechamiento forestal. Los últimos bosques de gran extensión se encuentran en el nordeste del país y en los parques nacionales de la Región Oriental del Paraguay.

En el sector Chaqueño, de casi 25 millones de has, menos del 10 % tiene actividad agropecuaria, y principalmente ganadero extensiva. La mayor parte de los terrenos de cultivos agrícolas se encuentra en el Chaco Central y es explotada principalmente por las Cooperativas Mennonitas y algunos colonos paraguayos e indígenas en las inmediaciones de las colonias.

La soja es el principal cultivo de renta, que convierte al país en el cuarto exportador mundial de soja. En los últimos años se siembran 2 millones de has, y creciendo, (718.800 has en 1987) gran parte de esta extensión ganada al monte desforestado. Fue introducida como cultivo de verano en un plan de autosuficiencia de trigo y hoy ha desplazado al algodón, el cultivo más importante en los 1980. Luego del aumento de precios en los años 70 del siglo XX, siguió el mismo fenómeno que afecto a los países vecinos, con grandes productores mecanizados de Brasil, E.E.U.U. y últimamente de Argentina, con complejos agroindustriales dedicados a la producción y procesamiento de soja. Se exporta más de la mitad a través de Brasil, y porcentajes menores por Argentina y a países andinos. El trigo es un cultivo en el cual Paraguay alcanzó la autosuficiencia luego de intentarlo por muchos años y se cultiva en rotación con la soja en Itapúa y otros

departamentos del Este.

La creciente superficie de soja sembrada en casi su totalidad sobre los Ultisoles y Entisoles del Lado Oriental (Departamentos del Este: Itapúa, Alto Paraná, Canendiyú, y Amambay). El área es gran demandante de fosfatos, potasio y calcáreos, por la naturaleza acídica y de bajo contenido de nutrientes de los suelos. Gran parte de esta demanda es suplida desde Brasil por la mejor coordinación agroindustrial de esos insumos.

El maíz sufrió un explosivo crecimiento en los últimos años llegando a casi un millón de has, si

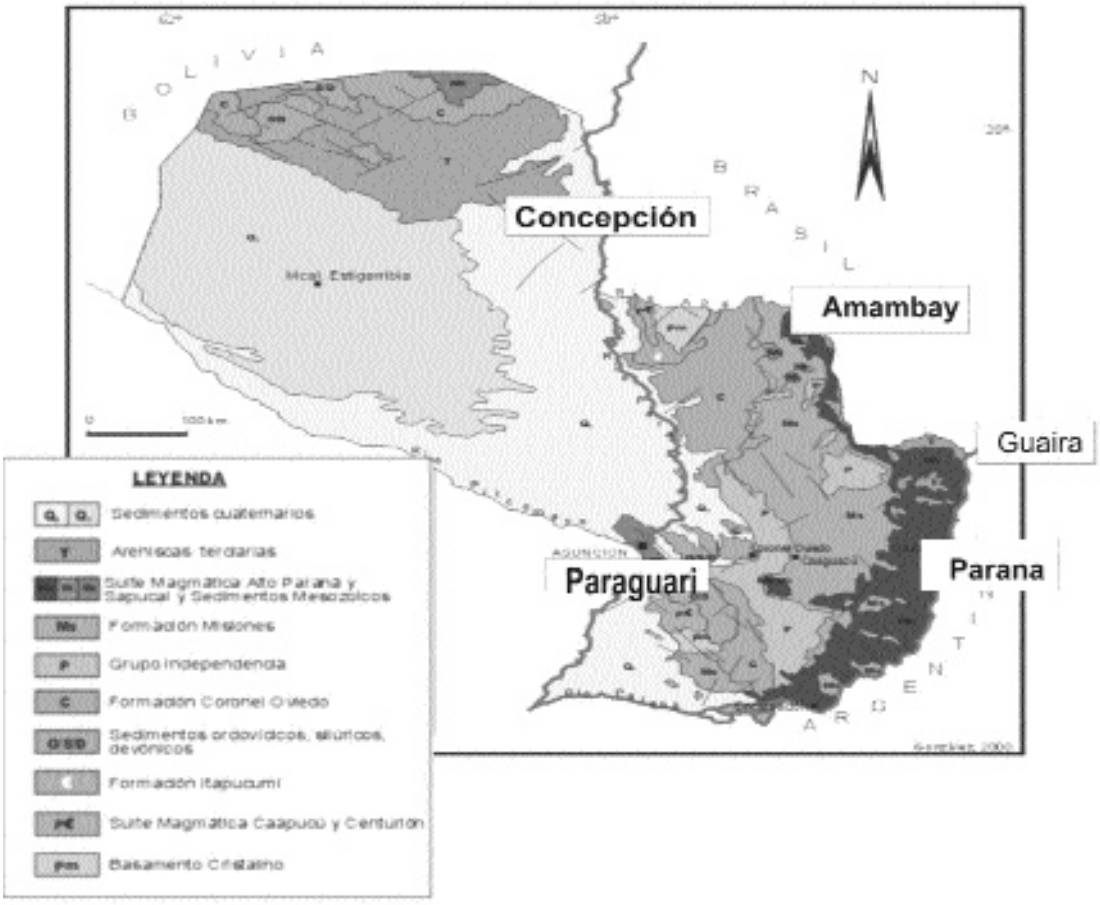


Figura III-29: Localidades citadas con anomalías fosfáticas

bien el maíz blanco es el cultivo de alimentación tradicional fue desplazado por los híbridos amarillos de alto rinde cultivados en rotación con la soja en los departamentos del Este.

El algodón es de los cultivos más antiguos, promovido por el gobierno después de la Guerra de la triple alianza. Especialmente adaptado al clima y los suelos subtropicales, llego a cubrir casi 400 mil has. Los productores extranjeros del Este cambiaron a la soja afectados por las grandes fluctuaciones de precios. SI bien se exporta la mayor parte es procesada en el país en la indus-

	Área	Área fert	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
	ha * 000	%		kg/ha			t * 000	
Soja	1870	30	5	25.9	4.8	2.8	14.5	2.7
Trigo	325	33	27	21.4	12.6	2.9	2.3	1.4
Hortalizas	47	42	80	75	93	1.6	1.5	1.8
Maiz	440	10	4	24	8	0.2	1.1	0.4
Caña de azúcar	65	13	40	16	60	0.3	0.1	0.5
Algodón	320	10	5	20	5	0.2	0.6	0.2
Arroz	31	71	27	46	30	0.2	0.3	0.2
TOTAL						8.0	20.1	6.9

tria textil. Tabaco y café (10 y 3 mil has) son otros cultivos importantes en el comercio exterior, cultivada por pequeños productores son demandantes de fertilizantes.

La caña de azúcar es un importante cultivo de renta para los pequeños productores, estimulados por los programas de utilización del etanol como biocombustible desde los años 80. En los últimos años, cerca de 65.000 has son cultivadas con un relativo escaso uso de fertilizantes; lo que resulta en rindes bastante bajos.

Entre los cultivos alimenticios, la mandioca (yuca, casava) maíz, porotos (frijoles) y maníes son la alimentación básica de los indios guaraníes. La primera es la reina de la dieta de los paraguayos cultivada en todos los pequeños predios suma mas de 220 mil has con altos rindes. La mandioca es uno de los cultivos menos exigentes en nutrientes y más tolerante a la acidez.

Manifestaciones Fosfáticas

El Paraguay geológicamente se halla localizado en la porción suroeste de la Plataforma Sudamericana y del Escudo Central Brasileño. La Faja Plegada Paraguay-Araguaia y el Cratón

del Guaporé tienen su continuidad desde el Brasil hacia el territorio Paraguayo; al Norte de la Región Oriental se constituye el denominado Precámbrico Norte (Cratón del río Apa) y el Precámbrico Sur (Cratón del río Tebicuary) al Sur de la Región Oriental.

Los Complejos de Carbonatitas, relacionadas al tectonomagmatismo acaecido en el proterozoico, presentan un fuerte potencial para mineralización de fosfatos (apatita de origen ígneo). Estos complejos representan la extensión del Cinturón Carbonatítico del sur y oeste de Brasil (Notholt, 1994 en Apleton y Nothold, 2002). No debe descartarse la prospección en los complexos alcalino-carbonatíticos del Jurásico-Cretácico que en Brasil presentan elevados tenores de fósforo por enriquecimiento supergénico de carbonatitas apatíticas y/ o piroxenitas apatíticas.

Las principales localidades citadas (Figura III-29) están en
-Concepción: Centurión y Cerro Sarambí
- Amamba: Cerro Guazu
- Paraguari: Cerro Vera, Acahay: y Sapukai;
-Guaira,Yataity: Mbocayaty- y Parana- Sarambo

Uso de Fertilizantes

De acuerdo con la FAO, Paraguay importó en 2002 153 mil t de fertilizantes (N: 34,9; P: 68,4 y K 49,8) el 94 % desde Brasil. Sin embargo, las figuras de consumo (Cuadro III-60) solo sirven de aproximación ya que año tras año se superan cifras, en particular de los cultivos de granos de los departamentos del Este, a saber soja, maíz y trigo.

Cuadro III-60. Uso de fertilizantes por los principales cultivos de Paraguay. Fuente :FAO-IFDC-IFA, 1999. Fertilizer use by crops

Consideraciones Finales

El sector distribuidor de fertilizantes es poco eficiente considerando los bajos volúmenes. Durante los años 80 hubo una planta mezcladora de cierta magnitud que desapareció. Hubo algunos proyectos de fabricación de fertilizantes que no prosperaron.

Por su falta de recursos minerales Paraguay es un país dependiente de la provisión desde mercados externos de ultramar y regionales. La industria de fertilizantes de Brasil y Uruguay provee todas las necesidades y el volumen creciente de su mercado es seriamente considerado por los proyectos regionales.

Por las características de sus suelos agrícolas más importantes, también demandarán minerales calcáreos, que aunque son también importados desde Brasil y Argentina, pueden ser aprovechados localmente.

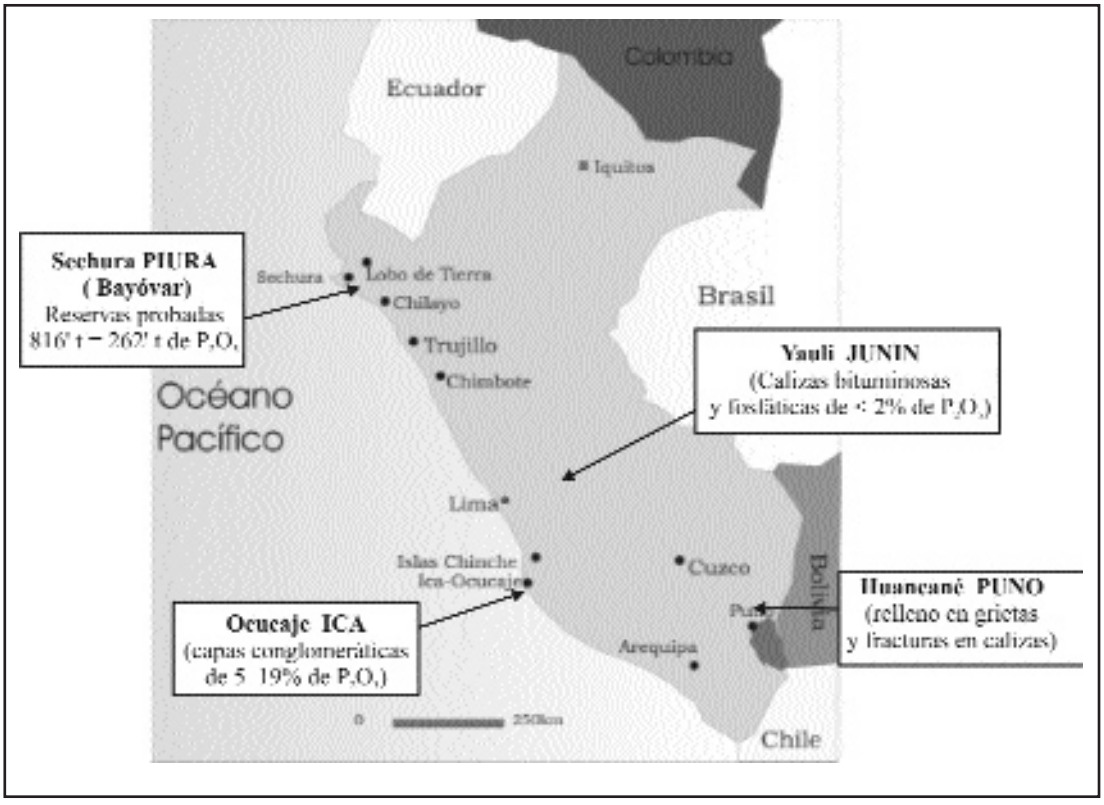
[1]*Departamento de Suelos. Universidad Nacional Agraria La Molina Apartado 456 Lima PERU gaguirre@lamolina.edu.pe*

Perú

Guillermo Aguirre Yato[1]

Introducción

Con una extensión de 128.5 MM ha totales, el Perú tiene en la actualidad 7.6 MM ha (6% de la



superficie total) con capacidad para cultivos agrícolas, 17.6 MM ha (14%) corresponden a tierras con aptitud para pastos y 48.7 MM ha son tierras con aptitud forestal (INIA 2002). De las tierras agrícolas en uso (5.47 MM ha), 0.92 MM ha se ubican en la costa, 2.69 MM ha en la sierra, y 1.8 MM ha en la selva. Económicamente la región de la costa, con sus 53 valles produce el 55% de la producción agrícola nacional. En cambio, la sierra y la selva, a pesar de su mayor extensión producen rendimientos unitarios muy bajos, excepto en algunos valles interandinos.

Los suelos exhiben diferentes grados de fertilidad resultante de las diferencias en la variación de los factores de formación. En lo referente al fósforo, se ha determinado que alrededor del 70% de los suelos de la costa tienen contenidos entre medio y bajos de fósforo disponible, en la sierra estas deficiencias alcanzan un 80%, y en la selva aún más, hasta el 90%. De esta consideración se ha reportado que la fertilización fosfática se presenta como buena en Costa y muy buena en Sierra y Selva.

De lo indicado anteriormente se concluye que el P es un elemento que limita la producción de los cultivos, esencialmente en la sierra y la selva. El uso de fertilizantes en general y los fosfatados en particular, no alcanzan a cubrir las necesidades de suelos y cultivos. Respecto a los fertilizantes fosfatados, apenas cubre un 35% de las necesidades edáficas, concentrándose estas en fertilizantes fosfatados solubles.

A pesar de estas deficiencias en la cobertura de necesidades, el Perú cuenta con una de las diez reservas de roca fosfática mas grandes del mundo. Ubicada en la localidad de Bayóvar, desierto de Sechura, a 1000 km del noroeste de la capital Lima, este yacimiento involucra reservas minerales probadas en 816 millones de toneladas, equivalentes a 262 millones de toneladas de concentrados de roca fosfática al 30 % de P_2O_5. Las reservas potenciales se estiman en 10 000 millones de toneladas.

Recientemente, en marzo del 2005, estos yacimientos han sido licitados internacionalmente por el gobierno peruano, haciéndose acreedor la empresa brasileña Vale do Río Doce. Con una inversión inicial de 300 millones de dólares, se espera que la producción anual se inicie con 1 millón de toneladas hasta llegar a los 2 millones de toneladas en un lapso de 4 años.

Ubicación de los yacimientos de roca fosfáticas

INGEMET (1982), en el Inventario Nacional de Sustancias No Metálicas indica la existencia de cuatro yacimientos de roca fosfática en Perú: Sechura-Piura, Yauli-Junín, Ocucaje-Ica y Huancané-Puno.

Asimismo, Appleton y Nothold (2002) mencionan una detallada información sobre la geología, fuentes y características de los depósitos de roca fosfática en Centro y Sudamérica. En referencia a Perú, describen depósitos sedimentarios en formaciones geológicas del Jurásico, Cretácico y Mioceno medio. (Figura III-30)

Figura III-30: Ubicación de los yacimientos (L.N.Castro modif. por G.Aguirre Yato)

De las anteriores referencias podemos mencionar las siguientes:

a) Los fosfatos de Sechura-Piura

Descubiertos en 1955 y ubicados en el desierto de Sechura, Departamento de Piura, son considerados uno de los yacimientos sedimentarios mas grandes de Sudamérica y el mundo. Estos depósitos de origen sedimentario afloran sobre un área de 260 km de longitud y 80 km de ancho, paralelo a la costa. Están constituidos por de sedimentos no consolidados del Mioceno, compuesto por lutitas, diatomitas, fosforitas interestratificadas en areniscas, arcillas, bentonitas, arenas silícicas y calizas fosfáticas, cubiertas parcialmente con sedimentos de diatomitas, coquinas y arenas eolicas. (INGEMET, 1982).

Han sido delineados tres zonas o áreas de mayor contenido de P, de los cuales el área II o Diana es la más baja en contenido de diatomitas y la más rica en fosforitas con mayor espesor del nivel. Contiene un promedio de 7 a 8 % de P_2O_5 y vetas de 35 a 40 m de espesor.

En la parte baja de esta área los bancos alcanzan los 21 m con 6,4 % de P_2O_5. Los niveles individuales son de menos de 1 m pero con contenidos de 18% P_2O_5. La parte más rica en fosforitas esta encima de esta área con niveless de 10 m y 11,6 % de P_2O_5.

Los fosfatos se presentan mayormente como pellets de carbonato- flúorapatita (francolita) junto con fragmentos de diatomitas, vidrio volcánico y sales solubles de Na, K y Mg, yeso, micas y materia orgánica.

Un área de 48 km^2 al suroeste de la depresión de Sechura, de la cual se ha extraído la mayor información se estima al menos contiene 250 millones de toneladas de roca fosfática concentrada a un 30.5 %. Las zonas denominadas Área I y Área II, son reservas de una profundidad de 30 m con estimaciones de 58 y 514 millones de toneladas respectivamente (Mclellan, 1989 citado por Appleton y Nothold, 2002).

b) Fosfatos de Yauli - Junín

Situados sobre el río Yauli a menos de 30 km de La Oroya, están constituidos por calizas bituminosas, y fosfáticas de color negro.

La ocurrencia de esta roca fosfática corresponde a la Formación de Cretácico medio Machay. Los análisis determinaron no más del 2 % de P_2O_5. Corresponden a esta misma formación los fosfatos de Ocucaje- Ica, Celendín-Cajamarca y Huancané- Puno.

También han sido identificados indicios de rocas fosfáticas en las colinas Buenaventura, al este de las minas de Morococha, provincia de Yauli, fosfatos oolíticos en asociación con calizas bituminosas.

c) Fosfatos de Ocucaje - Ica

En estos yacimientos los fosfatos forman nódulos que constituyen capas conglomerádicas con cemento silíceo de 0.3 a 1 m de espesor. Estos horizontes contienen nódulos de hasta 7 cm que se prolongan de N a S durante varios km, con interestratificaciones de lutitas y areniscas terciarias. Su tenor oscila entre 5.2 a 19.7 % de P_2O_5, con un promedio de 19.7% de P_2O_5.

d) Fosfatos de Huancané - Puno

Ubicados entre Huancané y Velquechico, rellenando grietas y fracturas existentes en las calizas de Ayabaca. Los contenidos de P_2O_5 determinados fueron muy bajos (INGEMET, 1982).

De los yacimientos antes mencionados, el único que adquiere importancia económica actual, y ha despertado interés por su explotación a gran escala, es el de Sechura - Piura, más conocido como yacimientos de Bayóvar.

La roca fosfática de Bayovar

Características

Un contenido máximo de P_2O_5 y un mínimo de impurezas corresponden a una roca fosfática ideal, desde el punto de vista de un proceso, ya que las impurezas tienen una influencia negativa en la acidulación de la roca , en las propiedades físicas químicas del producto final, en el costo del transporte y en el mercado internacional. En general la roca fosfática mas deseable seria aquella que pueda ser recibida y procesada al menor costo por unidad de P_2O_5.

Las rocas fosfáticas contienen habitualmente fosfato de calcio de suficiente pureza que permite usarla directamente, como fertilizante o como materia prima, en la fabricación de productos comerciales como ácido ortofosfórico, superfosfatos, fosfato de amonio, fosfato dicálcico, etc.

El mineral principal de las rocas fosfáticas es la apatita cuya estructura puede ser presentada como la siguiente formula: $Ca_{10}(X_2)(PO_4)_6$, donde X puede representar al grupo hidroxilo (OH), cloro o flúor. El calcio puede ser reemplazado en parte por sodio, magnesio, manganeso, plomo, uranio y cerio. El radical PO_4 en parte puede ser reemplazado por pequeñas cantidades de UO_4, AsO_4, CO_3, SO_4 o VO_4.

Grado

La propiedad más importante de una roca fosfática es su grado (contenido de P_2O_5). Frecuentemente la denominación BPL (Bone Phosphate of Lime) o TPL (Triphosphate of Lime), es usada para expresar el grado de una roca fosfática. (1% de P_2O_5 = 2.185 BPL o TPL).

En el caso de la roca fosfática de Bayóvar el grado promedio es de 30.5% de P_2O_5 que equivale a 66.6 BPL (fosfato tricálcico). Esta concentración es obtenida por lavado y flotación.

Solubilidad

Como resultado del alto contenido de calcio apatítico la solubilidad de la roca fosfática de Bayóvar es notablemente superior en comparación a otras rocas. Según Chien y Hammond (1978), el contenido de carbono-apatita, la que determina la solubilidad de una roca fosfática. La presencia de carbonatos libres en una cantidad significativa puede reducir y/o suprimir la solubilidad de una roca fosfática. El aparente decrecimiento en la solubilidad de la apatita es debido al consumo y efecto del ion calcio en la solución extractante, lo cual ocurre debido a los carbonatos libres que son mas solubles que la apatita. Cuando midieron la reactividad de siete rocas fosfáticas con varias extracciones químicas (Cuadro III-61), la solubilidad en citrato de amonio neutro (CAN) se volvió

relativamente estable o constante entre la primera y segunda extracción para cada roca fosfática, excepto de la roca Huila. Ocurre que la RF Huila contiene 10% de $CaCO_3$ libre, lo que suprime la solubilidad de la apatita durante la primera extracción, mas no en la segunda extracción.

Roca Fosfática	P_2O_5 soluble, % de RF			
	Citrato de amonio neutro		2% de ácido cítrico	2% de ácido fórmico
	1ra exrtrac.	2da. extrac.		
Huila, Colombia	0.9	3.5	5.3	6.2
Pesca, Colombia	1.8	1.8	6.9	5.3
Sechura, Perú (Bayóvar)	5.3	5.3	15.3	21.9
Gafsa, Túnez	4.8	5.5	14.0	22.3
North Carolina, USA	7.1	6.7	15.9	25.8
Central Florida, USA	3.0	3.2	8.5	8.3
Tennessee, USA	2.5	2.8	8.7	6.9

Fuente: Chien y Hammond, 1978
Cuadro III-61: Solubilidad de R F medidas por varias extracciones químicas.

Reactividad

Del cuadro III-62 se concluye que la producción de superfosfatos con RF Bayóvar es más económica, ya que esta consume 15% menos de ácido sulfúrico que el usado normalmente (Palacios, 1975).

Roca Fosfática original	Concentración SO_4H_2 (%)	Porcentaje de conversión
Bayóvar (Perú)	70	98.4
(30.5% P_2O_5)	66.7	96.6
	63	95.1
	59.5	94.9
Florida (USA)	70	97.8
(30.5% P_2O_5)	66.7	94.2
	63	94.2
	59.5	92.0

Fuente: Waggman, H. (1962). Sechura Phosphate Concentrates versus Florida Pebble Phosphate an the possible effect small percentages of sodium chloride contained there in. Citado por Palacios P., Vicente. 1975
Cuadro III-62: Superfosfato producido por Roca Fosfática Bayóvar y Roca Fosfática Florida

Composición química

Existen diversas referencias respecto a la composición química de la RF Bayóvar, que coinciden básicamente en lo concerniente al contenido de P_2O_5 (Cuadro III-63)

Componente	(1)	(2)	(3)	(4)
P_2O_5	30.5	30.0	31.08	31.8
CaO	47.8	46.8	---	47.8
K_2O	0.1	3.0	0.78	0.19
SiO_2	2.55	4.80	1.95	5.25
SO_4	4.02	4.1	2.55	0.10
Al_2O_3	0.85	0.60	0.74	0.85
Fe_2O_3	0.63	0.50	---	0.63
F	2.11	0.4	---	2.1
CO_2	3.25	0.70	---	0.10
Na_2O	1.74	0.1	0.76	1.74
MgO	0.76	0.60	1.34	0.76
Cl	---	---	3.10	0.04

Fuente:
(1) Alegre J. y Chumbimune R. 1991
(2) Departamento de Ingeniería Minera Grau Bayóvar S.A. s/f
(3) Estación Experimental Agrícola La Molina. 1986
En: Investigación Agrícola sobre RF en el Perú.
(4) Besoaín, E., Montenegro, A. y Rojas, C. 1999
Cuadro III-63: Composición química (%) de la RF Bayóvar según diversos autores

Granulometría

El cuadro III-64 indica el análisis granulométrico

Numero de malla	Abertura en mm	% del granulo(del total)
+ 48	0.295	0.4
+ 65	0.208	2.31
+ 100	0.147	28.47
+ 150	0.104	45.20
+ 200	0.074	17.42
+ 270	0.053	4.2
- 270	0.053	2.0

Fuente: López, R. 1986
Cuadro III-64: Análisis granulométrico de la RF Bayóvar concentrada

Mineralogía

Según Khasawneh y Doll (1978), las rocas fosfáticas sedimentarias, como las de Bayóvar están constituidas por microcristales de flúorapatita y carbonato-flúorapatita, también conocidas como francolitas, las que se presentan en asociación con otros minerales, algunos consideradas impu-

rezas, como silicatos, carbonatos libres, diatomitas, óxidos hidratados de Fe y Al.

Métodos de extracción y concentración

Comprende básicamente dos etapas: el minado y el tratamiento metalúrgico.

La primera etapa, el minado, consiste en separación del material estéril que se encuentra sobre las capas de mineral, está constituida por arenas no consolidadas y paquetes de arenas cementadas que contienen venillas de yeso, areniscas y diatomitas que no necesitan explosivos para ser minadas.

El método para realizar el minado es el de transferencia, con cortes en franjas o lotes de 30 m de frente por 25 m de avance, mediante el uso de tractores de oruga, cargador frontal y volquetes. El tratamiento metalúrgico consta de las siguientes operaciones básicas:

a) Restregado: cuya finalidad es liberar el fosfato de los recubrimientos de diatomitas, principalmente.

b) Deslamado: el objeto de este proceso es eliminar las lamas liberadas del fosfato.

c) Flotación: culmina la eliminación de las lamas diatómicas no desalojadas en el deslamado, con el objeto de enriquecer la ley del producto.

d) Filtración y Lavado: elimina gran parte del agua y desplaza los cloruros del concentrado obtenido, en esta etapa el concentrado alcanza una ley de 30% P_2O_5 como mínimo, 0.06% de cloruros y entre 14 y 15% de humedad.

e) Secado: reduce la humedad del concentrado hasta 3%, por efectos naturales del sol y el medio ambiente.

Las operaciones "a", "b" y "c", se realizan con agua de mar y la operación "d", con agua fresca o "dulce".

Cuando se trata mineral explotado selectivamente (únicamente capas), como es el caso de la Planta Concentradora, con ley de cabeza mínima de 18% de P_2O_5, se prescinde de la etapa de flotación, la que si se utiliza cuando se trata un mineral cuya ley de cabeza es de 12% P_2O_5, generalmente constituido por una mezcla de capas e intercapas de fosfato. (EMRGB S.A., 2005).

Producción y consumo

Desde su descubrimiento en 1955, los yacimientos de Bayóvar - Sechura, la explotación de éstos

Año	Producción	Exportaciones
1993	...	21 655
1994	...	21 825
1995	...	19 976
1996	65 436	22 500
1997	67 136	68 818
1998	46 821	37 363
1999	9 038	18 863

estuvo sometida a los avatares de sus diversos poseedores, careciendo de continuidad y con muchas dificultades para su expansión. Así tenemos: En 1958 se inicia con Compañía de Minas Jorge Alberto, en 1959 Minerales Industriales del Perú (MIDEPSA), en 1964 Empresa Minera Bayóvar S.A., en 1972 Minero Perú (empresa estatal o publica), en 1990 se transfiere a la creada Empresa Minera Regional Grau Bayóvar S.A. (EMRGB S.A.), para culminar en el 2005 con la transferencia, resultante de la licitación internacional, mediante concesión a la empresa brasileña Vale do Río Doce.

La tabla de proyección

Año	Oferta Total	Producción	Importación
1990	265 355	126 942	138 413
1991	154 744	88 063	66 681
1992	299 681	58 332	241 349
1993	384 173	80 365	303 808
1994	427 449	76 334	351 115
1995	390 019	71 454	318 656
1996	417 603	54 556	363 047
1997	437 740	31 085	406 655
1998	520 347	36 052	484 295
1999 P/	507 963	25 410	482 553
2000 P/	515 754	21 590	494 164
2001 P/	661 152	14 462	646 690
2002 P/	632 280	9 623	622 657
2003 P/	679 735	12 943	666 792

de cesamiento, ideada inicialmente para una producción anual de 30 000 toneladas anuales en 1978, fue ampliada para la producción de 90 000 toneladas. Desde entonces, tanto Minero Perú, como posteriormente la EMRGB S.A. no pudieron sostener económicamente a la empresa, debido a la escasa y casi ausente demanda interna, y a los escasos volúmenes de exportación. Una

Año	Total	Urea	Nitrato de amonio	Sulfato de amonio	Fosfato de amonio	Superfosfato de amonio	Cloruro de potasio	Sulfato de potasio	Sulfato de magnesio y potasio
1993	303 808	210 011	2 625	3 614	20 534	28 436	30 253	6 075	2 159
1994	351 115	211 633		11 072	30 151	40 716	52 821	4 071	651
1995	318 565	235 795	-	11 523	44 151	7 017	8 185	8 345	3 248
1996	383 047	221 907	4 224	35 831	51 878	12 645	17 701	13 721	5 340
1997	408 655	223 193	1 602	38 787	74 410	20 427	28 204	12 180	9 872
1998	484 295	278 849	21 031	45 341	67 348	17 056	34 656	14 456	5 560
1999 P/	482 553	296 182	9 813	38 969	78 509	8 395	30 265	14 485	7 834
2000 P/	494 164	345 786	13 180	39 476	53 180	6 225	23 218	8 383	4 696
2001 P/	656 448	326 571	15 547	95 311	122 879	18 719	51 990	17 092	8 359
2002 P/	622 612	371 278	31 590	31 587	104 231	13	50 370	23 644	3 901
2003 P/	686 780	334 211	39 145	67 359	123 857	10 041	46 857	35 349	10 182

pequeña proporción de esta producción era destinada a la fabricación de fertilizantes solubles (Superfosfato simple, Bayomix, compuestos), de factura nacional, por parte de INDUS y la desaparecida ENCI.

Los últimos datos de producción se presentan en el Cuadro III-65, e ilustran el grave decaimiento de la explotación de este recurso con un potencial inmenso, que se espera constituya un relanzamiento con la presencia de la nueva empresa brasileña.

1996-2003 (toneladas métricas)

Productos	Roca Fosfática	Yeso	Calcita	Boratos y Ulexita	Cal
1996	65 436	65 447	...	39 982	...
1997	67 136	63 640	...	46 979	31 223
1998	46 821	78 656	...	22 002	37 220
1999	9 038	75 636	...	14 716	28 344
2000	5 581	52 346	...	9 309	140 630
2001	4 825	20 966	...	9 374	31 096
2002	45 252	75 306	499	8 815	23 331
2003/P	11 610	71 114	16 480	11 072	...

Fuente: PERU. Compendio Estadístico 2004 (2005b)
Ministerio de Energía y Minas - Dirección General de Minería , 2005
Cuadro III-65: Volumen de la Producción Minera No Metálica según principales productos

Si contrastamos con los volúmenes de exportación de roca fosfática (Cuadro III-66), observaremos que el consumo en el mercado interno ha sido muy reducido, las que no sobrepasan en promedio las 10 000 toneladas al año. El mayor volumen de exportaciones en el año 1999 se explican por los stocks producidos en años anteriores.

Cuadro III-66: Exportaciones de Roca Fosfática de Bayóvar (TM)

El mayor consumo de fertilizantes fosfatados se da con fertilizantes solubles de origen importado, tal como se muestra en las Cuadros III-67 y III-68.

Cuadro III-67: Oferta Total de Fertilizantes, 1990 - 2003 (Toneladas Métricas)
Fuente: Perú - Compendio Estadístico 2004 (2005)
Ministerio de Agricultura - Dirección General de Información Agraria

Fuente: Perú - Compendio Estadístico 2004 (2005)
Ministerio de Agricultura - Dirección General de Información Agraria
Cuadro III-68 Volumen de importaciones de Fertilizantes , 1993 - 2003 (Toneladas Métricas)

La historia del colapso

En su mejor momento (1991) la industria nacional logró proveer cerca del 60% del consumo total de fertilizantes.

Información de ENCI (Empresa Nacional de Comercialización de Insumos,1977), empresa estatal comercializadora de fertilizantes, hoy desaparecida, menciona que entre 1970 y 1977, en promedio anual, cuatro eran las empresas o fabricas de fertilizantes:

- Fertilizantes Sintéticos S.A. (FERTISA, Lima), 9153 ton de Sulfato de Amonio y 30 829 t de Nitrato de amonio.

- Empresa Publica Industrial Cachimayo (EP INCA, Cusco), con 21 847 t de Nitrato de amonio.

- Petróleos del Perú (PETROPERU, Talara), con 87 811 t de urea.

- Industrias Químicas Básicas S.A. (INDUS SA, Lima) con 10 237 t de Superfosfato Simple y 13 364 t de Compuestos.

En el periodo 80-87, en el Forum sobre Fertilizantes, organizado por CONCYTEC se dispone de la siguiente información: (promedio anual).
- FERTISA: 2 740 t de Sulfato de amonio, y 29 180 t de Nitrato de amonio.

Años	96	97	98	99	00	01	02	03
	1 X 10^3 TM/AÑO							
Genéricos primarios								
$CO(NH_2)_2$	200	280	285	290	354	325	403	314
DAP	65	65	67	79	65	131	134	100
SULF. AMONIO	40	36	47	37	55	85	60	47
KCl	25	25	35	25	24	58	43	56
Subtotal	330	406	434	431	498	599	599	517
Genéricos secundarios								
Nitrato de amonio	-	-	21	10	29	20	28	29
Superf. Triple	22	10	17	8	11	14	10	00
K_2SO_4	12	7	15	13	7	16	22	32
S K Mg	7	7	6	8	5	8	6.5	9
Subtotal	41	24	59	39	52	58	67	70
Nacional								
Guano de islas	10	15	15	20	20	20	20	20
Indus	15	10	10	15	7	7	7	10
Subtotal	25	25	25	35	27	27	27	30
OTROS	17	18	12	15	12	14	5	
Total	413	473	530	520	589	698	739	617
Consumo NPK								
N	115	150	160	160	200	200	236	184
P_2O_5	45	45	40	48	40	71	70	50
K_2O	30	25	30	25	20	45	41	52
TOTAL NPK	190	220	230	233	260	316	347	286
Kg NPK/ha	63	73	77	78	87	105	116	95
3'000 000 ha	190	220	230	233	260	316	347	

Cuadro III-69 : Consumo de fertilizantes en el Perú entre 1996-2003 (en miles de ton.) Fuente: Comunicación personal del Dr. Sven Villagarcia, elaboración propia en base a información aduanas.

- INCASA: 11 420 t de Nitrato de amonio.
- PETROPERU (Talara): 114 590 t de urea
- INDUS: 6 550 t de Superfosfato simple y 17 710 t de compuestos

Durante el gobierno de Fujimori, fruto de la fiebre privatista, llegó a asfixiar estas empresas, y entre 1990 a 1997, se liquidó ENCI.

Entre 1992-93 cierra la planta de PETROPERU en Talara, más por obsoleta, y producción antieconómica.

La planta de Cachimayo (Cusco), dejo de producir el nitrato de amonio agrícola, centrándose su producción en el Nitrato de amonio "técnico" o grado Anfo, de uso en minería, para explosivos (70 mil t anuales).

La Planta de FERTISA, fue sometida a venta, pero por falta de postores, cerró la planta, y por

obsolescencia también colapsó.

La única planta que ha "sobrevivido" a duras penas, ha sido INDUS, con una producción aproximada de 4 a 5 mil t anuales de Superfosfato Simple (que se prepara con la RF de Bayóvar y Ácido sulfúrico de Cajamarquilla), hasta llegar estos últimos años (2002, 2003) apenas a mil toneladas. Adicionalmente se ha dedicado a preparar compuestos (12-24-12 y 12-12-12), en base el Superfosfato Simple que ellos mismos preparan con fertilizantes importados como el fosfato. diamónico y cloruro de Potasio.

De modo que esas 10 mil t que aparecen en el Cuadro III-68 como producción nacional (1.5%), se trata de compuestos o mezclas físicas que las mismas importadoras (Misti SA y Molinos SA) elaboran.

En resumen: Cerraron Talara, Cachimayo, FERTISA, ENCI desapareció. Sólo queda INDUS con sus mil toneladas que no es nada frente a las 650 mil t de fertilizantes que se importan. Se espera que esta situación se revierta en los próximos 5 años con la concesión de los yacimientos de Bayovar a la empresa brasileña Vale Do Rio Doce.

He sistematizado esta información, de las conversaciones que sostuve con el Dr. Sven Villagarcia, conocedor de esta temática, y el Ing. Roberto Franco, gerente general de INDUS S.A. Así como de documentos de archivo.

También adjunto un Cuadro (cuadro III-69) que me proporcionó el Dr. Sven Villagarcia, de su

elaboración propia en base a información de la aduana peruana. En algunos casos son datos estimados y redondeados, pero es suficiente como para comprender la problemática de los fertilizantes en el Perú.

Experiencias de uso de la roca fosfática para propósitos agrícolas

Desde su descubrimiento en 1955, los primeros estudios sobre las características físico-químicas, así como de sus posibilidades de uso agronómico, fueron realizados en el exterior.

El reporte más remoto sobre uso de la RF de Bayóvar, corresponde a Fassbender (1967), donde en una recopilación de experiencias menciona:

- La ventajosa perfomance de la RF Bayóvar, comparada con el superfosfato, en experimentos con arroz, en suelos volcánicos rojos, deficientes en fósforo y elevado contenido de aluminio y hierro, por la Universidad de Gakugei, Tokio.

- En experimentos en cultivos de arroz y maíz, por la Universidad de Filipinas, en suelos ácidos, la RF Bayóvar supero al superfosfato y al metafosfato de potasio.

- En un suelo franco limoso de Illinois, USA, en un experimento de fertilización en cebada, la RF Bayóvar solo fue superado por el superfosfato, superando a la RF Florida. En alfalfa las RF Bayóvar y RF Túnez tuvieron el mismo desempeño superando ambos a la RF Florida.

- En Alemania, en el cultivo de avena, la RF Bayóvar superó a la RF de Marruecos, indicando que la molienda fina muestra mejores resultados que la RF sin moler.

- En Costa Rica, en el cultivo del pasto sudan, la RF Bayóvar llego a triplicar los rendimientos comparados con un control sin P.

Las décadas de los anos '70 y '80 fueron muy prolíficas en cuanto a experimentos con la roca fosfática peruana.

López (1986), hizo una interesante recopilación de investigaciones de la roca fosfática de Bayóvar, realizada por investigadores peruanos, sobre temas de efectividad agronómica, efecto del encalado, modo de colocación, niveles de aplicación, efecto residual, absorción por las plantes, efecto del azufre, acidulacion, parcial, efecto de la materia organica, influencia del tamaño de granulo, llegando a las siguientes conclusiones:

- Los fosfatos de Sechura deben concentrarse a no menos de 29% P_2O_5.
- La finura de la roca debe ser tal que el producto pase por lo menos en un 60%, la malla 200 .
- La RF Bayóvar debe ser usada en suelos cuyo pH sea menor a 5.5.
- La RF Bayóvar debe ser usada en suelos cuyo contenido sea menor a 27 ppm.

[1]*Profesor Agregado de Fertilidad de Suelos - Departamento de Suelos y Aguas, Facultad de Agronomía (UDELAR). Garzón 780. CP 12900. Montevideo. Uruguay. - jbordoli@fagro.edu.uy*

Uruguay
Demanda de fertilizantes

José Martín Bordoli [1]

Introducción

Uruguay destina más del 90% de su superficie a actividades agropecuarias. El PBI agropecuario es del orden del 12% del total. El PBI de las "cadenas de agronegocios" (agropecuario, empresas

Uso del Suelo
(superficie explotada, promedio 2001-2005)

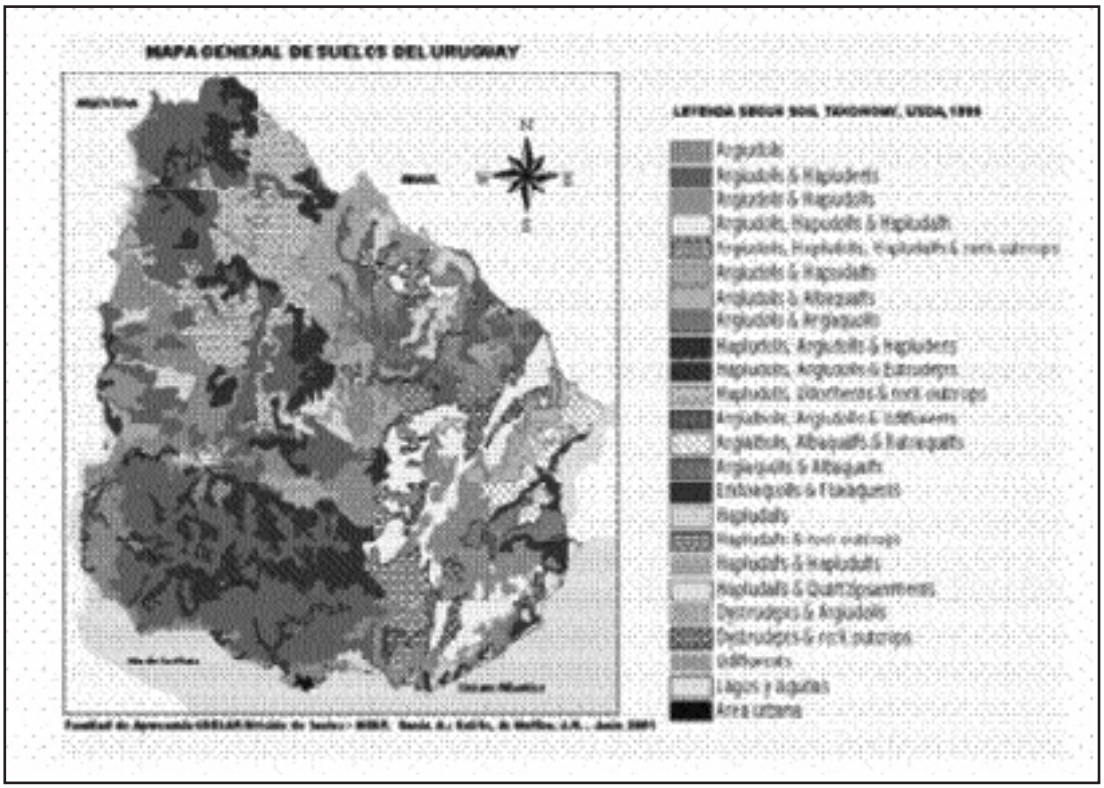
	Miles de hectáreas	Porcentaje del total (%)
-Campo natural	11600	70.3
-Bosques naturales	580	3.5
-Bosques artificiales	620	3.6
-Pasturas sembradas	2500	15.2
-convencionales	1300	7.9
-coberturas, me.ext	750	4.6
-anuales	450	2.7
cereles y cultivos industriales	950	5.8
arroz	185	1.1
trigo	172*	1.0
cebada	100	0.6
girasol	100	0.6
maíz	55	0.3
sorgo	25	0.2
soja	300**	1.8
Fruticultura	40	0.2
Horticultura	20	0.1
Tierras improductivas	200	1.2
Total	16500	

agroindustriales (20% del total), y los servicios vinculados) representan en su conjunto la tercera parte del PBI nacional. (Caputi, 2005).

Uruguay es un un país agroexportador. Las exportaciones de productos agropecuarios significan más del 60% de las exportaciones del país. En 2003 significaron el 71.5 % de las exportaciones, destacándose los productos: carne bovina (17.3%), granos (15.1%), cueros (11.9%), productos lácteos (6.4%), y lanas (6.3%). (Anuario Estadístico Agropecuario 2004; MGAP-DIEA).

Uso del Suelo

El Uruguay posee unas 16.500.000 has bajo explotación agropecuaria, de las cuales el 70% (11.600.000 has) son campo natural. Las pasturas sembradas ocupan un área de 2.500.000 hectáreas (15%), incluyendo 1.300.000 has (7,9 %) de pasturas convencionales, 750.000 has (4.6 %) de mejoramientos extensivos, y unas 450,000 hectáreas (2,7 %) de pasturas anuales. Los cultivos cerealeros e industriales ocupan 950,000 hectáreas (5.8%), incluyendo los cultivos de secano y los regados como el arroz. El área forestada es de 580.000 hectáreas de montes

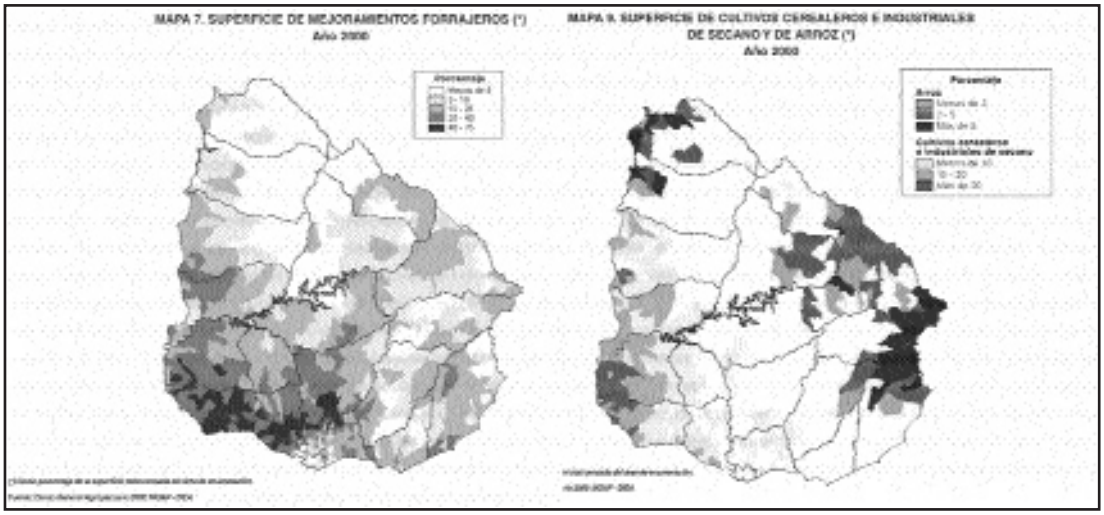


naturales (3.5%), y 620.000 hectáreas (4%) de bosques artificiales (principalmente Eucaliptus). La forestación ha tenido un crecimiento sostenido de plantación del orden de 50.000 a 60.000 hectáreas anuales. El área hortícola y frutícola es sólo de unas 60,000 hectáreas (0,3% de la superficie).

Por el área que ocupan las pasturas (con laboreo convencional o Siembra Directa.), son el principal "cultivo" de Uruguay; y el principal consumidor de fertilizantes fosfatados.

El Trigo, en promedio de los últimos 10 años ocupó un área de 172.000- 180.000 has. Sin embargo, en los últimos años ha disminuido su área a valores de 140.000 a 150.000 has. El trigo ha sido el cultivo más dinamizador de la agricultura uruguaya, por su utilización en siembras consociadas trigo-pasturas. A su vez, más del 60% del girasol y buena parte de la producción de soja

se realiza como cultivo de segunda en siembra directa y sin fertilización luego de cosechado el trigo (por lo que normalmente la fertilización del trigo incluye la residualidad de P para el girasol y soja de segunda). La superficie de cebada cervecera se ha situado en 100.000 has, con un consumo de fertilizantes inferior al del trigo. El cultivo de verano más importante es el arroz (con riego por inundación), que ocupa en promedio 180.000-185.000 hectáreas. Sin embargo, el consumo de fertilizantes fosfatados en este cultivo es bajo, debido a los cambios que ocurren en la dinámica de fósforo y en su disponibilidad al inundar el cultivo. El cultivo de soja ha presentado



un crecimiento muy importante en el área de siembra en los últimos años, de unas 30.000 há en la zafra 2001/02, aumenta a 278.000 ha en 2003/04, y se estiman unas 320.000 ha. en la zafra 2004/05.

Otros cultivos de verano ocupan superficies menores (por ejemplo en promedio de los últimos cinco años el maíz ocupa 55.000 ha, y el sorgo 25.000 há.).

Normalmente los cultivos se realizan en rotación con pasturas (3 años de cultivo y 3-4 años de pasturas). Esta rotación se realiza no sólo por el aporte de N de las leguminosas de las pasturas, sino también para mantener las propiedades físicas de los suelos (imprescindible en sistemas con laboreos), y por problemas de malezas (en arroz).

Especie	Nivel crítico (ppm, Bray N°1)	Especie	Nivel crítico (ppm, Bray N°1)
Alfalfa	20	Trigo, Cebada	13-15
Trébol blanco	16	Maíz	14-16
Trébol Rojo	14	Sorgo	14-16
Lotus	12	Arroz	7-8*
Lotus Rincón	10	Soja	12-14
Avena, Raigrás	10	Girasol	10-12

El Cuadro III-70 muestra la distribución del uso del suelo
-En trigo se tomó el promedio de los últimos 10 años, dada la poca área sembrada en los últimos años por problemas climáticos. -En soja se tomó el promedio de sólo los últimos 2 años, dado el rápido crecimiento del área a partir del 2002.Elaborado por el autor a partir de Anuario Estadístico Agropecuario 2004 (MGAP-DIEA, MGAP-OPYPA), y predicciones 2005-06. Cuadro III-70: Distribución del uso del suelo*

Suelos y producción

Por su tamaño, Uruguay no presenta grandes diferencias climáticas. Sin embargo, por su variada geología, presenta gran diversidad de tipos de suelos que incluyen suelos superficiales y profundos, suelos de textura pesada (más de 50% de arcilla) y suelos arenosos. Hay suelos formados sobre lavas basálticas y sobre cristalino (granitos y migmatitas) con recubrimientos variables de lodolitas cuaternarias, sobre lodolitas cuaternarias, sobre limos terciarios (loess), sobre areniscas cretácicas y triásicas, etc. Es así que el mapa de suelos del Uruguay reconoce 99 asociaciones de suelos. A pesar de la gran variación, más del 50% del país esta ocupado por Brunosoles (Argiudolls) como suelos predominantes asociados a Vertisoles (Hapluderts) y a suelos superficiales (Hapludolls). (Figura III-31)
Figura III-31: Mapa de suelos

La ganadería bovina ocupa suelos superficiales (con suelos profundos asociados), y suelos de fertilidad media a baja. La base de su producción es el campo natural (con menos de un 10% de su superficie con mejoramientos forrajeros). Este rubro predomina en las regiones norte (litoso-

les de basalto o Udorthents, Hapludolls), noreste (argiudolls o Brunosoles subeútricos francos), sureste (suelos superficiales de cristalino (Udepts) y Argisoles (Udalfs) y centro del país sobre suelos variados.

La agricultura de secano ocupa en su mayoría Brunosoles eútricos y subeútricos (Argiudolls), y Vertisoles (Hapluderts) de alta fertilidad del litotal oeste y sur-oeste del país. La producción lechera ocupa suelos similares a los agrícolas, pero situados más al sur y centro sur del país, por la cercanía a las plantas procesadoras y a los principales mercados de consumo de leche fresca.
El arroz ocupa suelos de las tierras planas del este (Planosoles y argisoles o Argialbolls y Natraquolls), y gleysoles de valles fluviales del noroeste.

La forestación artificial, impulsada y reglamentada por una Ley Forestal, ocupa suelos arenosos del NE (Luvisoles y acrisoles sobre areniscas triásicas, Hapludalfs y Hapludults); suelos arenosos del litoral oeste (sobre areniscas cretácicas), y suelos superficiales de sierra.
Figura III-32: Superficie de mejoramiento forrajero y superficie de cultivos cereales e industriales

Principales limitantes de fertilidad de los Suelos

Fósforo:

Los suelos tienen un contenido variable de P inorgánico total (entre 150 y 600 ppm de P); y contenidos variables también de P orgánico total (150-600 ppm) que representa en promedio un 50% del P del suelo. Sin embargo todos los suelos presentan en común contenidos muy bajos de P "asimilable" o "disponible" en condiciones naturales. Estos contenidos de P (Bray Nº1) varían entre 2 y 5 ppm (mg P/kg suelo).

Comparados a nivel mundial (suelos tropicales, o de ceniza volcánica) los suelos del Uruguay tienen bajo poder de retención de P . Estudios de isotermas de retención indican que este poder de retención varía entre 10 y 43 ppm de P para matener 0.2 ppm en solución.

En los suelos agrícolas y lecheros (donde se concentra la mayor parte de las pasturas sembradas) se necesitan entre 7 y 15 unidades de P_2O_5 (en promedio 10 unidades) para elevar una ppm el P (Bray Nº1) del suelo. A su vez la tasa de retrogradación o disminución del P disponible del suelo (con aplicación de fertilizantes solubles) es del orden del 30 al 50% anual. Esto significa que es muy importante la refertilización anual otoñal de pasturas con dosis del orden de 40 a 50 unidades de P_2O_5 por hectárea. (cuadro III-71)
**En arroz la disponibilidad de P aumenta al inundar el cultivo, no se encuentra respuesta a P si el suelo tiene 7-8 ppm a la siembra(Hernández, com.per).*
Cuadro III-71: Nivel o rango crítico de algunas especies forrajeras y cultivos a la siembra.
Elaborado por el autor a partir de Bordoli, 1998; y otras fuentes.

En la zona agrícola (rotación cultivos-pasturas) y en la zona lechera los suelos poseen niveles de P disponible del orden de 8-12 ppm (Bray Nº1) debido a la residualidad de fertilizaciones anteriores, por lo que las dosis normales de fertilización son del orden de 50 unidades de P_2O_5 (excepto para alfalfa, donde las dosis son del orden de 80-100 unidades).

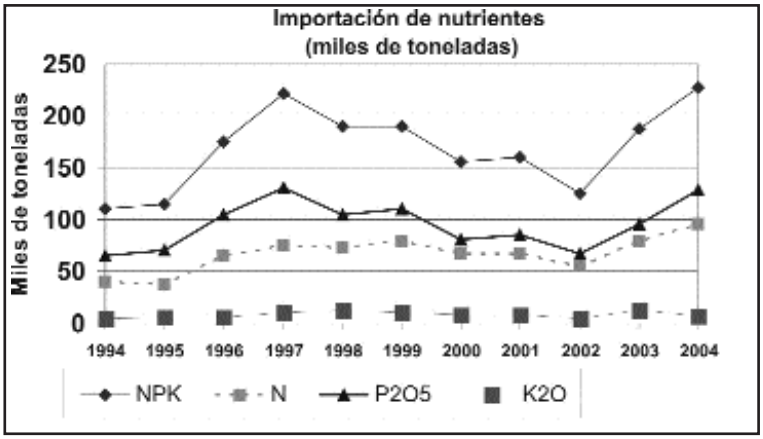


Figura III-33: Importación de nutrientes Elaborado por el autor a partir de Anuario Estadístico Agropecuario 2004 (MGAP-DIEA, MGAP-OPYPA), y de Depto. de Fertilizantes (DGRNR-MGAP).

Potasio:

Los suelos del Uruguay presentan buen suministro natural de potasio (exepto los suelos arenosos y algunos de textura liviana). Los suelos agrícolas y bajo producción lechera presentan normalmente niveles altos de K intercambiable (niveles mayores a 0.35 -0.40 meq/100 gr de suelo o sea mayores a 135-160 ppm). En estos casos se vigilan, mediante análisis de suelos períodicos, los niveles de K intercambiable en los sistemas de producción que involucran cultivos muy extractivos en los cuales se cosecha la planta entera (pasturas henificadas como alfalfa y cultivos para silo de planta entera (maíz y sorgo). El consumo de fertilizantes potásicos en Uruguay es muy bajo, y se restringe a frutales (citrus, y vid) y cultivos hortícolas (papa, tomate, etc).

Acidez y encalado:

	Miles de toneladas de fertilizantes y (% del total de nutriente importado)*				
Año	**2000**	**2001**	**2002**	**2003**	**2004**
TOTAL	**295**	**286**	**224**	**350**	**480**
Nitrógeno					
Urea	**84** (57%)	**83** (57%)	**67** (57%)	**102** (59%)	**114** (55%)
FDA	**96** (26%)	**93** (25%)	**78** (26%)	**97** (22%)	**140** (26%)
FMA	**33** (5%)	**42** (7%)	**25** (5%)	**56** (8%)	**69** (8%)
Fosforo (P2O5)					
FDA	**96** (54%)	**93** (50%)	**78** (53%)	**97** (46%)	**140** (50%)
FMA	**33** (21%)	**42** (26%)	**25** (19%)	**56** (30%)	**69** (28%)
ST	**13** (7%)	**13** (7%)	**9** (8%)	**3** (1%)	**10** (4%)
SC importado	**0**	**0**	**0**	**11** (3%)	**42** (7%)
Fosforita 36% para SC nacional	**15** (7%)	**14** (6%)	**16** (8%)	**14** (6%)	**10** (3%)
Fosforita	**30** (11%)	**31** (11%)	**30** (13%)	**45** (14%)	**37** (9%)

Figura III-34: Consumo de fertilizantes FDA: fosfato di amónico (18-46-0); FMA: fosfato mono amónico (11-51-0); ST : super triple (0-46-0); SC: Superfosfato común (0-23-0)

** Elaborado por el autor a partir de Anuario Estadístico Agropecuario 2004 (MGAP-DIEA, MGAP-OPYPA), y de Depto. de Fertilizantes (DGRNR-MGAP).*

Uruguay posee un 20 % de suelos fuertemente ácidos (pH<5.2), con contenidos importantes de aluminio intercambiable. Estos son suelos de sierra (sobre cristalino) y suelos arenosos ácidos (mayoritariamente del NE del país). Estas zonas se dedican a ganadería extensiva sobre campo natural (con algún mejoramiento en cobertura con Lotus Rincón), y forestación, lo que no justificaría la corrección de acidez del suelo. Sólo para el cultivo de tabaco Virginia se encalan estos suelos arenosos ácidos, y se justificaría

Manifestaciones fosfáticas de Uruguay

Pecoits, E. [1] *y Aubet, N.* [1]

Los fosfatos y sus productos derivados se destinan comúnmente a la actividad agrícola como abono mineral o químico. Puesto que la agricultura constituye una de las mayores fuentes de ingreso de nuestro país son considerables las cifras relacionadas a este producto, superando actualmente su importación los 50 millones de dólares (CIF). Se importa como producto primario, semi-elaborado y químico desde Marruecos, Estados Unidos, México y Rusia principalmente. Los derivados corresponden a fosfato diamónico y monoamónico, fosfato de monosodio, disodio y trisodio, fosfato dicálcico, fosfato de potasio, fosfato de calcio natural sin moler y ácido fosfórico, entre otros.

Figura III-35. Mapa donde se señalan los indicios conocidos de fosfatos en Uruguay. 1. Brechas el arroyo La Calera; 2. Formación Arequita.

El alto porcentaje de importación se debe a que en Uruguay no se han descubierto, hasta el momento, grandes acumulaciones de fosfatos; sin embargo, debe señalarse la existencia de indicios interesantes (Figura III-35).

Brechas del Arroyo La Calera

En la década de los ochenta la Dirección Nacional de Minería y Geología efectuó un relevamiento geofísico (cintilometría) para la prospección de uranio en diversas partes del país. A partir del análisis geoquímico y petrográfico de una de las anomalías identificadas, se detectó en el valle del Arroyo de La Calera (departamento de Lavalleja) una concentración importante de minerales ricos en fósforo (Figura III-35). Esta mineralización se asocia a brechas altamente deformadas de origen tectónico. Petrográficamente se identifica cuarzo, como compo-

[1] *Departamento de Geología - Facultad de Ciencias (Universidad de la República) Iguá 4225. CP 11400, Montevideo - Uruguay.*

nente principal, inmerso en una matriz de igual composición cementada por abundante hematita; la presencia de fósforo se debe a la ocurrencia de apatito. Las reservas probables de fosfatos estimadas para esta zona son de aproximadamente 2.500 toneladas (Spoturno et al., 1986).

Recientes relevamientos cartográficos (Pecoits, en preparación) han demostrado que la distribución de estos cuerpos mineralizados es superior a la originalmente reconocida. Estos indicios indican la existencia de brechas con características composicionales similares identificando, sin embargo, clastos de cuarcita a fucsita, de tamaño bloque, correspondientes a la roca caja (Figura III-36).

Si bien la génesis de estas cuarcitas fucsíticas se vincula a corrimientos de gran escala con vergencia al NW las relaciones de campo indican que el origen de las referidas brechas se relaciona a una tectónica rúptil posterior la que favoreció la removilización y redepositación de uranio y fósforo bajo la forma de apatito.

La mineralización ocurre en litologías con varias fases de deformación que conforman parte del basamento de unidades vendianas. Por dicho motivo y considerando sus relaciones estratigráficas, puede señalarse únicamente su anterioridad.

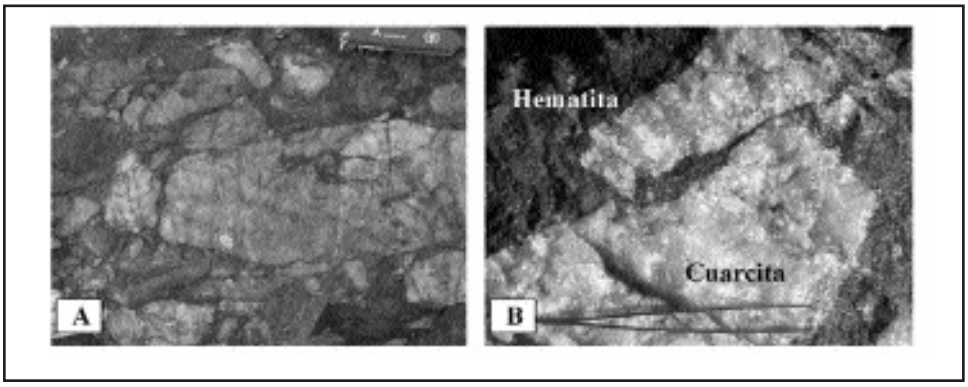


Figura III-36. Brecha tectónica del área del Arroyo La Calera. A. Vista general donde se puede apreciar el tamaño y forma diversas que desarrollan los clastos de cuarcita. B. Detalle donde se observa claramente el cemento hematítico. Escala: largo de navaja: 9 cm; pinza: 4,5 cm.

Formación Arequita

Se describe la ocurrencia en el Cerro Arequita, departamento de Lavalleja, de depósitos superficiales generados a partir de rocas ígneas fosfatizadas (Appleton & Notholt, 2002). Esta elevación está conformada por tres derrames riolíticos porfiroides superpuestos con frecuentes estructuras fluidales en la porción superior. Las litologías constituyentes incluyen riolitas, ignimbritas, tobas y brechas piroclásticas de edad Cretácico Inferior. El porcentaje de fósforo es variable: en las riolitas es levemente superior al 0.1% mientras que en las tobas alcanza concentraciones del 20% de fosfato en roca total (Bossi & Navarro, 1991).

Appleton & Notholt (2002) señalan que la mayoría del fosfato ocurre en fisuras y cavernas de la parte inferior del cerro así como en depósitos coluvionares concentrándose en un área aproximada a los 2.5km^2. Del análisis de la mineralización se obtuvieron los siguientes valores: 13.0% a 27.92% P_2O_5, 3% a 15% Al_2O_3 y 4% a 11% Fe_2O_3. Considerando esto, proponen que el origen de la mineralización se debe a la alteración de las riolitas por acción de soluciones fosfáticas derivadas del guano.

Su valor comercial es bajo puesto que el fosfato ocurre en combinación con aluminio y hierro como Variscita y Estrengita (Eckel & Milton, 1953 In: Appleton & Notholt, 2002).

Recursos y demanda de fosfatos en Venezuela

Eduardo Casanova [1]

Introducción

Este trabajo se destacan los aspectos relacionados con los yacimientos fosfáticos, sus reservas y características, sus métodos de extracción, las necesidades agrícolas de acuerdo a las propiedades de suelos incluyendo resultados agronómicos y mercado de cada mineral haciendo énfasis en la producción nacional e importación, consumo y requerimientos de acuerdo al plan de siembra del año 2005.

Manifestaciones fosfáticas

Cretácico

Los recursos Cretácico superior de fosforitas suman alrededor de 254 Mt y se localizan en (1) las fosforitas negras de agua profunda de la Formación La Luna aflorantes en los estados de Tachira, de Mérida, de Trujillo y de Lara, y (2) las fosforitas arenosas blancas de la Formación Navay correspondiente a un ambiente marino somero del sudeste de Tachira.

La Formación La Luna es una de las secuencias más importantes desde el punto de vista geológico, localizada en el oeste de Venezuela La secuencia está representada por bancos delgados de color gris a negros parcialmente calcáreos bituminosos interestratificados ocasionalmente con pelitas negras, chert y numerosos niveles de fosforitas negras. Importantes reservas de fosforitas (110 Mt con 18% P_2O_5), se encuentran en la región Central de Mérida, por ejemplo el depósito de Chiguara (Casanova y Elizalde, 1988) y, en menor grado, en el Estado de Zulia (17.8 Mt, con el 16% P_2O_5) donde se han identificado varios niveles de fosforita. El nivel principal del depósito de Molina de 1 a 2.2 m de espesor (1.8 m promedio) fue explotado en la mina de Lobatera.

Otros 15 niveles individuales de la fosforita se han reconocido pero aún no evaluado, en distintos sectores en el Estado central de Tachira donde aflora la Formación La Luna (Notholt, 1994a).

El depósito más recientemente descubierto fue el de Monte Fresco, situado cerca de Lobatera, donde se han declarado reservas probadas de 55 Mt (Romero, 1991). En el sudeste del Estado de Tachira, la Formación de Navay es el equivalente arenoso lateral de la Formación La Luna. Los fosfatos aparecen a lo largo de toda la formación principalmente vinculado a los niveles arenosos fosfáticos muy consolidado de color blanco amarillento y con un contenido promedio de 60-80% de apatita y más del 16% de cuarzo en matriz fina silícica- fosfática.
Todas las fosforitas de la Formación Navay son ricas en sílice. En el área de Los Monos se regis-

[1]*Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía, Instituto de Edafología, Maracay, Estado Aragua, Venezuela - casanovaen@cantv.net*

tran reservas de 80 Mt con 16% P_2O_5 (Notholt,1994), mientras que Romero (1991) reporta 96 Mt de reservas probadas- En las formaciones Navay y La Luna se calcularon reservas probables y deducidas de 285 Mt y 1557 Mt, respectivamente (Romero, 1991).

Terciario

La cuenca oligocena-oligocena-miocena de Falcón, en el norte de Venezuela, presenta importantes recursos roca fosfática, especialmente en el área de Cerro Riecito, situado 50 km al SE de Jacura, (este del Estado de Falcón). Las fosforitas se presentan en niveles lenticulares que varían en longitud desde pocos metros a varios cientos metros y en espesor desde 2 m a 12 m. Corresponden a la Formación miocena Capadare, constituida por calizas y de dolomías masivas con un espesor total de 135 m Se propone como mecanismo de formación del depósito, meteorización, redepositación y enriquecimiento secundario. SE estima una reserva de 25 Mt con 21.6% P_2O_5 para el yacimiento Riecito cerca y de 20 Mt con un promedio de 25.3% P_2O_5 para depósito Lizardo (Notholt, 1994).

Recientes

Los depósitos recientes del guano aparecen en Gran Roque (11°57'N, 66°41'W) en el grupo de las islas Los Roques. El depósito tiene un largo de 120 m y un ancho de 4.5 m con una profundidad de 2 a 8 m. La capa superficial 1.5 m de espesor contiene 33.2% P_2O_5 o más, pero el tenor disminuye con la profundidad y por debajo de los 10m llega a 6.7% P_2O_5. Las reservas probadas eran estimadas en 1938 en 4.200 T, con una reserva probable adicional de 1.000 T. La roca fosfática consiste esencialmente en cuarzo y dahlita este último reemplazado por barrandita. Existen además depósitos fosfáticos de reemplazo en rocas ígneas.

En Los Monjes (12°30'N, 70°55'W) la fosfatización se extiende hasta una profundidad media de 25 centímetros con las reservas estimadas de 2.800 toneladas, y una reserva adicional de 2.200 toneladas en las otras islas del grupo. Las muestras contienen un máximo de 31-33% P_2O_5 en los fosfatos superficiales de guano y de reemplazo. Los depósitos del guano fosfático también aparecen en la Isla de Orchila (11°48'N, 66°10'W), que fue la fuente más importante de este material.

En la Figura III-37 se ubican las principales manifestaciones fosfáticas.

a) Reservas y Características de los Yacimientos de Fosfatos en Venezuela
El Cuadro III-72 presenta información sobre las reservas de los yacimientos de rocas fosfóricas en el país.

Las reservas probadas se diferencian de las probables e inferidas en que tienen estudios de caracterización del depósito y del mineral mucha más detallados y confiables lo que facilita el camino hacia la factibilidad de explotación industrial a más corto plazo. Del Cuadro III-72 se pueden derivar las siguientes observaciones:

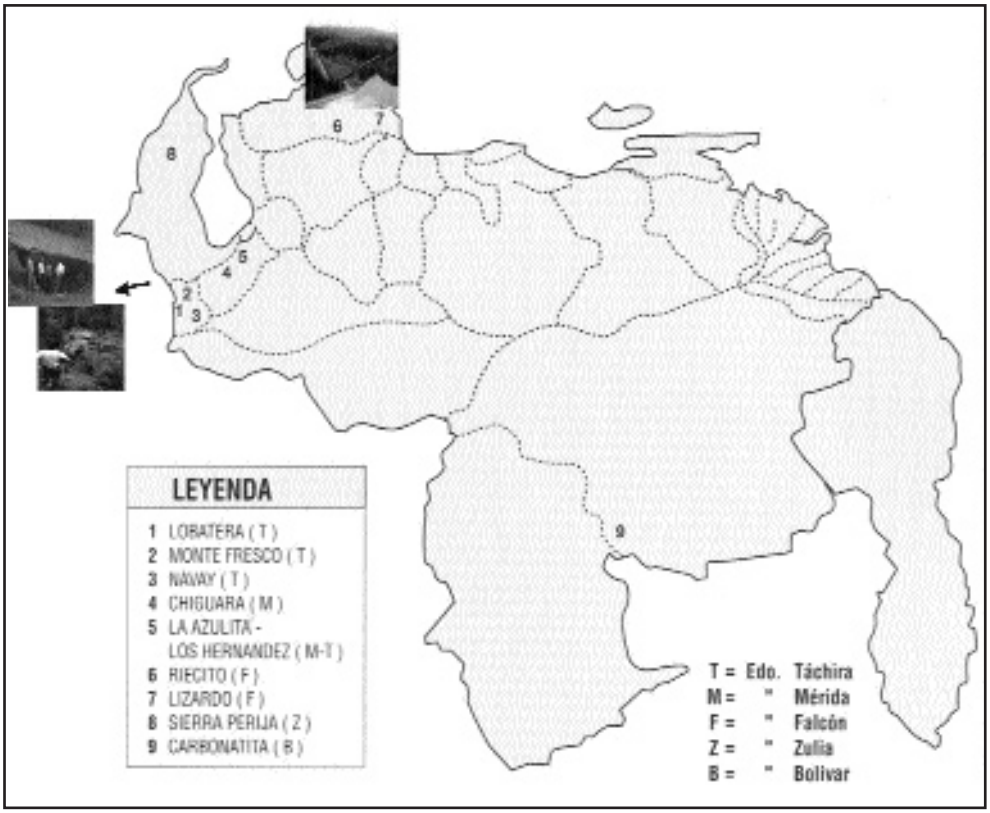


Figura III-37: Los yacimientos de rocas fosfáticas de Venezuela

a1. Los yacimientos de rocas fosfáticas venezolanas tienen reservas probadas en el orden de 203.514.000 Mt, lo cual representa sobre la base de un contenido promedio de 25 % de P_2O_5, una eficiencia de extracción de minas de 50 % y en la demanda promedio de P_2O_5 en la década de los 90 de 113.000 Mt, se pudiera cubrir esa demanda en los próximos 236 años.

a2. Bajo las mismas premisas establecidas en el punto a1, pero tomando en consideración las reservas totales, las demandas de P_2O_5 se podrían cubrir en los próximos 2.931 años.

a3. Las consideraciones anteriores evidencian la potencialidad de los recursos fosfáticos nacionales en cubrir la demanda nacional de fósforo, la cual en la década de los 90 ha sido satisfecha por materia prima importada.

a4. Se destaca además, que del total de reservas probadas, los yacimientos de del Estado Táchira representan el 80 % y este porcentaje aumenta a 85 % cuando se consideran las reservas totales.

Algunas características químicas y mineralógicas de los yacimientos de rocas fosfóricas en Venezuela fueron descritas por Casanova (1993) y se resumen en los Cuadros III-73, III-74 y III-

ESTADO	Reservas Probadas (medidas)	Reservas Probables (indicadas)	Reservas Inferidas (posibles)	Total
Táchira				
Monte Fresco	55.000	120.000	277.000	452.000
Navay	114.200	149.000	1.250.000	1.513.200
Lutuatera	114	115	6.720	6.949
Otros	-	-	260.960	260.960
Total	169.314	69.115	1.794.680	2.233.109
% del Total	80	82	85	85
Falcón				
Riecito	10.000	1.000	-	11.000
Lizardo	22.000	-	-	22.000
Total	39.000	1.000	-	40.000
Mérida				
Chiguará	-	-	40.500	40.500
La Laja – Mistajá	-	-	27.200	27.200
El Juque	-	8.700	29.000	42.900
Santa María de Caparo	5.200	49.000	-	49.000
La Azulita – Los Hernández	-	En prospección	-	-
Zulia (Centro y Norte Sierra de Perijá)	-	-	17.000	17.000
Bolívar	-	-	200.000	200.000
Total	203.514	327.815	2.103.380	2.642.709

75.

Cuadro III-72. Reservas probadas, probables e inferidas de los yacimientos de rocas fosfóricas en Venezuela (MMT). Fuente: Casanova, 1993.

Del cuadro III-73 se pueden mencionar las siguientes observaciones:

a5. Debido a las variaciones estratigráficas de los yacimientos los valores de P_2O_5 se presentan como un rango y otros elementos en sus valores promedio. Los tenores de P en las rocas fosfóricas venezolanas son bastante buenos si se comparan con las rocas de Marruecos (32 %) y Carolina del Norte (30.5 %) que son las más comerciales del mundo.

a6. Los contenidos de CaO también son similares especialmente en las rocas de Monte Fresco, Navay mejorada y Riecito con unas relaciones P_2O_5 /CaO de 0.82; 0.73 y 0.78, respectivamente, superiores al de Marruecos (0.62) y Carolina del Norte (0.63).

a7. Las rocas de Navay y Lizardo Alumínico tienen tenores muy altos de silicio y deben ser mejoradas a través de procesos industriales como el de flotación para reducir la concentración de silicio y aumentar el de P.

a8. Los contenidos de Al son muy altos en las rocas Lizardo alumínica y normales en las otras

rocas. Se ha considerado que el máximo contenido de Al para un buen ataque químico del mineral, no debe pasar del 4 %.

a9. El contenido de F se puede considerar como alto con fines de alimentación animal, con excepción de la roca de Lizardo. Se considera que el máximo contenido de F no debe ser mayor

Propiedades	Monte Fresco	Navay	*Navay Mejorada	Riecito	Lizardo	
					Cálcico	Alumínic
% P_2O_5	19-33	18-22	35	25-30	20	14
% CaO	40	23-32	48	38.3	25	6
% MgO	0.4	0.26	0.09	0.11	0.25	0.20
% Al_2O_3	4.09	2-4	0.54	3.91	0.3	15
% SiO_2	20.1	23-47	6.3	22.4	36	46
% F	2.7	1.8	3.0	2	0.4	0.17
mg/kg Cd	15	32	-	17	-	-
mg/kg U	50-100	-	-	-	-	-

al 1 % del contenido de P_2O_5, es por ello que deben ser defluorinadas si se quieren usar en la alimentación animal.

Característica	Monte Fresco	Navay	Riecito
Solubilidad del P después de 2 extracciones como % del P_2O_5 Total			
En ácido cítrico	18.39	59.5	53.18
En ácido fórmico	20.46	65.9	56.33
En Citrato de Amonio	3.2	5.2	5.8

Cuadro III-74. Solubilidad de las rocas fosfóricas de Monte Fresco, Navay y Riecito en ácido cítrico, ácido fórmico y citrato de amonio.

** mejorada en procesos de flotación*

Cuadro III-73. Contenido total de elementos químicos en los yacimientos de rocas fosfóricas de Táchira y Falcón (Fuente Casanova, 1993).

a10. Las rocas fosfáticas venezolanas son radioactivas con contenidos importantes de uranio, lo cual debe tomarse en cuenta por su valor estratégico y económico y porque esa radioactividad facilita las prospecciones geológicas.

Otra propiedad de mucha importancia para definir el posible uso de las rocas fosfáticas de manera directa a los cultivos es su solubilidad para liberar los elementos nutritivos a las plantas. El Cuadro III-74 presenta esta característica para las rocas de Monte Fresco, Navay y Riecito.
Del cuadro III-74 se pueden obtener las siguientes observaciones:

a11. La mayor discriminación se obtiene con el ácido fórmico y los límites de solubilidad referidos para este método por la

P_2O_5 soluble en citrato de amonio normal y neutro	EAR	Rango de solubilidad
(% del P_2O_5 total)	(%)	
>5.9	>90	Alto
3.4-5.9	90-70	Medio
1.1-3.4	70-30	Bajo
<1.1	<30	Muy Bajo

Comisión de las Comunidades Europeas para la utilización directa de fosfatos en la agricultura es de 55 %, por lo que las Rocas de Navay y Riecito cumplen con ese valor mientras que la de Monte Fresco tendría que tener algún nivel de acidulación para aumentar su solubilidad antes de ser aplicada en el campo.

a12. Cuando se toma en consideración la solubilidad en Citrato de Amonio normal y neutro y se compara con el Cuadro III-75 como sistema de clasificación de rocas fosfóricas de acuerdo a su solubilidad y su efectividad agronómica relativa de Hammond y León (1983), se observa que las rocas de Riecito y Navay se califican como de solubilidad media y con una potencialidad de eficiencia agronómica entre 70 y 90 % de los rendimientos que se obtendrían con el superfosfato triple, por otro lado, la roca fosfórica de Monte Fresco presenta una solubilidad baja y en consecuencia con eficiencias agronómicas entre 30 y 70 % de la que se obtendría con superfosfato triple.

Cuadro III-75. Sistema de rangos de solubilidad de Hammond and León (1983) para rocas fosfóricas (RF) de América del Sur de acuerdo a su solubilidad y efectividad agronómica relativa (EAR).

b) Transporte y Comercialización

Desde 1990 hasta el año 2002 el yacimiento de Monte Fresco del estado Táchira fue explotada

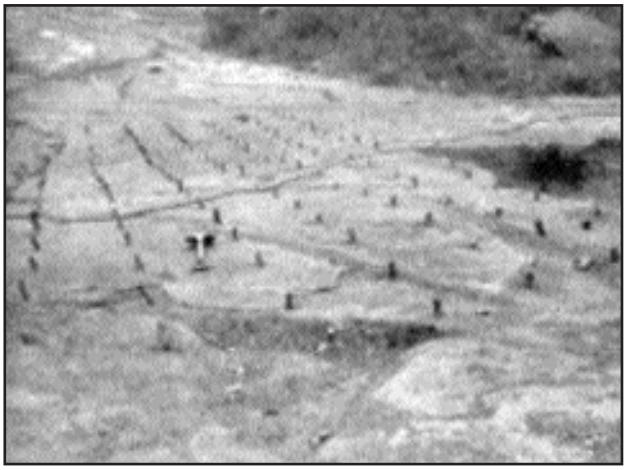


Figura III-38. Yacimientos de roca fosfórica de Monte Fresco, Estado Táchira.

Figura III-39. Molinos usados en la trituración de la roca fosfórica, Estado Táchira.

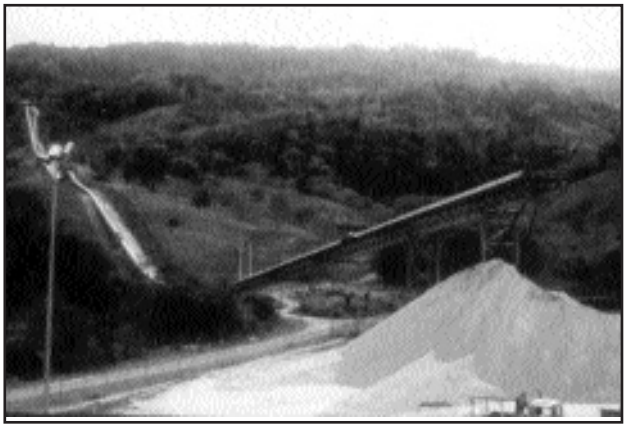


Figura III-40. Yacimientos de roca fosfórica Riecito, Estado

bajo el sistema de cielo abierto y con la perforación con taladro en las capas superficiales colocando un explosivo y su detonación para la fractura de la roca (Figura III-38). Este material se cargaba en camiones y se llevaba a las tres plantas trituradoras de rocas fosfóricas en las que en un molino y con bolas de acero (Figura III-39) en su interior se trituraba la roca hasta tamaños de 100 mallas para su aplicación directa. PDVSA-Palmaven que se encargaba de la comercialización de los fertilizantes en Venezuela, distribuía la roca fosfórica micronizada bajo el nombre de Fosforita a los diferentes distribuidores en todo el país.

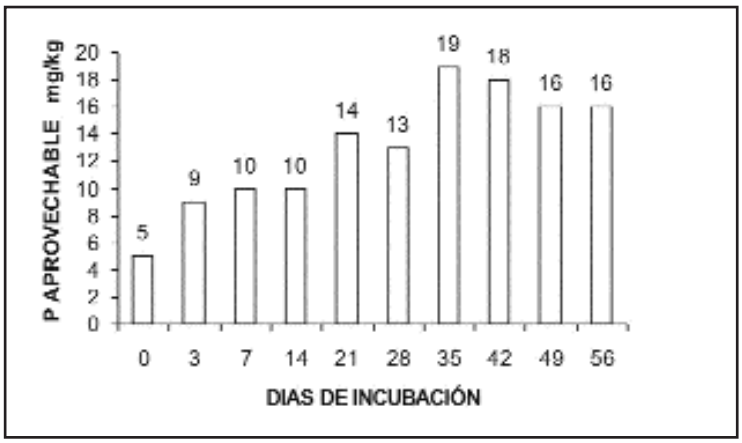
Para 1996 cuando el Fondo de Inversiones de Venezuela deja de financiar a CORPOSUROESTE a la cual pertenece la filial FOSFASUROESTE, encargada de la explotación de los fosfatos del Táchira, se deja de explotar y comercializar la roca fosfórica de Monte Fresco en Venezuela.

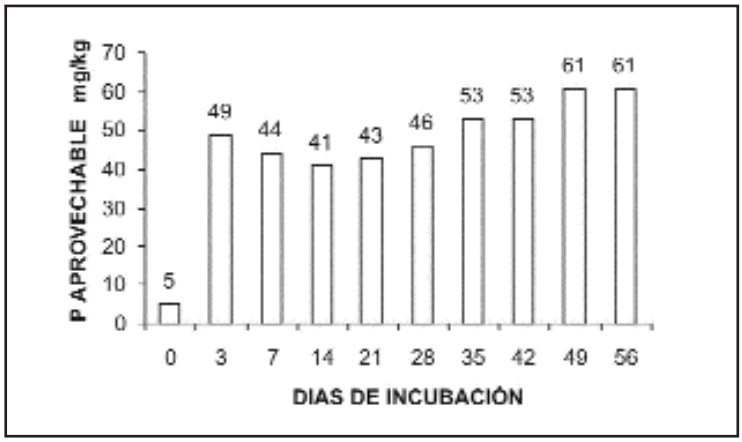
En el caso de los yacimientos de Riecito (Figura III-40) la empresa FOSFAVEN filial de PEQUIVEN es la encargada de la explotación de esa mina ubicada a 100 km del complejo petroquímico de Morón. En un principio toda la minería realizada a cielo abierto fue transportada por camiones hasta Morón para la producción de ácido fosfórico que se ha usado hasta ahora para la producción de fertilizantes de alta solubilidad como superfosfato triple, fosfato granular especial y más recientemente en la producción de rocas fosfóricas aciduladas usando ácido sulfúrico y fosfórico en el proceso. Posteriormente, se construyó la red ferroviaria que transporta la roca fosfórica micronizada en la mina hasta el complejo Morón.

Con la desaparición de la roca fosfórica de Monte Fresco del mercado nacional, Pequiven decide iniciar la venta de fertilizantes basado en la materia prima de roca fosfórica: primero bajo la forma micronizada para aplicación directa bajo el nombre comercial de Superfosforita y más recientemente hasta el año 2002 en forma de roca fosfórica parcialmente acidulada bajo el nombre comercial de Fosfopoder. Su comercialización la inicia PDVSA-Palmaven y posteriormente la realiza directamente PEQUIVEN a través de su filial SERVIFERTIL.

c) Las Evaluaciones Agronómicas de las rocas fosfóricas de Monte Fresco, Navay y Riecito Micronizadas, Aciduladas y Compactadas.

Para poder comercializar las rocas fosfóricas de Monte Fresco, Navay y Riecito, se requería del soporte tecnológico producto de las evaluaciones agronómicas realizadas en cultivos anuales y permanentes en todo el país. Muchas instituciones de investigación y de asistencia técnica participaron en estas evaluaciones: UCV (Agronomía, Veterinaria, Ciencias), FONAIAP, IVIC, INTEVEP, PALMAVEN, PEQUIVEN, CVG, FOSFASUROESTE, UNELLEZ, UNERG, UDO, UNESR y organizaciones internacionales como el CIAT de Colombia, CIRAD de Francia, IFDC y TEXASGULF de Estados Unidos y la Agencia Internacional de Energía Atómica en Austria.

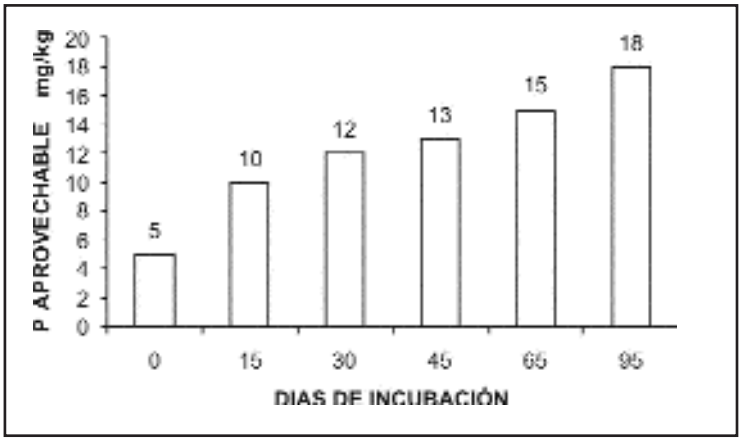




Existe una abundante literatura sobre evaluaciones agronómicas de rocas fosfóricas micronizadas y modificadas que pueden ser observadas en Casanova (1987), Casanova (1993), Casanova (1986), y Valderrama colaboradores y Casanova (1988), Velásquez y Casanova (1987), Vera y colaboradores (1987), Casanova y Elizalde (1987), Herrera y Casanova (1987).

En esta sección se presentan los resultados más relevantes obtenidos desde 1990 hasta el 2002 con rocas micronizadas y mo-

dificadas.

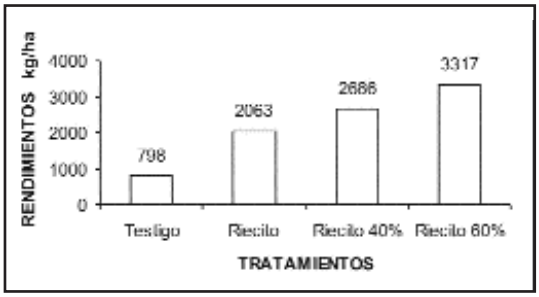


c1) P aprovechable en el suelo en incubación con 100 mg/kg de rocas fosfóricas

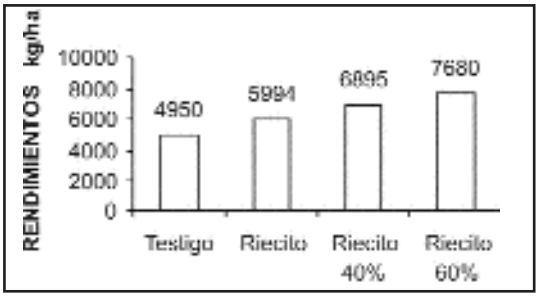
La investigación generada en suelos ácidos pobres en P a los cuales se les ha agregado 100 mg P/kg de suelo y se le ha medido el P disponible a través del tiempo indica que con las rocas de Riecito y Monte Fresco Micronizadas sólo se pueden obtener aproximadamente 10 mg P/kg de suelo en los primeros 30 días de incubación lo cual no parece ser suficiente para los cultivos anuales de alta tasa de absorción de P en ese período de tiempo pero que puede elevarse hasta aproximadamente 20 mg P/kg de suelo en 2 meses de incubación lo cual debe ser aceptable para cubrir los requerimientos de cultivos permanentes como en el caso de pastos, forestales, café, caña de azúcar.

Por otro lado, al realizar la incubación con rocas fosfóricas de Monte Fresco y de Riecito parcialmente aciduladas al 40 % en los primeros 7 días se producen aproximadamente entre 30 a 45 m P/kg de suelo y estas cantidades aumentan a 50 - 60 mg P/kg de suelo a los dos meses lo cual es aceptable para cubrir los requerimientos de cultivos anuales (Figura III-41.Casanova, 1993).

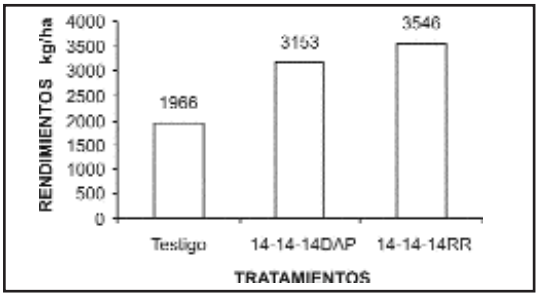
(a)



(a)



(b)

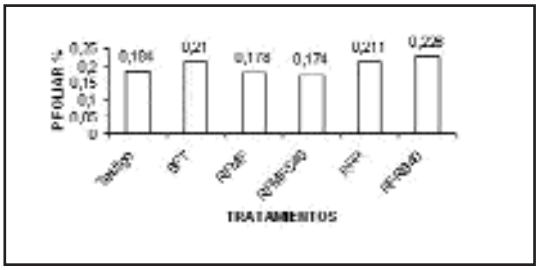


(c)

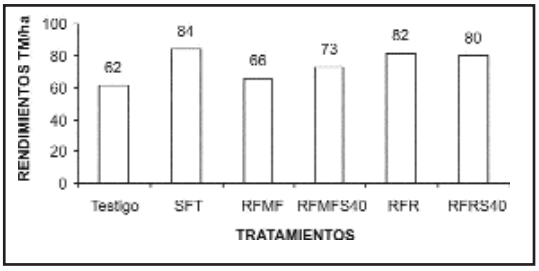
Figura III-42. Rendimiento de maíz como respuesta a la aplicación de rocas fosfóricas micronizadas y aciduladas al 40 y 60 % en Cojedes (a), Guárico (b) y de sorgo a la aplicación de fórmula N-P-K con fosfato diamónico y Roca Riecito parcialmente acidulada en Anzoátegui. (Fuente:Casanova et al., 2002).

Variables	Testigo	Tratamiento
T MS/ha/corte	0.3	1.8
% proteína cruda	3.0	6.4
% P	0.08	0.15
% K	0.5	1.02
% Ca	0.2	0.28
% Mg	0.25	0.46
mg/kg Fe	214	332
mg/kg Cu	1	5
mg/kg Zn	37	45
mg/kg Mn	83	154
No vacas en ordeño	100	100
l leche/vaca/día	5	8
Costo de recuperación Bs/ha	300.000	50.000

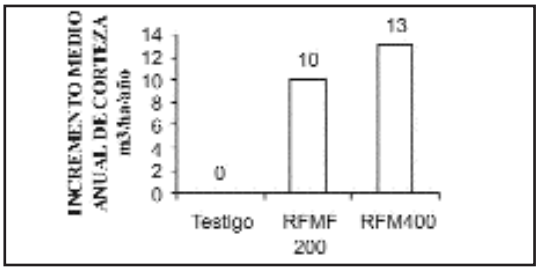
Cuadro III-76. Efecto de la aplicación de roca fosfórica parcialmente acidulada con urea y Stylosanthes capitata en una pastura degradada de Brachiaria brizantha del Estado Monagas en comparación al manejo del productor (testigo). (Fuente: Casanova, 2002).


P FOLIAR %
0,184
0,21
0,178
0,174
0,211
0,228
TRATAMIENTOS

(a)

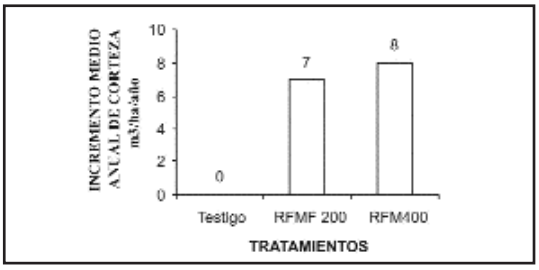

RENDIMIENTOS TM/ha
62
84
66
73
82
80
Testigo
SFT
RFMF
RFMFS40
RFR
RFRS40
TRATAMIENTOS

(b)


INCREMENTO MEDIO ANUAL DE CORTEZA m3/ha/año
0
10
13
Testigo
RFMF 200
RFM400

(a)

(b)

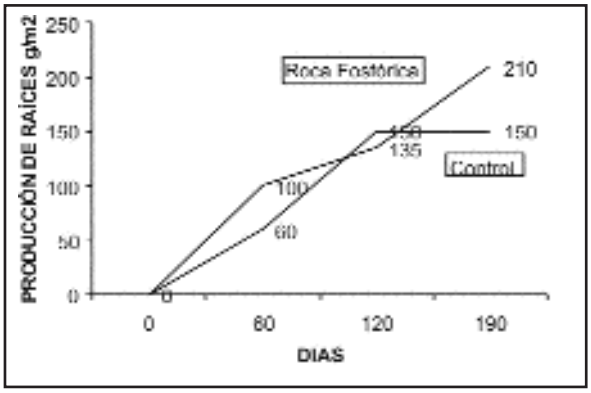

INCREMENTO MEDIO ANUAL DE CORTEZA m3/ha/año
0
7
8
Testigo
RFMF 200
RFM400
TRATAMIENTOS

(b)

(c)

Figura III-41. Incubación de roca fosfórica de Riecito micronizada (a), Riecito parcialmente acidulada al 40 % (b) y Monte Fresco micronizada (c), en suelo de El Pao, Cojedes, Venezuela. (Fuente: Casanova, 1993).

c2) Cereales



Maíz y Sorgo: en suelos ácidos de Guarico, Cojedes y Anzoátegui se demostró que sin la aplicación de P (tratamiento testigo) los rendimientos son bajos, con la aplicación de rocas de Monte Fresco o Riecito micronizadas los rendimientos aumentan con respecto al testigo y los mejores rendimientos agronómicos y económicos se obtienen con las rocas fosfóricas parcialmente aciduladas, siendo en todos los casos mayores con la roca de Riecito que con la roca de Monte Fresco.

Figura III-45. Respuesta del Pino (a) y Teca (b) en incremento medio anual de corteza como respuesta a la aplicación de roca fosfórica de Monte Fresco micronizada en el Oriente y Occidente de Venezuela, respectivamente. (Fuente: Torres et al., 1991).

Adicionalmente, se observa la ventaja de la posible sustitución en mezclas físicas (N-P-K) de la fuente de P de Fosfato Diamónico por Roca Fosfórica Parcialmente Acidulada (Figura III-42, Casanova et al., 2002).

c3) Pastos

La aplicación de 200 kg/ha RFPA a comienzos de lluvia e incorporada con un pase de rastra + 100 kg/ha urea + 3 kg de semilla Stylosanthes capitata, ha permitido la recuperación de pasturas degradadas en 36 fincas del estado Monagas con producción de ganadería de doble propósito y con el pasto Brachiaria brizantha. Esto permitió tener mayor producción de materia seca, mayor concentración de proteína, mejor concentración de los nutrimentos, mayor producción de leche por vaca por día y mayor rentabilidad (Cuadro III-76, Casanova, 2002). En otros experimentos conducidos en Guárico, Monagas y Anzoátegui, se lograron mayores rendimientos en materia verde, mayor concentración de P en el pasto y nivelación de los rendimientos en comparación a las fuentes de alta solubilidad en el segundo año (Figura III-43, Rojas, 1993).

Figura III-43. Rendimiento de maíz como respuesta a la aplicación de rocas fosfóricas micronizadas y aciduladas al 40 y 60 % en Cojedes (a), Guárico (b) y de sorgo a la aplicación de fórmula N-P-K con fosfato diamónico y Roca Riecito parcialmente acidulada en Anzoátegui. (Fuente:Casanova et al., 2002).

c4) Caña Panelera

En experimentos conducidos en el estado Táchira, la caña panelera respondió a la aplicación de rocas fosfóricas de Monte Fresco y Riecito micronizadas y aciduladas en mayor P foliar y rendi-

mientos similares a los obtenidos con las fuentes de alta solubilidad como el superfosfato triple. Destaca la respuesta a la Roca de Riecito en comparación con la roca de Monte Fresco (Figura III-44, Casanova, 1993).

Figura III-44. Respuesta de la caña panelera en contenido de P foliar (a) y rendimientos (b) a la aplicación de superfosfato triple (SFT), roca fosfórica de Monte Fresco micronizada (RFMF) y acidulada al 40 % (RFMFS40) y roca fosfórica de Riecito micronizada (RFR) y acidulada al 40 % (RFRS40) en el Estado Táchira, Venezuela. (Fuente: Casanova, 1993).

c5) Forestales

A pesar del alto potencial de superficie para la siembra de especies forestales en el país ha habido poca investigación del uso de rocas fosfóricas y su efecto en la producción de madera. Sin embargo, en Teca en la reserva forestal de Ticoporo como en pino en Uverito, la aplicación de 400 kg /ha de la roca fosfórica de Monte fresco en plantaciones de 2 a 12 años produjo un incremento medio anual de volumen de madera de 8 (teca) a 13 (pino) m3/ha/año (Fig.9, Torres et al., 1991). En el rodal de Teca se midió la producción de raíces observándose una alta producción como respuesta a la aplicación de P como roca fosfórica (Fig. 9, Mothes et al., 1991).

c6) Café

En viveros de café en Bramón, estado Táchira, se midió la respuesta de la planta a la aplicación de P de rocas fosfóricas micronizadas y aciduladas generándose alturas de planta y vigorosidad similares para los tratamientos micronizados y acidulados. Esto evidencia que en los cultivos permanentes en general es preferible la aplicación de fuentes de P con rocas fosfóricas micronizadas que aciduladas.

El uso de rocas fosfóricas y sus derivados por el sector industrial

Reservas de Yacimientos (MMt)	Producción Nacional Mt	Importación Mt	Total Producción/ Importación Mt	Consumo Mt	Requerimientos Plan de Siembra 2005 Mt P_2O_5
2.649.709*	51.339	21.482	72.821	68.671	192.885

La demanda de roca fosfórica para el sector agroindustrial se pudiera enfocar desde dos puntos de vista: a) la que produce la materia prima para el sector vegetal y animal y b) la que produce

materia prima para otros sectores industriales en medicinas, detergentes, charcutería, insecticidas, explosivos, textiles, levaduras, tratamientos de agua, cremas dentales, dispersante, lodos para perforación de terrenos, etc.

En el primer caso PEQUIVEN tiene en el complejo Morón una planta de ácido fosfórico, cuya capacidad de producción es de 100.000 Mt /año. Toda la producción de ácido fosfórico está dirigida a la elaboración de fertilizantes con el objeto de producir fosfato granulado especial (42 % P_2O_5 y 16 % N) y para la producción de la roca fosfórica parcialmente acidulada. Esto permite ir disminuyendo el nivel de dependencia de fertilizante fosfatado importado. La roca fosfórica usada como materia prima en esta planta es la de Riecito en el Estado Falcón.

En el caso de la alimentación animal la roca fosfórica puede usarse de manera directa o como materia prima para la producción de ácido fosfórico como base para la producción de fosfato dicálcico o monocálcico de acuerdo al siguiente proceso: el fosfato dicálcico se produce a partir de dos materias primas: carbonato de calcio y ácido fosfórico. El primero es molido a un fino polvo y el ácido fosfórico es diluido hasta la concentración deseada, luego los dos productos son medidos en un mezclador donde reaccionan al contacto para formar fosfato mono o dicálcico. La reacción depende del radio carbonato de calcio: ácido fosfórico. Luego el material se pasa a un granulador para su mezclado y granulación. Luego es vaciado a un secador de tambor rota-

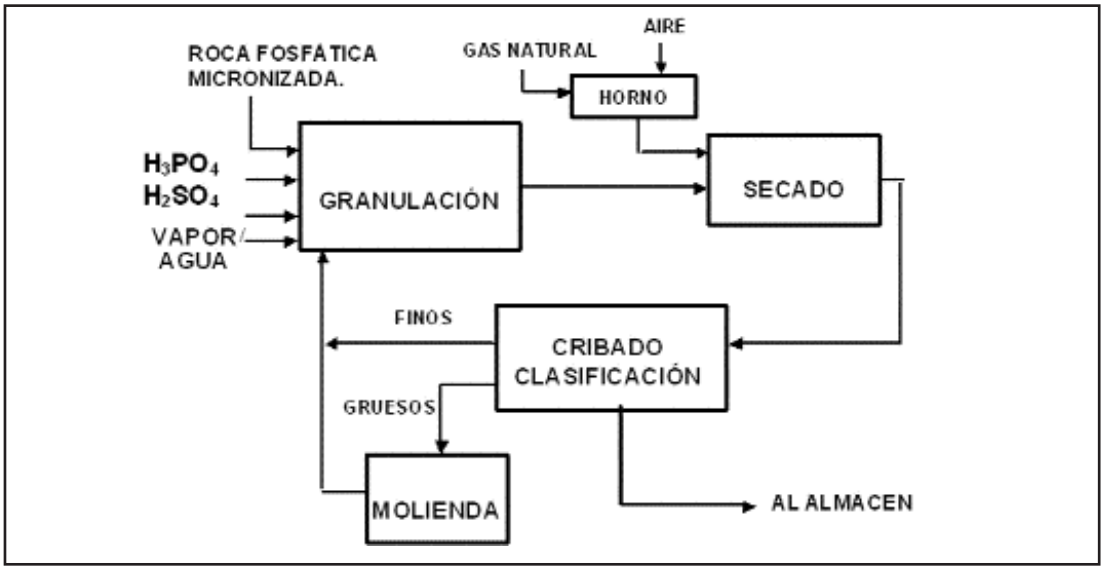
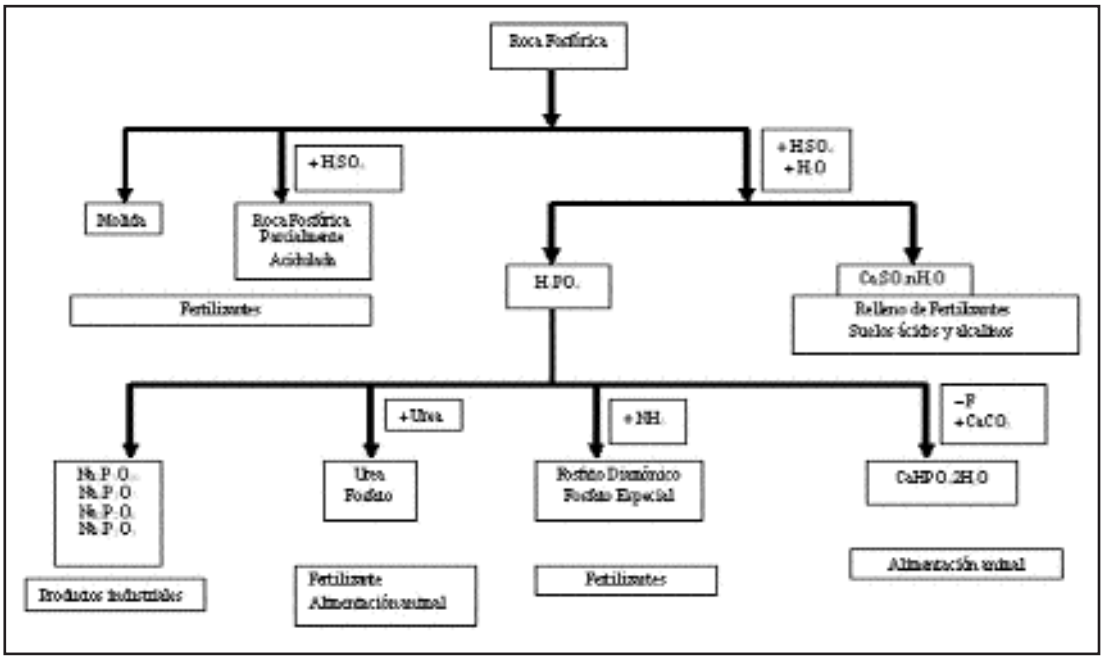


Figura III-46. Esquema del proceso de producción de roca fosfórica parcialmente acidulada en el complejo petroquímico de Pequiven, Morón, Venezuela. (Fuente: Casanova y Castillo (2002) y Barreiro et al., (2002).

torio para remover el exceso de humedad. Finalmente es pasado por cedazos para remover los gránulos muy finos o muy gruesos. El fosfato dicálcico presenta las siguientes especificaciones ($CaHPO_4.2H_2O$): P: 19.48 %; Ca: 20.94 %; F: 0.15 %, Radio P:F: 100. Hasta 1990 la empresa FOSFINCA en el Estado Zulia produjo 21.000 Mt/año fosfato mono y dicálcico para el sector de alimentación animal. La empresa cerró debido a que el fosfato dicálcico internacional era más

competitivo que el nacional. Desde entonces este producto tan importante en la dieta animal es importado: en 1991 la industria de alimentos para animales de Venezuela utilizó 32.390,80 Mt de fosfatos. La importación durante ese año se ubicó en 23.677,70 Mt, lo que representó e173, 10% del total, siendo la diferencia aportada por fosfatos de yacimiento de las minas de Riecito y Monte Fresco.

Para el caso de otros sectores industriales la empresa TRIPOLIVEN, filial de PEQUIVEN en el complejo Morón produce ácido fosfórico de alta calidad pero usando como materia prima roca fosfórica de Marruecos (70.000 Mt/año). Sus principales productos son tripolifosfato de sodio ($Na_5P_3O_{10}$) y pirosfofato sódico ($Na_4P_2O_7$) con una capacidad instalada de 120 Mt/día y 85 Mt/día de ácido fosfórico. Los mayores consumidores locales son las fábricas de detergentes. También TRIPOLIVEN produce fosfato bisódico, trisódico y hexametafosfato de sodio, con una capacidad de 5.000 Mt/año para el curado de alimentos, chicles, embutidos, tratamientos de aguas en calderas, y en las textileras en el área sintética se usa ácido fosfórico para la despolime-



rización del nylon y el hexametafosfato de sodio para suavizar el agua ya que todos los teñidos de telas requieren de aguas suaves.

f) Reservas, producción nacional, importación y consumo de fosfatos en el 2004 y requerimientos del plan de siembra 2005.

El cuadro III-77 presenta la información sobre las reservas de los yacimientos de rocas fosfóricas en Venezuela tal como se observa en el Cuadro III-72, la producción nacional de fertilizantes sim-

ples como Fosfato Especial, Roca Fosfórica Micronizada, Roca Fosfórica Parcialmente Acidulada al 40 y al 60 %, el consumo real de estos fertilizantes para los diferentes cultivos anuales y permanentes y los requerimientos de fosfatos para el plan de siembra 2005 de acuerdo a la superficie estimada de siembra por el Ministerio de Agricultura y Tierras.

Detalles en el Cuadro III-72; Fosfato Especial, Roca Fosfórica Micronizada, Roca Fosfórica Parcialmente Acidulada al 40 y 60 %; Fosfato Diamónico y Fosfato Monoamónico; Roca Fosfórica Parcialmente Acidulada, Fosfato Diamónico, Fosfato Monoamónico y Fosfato Especial.

Cuadro III-77. Reservas, Producción Nacional, Importación y Consumo de fosfatos en el 2004 y requerimientos del plan de siembra 2005.

g) La Tecnología de Producción de Roca Fosfórica Parcialmente Acidulada

Basado en el soporte tecnológico de uso de rocas fosfóricas en cultivos anuales y permanentes, el complejo petroquímico de Pequiven en Morón, Estado Carabobo, construyó la planta de producción de roca fosfórica parcialmente acidulada con una capacidad de 90.000 a 150.000 Mt/año dependiendo de si la acidulación de la roca fosfórica es al 60 % o 40 %, respectivamente. El esquema del proceso se ilustra en la Figura III-46 y los aspectos más relevantes han sido descritos por Casanova y Castillo (2002) y Barreiro et al., (2002).

1) Materia prima: incluye las funciones de almacenamiento y alimentación de materias primas y consta de un silo de roca molida, un tanque de almacenamiento de ácido fosfórico y un tanque de recuperación de efluente para alimentar agua al proceso de granulación.

2) Granulación: incluye las funciones de acidulación y granulación que se realizan en el tambor rotatorio granulador.

3) Lavado: incluye las funciones de lavado de gases y polvos provenientes del proceso y está formada por dos lavadores del tipo Venturi-Torre Ciclónica, un tanque de recirculación de licor de lavado, un tanque sumidero, bombas y ventiladores.
4) Secado: se incluyen las funciones de combustión de gas natural y secado del producto y está formada por un horno, un secador tipo tambor rotatorio y un ciclón para abatimiento de polvo.

5) Clasificación: incluye el cribado, molienda, transporte de sólidos, captación de polvos y control de reciclo. Está formada por una criba de doble tamiz vibrante, un molino de cadenas, dos elevadores de cangilones, un transportador de cinta, un ciclón y un dosificador tipo desviador.

6) Exportación: incluye transporte del producto hacia el almacén y está conformada por un trans-

Figura III-48: Localización de los depósitos

[1] *Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Argentina lilianacastro@fibertel.com.ar.*

portador de cinta fijo y un transportador de cinta móvil.

La roca fosfórica parcialmente acidulada tiene la ventaja de que su granulación (2 a 3 mm) le permite ser aplicado directamente o ser materia prima para la producción de fórmulas N-P-K de tipo químico unida a otras fuentes como la úrea y el cloruro o sulfato de potasio o también en las mezclas físicas de fertilizantes N-P, P-K o N-P-K.

f) Los Productos a partir de la Roca Fosfórica

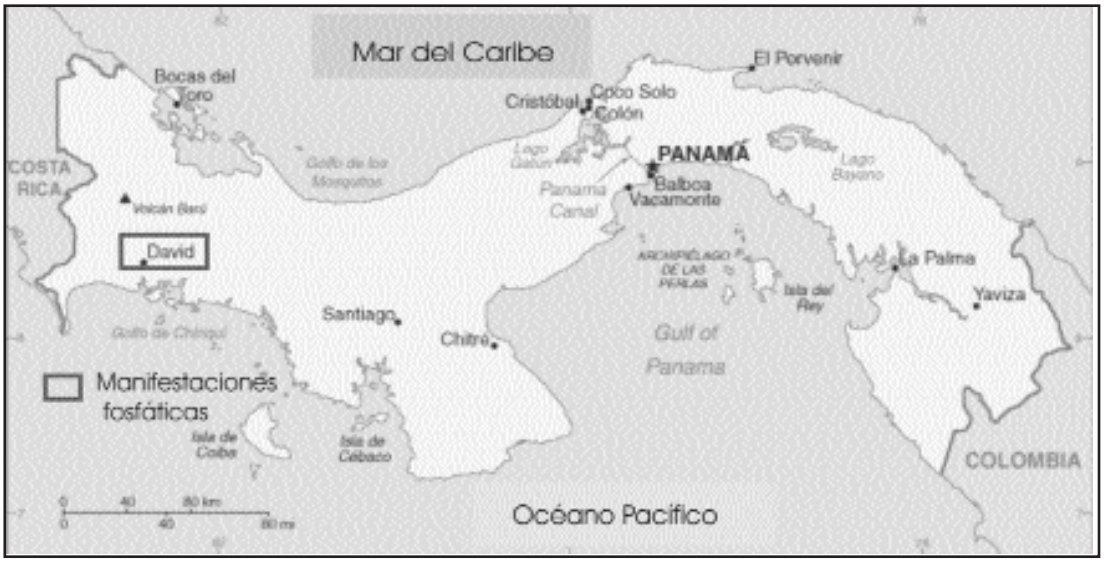
Los fertilizantes y otros productos industriales que se producen o que se podrían producir usando roca fosfórica como materia prima se pueden observar en la Figura III-47

Figura III-47. Productos agrícolas, pecuarios e industriales que se pueden producir usando como materia prima a las rocas fosfóricas

Tal como se ha explicado en este trabajo la roca fosfórica puede ser micronizada y ser usada para aplicación directa preferiblemente en cultivos permanentes debido a su baja solubilidad. También puede ser tratada con ácido sulfúrico para producir la roca fosfórica parcialmente acidulada con flexibilidad para diferentes grados de acidulación (40, 60 %). Así mismo puede ser tratada con ácido sulfúrico y agua para producir ácido fosfórico el cual es materia prima para la producción de productos industriales (tripolifosfato de sodio ($Na_5P_3O_{10}$) y pirosfofato sódico ($Na_4P_2O_7$), fosfato bisódico, trisódico y hexametafosfato de sodio) para medicinas, detergentes, charcutería, chicles, insecticidas, explosivos, textiles, levaduras, tratamientos de agua, cremas dentales, dispersante, lodos para perforación de terrenos; o

Figura III-49: Ubicación de las manifestaciones fosfáticas

puede ser tratado con urea para producir urea fosfato el cual puede ser usado como fertilizante o en alimentación animal; o ser combinado con amoníaco para la producción de fosfato diamónico y fosfato especial como fuentes fosfatadas de fertilizantes de alta solubilidad; o puede eliminarse el flúor y agregarle carbonato de calcio para producir fosfato dicálcico como fuente de P en la alimentación animal. En la producción de ácido fosfórico se genera un subproducto que es el fosfoyeso o sulfato de calcio hidratado (5 Mt de fosfoyeso por cada Mt de P_2O_5 de ácido fosfórico) el cual representa un enorme pasivo ambiental que supera el millón de toneladas métricas en el complejo petroquímico de Morón. El fosfoyeso puede usarse como relleno en la producción de fertilizantes N-P-K, o como suplidor de calcio en suelos ácidos y alcalinos, en la producción del fertilizante sulfato de amonio, en la fabricación de bloques para la construcción, y en la producción de ácido sulfúrico y de cemento.



Otros países

Liliana N. Castro[1]

Cuba

Las manifestaciones fosfáticas de edad miocena localizadas en el oeste de Cuba representan el extremo SE de la provincia fosfogénica de Florida en la cuenca del Caribe. La secuencia plegada de sedimentos con niveles fosfáticos alcanza los 20 m. Durante los años 1964-1965, se ha realizado una prospección en territorio cubano, incluyendo los archipiélagos de Los Canarreos, Jardines de la Reina y Sabana Camaguey, como resultado Ariosa Iznaga (1985) sintetizó:

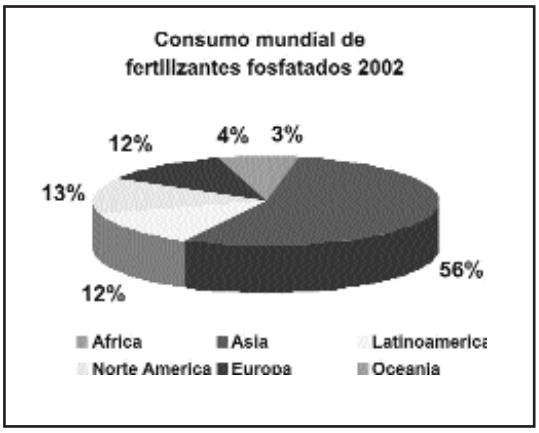


Figura III-51

1. La presencia de niveles fosfáticos aislados intercalados con rocas carbonáticas, silíceas, terrígenas y tobáceas. Las mayores concentraciones (3,5 -5,2% P_2O_5) se localizan en las calizas de Kimmeridgiano - Tithoniano en la provincia de Pinar del Rio.

2. Pequeños depósitos del Mioceno inferior se alinean en el sur de la provincia de la Havana. Las mejores exposiciones se localizan en la Loma de Candela, Pipian, Meseta Roca en el Distrito de Guinea Pipian (Figura III-48). Se distinguen niveles con fosfatos granulares (10-12% P_2O_5) y conglomerados fosfáticos (hasta 19% P_2O_5) compuesto principalmente por francolita, calcita y glauconita. El espesor de los bancos varía entre 0,2 a 3,5 m con una corrida 2,5 a 10 km. El potencial económico es difícil de estimar ya que gran parte del Mioceno fosfático no aflora (Notholt, 1994).

3. Concentraciones relativamente altas de fosfatos de enriquecimiento secundario, en el área Hierro en la provincia de Pinar del Rio con un contenido entre 12-17% P_2O_5. Estos fosfatos están relacionados con guano. SE localizaron también en una seie de Cayos del archipiélago de los Canarreos. Con contenido entre el 7 y 29% P_2O_5

Villegas y Chang (1991) evaluaron el uso potencial de roca fosfática y otras fuentes de fósforo como fertilizante para cultivos locales. Para una variedad de cultivos tropicales incluyendo caña de azúcar, pasturas, cítrico, arroz demostraron que la efectividad agronómica aumentaba debido al efecto de liberación controlada de fósforo, otorgando una opción viable para reducir la importación de fertilizantes solubles fosfóricos. La caliza fosfática de Guinea Pipian contiene solamente 9,5% P_2O_5 por lo cual su efectividad es mayor como enmienda que como fertilizantes.

[1] *Centro de Estudios para la Sustentabilidad - Universidad Nacional de San Martín - nizquier@unsam.edu.ar*
[2] *ton DAP = 0.46 ton P_2O_5*
[3] *ton MAP = 0.52 ton P_2O_5*
[4] *ton TSP = 0.46 ton P_2O_5*

Nicaragua

El Servicio Geológico Nacional ha hecho las primeras prospecciones por fosfatos en Rivas desde el Sur de Nicaragua hacia el SO de Lago de Nicaragua e indicó la presencia de manifestaciones fosfáticas dentro de una secuencia predominantemente calcárea correspondiente a la Formación Rivas (Cretácico Superior) y también en la Formación supraadyacente Brito de edad Eocena. Mathers (1994) indica en un informe de British Sulphur, areniscas con el 27% P_2O_5 en esta localidades. Informes anteriores solamente reportan anomalías. No se han evaluado desde el punto de vista agronómico las rocas fosfáticas nicaragüenses.

Panamá

Cerca de David en el oeste de Panamá afloran una secuencia de 30 m de espesor de pelitas fosfáticas y diatomitas de edad pliocena con características similares a Sechura, Perú (Fig. 1). Los niveles individuales, con mala exposición contienen hasta 20 % de P_2O_5 (Notholt, 1994). Más allá de tener una la ley de fósforo aceptable el espesor de la sobrecarga hace no económica la explotación (Mathers, 1994; Notholt, 1994).

No existen datos de ensayos agronómicos con roca fosfática, sin embargo, Molina et el al. (1991) menciona que la presencia de Fe y Al en los suelos Andisoles causaría la inmovilidad P. El uso directo de la roca de fosfato reactiva podría ser agronómicamente eficaz en zonas con alta precipitación y suelos con PH bajos.

Figura III-50: Ubicación de las manifestaciones fosfáticas

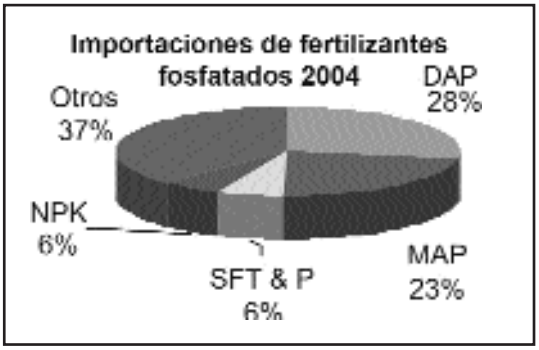


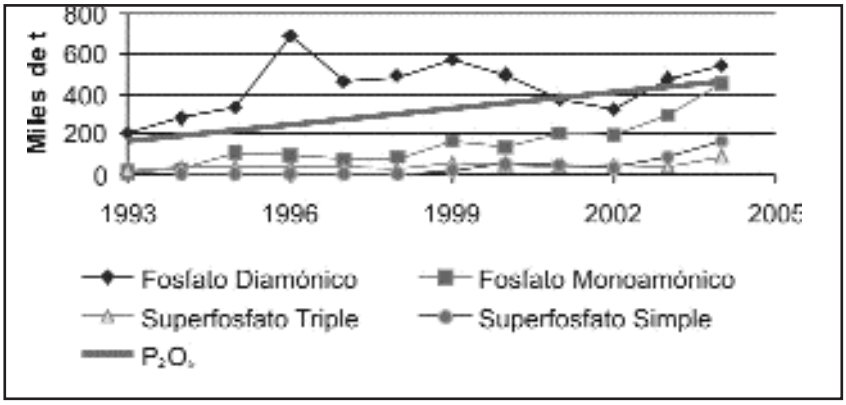
Figura III-53

Panorama de Mercados de Fosfatos

Natacha Izquierdo González[1]

La producción mundial de concentrado de roca fosfática en el año 2003 fue de aproximadamente 136 millones de toneladas con un pequeño crecimiento del 8.5% respecto al 2002. El líder mundial en términos de producción es Estados Unidos con el 24.1% seguido por Marruecos y China con el 17.4% cada uno, Rusia con el 8%, Túnez el 5.6% y Jordania con el 5.2%, siendo responsables del 77.7% de todo el fosfato producido en el mundo. En Latinoamérica, Brasil ocupa un lugar relevante a nivel mundial, ya que se posiciona como séptimo productor de fosfatos con 5.8 millones de toneladas, participando con el 4.2% del total ofertado. En términos de reservas fosfáticas, Marruecos es el líder mundial con 21 billones de toneladas, seguido por China (13 billones de toneladas), Estados Unidos (4 billones), República de África del Sur (2.5 billones) y Jordania (1.7 billones),

repre-
en con-
83.4%
monio
del 80%
en la
de fer-
La pro-
mundial
zantes
es de
mada-



sentando
junto el
del patri-
mundial.

Alrededor
se utiliza
industria
tilizantes.
ducción
de fertili-
fosfatados
aproxi-
mente 76

millones de toneladas, distribuidos de la siguiente manera: DAP[2] 33.93%, MAP[3] 17.78%, TSP[4] 7.44% y ácido fosfórico 40.84%. En términos de P_2O_5 la oferta total, en el 2003, fue de 51 millones de toneladas. Si se considera que el rol de los fertilizantes está ligado directamente al desarrollo de la agricultura y está a su vez con el crecimiento de la población y sus necesidades de alimentación, se puede suponer que la que la producción futura de fosfatos aumentará. Asia, es la principal región consumidora de fertilizantes fosfatados, seguida por Norteamérica, Latinoamérica, Europa, Oceanía y África (Figura III-51).

América del Norte es la principal región productora de fertilizantes fosfatados, localizándose algunas de las principales empresas a nivel internacional como IMC Global Inc. que absorbe por ejemplo el 30% del mercado de América del Norte, con 8.5 millones de toneladas año; PCS que produce 700.000 t/año de fosfato diamónico; AGRIUM INC. con 375.000 toneladas de ácido fosfórico; JR SIMPLOT con 1.7 millones de toneladas año de roca fosfórica, además de CARGILL FERTILISER INC.; CF INDUSTRIES; MISSISSIPPI PHOSPHATES CORP.; PHOSCHEM.

Appleton (2001) destaca que la roca fosfática es un *commodity* de bajo precio, con gran volumen y alto costo para ser transportada, por lo tanto su potencial económico depende en gran medida de su localización en relación con el mercado local e internacional. La gran mayoría de los depósitos fosfáticos comercialmente explotados se localizan cerca de las costas y en países que cuentan con puertos de aguas profundas. Si la infraestructura de transporte es poco desarrollada y especialmente si no existen medios ferroviarios o mineraloductos para transportar las rocas fosfáticas al hacer el análisis costo beneficio resultará más económico importar fertilizantes como DAP que desarrollar una industria local. Los recursos de rocas fosfáticas situados en lugares remotos a grandes distancias de los mercados o sin transporte adecuado no resultan factibles económicamente para competir en un mercado internacional, probablemente puedan cubrir un mercado local o quizás regional. Por el otro lado, donde existen áreas agrícolas distantes de

	Miles de Mañu	
Trigo	119.8	33%
Soja	84.6	24%
Pasturas	57.6	16%
Maíz	53.6	15%
Fruti - hortícultura e industriales	18.5	5%
Girasol	14.1	4%
Otros Granos	11.4	3%
TOTAL	**359.6**	

Cuadro III-78: Distribución del consumo de fosfatos para los principales cultivos de Argentina en 2003.
Fuente: FAO 2004

puertos, especialmente en aquellos países sin salida al mar, la resultante costo beneficio inclina la balanza hacia la utilización de recursos de rocas fosfáticas locales para aplicación directa. Los altos costos del transporte se deprecian si la roca fosfática puede convertirse en un producto de alto valor agregado.

Argentina

Actualmente, el sector económico relacionado con los fertilizantes factura 500 millones de dólares, y su uso en agricultura resulta en un aumento del valor de la producción más de cinco veces aquel valor. Se importan más de un millón de toneladas de productos fertilizantes y el país produce una cantidad similar de fertilizantes nitrogenados, exportando una buena parte al MERCOSUR y a otros países.

Con el principio de la intensificación de la agricultura y el consiguiente deterioro de los suelos, la respuesta a los fertilizantes pasó a ser muy evidente.

Si bien en la Argentina se han identificado alrededor de dieciocho depósitos de rocas fosfáticas (ver Manifestaciones fosfáticas en Argentina) debido a su calidad inferior y el hecho de estar localizadas lejos de los centros de consumo, no han permitido explotaciones económicamente rentables.

Las importaciones totales de fertilizantes fosfatados en el año 2003, en términos de productos, ascendieron a 786 mil toneladas, de las cuales 472.000 t fueron de DAP, 278.000 t correspondieron a MAP, 33.000 t a TSP y 3.000 t de ácido fosfórico en P_2O_5. El origen de las importaciones es principalmente Estados Unidos, del estado de Florida, Rusia con depósitos en Kazajstán y en la península de Khola, y del Norte de África, en Túnez o Marruecos y en menor proporción desde Europa y Australia.

Figura III-52: Evolución de las importaciones de los principales fertilizantes fosfatados DAP, MAP, y TSP.

En la última década, el consumo de fertilizantes fosfatados creció a un ritmo de 8,5% anual promedio, de la mano de la expansión de la producción agrícola, por vía de aumento del área sembrada y de la adopción de fertilización. Los fertilizantes más populares fueron desde el comienzo, el fosfato diamónico y monoamónico, el primero en una proporción de 60-70%. El superfosfato triple siempre tuvo un destino de uso directo en pasturas y nunca representó mas del 10-15% del total de fosfatados.

El principal destino de los fertilizantes son los cultivos de granos, de los que los cereales comprenden el 50%. La practica agronómica indica que debe contarse con una buena disponibilidad de P a la siembra que se logra con dosis entre 40 y 80 kg/ha de P_2O_5 en la línea de siembra de todos los cultivos y pasturas. La Figura III-53 muestra la distribución relativa del consumo de fosfatados como para 2003, (FAO, 2004). Sin embargo existen variaciones menores según las áreas sembrada cada año de los cultivos principales trigo, maíz y soja.

En general la demanda de los fertilizantes, tales como el fosfato diamónico, a las dosis actuales en uso, es algo inelástica al precio.

Los resultados concretos del aumento de la demanda de fertilizantes y la creciente madurez del mercado condujeron en los últimos años al desarrollo de proyectos industriales para fabricar superfosfato simple, debido también a la creciente demanda de azufre por la agricultura argentina. La falta de una provisión local de roca fosfórica en parte se compensa por una mediana capacidad instalada y potencial suministro de ácido sulfúrico en el cordón industrial de Rosario.

Recientemente, PETROBRAS y CARGILL apostaron a un consumo creciente comprometiendo importantes inversiones en materia de fertilizantes. La empresa MOSAIC, de la estadounidense CARGILL e IMC Global invertirá unos 25 millones de dólares en una planta especializada en fertilizantes fosforados (superfosfato simple), localizada en Puerto General San Martín, Córdoba donde ya tiene puerto y aceitera. MOSAIC nació en el 2004 luego de la fusión de la agrícola con la productora mundial de fertilizantes IMC Global completando así la integración vertical. La estrategia de esta compañía con este paso, es la de sustituir importaciones con una producción estimada de 250 mil toneladas anuales, con planes de expansión futuros. Los otros proyectos pertenecen a BUNGE de 200 mil t y PETROBRAS energía de 350 mil t /año. Tienen en común con la planta de MOSAIC, que adquirirían la roca fosfórica de materia prima del exterior y el ácido sulfúrico de empresas locales. Estarían instalados sobre el Río Paraná y prevén exportar lo que no pueda absorber el mercado interno. Esta apuesta al agro a través de la fertilización se basa en los resultados que arrojan los últimos datos de consumo. En los años setenta, casi nadie aplicaba fertilizantes en las pampas. A principio de los noventa, el consumo medio era de medio millón de toneladas. En 2004, se quintuplicó, llegando a 2,5 millones. La previsión para 2011 es que se duplique hasta llegar a 5 millones de toneladas. Hasta el momento, el balance de nutrientes ha sido francamente negativo, especialmente con el fósforo, el caso más crítico, debido a que los productores reintegran al suelo mucho menos minerales que los que le quitan con los cultivos. Por tanto, se estima necesario que la demanda local llegue al piso de consumo mencionado hacia fines de esta década, ya que solo así se podrá mantener el ritmo de producción sin provocar una acelerada destrucción de la fertilidad de los suelos, y de este modo pensar en una agricultura sustentable.

Brasil

El parque industrial de materias primas para fertilizantes tuvo un movimiento en el 2003 de cerca de 34.7 millones de toneladas de mineral con un tenor medio de 15.3% de P_2O_5 resultando una producción de 5.790 mil toneladas de concentrado fosfático, creciendo un 13.8% en relación al año anterior. Este crecimiento se justifica por la expansión de la demanda nacional de fertilizantes desde el sector agrícola, que cada año bate record de producción de granos originados principalmente por mejoras en los niveles de productividades, en función de tecnologías mas que por un aumento de las áreas cultivadas.

Los estados de Minas Gerais y Goias, a través de dos grupos de empresas FOSFERTIL/ ULTRAFERTIL, BUNGE Brasil y AngloAmerican - COPEBRAS ofertan al mercado interno el 87.1% de la producción nacional de concentrado fosfático en el 2003, con sus plantas de beneficio localizadas en los municipios de Catalão - GO, Araxá, Tapira, Patos de Minas y Lagamar en Minas Gerais.

Estos mismos grupos económicos están produciendo ácido fosfórico y productos intermedios de NP, en sus unidades formando verdaderos complejos industriales de fertilizantes, de gran importancia estratégica para el país. Es importante resaltar que en el 2003, en Brasil, se demandó cerca de 20.3 millones de toneladas contra 19.1 millones de toneladas de fertilizantes (NPK) del 2002, siendo la tendencia de la demanda creciente cada año a los niveles actuales, es decir, superiores al 6% por año.

En el 2003 las importaciones de Brasil resultaron por un monto superior a 777 millones de dólares de fosfatados, un 39.2% de crecimiento en relación al año anterior. Dichas importaciones provienen de más de 25 países, y se distribuyen de la siguiente manera: 1.1 millones de toneladas de bienes primarios (roca fosfórica) con un aumento del 5.7% de gastos respecto al 2002, con origen mayormente en Israel (40%), Marruecos (36%), Argelia (11%) y Túnez (8%); 391 mil toneladas de ácido fosfórico, experimentando un aumento del 42.4% respecto al año anterior, oriundo de Estados Unidos (30%), Rusia (26%), Marruecos (18%) e Israel (9%).

En términos de peso, el ítem Didrogeno - Ortofosfato de Diamónico participó con 1.769 mil toneladas, seguido de 1.104 mil toneladas de bienes primarios (concentrado de fosfato natural), 392 mil toneladas de ácido fosfórico, 1.067 mil toneladas de super fosfatos, entre otros tantos productos fosfatados.

En cuanto a las exportaciones de bienes primarios y productos intermedios, en el 2003 totalizaron US$ FOB 213.6 millones destinadas principalmente a Paraguay y Argentina, responsables del 77% de la demanda externa, y del 18% de compuestos químicos fosfatados.

El consumo aparente de materias primas, como concentrado de roca, ácido fosfórico y también productos intermedios fosfatados, en el 2003, experimentaron crecimientos del 7.6%, 8.3% y 19.2% respectivamente en relación al 2002. Se espera un crecimiento de entre el 8 y 12% para los próximos años en el consumo de fertilizantes (NPK).

Por su parte, en el año 2003, las empresas de la industria de fertilizantes aplicaron volúmenes considerables de recursos para adquisición de equipamiento y otras reformas y también en sus

complejos industriales de minerales para la producción de materias primas (concentrado fosfático, ácido fosfórico y sulfúrico, amonio y otros insumos) para la producción de fertilizantes NP y NPK. La empresa FOSFERTIL/ULTRAFERTIL invirtió 280 millones de reales (cerca de US$ 97 millones, al cambio del 31 de diciembre de 2003 - Banco Central de Brasil) para la ampliación de su capacidad de producción de concentrado de roca en sus complejos industriales y minerales en los estados de Sao Paulo, Minas Gerais y Goias, para atender la demanda creciente de fertilizantes. En la primera parte, la empresa aumentará su capacidad de producción del complejo

Productos / años	1995	2004
Salitre Sódico	618,100	879,100 *
Salitre Potásico	155,400	
Guano rojo y blanco	3,200	200
Apatita	7,100	18860

de mineralización de Tapira - MG en 330 mil toneladas año, su complejo minero - químico de Catalão - Go en 143 mil toneladas anuales y el complejo de Uberaba en 180 mil toneladas año de ácido fosfórico y 153 mil toneladas año de ácido sulfúrico. Este grupo responde por el 30.1% y el 23.3% respectivamente de las ventas de nutrientes fosfatados y nitrogenadas en las regiones centro - oeste y sudeste del país en el 2003.

Colombia

En Colombia, el uso de los fertilizantes con alto contenido de fósforo asimilable es bastante crítico, dado su elevado costo, por lo cual se vienen supliendo estas necesidades utilizando rocas fosfóricas nacionales, que a pesar de su relativamente bajo tenor de fósforo total (22 al 30 %), constituyen una alternativa agroeconómica viable para el mantenimiento de cultivos de periodo vegetativo mediano y largo. La roca fosfórica sin tratar, finamente molida o ligeramente granulada, se ha usado con éxito en suelos ácidos, para cultivos perennes y semi-perennes, ya que lenta reacción y solubilidad la hacen menos susceptible a la fijación o pérdida del suelo por lixiviación.

Por lo anterior, desde hace algunos años se han emprendido estudios serios para la explotación y procesamiento de minas de roca fosfórica, con el fin de poder ofrecer a los agricultores y ganaderos una fuente más económica de este mineral, especialmente en suelos ácidos de los Llanos Orientales de Colombia, en las sabanas de Bogotá y en el Oriente Antioqueño.

Gran parte de los suelos de Colombia, presentan reacción ácida, bajos contenidos de fósforo asimilable por las plantas y alta saturación de aluminio intercambiable. Estudios realizados han demostrado que para obtener buenos rendimientos de cultivos semestrales o anuales en estos suelos, es necesario hacer aplicaciones de fósforo y calcio en cantidades relativamente altas.

Las fuentes de fósforo más utilizadas en Colombia son: ácido fosfórico, MAP, DAP, fosfato monopotásico, fosfato dipotásico, rocas fosfóricas, escorias de la industria del acero, rocas fosfóricas parcialmente aciduladas, superfosfatos simple, doble y triple, fosfitos de potasio y otras sales del ácido fosforoso.

La información disponible sobre producción e importaciones de roca fosfórica, indica que los volúmenes producidos en el país, entre 80.000 y 120.000 toneladas/año, no satisfacen la demanda interna; sin embargo, desde 1999 se registra una marcada disminución en el volumen de las importaciones y a partir del año 2000 se registran algunas exportaciones.

El mercado de fertilizantes fosfóricos en Colombia en un periodo de 10 años, muestra un descenso aparente en sus ventas, producido fundamentalmente por los procesos de transformación a fertilizantes tipo superfosfato doble y triple y a la producción de mezclas físicas con fertilizantes de rápida asimilación.

Colombia es un importante consumidor de fertilizantes fosfatados, reflejado en los volúmenes de importación. En el 2003 las cantidades comercializadas ascendieron a 262.000 ton, incluyendo productos tipo DAP, MAP, ácido fosfórico y TSP.

Chile

La producción anual de rocas fosfóricas es limitada, comprendiendo la actividad de extracción de la Roca de Bahía Inglesa y en menor grado la de Mejillones, ésta última de muy baja ley. En el 2003, el volumen producido de fosfatos fue de 21.300 ton, un 8.23% superior respecto al año anterior. Este abastecimiento restringido se completa con las importaciones de TSP, DAP y MAP. Los primeros provienen principalmente desde Estados Unidos y México, mientras que el MAP es importado en su totalidad desde Estados Unidos. El volumen comercializado en el 2003 fue de 168.000 ton de TSP, 79.000 ton de DAP y 103.000 ton de MAP (en términos de producto).

Asimismo, el consumo de fertilizantes fosfatados se satisface vía la importación de otros productos fertilizantes tal como 155.000 toneladas de fosfatos de amonio provenientes de Estados Unidos, Rusia, México, China, Bélgica, Holanda y Alemania, 187.000 ton de superfosfatos de México y Estados Unidos y 5.800 toneladas de roca fosfórica con origen en Colombia, Perú, Estados Unidos y España.

En el cuadro III-79 que se presenta a continuación, se observan las cifras de producción de los fertilizantes chilenos que comprenden principalmente la industria salitrera con el salitre sódico, salitre potásico y nitrato de potasio. La mayor parte de estos fertilizantes se exporta y su producción se obtiene principalmente del caliche chileno como materia prima que se extiende por el desierto entre el límite con Perú y el río Copiapó. Las ventas de Salitre sódico del año 2004, corresponden 59.500 ton y de 706.800 ton como Salitre Potásico + Nitrato de Potasio. En lo que se refiere a la comercialización de las rocas fosfóricas, éstas se comercializan principalmente en forma interna en el país como rocas fosfóricas molidas para uso directo especialmente en praderas, de preferencia en los suelos ácidos de la X Región y también como producto elaborado granulado (alrededor de 1-2 mm) con el nombre de BIFOX (18% de P_2O_5).

Cuadro III-79: Producción de fertilizantes de origen minero nacional.

**Incluye salitre sódico, potásico y nitrato de potasio del año 2003.*
Fuente: Servicio Nacional de Geología y Minería, 2005 y P. García, comunicación personal.

De acuerdo a los antecedentes disponibles, de la totalidad de apatita producida 10.130 toneladas se emplean para uso directo en la agricultura con la inclusión de molienda solamente. En cambio 8.732 toneladas corresponden al producto derivado de la roca de Bahía Inglesa denominado BIFOX que incluye cierto procesamiento para obtener un fertilizante granulado.

México

La agricultura en México es una actividad sumamente relevante, dado que el 26% de la población nacional vive en zonas rurales y el 24% de la población económicamente activa se dedica a esta actividad. Se estima que la actual superficie del territorio nacional utilizado para agricultura es de aproximadamente 20 millones de hectáreas, pero solo 6.2 millones de hectáreas son irrigadas sistemáticamente.

En México existen yacimientos importantes de roca fosfórica en el Estado de Baja California Sur, los cuales estaban siendo explotados por la empresa ROCA FOSFORICA MEXICANA subsidiaria de GRUPO FERTINAL pero debieron interrumpir la explotación a causa de un huracán que afecto la infraestructura, no obstante su intención es continuar su producción una vez subsanados los problemas existentes. Su capacidad instalada permitía la obtención de SFS (300.000 ton), SFT (330.000 ton) y DAP (525.000 ton), aunque actualmente se encuentra fuera de operación.

1996-2003 (t).	2000	2001	2002	2003/P
Roca Fosfatada	5.581	4.825	45.252	11.610

En México existen seis plantas productoras de fertilizantes fosfatados, con una capacidad de producción de 695,000 toneladas anuales de P_2O_5 en forma de superfosfato simple y triple, fosfato diamónico y complejos NPK; sin embargo dos de ellas (Fertinal en Lázaro Cárdenas, Mich., y Fertimina en Minatitlán) están fuera de operación; tres están trabajando a mediana capacidad y una abastece al mercado industrial (Araiza, 2004).
La producción real anual de fertilizantes fosfatados llegó a alcanzar 485.000 toneladas de P_2O_5 en 1990, pero a partir del año 2000 la producción sufrió un desplome llegando a solo 94.000 to-

Año	Producción	Exportaciones
1995	--	19.976
1996	65.436	22.500
1997	67.136	68.818
1998	46.821	37.363
1999	9.038	18.863

Cuadro III-81 : Exportaciones de Roca Fosfatada de Bayóvar (t)
Fuente: Perú - Compendio Estadístico 2004 (2005)
Ministerio de Agricultura - Dirección General de Información Agraria

neladas en el año 2003. Esta última incluye superfosfato de calcio simple y superfosfato de calcio triple, con un total de 80.000 toneladas y 150.000 toneladas respectivamente (2003).

Año	Oferta Total	Producción	Importación
1997	437 740	31 085	406 655
1998	520 347	36 052	484 295
1999 P/	507 963	25 410	482 553
2000 P/	515 754	21 590	494 164
2001 P/	661 152	14 462	646 690
2002 P/	632 280	9 623	622 657
2003 P/	679 735	12 943	666 792

Cuadro III-82: Oferta Total de Fertilizantes, 1990 - 2003 (Toneladas Métricas)
Fuente: Perú - Compendio Estadístico 2004 (2005)
Ministerio de Agricultura - Dirección General de Información Agraria

Las importaciones cumplen un rol importante en el abastecimiento del consumo interno y han aumentado su participación, debido a la caída de la producción local.. En el 2003, se registraron importaciones por 26.000 ton de SFT, 240.000 ton de MAP y 510.000 ton de DAP. El total de P_2O_5 fue de 423.000 toneladas, mientras que las exportaciones son poco relevantes, con valores menores a las 50.000 ton de SPS, 10.000 ton de MAP y 5.000 ton de DAP.

Año	Total	Fosfato de amonio	Super fosfato de amonio
1994	351 115	30 151	40 716
1995	318 565	44 451	7 017
1996	363 047	51 878	12 645
1997	406 655	74 410	20 427
1998	484 295	67 348	17 056
1999 P/	482 553	78 509	8 395
2000 P/	494 164	53 190	6 225
2001 P/	656 448	122 879	18 719
2002 P/	622 612	104 231	13
2003 P/	666 780	123 857	10 041

Por lo tanto, el consumo interno demanda aproximadamente 80.000 toneladas de SFS, 117.000 ton de SFT, 663.000 ton de DAP y MAP, con un total de 419.000 ton de P_2O_5.

Aunque la mayor parte de la materia prima es importada, ya que desde el año 2001 no existen yacimientos en explotación de roca fosfórica y tampoco existen proyectos definitivos próximos a concretarse, México cuenta con algunos productores importantes de estos insumos y con una capacidad de producción que abastecería gran parte de la demanda; pero en la actualidad el faltante lo obtiene por medio de importaciones.

Algunas de las empresas productoras de fertilizantes son: AGROFERMEX INDUSTRIAL de

Occidente que cuenta con una planta de superfosfato de calcio simple con capacidad de 92.000 toneladas anuales; AGROGEN cuenta con una planta de SFS con una capacidad de 300.000 ton; A & WILSON TROY con capacidad de 270.000 ton para SFT.

No existe en México una tradición sobre el uso de roca fosfórica en aplicación directa como fertilizante; sin embargo, los resultados de numerosas investigaciones conducidas desde 1966, ponen de manifiesto que en los suelos ácidos, la utilización de roca fosfórica de Baja California puede ser una alternativa más redituable y económica que el uso de los fertilizantes tradicionales de alta solubilidad.

El uso económico de la roca fosfórica como fertilizante está supeditado a características de la propia roca y del suelo al que se aplicará a fin de lograr una suficiente solubilización del material, que asegure el abastecimiento del fósforo al cultivo. En México, el 6.70% de la superficie responde a las características de suelos ácidos y potenciales usuarios.

La política actual de eliminación de subsidios y el alto costo del dinero, aunado al poco apoyo a las actividades agrícolas y la mayor tendencia a la globalización, hacen que las perspectivas de incremento en la producción de roca fosfórica y fertilizantes fosfatados en México no sean muy alentadoras, a pesar de disponerse de reservas de roca fosfórica nacional y de una alta capacidad instalada para la producción de fertilizantes fosfatados. La agricultura tecnificada con prácticas de fertilización para producir cosechas principalmente de exportación ha recibido mayor apoyo, por lo que es de esperarse que el consumo de fertilizantes fosfatados a nivel nacional continúe con tendencia ligeramente ascendente.

Perú

Desde su descubrimiento en 1955, los yacimientos de Bayóvar - Sechura, la explotación de éstos estuvo sometida a los avatares de sus diversos poseedores, careciendo de continuidad y con muchas dificultades para su expansión. Así tenemos: En 1958 se inicia con la Compañía de Minas Jorge Alberto, en 1959 Minerales Industriales del Perú (MIDEPSA), en 1964 Empresa Minera Bayóvar S.A., en 1972 Minero Perú (empresa estatal o publica), en 1990 se transfiere a la creada Empresa Minera Regional Grau Bayóvar S.A. (EMRGB S.A.), para culminar en el 2005 con la transferencia, resultante de la licitación internacional, mediante concesión a la empresa brasileña Vale do Río Doce.

	DAP	MAP	Acido fosfórico	TSP
Brasil	2.000	534.000	1.047.000	223.000
México	--	--	282.000	72.000
Venezuela	20.000		131.000	

La planta de procesamiento, ideada inicialmente para una producción anual de 30.000 toneladas en 1978, fue ampliada para la producción de 90.000 toneladas. Desde entonces, tanto Minero Perú, como posteriormente la EMRGB S.A. no pudieron sostener económicamente a la empresa, debido a la escasa y casi ausente demanda interna, y a los escasos volúmenes de exportación. Una pequeña proporción de esta producción era destinada a la fabricación de fertilizantes solubles (Superfosfato simple, Bayomix, compuestos), de factura nacional, por parte de INDUS y la desaparecida ENCI.

Los últimos datos de producción se presentan en la Cuadro III-80, e ilustran el grave decaimiento de la explotación de este recurso con un potencial inmenso, que se espera constituya un relanzamiento con la presencia de la nueva empresa brasileña.

Cuadro III-80: Volumen de la producción Minero No Metálica según principales productos
Fuente: PERU. Compendio Estadístico 2004 (2005b)
Ministerio de Energía y Minas - Dirección General de Minería , 2005

Si contrastamos con los volúmenes de exportación de roca fosfatada (Cuadro III-81), observaremos que el consumo en el mercado interno ha sido muy reducido, las que no sobrepasan en promedio las 10 000 toneladas al año.
El mayor consumo de fertilizantes fosfatados se da con fertilizantes solubles de origen importado, tal como se muestra en las Cuadros III-82 y III-83.

Producto	1980	1998	2002
Superfosfato simple	483	686	S/d
Superfosfato triple	751	596	S/d
Fosfato de amonio	849	1613	S/d
NPK	491	399	S/d
Otros	193	93	S/d
Total fosfatados	**2767**	**3387**	**4183**

Cuadro III-85
Fuente: Revista Fertilizantes América Latina Nº 6/1 Marzo 2001; FAOTAST

Como se puede observar, la oferta de fertilizantes es mayor a las 600.000 toneladas, franja que ha sido superada a partir del 2001. Solo el 1.9% se abastece con producción local, y el 98.1% restante tiene su origen en las importaciones.

Cuadro III-83: Volumen de importaciones de Fertilizantes , 1994 - 2003 (t)
Fuente: Perú - Compendio Estadístico 2004 (2005)
Ministerio de Agricultura - Dirección General de Información Agraria

Venezuela

Los fertilizantes fosfatados representan el 18% del mercado nacional (148.000 t) y están representados por los siguientes productos: roca fosfórica micronizada, roca fosfórica parcialmente acidulada (nombre comercial Superphosfertil) aplicada en forma directa, fosfato Especial, MAP, DAP y las fórmulas NPK.
PEQUIVEN tiene en el complejo Morón una planta de ácido fosfórico, cuya capacidad de producción es de 100.000 TM /año. Toda la producción de ácido fosfórico está dirigida a la elaboración de fertilizantes con el objeto de producir fosfato granulado especial (42 % P_2O_5 y 16 % N) y para la producción de la roca fosfórica parcialmente acidulada. Esto permite ir disminuyendo el nivel de dependencia de fertilizante fosfatado importado. La roca fosfórica usada como materia prima en esta planta es la de Riecito en el Estado Falcón.

En Venezuela, en el 2003, se produjeron los siguientes productos: fosfato especial (21.500 t), roca fosfórica micronizada (1.100 t), roca fosfórica acidulada al 40% (980 t) y roca fosfórica acidulada al 60% (27.600 t). El consumo interno se satisface también vía importación de productos tales como DAP (19.000 t), MAP (1.535 t), roca fosfórica micronizada (42.500 t) y roca fosfórica parcialmente acidulada al 40% (29.700 t).

Es importante mencionar que la fertilización en el país se realiza con las fórmulas químicas NPK o con mezclas físicas de fuentes de fertilizantes simples preparadas por empresas particulares o por asociaciones de productores.

Otros países de latinoamérica

Las economías de los países latinoamericanos, durante las últimas tres décadas y principios de la actual, han sido inestables pero en general, las perspectivas actuales son positivas en lo que respecta a PBI, producción agrícola y consumo de fertilizantes y alentadoras de cara al futuro.

En Latinoamérica se cultivan alrededor de 109 millones de hectáreas, es decir el 8.98% del total mundial. La producción de la región en materia de fertilizantes fosfatados es de 1.6 millones de toneladas, liderada por Brasil y México como principales productores. La región aporta al total producido el 5%.

El volumen producido por producto se muestra en el cuadro III-84.

Cuadro III-84: Producción latinoamericana de productos fosfatados en el 2003 (t. en P_2O_5)
Fuente: IFA

El consumo de fertilizantes fosfatados, luego de su caída, producto de la recesión de los ´80 comenzó a recuperarse en los ´90 para continuar creciendo. En América Latina, el consumo de fosfatados aumenta en mayor proporción que los nitrogenados siendo una de las causas la influencia del uso de soja en Brasil. En otras partes del mundo fuera de América Latina dicho consumo se da en forma inversa siendo la proporción de consumo de nitrogenados de 2:1 respecto a los fosfatados. En la década de los ´80 el consumo de fertilizantes en América Latina ascendía a 2.767 mil toneladas de P_2O_5 mientras que para fines de los ´90 este consumo aumentaba considerablemente a 3.387 mil toneladas de P_2O_5. Los fosfatos de amonio representan casi la mitad del consumo total de fosfatados. Probablemente, América Latina es la única región en donde el consumo de fosfato simple ha aumentado considerablemente dado que es una fuente principal de azufre para la soja. Esta región representa un importante importador de roca fosfórica (11% de las importaciones mundiales), MAP (15%) y DAP (10%). Principalmente provienen de Estados Unidos, ex URSS y Marruecos sumando casi el 90% del total de las fuentes de importación. Tanto las importaciones de MAP, dominante en el mercado latinoamericano, como las de DAP han registrado aumentos en los últimos años.

El Cuadro III-85 muestra el consumo de fertilizantes fosfatados en América Latina y su evolución en las últimas tres décadas. (miles de toneladas de P_2O_5)

Latinoamérica sólo abarca el 12% del consumo de fertilizantes fosfatados, ocupando el tercer lugar junto con Europa. Si bien solo se desarrolla producción en Brasil y México, la demanda interna latinoamericana se satisface a través de la importación de productos tales como DAP, MAP, ácido fosfórico y TSP. Algunos países también importan roca fosfórica para la obtención de estos productos finales. En términos de productos, en el 2003, la importación de la región fue de 1.165.000 ton de TSP (536.000 ton P_2O_5) dirigido a Argentina, Brasil, Chile, Cuba, Ecuador, Paraguay, Uruguay y otros, 335.000 ton P_2O_5 de ácido fosfórico para Argentina, Brasil, Chile, Colombia, México, Perú y otros, 2.669.000 ton de MAP (1.388.000 ton P_2O_5) con destino a Argentina, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, Guatemala, Honduras, México, Uruguay, Venezuela y otros y 1.937.000 ton de DAP (891.000 ton P_2O_5) destinadas a Argentina, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, Cuba, Ecuador, El Salvador, Guatemala, México, Perú, Puerto Rico, Uruguay, Venezuela y otros.

El mercado de fertilizantes atraviesa, en estos últimos años, un período de consolidación con la fusión y compra de compañías. La oferta de fertilizantes está en manos de empresas multinacionales que buscan aumentar su presencia en otros países donde aún no están, con tendencia a satisfacer al mercado local de su adquisición y sustituir importaciones. Como ejemplo se puede mencionar el caso de Brasil que en 1988, las 8 compañías de fertilizantes más grandes eran responsables del 49,7% del mercado, y durante 1999 las 8 compañías más importantes satisficieron el 62% del consumo, aumentando considerablemente su market share. La entrada de nuevas empresas al circuito económico incrementará esta competencia por la búsqueda de una participación en el mercado.

BIBLIOGRAFÍA

ROCAS FOSFÁTICAS

APPLETON, J.D., 2001. Local phosphate resources for sustainable development in sub- Saharan Africa. Keyworth, Nottingham, UK. National Environment Research Council, British Geological Survey and DFID.

APPLETON, J.D. Y NOTHOLT, A J. G. 2002. Local phosphate resources for sustainable development in Central and South America. British Geological Survey Report R/02/122/N. 96pp.

ARTHUR, M.A., Y JENKYNS, H..C., 1981. Phosphorites and paleoceanography. Oceanol. Acta, 1981 Proceedings. 26th International Geological Congress, Paris, 83-96.

BORN, H., 1989. The Jacupiranga apatite deposit, Sao Paulo, Brazil En: Notholt, J., R. Sheldon y D. Davidson (Eds.), Phosphate rocks resources, 2(18) :111-115. Cambridge

BURNETT, W.C. AND RIGGS, S.R., 1990. Phosphate deposits of the world; Neogene to modern phosphorites. Cambridge Univ. Press, New York, NY, United States, 464 pp.

COCHRANE, T.T., SANCHEZ, L.G., DE AZEVEDO, L.G., PORRAS, J.A. AND GARVER, C.L., 1985. En: Land in Tropical America vols. 1-3, CIAT, Cali, Colombia.

CHIEN, S.H. Y HAMMOND, L.L. 1978. A comparison of various laboratory methods for predicting the agronomic potential of phosphate rock for direct application. Soil Sci. Soc. Am. J., 42: 1758-1760.

CHIEN, S.H. Y MENON, R.G. 1995. Factors affecting the agronomic effectiveness of phosphate rock for direct application".Fert Res., 41: 227-234

CHIEN, S.H. 1992. Reactions of phosphate rocks with acid soil of the humid tropics. En A.T. Bachik & A.Bidin, (Eds.). Proceedings of a workshop on phosphate source for acid soils in the humid tropics, pp 519-529. Kuala Lumpur, Malaysian Society of Soil Science.

CHIEN, S.H y D.K. FRIESEN, 1992. Phosphate rock for direct application. En F.J. Sikora (Ed.) Future directions for agriculture research. pp. 47 - 52. Bulletin Y-224 Muscle Schoals, USA, IFDC.

CHIEN, S.H. Y S.J. VAN KAUWENBERGH. 1992. Chemical and mineralogical characteristics of phosphate rocks for direct application En R.R. Campilllo (Ed.). First national seminar on phosphate rock in agriculture. pp 3-31. Serie Carillanca Nº 29. Temuco, Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias.

CHIEN, S. H., Y MENON., R.G. 1994. "Agronomic Evaluation of Various Phosphate Rocks for Direct Application," Paper presented at the FAI-FADINAP Regional Conference for Asia and the Pacific, held in Kuala Lumpur, Malaysia, December 12-15, 1994.

CHIEN, S.H. 1995. Chemical, mineralogical, and solubility characteristics of phosphate rock for direct application. En K. Dahanayke, S.J. Van Kauwenbergh & D.T. Hellums, eds. Direct application of phosphate rock and appro-

priate technology fertilizers in Asia: what hinders acceptance and growth, pp. 49-58. Kandy, Sri Lanka, Institute of Fundamental Studies, and Muscle Shoals, USA, IFDC.

COOK. P. Y MCELHINNY, S. 1979.A Reevaluation of the Spatial and Temporal Distribution of Sedimentary Phosphate Deposits in the Light of Plate Tectonics. Economic Geology, 74: 315 330. Lancaster.

DAMASCENO. E.C. 1989. The Patos de Minas phosphate deposits, Minas Gerais, Brazil En: Notholt, J., R. Sheldon y D. Davidson (Eds.), Phosphate rocks resources, 2(16) :100-103. Cambridge.

GAINES, R.V., SKINNER, H.C.W., FORD, E.E., MASON, B. Y ROSENZWEIG, A., 1997: Dana's New Mineralogy. The System of Mineralogy of James D. Dana and Edward Salisbury Dana, 8th edition, John Willey and Sons, Inc., New York, 1790 pp.

GLENN, C.R., FÖLLMI, K.B., RIGGS, S.R., BATURIN, G.N., GRIMM, K.A., TRAPPE, J., ABED, A.M., GALLI-OLIVIER, C., GARRISON, R.E., ILYIN, A.V., JEHL, C., ROHRLICH, V., SADAQAH, R.M., SCHIDLOWSKI, M., SHELDON, R.E. Y SIEGMUND, H., 1994. Phosphorous and phosphorites: sedimentology and environments of formation. Journal of Swiss Geological Society, Eclogae Geologica Helvetica 87: 747-788. Zurich, Suiza.

JARVIS, I., BURNETT, W., NATHAN, J., ALMABAYDIN, F., ATTIA, A., CASTRO L., HUSAIN, V.; QUTAWNA, A. Y ZANIN Y., 1994. Phosphorites geochemistry . State of the art environmental concern. Eclogae Geologiae Helvitiae Journal of Swiss Geologicae Society. 87(3): 643-700. Zurich, Suiza.

JOHNSTON, A.E. 2000. Soil and Plant Phosphate. International Fertilizer Industry Association. Paris, Septiembre 2000.

KHASAWNEH, F.E. Y DOLL, E.C. 1978. The use of phosphate rock for direct application to soils. Adv. Agron., 30: 159-206

MCCLELLAN, G.H. 1989. Geology of the phosphate deposits ay Sechura, Peru En: Notholt, J., R. Sheldon y D. Davidson (Eds.), Phosphate rocks resources, 2(16) :124-130. Cambridge.

MCCONNELL, D., 1973. Apatite. Its crystal chemistry, mineralogy, utilization, and geologic and biologic occurrences. Ed.: Springer Verlag, 111 pp. Alemania

NOTHOLT, A.J.G., SHELDON, R.P. Y DAVIDSON, D.F., 1989. Phosphate rock resources, Phosphate deposits of the world. Cambridge University Press, Cambridge.

ORRIS G.J. Y C.B. CHERNOFF. 2002. Data Set of World Phosphate Mines, Deposits, and Occurrences. Part B. Location and Mineral Economic Data. Open-File Report 02-156-B U.S. Geological Survey. Department of the Interior.

RAJAN, S.S.S, J.H.WATKINSON Y A.G. SINCLAIR. 1996. Phosphate rock for direct application to soils. Adv. Agron. 57: 78-159.

RICALDI, V. Y ESCALERA, S., 1984. La roca fosfórica: fertilizante directo de bajo costo. Proceedings of the 1º Conferencia Latinoamericana de Roca Fosfórica, 1983. Grupo Latinoamericano de Investigadores de Roca Fosfórica, Cochabamba, Bolivia.

SAVAGE, C., 1987. World Survey of Phosphate Deposits. British Sulphur Corporation, London, 274 pp.

SHELDON R.P., 1980. Episodicity of phosphate depostion and deep ocean circulation - a hypothesis. En: Marine phosphorites - geochemistry, occurrence, genesis (De. Bentor, Y.K.). Soc. Econ. Paleontol. Mineral. Special Publication. 29, 239-247.

SHELDON, R.P. Y DAVIDSON, D.F., 1987. Discovery and development of phosphate rock resources in phosphate deficient. Third World countries. Natural Resources Forum, 11(1): 93-98.

TRAPPE, J, 1998. Phanerozoic phosphorites depositional system. A dynamic model for a sedimentary resource system Ed.: Springer Verlag, 316 pp. Alemania.

UNITED NATIONS INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION AND INTERNATIONAL FERTILIZER DEVELOPMENT CENTER. (UNIDO), 1998. Fertilizer Manual. Kluwer Academic Publishers, Netherlands. 615 p.

VAN KAUWENBERG, S.J. 2003. Overview of world phosphate rock production. pp 10-27. En S.S.S. Rajan y S.H. Chien, (Eds). Direct application of phosphate rock and related technology: latest development and practical experiences. Proc. Int. Met. Kuala Lumpur, 16-20 July 2001. Muscle Schoals, USA IFDC 441 pp.

ZAPATA, F. 2003. FAO/IAEA research activities on direct application of phosphate rocks for sustainable crop production. In S.S.S. Rajan y S.H. Chien, (Eds.). Direct application of phosphate rock and related technology: latest developments and practical experiences. Proc. Int. Meeting, Kuala Lumpur, 16-20 July 2001. Muscle Shoals, USA, IFDC. 441 pp.

ZAPATA E. Y. ROY, R . N. Use of phosphate rocks for sustainable agriuculture. Bulletin Nº 13. FAO Fertilizer and plant nutrition division. FAO, Roma, 2004.

Páginas web consultadas

http://fosfatos.gl.fcen.uba.ar/sedimentologia.php

http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/ commodity/phosphate_rock/

http;// www.cepal.org

http://www.ceniap.gov.ve/publica/divulga/fd53/fertilizantes.htm

ARGENTINA

BERARDO, A. y MARINO, M., 1993. Eficiencia relativa de un fosfato natural en pasturas cultivadas en molisoles del sudeste bonaerense. Congreso Argentino de la Ciencia del suelo, Mendoza

BERNARDOS, J.N., VIGLIZZO, E.F., Jouvet, V., Lértora, F.A., Pordomingo, A.J. y Cid, F.D., 2001. The use of EPIC model to study the agroecological change during 93 years of farming transformation in the Argentine pampas. Agricultural Systems, 69/3: 215-234.

CASTRO L., 1992. Phosphorites deposits on the continental shelf of Argentina. Continental margin environment and mineral resources workshop. Ocean Science non living resources, COMEMIR-UNESCO. Porto Alegre, Brasil. 2 p.

CASTRO, L. Y . DI PASQUO, M., 1993: Upper Cambrian La Cruz Formation phosphates deposits, their origin and composition of Mendoza province, Precordillera, Argentina. Proceedings de la conferencia Concepts and controversies in phosphogenesis IGCP 325. Correlation with Phosphorites and associated autighenic minerals. 16 pp Interlaken. Switzerland.

CASTRO, L. Y MARTÍNEZ G.,1993. Authigenic minerals of Salamanca Formation, Cerro Tortuga, Patagonia, Argentina. Proceedings de la conferencia Concepts and controversies in phosphogenesis. IGCP 325. Correlation with Phosphorites and associated autighenic minerals. 22 p. Interlaken. Switzerland

CASTRO, L. Y M. DI PASQUO, M., 1994. Authigenic minerals of the Middle Cambrian sequences of Precordillera, Mendoza province, Argentina. Proceedings de la conferencia International Meeting du Project IGCP 351. Early Paleozoic evolution in NW Gondwana. Rabat, Marruecos, .1: 71-74.

CASTRO, L., SCASSO, R. A. Y ALONSO, M. S., 1996. Caracterización y génesis de los fosfatos sedimentarios "Patagonienses" del valle del río Chubut. 3º Reunión de Mineralogía y Metalogenia. Instituto de Recursos Naturales. Universidad Nacional de La Plata. 1: 87-90.

CASTRO, L, BELLOTTI, A., MIRESKY, P. Y FAZIO, A., 1996. Estratigrafía y caracterización de las Facies Marinas de la Formación Mulichinco, Cuenca Neuquina, provincia del Neuquén, Argentina. 5 Congreso Geológico Boliviano 1:239-244 La Paz, Bolivia

CASTRO, L., SCASSO, A., y DEL DAGO E. 1998a. Nuevos resultados de la prospección de fosfatos sedimentarios marinos en la República Argentina. 10 Congreso Latinoamericano de Geología. 6 Congreso Nacional de Geología Económica. 3:88-94. Buenos Aires.

CASTRO, L., ZUBILLAGA, M. LAVADO., R., SCASSO, R., MIRESTKY, y P., FAZIO., A. 1998b. Efectividad agronómica de la aplicación directa de rocas fosfáticas comparada con la del superfosfato. 10° Congreso Latinoamericano de Geología. 6 Congreso Nacional de Geología Económica. 3:314-319. Buenos Aires,

CASTRO, L. Y TOURN, S. 2003. Direct application of phosphate rocks and glauconite as alternative sources of fertilizer in Argentina. SUM 21 special issue of Exploration and Mining Geology on sustainable development in the minerals industry. Geological Society of Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum l 12: (72-79)

CASTRO, L Y FAZIO. A., 2004. Rare-earth elements signature of patagonian marine sediments phosphates, Argentina" International Symposium on The Geology and Geophysics of the Southernmost Andes, the Scotia Arc and Antactic Peninsula, Buenos Aires International Journal of Earth Science; Bolletino de Geofisica 45: Session 7; Sedimentary Process. 177-179.

CASTRO L. Y SCASSO R., 2005. Evidence of the Late Cretaceous phosphogenic event in the Gamma Member of the Santa Marta Formation, James Ross Island, Antarctica 16 Congreso Geológico Argentino 247-255. La Plata.

COOK Y MCELHINNY, 1979.A Reevaluation of the Spatial and Temporal Distribution of Sedimentary Phosphate Deposits in the Light of Plate Tectonics. Economic Geology, 74: 315 330. Lancaster.

CRUZATE, G. Y R. CASAS, 2003. Balance de nutrientes en la agricultura Argentina. Fertilizar Nº Especial Sostenibilidad. INTA.

DE LOS HOYOS, L., 2003. Manifestaciones y depósito fosfáticos en Argentina 231-233. En: Fertilizantes y Enmiendas de origen mineral. Ed: Nelson H. y Sarudiansky R.

DI PASQUO M. Y L. CASTRO., 1994. Niveles fosfáticos en los depósitos del Cámbrico superior en el área de San Isidro, Precordillera de la Provincia de Mendoza, Argentina. Revista de la Asociación Sedimentológica Argentina, 2: 91-102. Buenos Aires Argentina.

FAO, 2004. Uso de fertilizantes por cultivo en Argentina. FAO, Roma, 49 pag.

FAZIO, A.M, CASTRO, L Y SCASSO, R, 2002. Fraccionamiento de tierras raras en rocas fosfáticas de la Formación Lefipán, Chubut, Argentina. 15º Congreso Geológico Argentino, 1: 395-400. El Calafate. Argentina.

LEANZA, H., A. SPIEGELMAN, Y C. HUGO, 1986. Episodicidad y distribución de las fosforitas marinas Fanerozoicas de la República Argentina: Análisis preliminar. 2 Reunión Argentina de Sedimentología, 1: 213 216. La Plata, Argentina

LEANZA, H., C. HUGO Y A. SPIEGELMAN, 1975. Manifestaciones fosfáticas en la Sierra de la Vaca Muerta y adyacencias, provincia del Neuquén. 2 Congreso Iberoamericano de Geología Económica, 2: 461-483. Buenos Aires, Argentina,

LEANZA, H., SPIEGELMAN, A.Y HUGO,C. 1981. Manifestaciones fosfáticas en la Formación Patagonia: su génesis y relación con el vulcanismo piroclástico. Revista de la Asociación de Mineralogía, Petrografía y sedimentología. 11 (34):1-12. . Buenos Aires, Argentina

LEANZA, H., A. SPIEGELMAN, C. HUGO, O. MASTANDREA Y C. OBLITAS, 1989a. Phanerozoic sedimentary phosphatic rocks of Argentina. En: Notholt, J., R. Sheldon y D. Davidson (Eds.), Phosphate rocks resources, 2(24):147-158. Cambridge

LEANZA, H., A. SPIEGELMAN, Y C. HUGO, 1989b. Posible existencia de fosforitas submarinas en la Plataforma Continental Argentina. Serie Correlación Geológica, 3:187-198. Tucumán, Argentina

LEANZA, H Y HUGO, C., 1992. Los episodios fosfogénicos del Paleógeno de Argentina. Simposio del Paleogeno de Sudamérica. 1:21. Punta Arenas.. Chile.

MASTANDREA, O., LEANZA, H., HUGO Y C. OBLITAS, 1982. Prospección de fosfatos sedimentarios en la República Argentina. 5 Congreso Latinoamericano de Geología, 3:159- 176. Buenos Aires, Argentina.

MASTANDREA, O., H. LEANZA, C. HUGO, Y C. OBLITAS, 1983. Fosfatos sedimentarios marinos radioactivos en la Formación Salamanca (Terciario inferior), provincia del Chubut. Revista de la Asociación Geológica. Argentina.. 38 (2): 185-191

MELGAR, R., J. CASCO, M. MÉNDEZ. C. SANABRIA, Y M. FIGUEROA. 1998. Efectividad de fertilizantes fosfatados en arroz irrigado. Revista Pesquisa Agropecuaria Brasileña. Revista Pesquisa Agropecuaria Brasileña. 33 (10): 1573- 1579.

MELGAR R.J. Y J. LAVANDERA. 2001. Rotación Trigo Soja. La doble fertilización. Fertilizar Nº 26. INTA

MELGAR R.J. Y J. LAVANDERA. 2002. La doble fertilización. Rotación trigo/soja. Fertilizar Nº 26: 30-34. Abril 2002.

MELGAR, R. 2004. Aptitud de rocas fosfóricas locales para fabricación de fertilizantes en Argentina. XVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Paraná, 21 de Julio de 2004.

MELGAR, R. 2005. El mercado de fertilizantes en Argentina y su relación con el sector agropecuario. En. Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos. Ediciones INTA En prensa.

MORRÁS, H.J.M. 2002. Influencia del material parental y el clima en los contenidos de fósforo de los suelos pampeanos de la República Argentina. INTA-CIRN, Instituto de Suelos, (1712). Castelar. INPOFOS.

OLIVERO, E., CASTRO, L., SCASSO R., FAZIO A. Y MIRETZKY, P., 1998. Fosfatos marinos del Paleógeno de Tierra Del Fuego. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 53 (2):239-246.

PEREIRA, D. Y SCASSO R., 2002. Procedencia de las areniscas fosfáticas de la Formación Lefipán, valle medio del Río Chubut, provincia de Chubut. 15º Congreso Geológico Argentino 1:684-689. El Calafate, Argentina.

SCASSO, R., CASTRO L., LIPPAI H. Y ALONSO, M. 1996. Significado estratigráfico y paleoambiental del Conglomerado fosfático "Patagoniense" de Bryn Gwyn, Gaiman (Prov. del Chubut). 6° Reunión de Sedimentología 1: 117-122. Bahía Blanca, Argentina.

SCASSO, R. Y CASTRO, L.., 1999. Cenozoic phosphatic deposits in North Patagonia, Argentina. Phosphogenesis, sequence-stratigraphic and paleoceanographic meaning. Journal of South America Earth Sciences. Elservier, 12: 471-487.

TOURN, S., CASTRO, L. Y SCASSO, R. 2004. Composición y enriquecimiento de los fosfatos sedimentarios marinos en Formaciones cretácicas, paleógenas y neógenas de Patagonia, Argentina 7 Congreso de Mineralogía y Metalogenia, 1: 285-290.Río Cuarto, Argentina

BOLIVIA

APPLETON J D Y NOTHOLT A J G, 2002 Local phosphate resources for sustainable development in Central and South America Bolivia: 16-25 British Geological Survey , Nottingham, UK

APPLETON, J.D. Y A.J.G. NOTHOLT, 2002. Local phosphate resources for sustainable development in Central and South America. British Geological Survey

APPLETON, J.D., 1990. Chemical reactivity of phosphate rocks, soils and minerals from African carbonatites. Technical Report WC/90/19/R, British Geological Survey, Nottingham

APPLETON, J.D., 1991. Review of the potential phosphate resources in Bolivia. Technical Report WC/91/29/R, British Geological Survey, Nottingham.

APPLETON, J.D., 1995. Misión exploratoria sobre el uso de la roca fosfórica en Bolivia. Confidential report to FAO, British Geological Survey, Nottingham, UK.

BENITES, D. SAINTRAINT Y K. MORIMOTO. 2002. Degradación de suelos y producción agrícola en Argentina, Bolivia, Brasil, Chile y Paraguay. FAO documents. Accedido en Julio de 2005.BURTON, C.C.J., 1982. The geology and mineral resources of Cerro Manomó. Phase II Report: Proyecto Precámbrico 19, GEOBOL-BGS, Santa Cruz, Bolivia.

BURTON, C.J.J., 1983. An Investigation of the Mineral Resources of Cerro Manomó. Informe del Proyecto de Exploración Mineral del oriente Boliviano "Proyecto Precámbrico", Fase II: 1980-1983 19, GEOBOL/ Institute of Geological Sciences (UK), Santa Cruz, Bolivia.

CIA 2005. The world factbook. http://www.odci.gov/cia/publications/factbook/index. html Accedida en Julio 2005.

COCHRANE, T.T. 1973. El Potencial Agrícola del Uso de la Tierra en Bolivia. Un Mapa de Sistemas de Tierras. Misión Británica en Agricultura Tropical. Ministerio de Agricultura. La Paz. 826 pp.

ELLENBERG, H. 1981. Mapa Simplificado de las Ecoregiones de Bolivia. Desarrollar sin Destruir. Instituto de Ecología. La Paz. 55 pp.

ELLENBERG, H. 1981. Mapa Simplificado de las Ecoregiones de Bolivia. Desarrollar sin Destruir. Instituto de Ecología. La Paz. 55 pp.

FAO. 1999. BOLIVIA. Hacia una estrategia de fertilizantes Proyecto Manejo de Suelos y Nutrición Vegetal en Sistemas de Cultivos GCPF/BOL/018/NET - "Fertisuelos". FAO Roma 1999

FERRUFINO COQUEUGNIOT A., Y L. MENESES JUNCO. 2004. Los suelos del Trópico de Cochabamba (Bolivia): Identificación de restricciones edáficas para cultivos de banano, palmito, piña y pastos Información Agronómicas del Cono Sur Nº 21.

FLETCHER, C.J.N., APPLETON, J.D., WEBB, B.C. Y BASHAM, I.R., 1981a. Mineralisation in the Cerro Manomó Carbonatite Complex. Transactions Institution Mining & Metallurgy, 90: B37-B50.

GOEDERT, W.J., SOUZA, D.M.G., LOBATO, E. Y REIN, T.A., 1987. Evaluación agronómica de fertilizantes fosfatados en el Cerrado Brasilero. In: L.A. León and O. Arregocés (Editors), Memorias del Seminario "Alternativas sobre el uso como fertilizantes de fosfatos nativos en América Tropical y Subtropical" ,4 a 6 de Noviembre 1987. CIID, IFDC and CIAT, Cali, Colombia, pp. 202-220.

GONZÁLES, C.A., 1985. Depósitos fosfáticos de Bolivia. In: V. Ricaldi and S.J. Escalera (Ed.), Los depósitos fosfáticos de Sud América. Asoc. Geociencia. Desarrollo Int., Cochabamba, Bolivia, pp. 51-70.

GONZÁLEZ, A., 1983. Descripción de los yacimientos de roca fosfórica en Bolivia. In: V. Ricaldi y S. Escalera Ed.), La roca fosfórica: fertilizante directo de bajo costo. Proceedings de 1a Conferencia Latinoamericana de Roca Fosfórica. Grupo Latinoamericano de Investigadores de Roca Fosfórica, Cochabamba, Bolivia, pp. 1-12.

HIGNETT, T.P., 1985. Fertilizer manual, Developments in Plant and Soil Sciences. Martinus Nijhoff - DR W. Junk Publishers, Dordrecht, Boston, Lancaster, pp. 363.

IRIARTE, R. Y A. QUIROGA. 1993. Uso de cal y dolomita en suelos del Chapare. CORDEP-DAI, Cochabamba, Bolivia. 129 p.

LITHERLAND, M. ET AL, 1986. The geology and mineral resources of the Bolivian Precambrian. 9, British Geological Survey, Nottingham, England. Overseas Memoir

LLANOS, J.A., 1984. Mineralización de la apatita en la carbonatita del Cerro Manomo. En: Ricaldi, Victor ; Escalera y Saúl (Ed), La roca fosfórica; fertilizante directo de bajo costo; resultados de investigaciones geológicas, mineras metalúrgicas y de aplicación agrícola presentados en la 1 (súper a) conferencia latinoamericana de roca fosfórica. Grupo Latinoam. Invest. Roca Fosfórica, Cochabamba, Bolivia, pp. 71-78.

MACA. 1975. Mapa Ecológico de Bolivia (memoria explicativa). Ministerio de Asuntos Campesinos y Agropecuarios. La Paz. 309 pp.

MONTES DE OCA, I. (1997) Geografia y Recursos Naturales de Bolivia. 3rd Edicion. La Paz, Bolivia: EDOBOL: 612 pp.

NOTHOLT, A.J.G., 1999. Phosphate: a world monograph (A compilation of unfinished papers). British Geological Survey.

RUIZ M., M. RUIZ B. Y J. KARLSEN Situación ambiental en relación con la erosión en Bolivia. FAO http://www.fao.org/documents/show_cdr.asp?url_file=/docrep/t2351s/t2351S08.htm

SANABRIA, H. (1993) The Coca Boom and Rural Social Change in Bolivia. Ann Arbor, USA: University of Michigan Press: 277 pp.

STEININGER M. K., C.J. TUCKER, J.R. G. TOWNSHEND, T.J. KILLEEN, A. DESCH, V. BELL Y P. ERSTS, 2001. Tropical deforestation in the Bolivian Amazon Environmental Conservation 28 (2): 127-134.

VARGAS GIL. J. Y M. IÑIGUEZ RODRÍGUEZ. 1980. Propiedades morfológicas y mineralógicas de los suelos comprendidos entre los Yungas y el Mato Grosso. IX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Paraná, Julio de 1980.

BRASIL- RECURSOS MINERAIS E PRODUÇÃO DE FOSFATOS

ABIQUIM (2003 - 2002): Anuário da Indústria Química Brasileira.

ANDA (2005 - 2004 - 2003 - 2002- 2001): Anuário Estatístico do Setor de Fertilizantes, Associação Nacional para a Difusão de Adubos 2003, São Paulo, 1987-2004.

ANDEF (2004): Associação Nacional de Defesa Vegetal,[www.andef.com.br].

ARAÚJO, R.V.de et al. (2004): Lixiviação clorídrica de concentrado fosfático: estudo de caso. XX ENTEMME, vol. I, p. 533-540.

ARAÚJO, R.V.de (2003): Fosfatos: Uma abordagem sobre minérios e produção / consumo no Brasil - Projeto Rotas Alternativas p.243-251. Em: NIELSON H. & SARUDIANSKY, R., eds. (2003): Fertilizantes y Enmiendas de Origen Vegetal, Ed. Panorama Minero.

BÜNGE (2005): [www.bungefertilizantes.com.br].

CHAVES, A.P. e OBA, C.A.I. (2004): Críticas ao modelo brasileiro de fertilizantes fosfatados de alta solubilidade [www.cetem.gov.br /Publicações / Série Estudos e Documentos no 63, 25 p.

COELHO, M.R. et al. (2002): O recurso natural solo. In:C.V. Manzanatto, e. De Freitas Júnior & J.R.R. Peres eds.. Uso agrícola dos solos brasileiros, pp 1-11, Embrapa Solos, Rio de Janeiro.

COPEBRAS (2005): www.copebras.com.br

CPRM (1997): Nota Explicativa do Mapa Síntese do Setor de Fertilizantes Minerais (NPK) no Brasil, CPRM-Serviço Geológico do Brasil, Rio de Janeiro.

DNPM (2004 - 2003 - 2002 - 2001): Sumário Mineral, Departamento Nacional de Produção Mineral, Brasília.

HEINRICH, E.Wm. (1966): The Geology of Carbonatites, 607p., Rand Mc. Nally & Company.

FAO (2003): Économie de l'agriculture de conservation, 67 p. [www.fao.org], acesso em 28/03/05.

FAO (2004): Fertilizer use by crop in Brasil, 52 p. [www.fao.org], acesso em 21/03/05.

FAO / IFA (2000): Stratégies em matière d'engrais, 110 p. [www.fao.org], acesso em 22/03/05.

FAO / IFA (2002): Los fertilizantes y su uso, 4a ed., 77 p. [www.fao.org], acesso em 22/03/05.

FERNANDES, H.M., RIO, M. A.P.ires e FRANKLIN, M.R. (2004): Impactos radiológicos da indústria dos fosfatos [www.cetem.gov.Br] /Publicações / Série Estudos e Documentos no 56, 46 p.

FERREIRA, M.E. e CRUZ, M.C.P. eds. (1991): Micronutrientes na agricultura, POTAFOS/CNPq, 734 p.

FOSFERTIL (2004): [www.fosfertil.com.br], acesso em 09/11/04.

HABASHI, F. (1994): Phosphate fertilizer industry. Processing technology, Industrial Minerals, p.66-9, março 1994.

HABASHI, F. & AWADALLA, F.T. (1988): In situ and dump leaching of phosphate rock, Ind.& Eng. Chem. Res., 27, 11, p. 2165-9, 1988.

IFA (2004): [www.fertlizer.org/ifa].

IFA (2002): Sumary Report - Global Agricultural Situation and Fertilizer Demand in 200/01 and 2001/02, 11p.

ISHERWOOD, K.E. (2000): O uso de fertilizantes minerais e o meio ambiente, IFA / UNEP / ANDA, 60 p. [www.fertilizer.org], acesso em 08/03/05

KULAIF, Y (1997): A nova configuração da indústria de fertilizantes fosfatados no Brasil, CETEM, Série Estudos e Documentos.

LAPIDO-LOUREIRO, F.E. (2005): Fertilizantes e sustentabilidade: o fósforo na agricultura brasileira, Série Estudos e Documentos, CETEM (em edição).

LAPIDO-LOUREIRO, F.E. & NASCIMENTO (2003): M, Fertilizantes e Sustentabilidade na Agricultura: Uma Abordagem Mínero-Química-Metalúrgica, CETEM, [www.cetem.gov.br] / Publicações / Série Estudos e Documentos no 53.

LAPIDO-LOUREIRO, F.E. (1996): A indústria de fosfatos no Brasil: rumos alternativos para aproveitamento de subprodutos e redução de impactos ambientais. Tema, CETEM.

LOPES, A. Scheid; GUILHERME, L.R.G.; SILVA, C.A.P. da (2003): Vocação da Terra, ANDA, 23 p.

MORAES, A. Ermírio de (2005): Brasil futuro celeiro do mundo, Jornal do Brasil, 03/04/05.

MASON, B.H (1971): Princípios de Geoquímica, Editora da USP / Ed. Polígono.

Mc CLELLAN, G.H. e KAUWENBERG, S.J. (1990): Mineralogy of sedimentary apatites . Phosphorite research and development, Geol. Special Publ., 52, p. 23-31.

MINERAL GALLERY (2004): [http://mineral.galleries.com/minerals /phosphat apatite], acesso em 16/11/04.

OBA, C.A.I. (2004): Fabricação de um fertilizante organo-fosfatado, [www.cetem.gov.br] / Publicações / Série Estudos e Documentos no 62, 2004.

OBA, C.A.I. e CHAVES, A.Pinto (2000): Aproveitamento de materiais fosfáticos marginais para produção de fertilizantes organo-fosfatados, Bol. Técnico EP/USP/Depto. Eng. Minas, 21 p.

PEREIRA, F. (2003): Production d'acide phosphorique par attaque chlorhydrique de minerais phosphatés avec réduction des nuisances environnementales et récupération des terres rares. Tese de doutorado, Universidade Jean Monnet / Escola de Minas de Saint-Étienne - França, 228 p.

PHOSPHORUS & POTASSIUM (1990): no 169, p.28-36.

POTAFOS (2005): [www.ppi.ppic.org], Publicações POTAFOS, Arquivo do Agrônomo no 10 - Nutri-fatos, 24 p. , acesso em 15/04/05.

RESENDE, A.V. de (2005): Micronutrientes na agricultura brasileira: disponibilidade, utilização e perspectivas [www.cetem.gov.br] / Publicações / Série Estudos e Documentos no 64, 2005.

SANTOS, R.L.C. dos & ARAÚJO, R.V.V. de (2005): Fosfertil/Ultrafertil, In: 'Usinas Metalúrgicas de Metais Não-Ferrosos no Brasil', p 57-98, em edição.

SCHORR, M. e LIN, I.J. (1997): Wet process phosphoric acid production, problems and solutions, Industrial Minerals, abril 1997, p. 61-71.

SHREVE, R.N. & BRINK Jr. (1977): J.A Indústrias de Processos Químicos. Editora Guanabara, 710 p.

SOUZA, A.E. de (2001): Fosfato, DNPM, Balanço Mineral Brasileiro, 37p.

VALARELLI, J.V. & GUARDANI, R. (1981): Estudos experimentais para utilização das rochas potássicas de Poços de Caldas como Fertilizantes "Fertilizantes" vol.3, no3.

VALARELLI, J.V. et al. (1993): Ardósias verdetes de Cedro do Abaeté na produção de termofosfato potássico fundido e sua eficiência agronômica, Anais da Ac. Bras. Ciências, v.65.

WAGGAMAN, Wm.H. ed. (1969a): Phosphoric Acid and Phosphate Fertilizers, Hafner Publising Company, 680 p..

WAGGAMAN, Wm.H. (1969b): Other water-soluble phosphatic fertilizers, in: WAGMAN, Wm.H, ed.- Phosphoric Acid and Phosphate Fertilizers, p.345-355

YARA (2004): Yara with strong growth in Brazil, [www;.yara.com], acesso em 11/11/04.

ZAPATA, F. e ROY, R.N. eds.(2004): Use of phosphate rocks for sustainable agriculture, Fertilizer and Plant Nutrition Bull. 13, FAO, 165 p. [www.fao.org], acesso em 11

BRASIL - USO AGRÍCOLA DOS SOLOS DO BRASIL E BALANÇO DE NUTRIENTES

ANDA. ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS. Anuário estatístico do setor de fertilizantes - 2002. São Paulo: ANDA, 2003. 158 p.

BALIGAR, V. C.; DUNCAN, R. R.; FAGERIA, N. K. Soil-plant interaction on nutrient use efficiency in plants: an overview. Em: BALIGAR, V. C. & DUNCAN, R. R. ed. Crops as enhancers of nutrient use. Washington: National Academic Press, 1990. p.351-73.

BARBER, S. A. Soil nutrient bioavailability. New York, NY: Wiley. 1984.

BARBOSA FILHO, M. P. Nutrição e adubação do arroz (sequeiro e irrigado). Piracicaba: Potafos, 1987. 120p. (POTAFOS. Boletim técnico, 9)

BETHLENFALVAY, G.J.; YODER, F. The Glycine-Glomus-Rhizobium symbiosis: I. Phosphorus effect on nitrogen fixation and mycorrhizal infection. Physiologia Plantarum, v.52, p.141-145, 1981.

BOUMA, J.; STOORVOGEL J.; VAN ALPHEN B.J.; BOOLTINK H. W.G. Pedology, Precision Agriculture, and the changing paradigm of agricultural research. Soil Sci. Am. J., Madison, v.63, p.1763-1768, 1999.

BURTON, W. G. The potato. 3.ed. Harlow, Longman Scientific & Technical, 1989.

CASTALES, F.L.G.; MANZATTO, C.V. Aspectos gerais da dinâmica de uso da terra. In: MANZATTO, C.M.; FREITAS JÚNIOR, E.; PERES, J.R.R. Uso agrícola dos solos brasileiros. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 2002. p.31-45.

CASTELANE, P. D.; SOUZA, A. F.; MESQUITA FILHO, M.V. Culturas olerícolas. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C.P. (eds) Micronutrientes na agricultura. Piracicaba, Potafos. 1991. p.549-584.

COELHO, M.R.; SANTOS, H.G.; SILVA, E.F.; AGLIO, M.L.D. O recurso natural solo. In: MANZATTO, C.M.; FREITAS JÚNIOR, E.; PERES, J.R.R. Uso agrícola dos solos brasileiros. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 2002. p.1-12.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa em Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412p.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Mapa de Solos do Brasil. 1:5.000.000. Rio de Janeiro, RJ: SNLCS.. 1981.

FAGERIA, N.K. Maximizing crop yield. New York, Marcel Dekker, 1992. 274p.

FAO. Fertilizer use by crop. 4.ed. Rome: FAO/IFA/IFDC. 1999. 52p

FAO. Guide to efficient plant nutrition management. Rome: FAO. 1998. 19p.

FEBRAPDP. Expansão da área cultivada em plantio direto no brasil: áreas por estado. 2002b. Disponível em: http://www.febrapdp.org.br/pd_area_estados.htm

FEBRAPDP. Expansão da área cultivada em plantio direto. 2002a. Disponível em: http://www.febrapdp.org.br/pd_area_br.htm

GRUHN, P.; GOLETTI, F., YUDELMAN, M. Integrated nurient management, soil fertility, and sustainable agriculture: current issues and future challenges. 2020 Vision for Food, Agriculture, and the Environment. International Food Policy Research Institute - IFPRI. Brief 67. 2000. 2p.

HAAG, H. P.; DECHEN, A. R.; CARMELLO, Q. A. C. Culturas estimulantes. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C.P. (eds) Micronutrientes na agricultura. Piracicaba, Potafos. 1991a. p.501-548.

HAAG, H. P.; DECHEN, A. R.; CARMELLO, Q. A. C. Essências florestais. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. (eds) Micronutrientes na agricultura. Piracicaba, Potafos. 1991b. p.683-734.

HERNANI, L.C.; FREITAS, P.L.; PRUSKI, P.F.; MARIA, I.C.; CASTRO FILHO, C.; LANDERS, J.N. A erosão e seu impacto. In: MANZATTO, C.M.; FREITAS JÚNIOR, E.; PERES, J.R.R. Uso agrícola dos solos brasileiros. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 2002. p.47-60.

HEUVEL, R. M. V. The promise of precision agriculture. Journal of Soil and Water Conservation, v51, p.38-40, 1996.

HIMES, F.L. Nitrogen, sulphur and the sequestering ofcarbon. In: LAL, R.; KIMBLE, J.M.; FOLLET, R.F.; STEWART, B.A. Soil process and carbon cycle. Boca Raton, CRC Press. 1998. P.315-319.

HOITINIK, H.A.; KEENER, H.M. Science and engineering of composting: design, environmental, microbiological and utilization aspects. Washington, Renaissance Publications, 1993.

HUNGRIA, M.; VARGAS, M. A. T.; CAMPO, R. J.; GALERANI, P. R. Adubação nitrogenada na soja? Londrina, PR, Embrapa - Cento Nacional de Pesquisa de Soja. 1997. 4p. (Comunicado Técnico, Embrapa - Cento Nacional de Pesquisa de Soja, 57)

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. BIM: base de informações municipais 4. Incluindo: Produção agrícola municipal 2001; malha municipal digital do Brasil: situação em 2001. Rio de Janeiro, 2003a.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Estatcart: sistema de recuperação de informações georreferenciadas. Versão 2.1. Rio de Janeiro, 2003b.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Indicadores de desenvolvimento sustentável. Rio de Janeiro, 2002.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. 1996. Censo Agropecuário 1995-1996. Rio de Janeiro, IBGE. 1996.

INTERNATIONAL FERTILIZER INDUSTRY ASSOCIATION. World fertilizer use manual. Paris, 1992. 632 p.

ISHERWOOD, K. F. Fertilizer use and the environment. Paris: IFA:UNEP. 1998. 51p.

JOHNSTON, A. E. The efficient use of plant nutrients in agriculture. Paris, IFA, 2000. 14p.

KLUTHCOUSUSKI, J.; STONE, L.F.; AIDAR, H. Integração lavoura-pecuária. Santo Antônio de Goiás, Embrapa Arroz e Feijão. 2003. 570p.

LAL, R.; FOLLET, R. F.; KIMBLE, J. M.; COLE, V. R. Managing U.S. cropland to sequester carbon in soil. J. Soil Water Conservation, v.54, p.374-381, 1999.

LEONARDOS, O. H., THEODORO, S. H., ASSAD, M. L. Remineralization for sustainable agriculture: a tropical perspective from a Brazilian viewpoint. Nutient Cycling in Agroecosystems, v.56, n.1, p.3-9, 2000.

LOPES, A. S. Micronutrientes: filosofias de aplicação e eficiência agronômica. São Paulo: ANDA, 1999. 58p. (Boletim Técnico, 8).

LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. Preservação ambiental e produção de alimentos. São Paulo: ANDA. 1991. 14p.

LOPES, E.S.; SIQUEIRA, J.O. Vesicular-arbuscular mycorrhizas, their potencial in phosphate nutrition in tropical regions. In: RUSSELL, R.S.; IGUE, K.; MEHTA, Y.R., ed. The soil/root system in relation to Brazilian agricultures. Londrina: IAPAR, 1981. p.225-242.

MACHADO, P. L. O. A.; FREITAS, P. L. No-till farming in Brazil and its impact on food security and environmental quality. In: LAL, R.; HOBBS, P. R.; UPHOFF, N.; HANSEN, D. O. (Ed.). Sustainable agriculture and the international rice-wheat system. New York: Marcell Dekker, 2004. p. 291-310.

MACHADO, P. L. O. A.; SILVA, C. A. Soil management under no tillage systems in the tropics with special reference to Brazil. Nutrient Cycling in Agroecosystems, v.61, p.119-130, 2001.

MACHADO, P.L.O.A.; BERNARDI, A.C.C.; SILVA, C.A. Agricultura de precisão para o manejo da fertilidade do solo em sistema plantio direto. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004. 209p.

MALAVOLTA, E. Fertilizantes, corretivos e produtividade - mitos e fatos. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 20., 1992, Piracicaba. Anais... SBCS, 1992 p.89-153.

MALAVOLTA, E. Nutrição mineral e calagem para o cafeeiro. In: RENA, A. B.; MALAVOLTA, E.; ROCHA, M.; YAMADA, T. (eds) Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba, Potafos. 1986. p.165-274.

MALAVOLTA, E.; VIOLANTE NETO, A. Nutrição mineral, calagem, gessagem e adubação de citros. Piracicaba, Potafos. 1989.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas - princípios e aplicações. 2 ed. Piracicaba, Potafos. 1997. 319p.

MANZATTO, C.M.; RAMALHO FILHO, A.; COSTA, T.C.C.; SANTOS, M.L.M.; COELHO, M.R.; SILVA, E.F.;

OLIVEIRA, R.P. Potencial de uso e uso atual das terras. In: MANZATTO, C.M.; FREITAS JÚNIOR, E.; PERES, J.R.R. Uso agrícola dos solos brasileiros. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 2002. p.13-30.

MARASCHIN, G. E. Relembrando o passado, entendendo o presente e planejando o futuro - uma herança em forrageiras e um legado em pastagem. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA. 37.. Anais... 2000. Disponível: SBZ site. HYPERLINK URL:http://www.sbz.org.br Consultado em 08 mar 2002.

MASCARENHAS, H. A. A.; TANAKA, R. T.; WUTKE, E. B.; BRAGA, N. R.; MIRANDA, M. A. C. Potássio para a soja. Informações Agronômicas, Piracicaba, n. 105, p. 1-2, 2004.

MERGEN, F. Agroforestry - an overview and recommendations for possible improvements. Tropical Agriculture, v.63, n.1, p.6-9, 1986.

MONTEIRO, F.A., WERNER, J.C. Reciclagem de nutrientes em pastagens. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGENS. 11.. Anais... Piracicaba, SP. Piracicaba, SP: FEALQ. 1994. 325p.

MUZILLI, O. Influencia do sistema de plantio direto, comparado ao convencional, sobre a fertilidade da camada arável do solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.7, p.95-102, 1983.

NAKAGAWA, J. Fruteiras. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C.P. (eds) Micronutrientes na agricultura. Piracicaba, Potafos. 1991. p.585-623.

NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa -UFV, Departamento de Solos - DPS, 1999. 399p.

OLIVEIRA, I. P.; THUNG, M. D. T. Nutrição mineral. In: ZIMMERMANN, J. J. O.; ROCHA, M.; YAMADA, T. (eds). Cultura do feijoeiro: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba, Potafos. 1988. p.175-212.

OLIVEIRA, R.P.; MACHADO, P.L.O.A.; BERNARDI, A.C.C.; NAUMOV, A. Considerações sobre o uso do solo e a regionalização do balanço de potássio na agricultura brasileira. In: YAMADA, T.; ROBERTS, T.L.. Potássio na agricultura brasileira. Piracicaba, POTAFÓS. 2005. p. 119-164.

RAIJ, B. VAN, CANTARELLA, H., QUAGGIO, J.A., FURLANI, A.M.C. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. Boletim Técnico N(100. 2ª edição. - Campinas, SP: IAC. 1997. 285p.

RAIJ, B. VAN. Gesso agrícola na melhoria do ambiente radicular no subsolo. São Paulo: ANDA. 1988. 88p.

RAMALHO FILHO, A.; PEREIRA, L.C. Aptidão agrícola das terras do Brasil: potencial de terras e análise dos principais métodos de avaliação. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999, 39p. (Embrapa Solos. Documentos, 1)

RESEK, D. V. S. Manejo de solos e sustentabilidade dos sistemas agrossilvipastoris na região dos Cerrados. Em: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON TROPICAL SAVANNAS, I & SIMPÓSIO SOBRE CERRADOS, VIII. 1996. Brasília, DF. Proceedings/Anais... Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1996. p.81-89.

RIBEIRO, A.C., GUIMARÃES, P.T.G., ALVAREZ V., V.H. (eds.). Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5ª aproximação. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. 1999. 359p.

SANCHEZ, P. A. Changing tropical soil fertility paradigms: from Brazil to Africa and back. In: MONIZ, A.C.; FURLANI, A.M.C.; SCHAEFFERT, R.E.; FAGERIA, N.K.; ROSOLEM, C.A.; CANTARELLA, H. (eds.) Plant-soil interactions at low pH. Campinas, SP, Viçosa, MG: Brazilian Soil Sci. Soc. 1997. P.19-28.

SANCHEZ, P. A.; PALM, C. A.; SMYTH, T. J. Approaches to mitigate tropical deflorestation by sustainable soil management practices. In: SCHARPENSEEL, H.W.; SCHOMAKER, M.; AYOUB, A. Soils on a warmer earth. Amsterdan: Elsevier, 1990. p.211-220.

SANCHEZ, P. A.; SALINAS, J. G. Low-input technology for managing Oxisols and Ultisols in tropical America. Advances in Agronomy, New York, v.34, p.280-407, 1981.

SANTOS, T. C. C.; CÂMARA, J. B. D. (org.). GEO BRASIL 2002: perspectivas do Meio Ambiente no Brasil. Brasília: Edições IBAMA, 2002. 440p.

SATURNINO, H.M., LANDERS, J.N. The Environment and Zero-Tillage. Brasília: APDC, 2002. 144 p.

SCHROEDER, P. Agroforestry systems: integrated land use to store and conserve carbon. Climate Research, v.3, n.1, p.53-60, 1993.

SIMS, J. T. Soil fertility evolution. In: SUMNER, M. e. (ed.) Handbook of soil science. Boca Raton: CRC Press. 2000. p.D113-D153.

STEWART, M. Balanced fertilization and the environment. Disponível: Potafos site. HYPERLINK URL:http://www.potafos.org/ppiweb/ppibase.nsf Consultado em 26 fev. 2002.

VARGAS, M.A.T.; SUHET, A.R. Adubação nitrogenada, inoculação e épocas de calagem para a soja em solo sob Cerrado. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.17, n.8, p.1127-1132, 1982.

WIETHÖLTER, S. Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto: experiência nos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. In: REUNIAO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRICAO DE PLANTAS, 25.; REUNIAO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 8.; SIMPOSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 6.; REUNIAO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 3., 2000. Santa Maria, RS. Fertbio 2000: biodinâmica do solo. Santa Maria, RS: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Microbiologia, 2000. 35 p.; 1 cd rom.

WIETHÖLTER, S.; BEM, J.R.; KOCHHANN, R.A.; PÖTTKER, D. Fósforo e potássio no sistema plantio direto. In: NUERNBERG, N.J. (ed.) Conceitos e fundamentos do sistema plantio direto. Lages, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1998. p.27-52.

YAMADA, T., LOPES, A.S. Balanço de nutrientes na agricultura brasileira. In: SIQUEIRA, J.O., MOREIRA, F.M.S., LOPES, A.S., GUILHERME, L.R.G., FAQUIN, V., FURTINI NETO, A.E., CARVALHO, J.G. (eds.) Inter-Relação Fertilidade, Biologia do Solo e Nutrição de Plantas. Viçosa, MG: SBCS:UFLA/DCS. 1999. p.143-161

COLOMBIA

FAO. Anuario de Fertilizantes. Vol. 52, Año 2002. Roma, 2003.

INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGÍA Y MINERÍA. INGEOMINAS. Recursos Minerales de Colombia. Tomo II. Minerales Preciosos, Rocas y Minerales no Metálicos y Recursos Energéticos. Bogotá, Colombia. 2ª Edición 1987. pp. 565-1119.

INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO ICA. Comercialización de Fertilizantes. Años 1992-2002. Boletín Técnico. Produmedios, Bogotá.

CHILE

APPLETON J D Y NOTHOLT A J G, 2002 Local phosphate resources for sustainable development in Central and South America Chile: 41-42 British Geological Survey , Nottingham, UK

BESOAÍN E. 1999 a. Recursos fosfóricos de Chile. En:

BESOAÍN E., ROJAS- W. Y MONTENEGRO A. (EDS). Las rocas fosfóricas y sus posibilidades de uso agrícola en Chile (INIA), Chile: 58-62.

BESOAÍN E., ET AL. 1996b. Caracterización mineralógica y química de rocas fosfóricas chilenas. En: Besoaín E., Rojas- W. C., y Montenegro A. (eds). Las rocas fosfóricas y sus posibilidades de uso agrícola en Chile (INIA-Chile: 107-120).

BESOAÍN E., ET AL. 1999c. Caracterización mineralógica y química de rocas fosfóricas chilenas. En: Besoaín E., Rojas- W. C., y Montenegro A. (eds). Las rocas fosfóricas y sus posibilidades de uso agrícola INIA-Chile. P: 107-120.

BESOAÍN Y OTROS. 1999d. Discusión y conclusiones. En: Besoaín E., Rojas -W. C., y Montenegro A. (ed). Las rocas fosfóricas y sus posibilidades de uso agrícola. INIA-Chile p: 311-328.

CAMPILLO R. 1999. Evaluación agronómica de rocas fosfóricas sobre suelos de praderas naturalizada de la IX Región. En: Besoaín E., Rojas -W. C., y Montenegro A. (eds). Las rocas fosfóricas y sus posibilidades de uso agrícola. INIA-Chile p: 283-298.

CHIEN, S. H. 1977b. Themodynamic considerations on the solubility of phosphate rock. Soil Sci. 123: 117-121.

FAO 2004. Use of phosphate Rocks for Sustainable Agriculture. FAO Fertilizer and Plant Nutrition. Bulletin 13 Joint FAO/IAEA División of Nuclear Techniques in Food and Agriculture and the Land and Water Development Division (AGL), FAO, Rome.

GUARACHI. L. P. 1989. Diagnóstico de la minería no metálica en Chile. INTEC-CORFO 2º Ed. 503p.

LEHR, 1967. Variation in composition of phosphate ores and related reactivity. Proceeding of the 7th annual meeting: Fertilizer Industry Round Table: Washington, D.C. p: 61-67.

LEÓN A. 1999. Empleo de las rocas fosfóricas en Iberoamérica. En: Besoaín E., Rojas- W. C y Montenegro A. (eds). Las rocas fosfóricas y sus posibilidades de uso agrícola. INIA-Chile: 63-84.

MARTINEZ PARDO, R, 1978. Hallazgo del Mioceno marino en la Península de Mejillones, Antofagasta, Chile, 2

Congreso Argentino de Paleontología y Bioestratigrafía y i congreso latinoamericano de Paleontología

MC CLELLAN Y GREMILLION. L. R. 1980. Evaluation of phosphatic row materials. In: F.E. Khasawneh et. al. (ed.) The role of phosphorus in agriculture. ASA, CSSA R SSSA Madison, Wisc., USA p: 43-80.

MONTENEGRO A., Y OTROS. 1992. evaluación agronómica de rocas fosfóricas en el cultivo de trigo en suelos volcánicos de la IX Región. En: Rojas -W. C. (ed) Seminario Nacional sobre uso de rocas fosfóricas en agricultura INIA-Chile, Temuco. Serie Carillanca Nº 29: 283-317p.

MONTENEGRO Y OTROS. 1999. Aplicación directa de rocas fosfóricas y mezclas de rocas con fertilizantes fosfatados solubles en el cultivo del raps, en Andisoles de la IX Región. En: Las rocas fosfóricas y sus posibilidades de uso agrícola. INIA-Chile p: 255-270.

NOTHOLT, A.J.G., 1999. Phosphate: a world monograph (A compilation of unfinished papers). British Geological Survey.

ORTEGA R., Y ROJAS -W. C. 1999. Evaluación agronómica del efecto de fuentes fosforadas en arroz inundado, en suelos de la VIII Región. En: Las rocas fosfóricas y sus posibilidades de uso agrícola. INIA-Chile p: 247-254.

OSSES L. 1986. Exploración geológica de rocas fosfóricas sedimentarias (fosforitas) en Chile. CORFO, Santiago, Chile. Informe Reservado. 18p.

ROJAS W. C., Y BESOAÍN E. 1991. Estudio agronómico de rocas fosfóricas chilenas. Revista Fac. Agron. (Maracay-Venezuela) 17: 111-123.

SALAS, O.R., 1985. Depositos fosfaticos de Chile. In: V. Ricaldi and S.J. Escalera (Editors), Los depositos fosfaticos de Sud America. Asoc. Geocienc. Desarrollo Int., Cochabamba, Bolivia, pp. 129-156.

VALDEBENITO E. M., Y GUTIÉRREZ, A. 1979. Exploración de fosforitas en la península de Mejillones. II Congreso Geológico chileno. Arica, Chile, 6 al 11 de Agosto 1979 p: C307-C328.

VALDEBENITO, E, 1989. Phosphatic deposits of Caleta Herradura Formation, Mejillones Península Chile. En: Notholt, J., R. Sheldon y D. Davidson (Eds.), Phosphate rocks resources, 2(20) :121-123. Cambridge.

ECUADOR

GONZÁLEZ ARTIEDA, A.; F. MALDONADO PAREDES Y L. MEJÍA VALLEJO. 1986. Mapa general de suelos del Ecuador. Sociedad Ecuatoriana de la Ciencia del Suelos. Quito Ecuador. Agosto 1986.

APPLETON J. D. Y NOTHOLT, A.J.G., 2002. Local phosphate resources for sustainable development in Central and South America. British Geological Survey Report, CR/02/122/N. 96pp.

CÓRDOVA, J., 1991. Rocas fosfatada Napo como fuente de fosforo para cultivos de zonas altas del Ecuador. Revista de la Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela (Maracay), 17(1-4): 181-195.

ENCALADA, M., 2005. http://www.iacd.oas.org/Interamer/Interamerhtml/Edwardshtml/ Edw_Encal.htm

ESPINOSA, J.; F. VALVERDE; Y J. CÓRDOVA; R. VERA. 1988. Evaluación agronómica de fertilizantes fosfotados en zonas altas del Ecuador. Documento de Trabajo No. 46. Alternativas sobre el uso como fertilizante de fosfatos nativos en América Tropical y Subtropical. CIAT. Cali-Colombia. Memorias.

FAO, IFA y IFDC, 1999. Utilización de fertilizantes por cultivo. Cuarta Edición. 52 pag FAO Roma.

GRUPO DE ASESORES ALEMANES. 1975: Reporte Final de Asesoramiento en el sector petrolero, Quito, Ecuador.

HAMMOND, L.; S. CHIEN Y MAKWANYE. V, 1986. Agronomic value of unacidulated and partially acidulated phosphate rocks indigenous to the tropics. Advances in Agronomy 40:89-140.

KONING, G.H.J., VAN DE KOP P.J. Y FRESCO,. L.O. 1997. Estimates of sub-national nutrient balances as sustainability indicators for agro-ecosystems in Ecuador. Agriculture Ecosystems & Environment 65 :127-139.

MEJÍA VALLEJO, L. 1997. Suelos del Ecuador. Reconocimiento general en base a su capacidad - Fertilidad y Mapa general de clasificación por capacidad - fertilidad. Una interpretaron básica sobre la características de los suelos del Ecuador. Fundación Forestal.

NOTHOLT, A.J.G., 1999. Phosphate: a world monograph (Compilación incompleta). British Geological Survey.

TORREZ, B.L., 1984. La exploración de fosfato en el Ecuador. En Ricaldi, Victor y Saul Escalera (Editores). La roca fosfórica; fertilizante directo de bajo costo. Tomo I. Resultados de investigaciones geológicas, minería metalúrgicas y de aplicación agrícola presentados en la 1º Conferencia latinoamericana de roca fosfórica. Grupo Latinoam.

Invest. Roca Fosfórica, Cochabamba, Bolivia, pp. 53-60.

VERA, R, 1980: "La Fosforita Uranífera, Río Chingual, Provincia del Napo" Revista Politécnica, Monografía de Geología, Escuela Politécnica Nacional, Quito - Ecuador-

WILKINSON, A.F. Fosfato en el Ecuador, usa Investigación Preliminar" D.G.G.M.,Quito - Ecuador. (inédito)

ZAMBRANO ORTIZ, F:, 1976 Composición de las Fosforitas Marinas del Área la Azufrada Santander"; Primer Congreso Colombiano de Geología, Pag. 325-346, Bogotá, Colombia,

ZAPATA, E. y Roy. R.N., 2004. Use of phosphate rocks for sustainable agriculture. FAO Fertilizer and plant nutrition Bulletin nº 13. FAO, Roma.

MÉXICO

ANÓNIMO. 2002. Panorama de materias primas e intermedios para fertilizantes en México. Fertilizantes América Latina. Vol. 7(1): 21-27.

ANÓNIMO. 2004. High Tec Ag in Mexico: A booming Horticulture market calls for more High Tech Ag inputs. New Ag International. December:44-63. Corresponde a fosfatos?

APPLETON, J.D. Y NOTHOLT. A.J.G. 2002. Local phosphate resources for sustainable development in Central and South America. British Geological Survey Report, CR/02/122/N. 96 pp.

ARAIZA M., S. 2004. La industria y el mercado de fertilizantes en México a diez años de la privatización y globalización. XV Conferencia Fertilizantes América Latina. San José, Costa Rica.

BOY O., V.M. 1978. Evaluación de laboratorio de las rocas fosfóricas de Rofomex, S.A. y otras de consumo nacional, para aplicación directa al suelo. FERTIMEX. Gerencia de Planeación, Subgerencia de Investigación, Departamento de Experimentación. Documento A523/78/57. México, D.F.

CERVANTES S., J.J. 1987. Nuevos desarrollos de roca fosfórica en México. Congreso Internacional de Fertilizantes ADIFAL. México, D.F.

DIRECCIÓN GENERAL DE AGROLOGÍA. 1973. Unidades de suelos de la República Mexicana de acuerdo al sistema FAO-UNESCO. Tercer intento. S.A.R.H.

LEHR, J.R. Y G.H. MCCLELLAN, 1972. A revised laboratory reactivity scale for evaluating phosphate rocks for direct application. Tennesse Valley Authority Bulleltin Y-43.

MENDOZA R., J. 1980. Evaluación agronómica de la roca fosfórica San Hilario, Baja California, en aplicación directa y su efecto residual con cultivo de maíz en algunos suelos de reacción ácida de Jalisco y Veracruz. Tesis de Licenciatura Universidad Autónoma Chapingo, México.

Páginas Web de consulta sobre minerales en México:

www.economia.gob.mx/min. Secretaría de Economía.

www.coremisgm.gob.mx. Servicio Geológico Mexicano (antes Consejo de Recursos Minerales).

PARAGUAY

APPLETON J D Y NOTHOLT A J G, 2002 Local phosphate resources for sustainable development in Central and South America Paraguay: 16-25 British Geological Survey , Nottingham, UK

NOTHOLT, A.J.G., 1994. Phosphate rock in developing countries; a review of geology, resources and development. In: S.J. Mathers and A.J.G. Notholt (Editors), Industrial minerals in developing countries. Geosciences in International Development Report. Association of Geoscientists for International Development, pp. 193-222.

www.mopc.gov.py/vmme/archivos varios/MINERIA/PARAGUAY_mineria.pdf

FAO-IFDC-IFA, 1999. Fertilizer use by crops.

COOPERACIÓN TÉCNICA PARAGUAYO ALEMANA, 2005. Proyecto Sistema Ambiental de la Región Oriental (SARO). Inventario y evaluación de los recursos naturales de la Región Oriental del Paraguay. Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). Secretaría del Ambiente (SEAM). Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ). Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR).

PERÚ

ALEGRE, J.C. Y CHUMBIMUNE, R. (1991). Investigaciones y usos de la Roca Fosfórica en el Perú. Revista de la Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela (Maracay), 17 (1 - 4) 217 - 237.

APPLETON, J.D. Y NOTHOLT, A.J.G. (2002). Local phosphate resources for sustainaible development in Central and South America. British Geological Survey Report, CR/02/122/N. 96 págs.

BESOAÍN, M., LEÓN A, LUIS, CHIEN, SEN H., VAN KAUWENBERGH, STEVEN J. Y AMBERGER, 1999: Las Rocas Fosfóricas. En: INIA, Las rocas fosfóricas y sus posibilidades de uso agrícola en Chile. Editores, Eduardo Besoaín, Carlos Rojas W. y Adolfo Montenegro, Santiago de Chile pp. 41-100.

BESOAÍN, E., MONTENEGRO, A. Y ROJAS, C. (1999): Discusión y Conclusiones. En: INIA, Las rocas fosfóricas y sus posibilidades de uso agrícola en Chile. Editores, Eduardo Besoaín, Carlos Rojas W. Y Adolfo Montenegro, Santiago de Chile pp. 312-328.

CHIEN, S. H. Y HAMMOND L.L (1978) A comparison of various laboratory methods for predicting the agronomic potential of phosphate rock for direct aplication. Soil Science Society American Journal, 42, 1758-1760.

EMPRESA MINERA REGIONAL GRAU BAYÓVAR S.A. (2005). 20/03/2005. http://www.minerabayovar.com.pe

FAO. (2004). Use of Phosphate Rocks for Sustainable Agriculture, by F. Zapata and R.N. Roy, eds. FAO Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin No. 13. Rome 148. pags.

FASSBENDER, H. (1967). Los fosfatos naturales de Sechura - Perú. Turrialba 17(2): 259-264. Costa Rica.

INIA. (2002). Recurso Agrícola. 10/02/2005.

http://www.portalagrario.gob.pe/rrnn-agri.shtml

INSTITUTO GEOLÓGICO MINERO Y METALÚRGICO. 1982. Inventario Nacional de Sustancias no metálicas. Tomo 3. Relación de yacimientos de no metálicos. Dirección General de Geología. Lima, Perú.

KHASAWNEH, F.E. Y DOLL, E.C. 1978. The use of phosphate rock for direct application to soils. Advances in Agronomy 30: 159 - 206.

LÓPEZ, RUTH. 1986. Investigación Agrícola sobre Roca Fosfórica en el Perú. Misión Universidad Estatal de Carolina del Norte - Instituto Nacional de Investigación y Promoción Agropecuaria. Lima.

MINERO PERÚ. 1987. El Proyecto Bayóvar y su relación con el uso directo de la Roca Fosfórica. Gerencia Central de Proyectos. Lima, Perú.

Palacios P., Vicente. 1975. Evaluación de la Roca Fosfática Bayóvar. Proyecto Bayóvar. Minero Perú. Lima, Perú.

PERU. Compendio Estadístico 2004 (2005a). Minería. 12/03/2005.

http://www.cnd.gob.pe/inei/CAP13/CAP13.PDF

PERU. Compendio Estadístico 2004 (2005b). Fertilizantes. 12/03/2005.

http://www.cnd.gob.pe/inei/CAP11/CAP11.PDF

URUGUAY

ANUARIO ESTADÍSTICO AGROPECUARIO 2004. MGAP-DIEA. www.mgap.gub.uy/Diea/Anuario

ANUARIO ESTADÍSTICO AGROPECUARIO 2003. MGAP-DIEA. www.mgap.gub.uy/Diea/Anuario

APPLETON, J. D. & NOTHOLT, A. J. G. 2002. Local Phosphate Resources for Sustainable Development in Central and South America - Uruguay, 53. British Geological Survey , Nottingham, UK. -

BORDOLI, J.M. 1998. Fertilización de pasturas de leguminosas y mezclas de graméneas y leguminosas. In: Manejo de la Fertilidad de Suelos en Sistemas Extensivos (Cultivos y Pasturas). Est. Exp. Bañado de Medina, Cerro Largo. Pp 71-79.

BOSSI Y NAVARRO 1991. Geología del Uruguay. Departamento de Publicaciones de la Universidad de la República. Tomo II.

CAPUTI, PABLO. 2005. Evolución del Sector Agropecuario Uruguayo 1984-2004: balance y perspectivas. www.IICAorg.uy/online/coyuntura_16doc.asp

CASANOVA, O. 1998.

CENSO GENERAL AGROPECUARIO 2000. MGAP-DIEA. www.mgap.gub.uy/Diea/Censo 2000

DEPTO. DE FERTILIZANTES (División Suelos y Aguas- DGRNR-MGAP). Gestiones de importación- Período 01/01/04 al 31/12/04. Fertilizantes y Materias primas. Informe de los Ing. Agr. Jorge Casal y Krikor Kouyoumdjian; 6/09/05.

Capítulo IV

Potasio

Coordinadores: Ricardo J. Melgar y Liliana N. Castro

Potasio

Ricardo J. Melgar[1] y Liliana N. Castro[2] (Ex aequo)

Introducción

El potasio es esencial para el crecimiento vegetal; las cantidades de potasio absorbidas por los cultivos son casi tan grandes como las del nitrógeno y en algunos cultivos mucho mayor como la soja o el banano. Las plantas absorben el potasio como ión y su función es en la mayoría de los procesos vitales de la planta. Su rol en la planta es múltiple: Es el catión más importante, no solo respecto a su alto contenido en los frutos, sino también respecto a sus funciones bioquímicas y fisiológicas tales como: a) Activación de enzimas; b) Crecimiento y división celular en tejidos jóvenes; c) Síntesis de carbohidratos, proteínas y aceites; d) Transporte de azúcares a través del floema usando ATPase como fuente de energía; e) Uso del agua: la absorción de agua por las raíces y regulación de la transpiración; f) Mayor tolerancia a condiciones estresantes debido a la sequía, salinidad, heladas y enfermedades, y g) Regulador de los balances iónicos en la planta (Mengel y Kirkby,1987).

Su efecto se conoce desde hace tiempo, y es uno de los nutrientes más importantes junto con el nitrógeno y el fósforo. La fertilización potásica comenzó en el siglo XIX cuando Justus v. Liebig descubrió que las plantas necesitaban en diferentes proporciones y cantidades, nutrientes tales como el nitrógeno, fósforo y potasio, para crear biomasa. La deficiencia de potasio es reconocida como un importante factor limitante de la producción de cultivos.

En general la fertilización con potasio es muchas veces desatendida por el impacto indirecto del K en los rendimientos, y por el hecho que los cultivos pueden producirse dentro de un amplio rango de disponibilidad de K en el suelo a diferencia de los otros dos nutrientes N y P. Eso lleva en muchos escenarios a bajas aplicaciones de potasio en un contexto de fertilización desbalanceada, lo que conduce a una disminución de las reservas de los suelos, pérdidas de rendimiento y mayor riesgo económico para los productores agrícolas. A nivel mundial, el desbalance en favor del N ha ido creciendo en el mediano plazo, en particular en países en desarrollo.

La mayor parte del potasio (95%) explotado en el mundo como recurso mineral se utiliza como fertilizante en agricultura, ya sea directamente como potasio o mezclada con los otros nutrientes esenciales, como nitrógeno y el fósforo. En los últimos 40 años el consumo ha crecido 2,5 veces traccionado por la mayor y creciente producción mundial de alimentos. Entre 1960 y 2000, el uso mundial de fertilizantes potásicos aumentó desde 9 a 22 millones de t de K_2O, a pesar de la significativa caída del consumo en los países de la ex URSS y Europa Central desde 1990. Los fertilizantes potásicos comprenden el 16 % del total comparado con el 28 % de 1960, y si bien crece sin pausa desde 1993, el consumo es aun lejos del record de 28 millones de 1988.

[1] *INTA . Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Pergamino. rmelgar@pergamino.inta.gov.ar*
[2] *Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Argentina lilianacastro@fibertel.com.ar*

Al igual que la industria de los fosfatos, existe una alta integración vertical entre los productores de potásicos y las fabricas de fertilizantes, y como el resto de los actores económicos del mundo, no ha sido inmune a los procesos de consolidación y fusión característicos de la globalización. Es una industria altamente cartelizada, adonde la producción es controlada de manera que los precios son bastante regulares en el largo plazo. Siete empresas producen el 95 % del mercado mundial y controlan la producción y el precio[1].

En Latinoamérica se destaca Brasil como el gran consumidor y productor de fertilizantes potásicos. Es el tercer mercado mundial y tercer importador, con el 12 % de las importaciones, después de EEUU (23% del total de importaciones), y China con el 15 %. En 2002, ese volumen equivalió a 4.15 millones de t. Su producción es más bien modesta en relación a las empresas mencionadas arriba, que satisface alrededor del 10 % de sus necesidades nacionales. Chile, es el otro gran productor latinoamericano de potasio, además de cloruro de potasio, es el primer productor y exportador de nitrato de potasio, que lo fabrica a partir de sus reservas de nitrato de sodio natural (Caliche).

Geología

La principal fuente de potasio se extrae a partir de las evaporitas. Las evaporitas son rocas sedimentarias de origen químico, formadas por precipitación química directa de los componentes minerales. Suelen formarse a partir del agua de mar, si bien también existen evaporitas continentales, formadas en lagos salados, o en regiones desérticas que se inundan esporádicamente. Existen en el mundo más de cien depósitos de potasio susceptibles de explotación y otros cien como salmueras de potasio (UNIDO, 1998).

Se originan, por tanto, como consecuencia de la evaporación de aguas conteniendo abundantes sales en disolución. Al alcanzarse, por evaporación, el nivel de saturación en las sales correspondientes, se produce la precipitación del mineral que forma ese compuesto. A menudo se producen precipitaciones sucesivas: en un primer momento precipitan las sales menos solubles, y cuando aumenta la evaporación van precipitando las más solubles. El término evaporitas incluye todas las rocas sedimentarias formadas por evaporación de las aguas ricas en sales. Son muy comunes en el registro geológico, desde el Precámbrico temprano. Principalmente aparecen en el Cámbrico, Pérmico, Jurásico y Mioceno. Acumulaciones menores aparecen en el Silúrico, Devónico, Triásico y Eoceno. Aunque las evaporitas constituyen algo menos que el 2% de los sedimentos depositados en las plataformas mundiales dentro del Fanerozoico, éstas se forman muy rápidamente. Cerca de 100 m de evaporitas se pueden formar en 1000 años. Cuando las condiciones son propicias, esta tasa es de dos a tres órdenes de magnitud mayores que cualquier otro depósito de plataforma.

Las evaporitas se forman hoy en muchos lugares donde la tasa de evaporación es mayor que el aporte de agua. Aunque la depositación de evaporitas es más común en clima cálido, en la actualidad se están formando en la Antártida y el Ártico, más allá que la sedimentación es más lenta en regiones frías que en cálidas. También en ambientes no marinos es más lenta que en

[1] *Agrium (Canadá, 33%); International Potash Company, IPC y Uralkali (Rusia, 16%); JSK Silvinit (Bielorrusia, 14 %); Kali Und Salz (Alemania, 13 %), ICL (Israel y otros países, 11 %); Arab Potash Company, APC (Jordania, 4 %), EEUU (Mosaic y otras, 3%).*

marinos debido al grado de dilución.

Existen dos tipos marinas y lacustres (Cuadro IV-1) Las marinas pueden tener mayor extensión, las lacustres son en general más interesantes económicamente.

Las evaporitas se han explotado durante los últimos 6000 años. La halita, yeso, la silvita son utilizadas por varias industrias entre ellas la de fertilizantes.

❑ **Evaporitas marinas**	**Evaporitas lacustres**
• Precipitan a partir del agua de mar. • Constituyen el 3% de las rocas sedimentarias • En zona de rift o cerca de márgenes continentales, esto implica a) Agua de mar entrando en cuencas restringidas; b) Separación del área marina por barras y barreras costeras c) Formación de lagos y laggons costeros • En zonas áridas • En clima cálido con limitada recarga, comparado con la evaporación • Composición es casi constante. • Salinidad del mar promedio es de 35 partes por mil • 12 son los elementos presentes • Constituyen la mayor fuente de sales : halita, yeso, anhidrita y silvita Asociados a los diversos ciclos evaporiticos Mesozoicos, se encuentran los depósitos de **baritina** (SO_4Ba), **celestina** (SO_4Sr), **yeso** (SO_4Ca_2. H_2O), y **halita** (ClH), **silvita** (Cl K).	• Más diversas en composición, incluyen además ➢ **trona** (sulfato ácido de Na dihidratado), ➢ mirabilita sulfato de Na (decahidratado) ➢ glauberita (sulfato de Na y Ca) ➢ **boráx** (borato de Na.$8H_2O$) ➢ **epsomita** (sulfato de Mg $7H_2O$) ➢ **thenardita** (sulfato de Na). ➢ También contiene **anhidrita, yeso y halita.** • Concentran residuos de agua que son volcánicas en origen y agua de lluvia • Cuencas pandas, clima árido con sistemática evaporaci ón de aguas de superficie. • Fallas de bloques extensional • Bajos topográficos en zonas desérticas
Ambas En general tienen disposición mantiforme y se asocian a diferentes y definidos horizontes estratificados marcando distintos y definidos horizontes estratigráficos, marcando distintos momentos de la evolución de la Cuenca	

Cuadro IV-1: Comparativo de las características de evaporitas marinas y lacustres.

El sodio y el potasio son los principales componentes del agua de mar. Con moderada evaporación precipitan, halita, epsomita y potasio como sales dobles. En algún punto de desarrollo del depósito se pueden transformar tanto en kainita-epsomita-halita o más frecuentemente en carnalita-kieserita- halita, dependiendo del grado de evaporación. No existe ninguna circunstancia por la cual la silvita precipite directamente del agua de mar. En general, se observa que luego de la formación de evaporitas dentro de salmueras poco saturadas, la carnalita se convierte en silvinita y la kieserita es disuelta, esta hipótesis de disolución aún es controvertida.

Mineralogía

El potasio (K) está presente en la red cristalina de numerosos minerales en la mayoría de los tipos de roca conjuntamente con otros elementos, principalmente aluminio y el silicio. Se encuentra como mineral primario tales como feldespato potásico (ortosa) y micas (moscovita y biotita). Las mica son resistentes a la meteorización, en cambio, bajo determinadas condiciones la ortosa se descompone y el potasio entra la solución.

Desde el punto de vista económico son importantes los sulfatos y cloruros de potasio, ya que su grado de disolución es mayor. Muchas veces parte del potasio en solución migra de la fuente y alcanza el mar o bien se deposita en cuencas interiores. El cuadro IV-2 detalla los principales cloruros y sulfatos de potasio presentes en evaporitas. Los horizontes con silvita y halita reciben el nombre de silvinita.

Mineral	Formula	Tenores equivalentes (%)			
		K	KCl	K_2O	K_2SO_4
Silvita	KCl	52,44	100,00	63,17	---
Carnalita	$KCl.MgCl_2.H_2O$	14,07	26,83	16,95	---
Silvinita	KCl + NaCl	---	---	10–35	---
Kainita	$4\ KCl.4MgSO_4.H_2O$	15,71	29,94	19,26	---
Arcanita	K_2SO_4	44,88	---	54,06	100,00
Glaserita	$3\ K_2SO_4\ Na_2SO_4$	35,29	---	42,51	78,63
Langbeinita	$K_2SO_4.2Mg\ SO_4$	18,84	---	22,69	41,99
Leonita	$K_2SO_4.\ 2MgSO_4.4H_2O$	21,33	---	25,69	47,52
Polyhalita	$K_2SO_4.MgSO_4.2CaSO_4.\ 2H_2O$	12,97	---	15,62	28,90

Cuadro IV-2: Minerales de potasio presentes en evaporitas y sus tenores equivalentes en peso (%) (Harben y Kuzvart, 1 997 realizada por Lapido-Loureiro et al, 2005)

Como ocurre en la Cuenca de Zechstein (en Países Bajos), en ciertos depósitos se encuentran carnalita pura ($KCl \cdot MgCl \cdot 6H_2O$) o bien con halita. En los yacimientos de Sicilia (Italia) y Etiopia predominan las sales dobles ($KCl \cdot MgSO_4 \cdot 3H_2O$), también en Carsbald, en el área de Nueva Méjico y en los Cárpatos donde aparece langbeinita ($K_2SO_4 \cdot 2MgSO_4$). Ocasionalmente se localizan en ciertos depósitos sales insolubles como polibasita $K_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot CaSO_4 \cdot 2H_2O$.

Dentro de una secuencia evaporítica existe un orden de crsitalización, vinculado a la tasa de evaporación (Figura IV-1).

La potasa es el término que incluye diferentes sales de potasio solubles en agua. Se explota por el método de disolución en yacimientos evaporíticos subterráneos, o en depósitos de salares. Los minerales explotados son cloruro de potasio [KCl o muriato of potasio (MOP)], sulfato de potasio y magnesio [$K_2SO_4 \cdot MgSO_4$ o sulfato de potasio y magnesio (SOPM)], o mezcla de nitrato de sodio y potasio ($NaNO_3$+KNO_3 o Salitre chileno). Los compuestos manufacturados son sulfato de potasio (K_2SO_4,o SOP) y nitrato de potasio (KNO_3 o salitre).

Actualmente se está analizando el uso de otros minerales de potasio con aplicaciones en la industria agrícola. Entre ellos la glauconita [(K, Na) (Fe_3+, Al, Mg?)2(Si, Al)4º10 $(OH)_2$], que a pesar de tener menor ley (4-6% de K_2O) su modo de explotación a cielo abierto reduce costos. Greensands o areniscas verdes es el nombre aplicado comúnmente a una roca o a un sedimento arenoso que contiene un alto porcentaje de la glauconita. En general por las características del

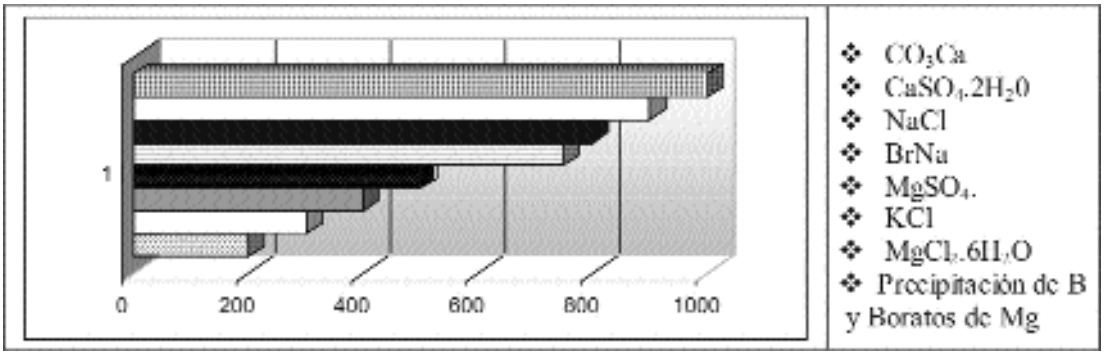


Figura IV-1: Orden de cristalización dentro de una secuencia evaporítica.

ambiente de formación los fosfatos y las glauconitas se encuentran asociadas lo que otorga una ventaja adicional para su uso como fertilizante y acondicionador del suelo. En los comienzos del siglo XX la glauconita fue conocida por sus características químicas del intercambio en las soluciones acuosas, que condujeron a su uso como ablandador de aguas. El uso de glauconita como fertilizante potásico está indicado como sustituto de fertilizantes tradicionales por el American Geological Survey, USA, (http://minerals.usgs.gov/ minerals/pubs/commodity/potash), y ha sido recientemente aplicado, por ejemplo, en Dinamarca e India como fertilizante potásico de aplicación directa y liberación controlada (www.mdi.dk/Agrolite.htm); (www.tifac.org.in/ offer/tlbo/rep/TMS160.htm).

Potencial geológico minero

Los depósitos de potasio varían en tamaño (reservas) y ley (contenido en porcentaje de K_2O). El tipo de explotación depende esencialmente de la profundidad de la mena, del espesor y de la uniformidad de los niveles potásicos, el buzamiento de las capas, la composición del estrato sobreyacente (para formar un techo firme), del peligro para la inyección de agua, de los costos de utilización de acuíferos para bombear agua, de los problemas de contaminación por combustible o sales insolubles, del grado de liberación del KCl-NaCl y de las cantidades de impurezas presentes, entre otros factores. Como es habitual en todos los yacimientos es importante evaluar los costos de explotación y tratamiento, transporte, infraestructura y posicionamiento frente a los mercados.

El potasio está disponible en los depósitos evaporíticos en varios períodos de la escala geológica y se puede recuperar del agua de mar. La silvita (con un 25 % ClK) es la fuente dominante de K. Gran parte del potasio es producido sólo en 13 países y a partir de allí se distribuye a la mayoría de los países del mundo para su utilización principalmente en la industria de los fertilizantes.

Los países productores claves poseen recursos suficientes, por lo que no hay perspectivas de que se vaya a producir escasez de potasio en el mundo. Los principales productores (Canadá, Rusia y Bielorrusia) generan el 65% de la producción mundial. Debido a que la producción global supera en exceso la demanda, en ocasiones, como por ejemplo en los yacimientos de Saskatchewan (Canadá) se trabaja a un 45% o menos de su capacidad.

La mayor reserva del mundo de potasio se encuentra en Canadá en Saskatchewan. Fue descubierta durante una exploración petrolera en 1942, pero recién en 1946 se conoció su potencial económico. Los yacimientos de potasio de Saskatchewan de edad devónica media aparecen en los niveles superiores cerca del tope de la espesa secuencia marina con halita y anhidrita conocidas como Formación Evaporítica Prairie, (Worsley y Fuzey, 1979). Esta formación tiene un espesor local mayor a 500 metros y se profundiza debajo de la planicie de Saskatchewan desde 400 hasta 2750 metros. Yace en discordancia sobre las calizas de la Formación Winnipegosis que restringieron la entrada de agua desde mar abierto. Estas restricciones junto con las condiciones de aridez, causó la concentración de salmueras dentro de la cuenca y dio lugar a la depositación del yeso, seguida por espesos mantos de halita y finalmente silvita y carnalita. La depositación de potasio se restringió a la parte austral de la cuenca. Se distinguen cuatro bancos con sales de potasio en los 60 metros superiores de la Formación Prairie. Cada banco consiste en uno o más niveles interestratificados de silvita, carnalita y halita estéril. Hacia arriba la presencia de arcillas insolubles se hace más conspicua Con características similares a otros depósitos marinos, los minerales insolubles (cuarzo, calcita y dolomita, y menor proporción arcillas tales como illita) .se encuentran en intersticios entre los cristales, en parches o delgadas láminas. La ley de K_2O en Saskatchewan, varía entre 19 a 30 %. (Crosby, 1991, 1995 y Fuzesy, 1982).

El yacimiento de potasio de New Brunswick, fue descubierto a comienzo de la década del 70. Dos depósitos adicionales fueron halladoss como resultado de tareas de prospección geofísica gravimétrica dentro de un programa de perforación petrolera (1972-73). Estos depósitos evaporíticos con silvita aparecen dentro de una secuencia tectónicamente compleja de edad carbónica. Se ubican dentro del Grupo Windsor, integrado por calizas, margas, sulfato de calcio (anhidrita y yeso), halita y sales de cloruro del potasio (incluyendo silvita y carnalita) y finalmente arcillas, constituyendo una facies marina regresiva . transicional a ambiente continental. La ley varía entre 20-30 % de K_2O, (Anderle et al, 1979). De la capacidad de producción canadiense total del fertilizante potásicos de 13.11 Mt de K_2O, New Brunswick aporta 1.43 Mt o sea el 11%.(Unido, 1998).

En el noroeste de Inglaterra el yacimiento Boulby es el único en explotación de edad pérmica superior vinculado a depósito de Zechstein (Smith y Crosby, 1979). Los niveles comerciales se sitúan en el tope Halita Boulby correspondiente al 3° ciclo de Zechstein. En Boulby también se comprueba que las sales de alto contenido de potasio se intercalan entre las secuencias subyacentes y sobrepuestas de estratos sedimentarios marinos y/o continentales. Aparentemente este depósito se caracteriza por dos procesos: a) la migración controlada del mineral de la salmuera y b) por el flujo plástico generado por gravedad. Los niveles de silvinita (KCl + NaCl) tienen un espesor de 1 a 10 m y se extienden lateralmente de 20 a 30 m. La ley media es aproximadamente 26 % del K_2O. Asociada a las silvinitas hay un alto contenido de arcillas y anhidrita y cantidades menores de magnesita, pirita, cuarzo y boratos que puedan exceder 15%.

Los yacimientos de potasio de Zechstein (Pérmico superior) en Alemania han sido explotados desde el siglo XIX. En 1851, la carnalita, comenzó a ser explotada en las minas de Stassfurt, pero en ese momento no se utilizó como fertilizante. Diez años después, Adolph Frank (Schultz et al., 1993) desarrolló un proceso para a producir sal de potasio, a partir de carnalita para su uso como fertilizante. Otras innovaciones tecnológicas y el descubrimiento de nuevas minas le dieron a Alemania la hegemonía en el mercado de fertilizantes potásicos, que perduró hasta 1930

(Nascimento y Lapido-Loureiro, 2004).

La cuenca evaporítica de Zechstein se extiende más allá de Alemania abarcando además Polonia, Dinamarca, Países Bajos, atravesando el Mar del Norte a lo largo de la costa este de Inglaterra. La secuencia de Zechstein fue depositada en cuatro ciclos evaporíticos llamados Z1, Z2, Z3 y Z4, cada uno comienza con una facies clástica (conglomerados de borde de cuenca gradando hacia areniscas, limonitas y pelitas hacia el centro). Sobreyace a las facies clásticas, la secuencia evaporítica comenzado por la facies carbonática (calizas y dolomías), seguidas por sulfatos (anhidrita/yeso) y finalmente la facies de cloruros (Na y K). En contenido promedio varía entre 17 a 18 % de K_2O, inferior al de Canadá y Tailandia. No obstante debido a la proximidad del mercado y a la eficacia de la explotación, los productos pueden competir con éxito. En el área de Hannover, el potasio se explota entre 300 y 900 m de profundidad, con espesores de 2 a 30 metros. Muchas de las colas de halita se utiliza como relleno en la explotación. Los depósitos de Zechstein originaron en una gran bahía del océano escandinavo. Los yacimientos alemanes de potasio son tal vez los más conocidos en el mundo desde el punto de vista geológico y geotécnico lo que permitió diseñar operaciones seguras, eficientes dentro de un marco ambiental sustentable para la explotación minera. (Richter-Bernburg, G., 1972).

En Nueva Méjico, E.E.U.U. en los años 20, fueron descubiertos yacimientos de potasio mientras que exploraba la cuenca por hidrocarburos. La primera mina de potasio fue abierta por la compañía Potash, subsidiaria de Bórax (EEUU) en 1931. En 1934 American Potash Company (PCA) abrió una segunda mina. Los depósitos comerciales de Nueva México de edad pérmica se encuentran dentro del Miembro McNutt de la Formación Salado. Se han definido once niveles con un espesor y mineralogía variable. Los minerales evaporiticos del Distrito de Carlsbad son numerosos e incluyen anhidrita, arcanita, bischofita, bloedita, carnalita, glaserita, glauberita, yeso, halita, hidrofilita, kainita, kierserita, langbeinita, leonita, loeweita, mirabilita, polihalita, schoenita, silvita, singenita, tachihidrita, tenordita, el vantofita, y otros. Las once zonas contienen carnalita, silvita, leonita, kierserita y langbeinita. De ellos la silvita (KCl) y la langbenita ($K_2SO_4.2MgSO_4$) se consideran minerales de mena, (Griswold, G.B., 1982 y Suwanich, P., 1986).

Los yacimientos de Brasil (Serpipe), Congo y Tailandia se pueden agrupar por su mineralogía. Estos depósitos contienen cantidades económicamente explotables de silvinita, carnalita y tachihidrita, con pequeñas cantidades de biscofita ($MgCl_2 \cdot 6\ H_2O$), están ausentes los carbonatos y el yeso, salvo en la parte superior de Serpipe y Congo. Aparentemente estos depósitos serían de origen continental y no marino. La fuente de potasio pudo haber sido la salmuera vinculada a campo geotermales ricos en Ca similares a los de zona de rift del Mar Rojo. (UNIDO, 1998). En el capítulo de potasio Brasil, (Lapido Loureiro et al.) se ampliará esta información.

La presencia de grandes depósitos evaporíticos en Tailandia es conocida desde 1863. Durante 1965, DMR (Department of Mineral Resources) comenzó un proyecto de exploración de aguas subterráneas para consumo humano. En esa oportunidad las perforaciones atravesaron aguas saladas y bancos salinos, lo que permitió su descubrimiento. En 1981, en tres pozos de exploración perforados por el DMR en el área de Udon Thani se encontró mineralización con alta ley de silvita (KCl). Durante 1984 y 1986, el DMR negoció y firmó acuerdos de exploración de potasio con tres compañías. En 1984 la concesión de potasio de Udon Thani que cubría 2333 km^2 fue otorgada a Thai Agrico Potash Co. En 1994 Agrico tailandés cambió su nombre a Asia Pacific

Potash Corporation, Ltd (ASEAN).La mineralización contiene 3.7% de boracita ($MgClB_7O_{13}$) y carnalita. La silvinita aparece en los flancos de los domos salinos o anticlinales. ASEAN ha estado estudiando la factibilidad de producción y procesamiento de la carnalita basada en el sistema de explotación de cámaras y pilares. El total de reservas explotables es de 83.4 Mt de K_2O. La compañía Asia Pacific resources Ltd estimó para la cuenca de Sahkon Nakhon, cerca Udon Trani, una reserva base de 250 Mt de las cuales serían explotables 160 M con una ley de 25%. K_2O (Hite y Japakasetr, 1979).

Existen en el mundo otros depósitos susceptibles de explotación. Entre ellos en la provincia de Neuquén, Argentina (ver Potasio Río Colorado y Proyecto CVRD en la sección Argentina), en la cuenca de Amazona, Brasil (ver en la sección Brasil), el depósito de edad pleistocena de Etiopia, los ubicados en la plataforma siberiana en la ex Unión Soviética, entre otros.

Dentro de las salinas y salares con contenidos de potasio, ampliamente distribuidos en el mundo se citan:

a) Chile: los depósitos de nitratos, que se ubican en el Desierto de Atacama, la región más seca del mundo, contienen principalmente sodio y potasio en sales de nitratos, iodatos, percloratos y cloratos. Las reservas en nitrato de potasio se estiman en 120 Mt de KCl y 80 Mt de K_2SO_4. La mena aparece como caliche y la mayor concentración se encuentra a una profundidad entre 1 y 5 m de espesor. La concentración de sales de potasio varía entre 15 a 44 g/l (UNIDO, 1998). El Salar de Atacama se caracteriza además por contener considerables cantidades de boro y litio, (mayor detalle en la sección Chile).

b) Israel y Jordania: Corresponden al Mar Muerto en el punto más bajo (-396 m) del rift valley que se extiende desde el Mar Rojo hacia el norte. El contenido de sales alcanza a 47×10^9, con un estimado de 1×10^9 de KCl. El proceso de concentración consiste en la cristalización de halita en grandes piletas solares en una primera etapa y luego cristaliza carnalita y halita en otra serie de piletas. La carnalita impura se cosecha y se procesa en planta para producir KCl y otros productos. La salmuera residual es retornada al Mar Muerto. Las operaciones de extracción y concentración en Israel son probablemente los más económicas del mundo.

c) Estados Unidos: Comenzó la producción industrial de sales de potasio durante la Primera Guerra Mundial (1914 - 1918), presionados por la interrupción de las exportaciones de Alemania. Durante una gran variedad de fuentes de potasio fue utilizada incluyendo las salmueras del lago Searles, California, alunita (sulfato de aluminio y potasio) de Utah; salmueras de los lagos de Nebraska; aguas saladas del Great Salt Lake, Utah, polvo de los hornos de cemento; desechos de destilerías y de refinerías de azúcar, sales cosechadas a las orillas de la línea de costa California y de otros materiales de poca importancia. Las salmueras representaron 73 % del potasio producido en esos años.

c.1) Great Salt Lake, Utah: Corresponde a un gran lago salino de longitud máxima de 110 km y un ancho de 50 km y una profundidad entre 8 y 14 m que cubría un área de 2600 km^2 en 1965. La salmuera es extraída y colocada en piletas solares donde cristalizan las sales de potasio (primero kainita y Na Cl) las cuales son cosechadas y convertidas en sulfato de potasio. Las reservas estimadas son de 200 Mt de sulfato de potasio.

c.2) Lago Searles: En el valle de Searles California. Se trata de una playa desértica en forma elíptica, Los minerales solubles en los sedimentos del lago son una mezcla de sales con hanksita ($9Na_2SO_4$ 2 Na_2CO_3·KCl). Desde comienzos del siglo XX la concentración se realiza mediante evaporación y cristalización. Las reservas estimadas en ClK exceden las 90 Mt.

	Producción mundial		Reservas	Reservas Base
	2003	2004e		
Alemania	600	3.670	710.000	850.000
Bielorrusia -	4.200	4.650	750.000	1000000
Brasil	340	360	300.000	600.000
Canada	9.200	9.500	4.400.000	9.700.000
Chile	360	400	10.000	50.000
China	500	550	8.000	450.000
España	510	600	20.000	35.000
Estados Unidos	1.100	11.200	90.000	300.000
Israel	1.960	1.940	40.000	580.000
Jordania	1.200	1.130	40.000	580.000
Reino Unido	620	580	22.000	30.000
Rusia	4.700	5.400	1.800.000	2.200.000
Ucrania	60	60	25.000	30.000
Otros paises			50.000	140.000
Producción mundial	28.400	30.000	8.300.000	17.000.000

El cuadro IV-3 y la Figura IV-2 muestran los principales productores mundiales y las reservas en cloruro de potasio.

Cuadro IV-3: Reservas y recursos de potasio en el mundo (en miles de toneladas) En http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/potash/potasmcs05.pdf

Industrialización de los recursos mineros. Beneficio y refinación

La producción de sales una de las industrias más antiguas y extensamente distribuidas del mundo. La sal reproduce a partir explotación de roca sólida, por evaporación de agua de mar, de lago, de playa en cuencas cerradas en áreas desérticas y de salmueras subterráneas.

Existen dos métodos básicos con ciertas adaptaciones dependiendo de las especificaciones y de la solución a extraer. Cada depósito tiene sus propias características y problemas.

Explotación convencional

En el caso de niveles potásicos subhorizontales y con espesores uniformes, se ha comprobado

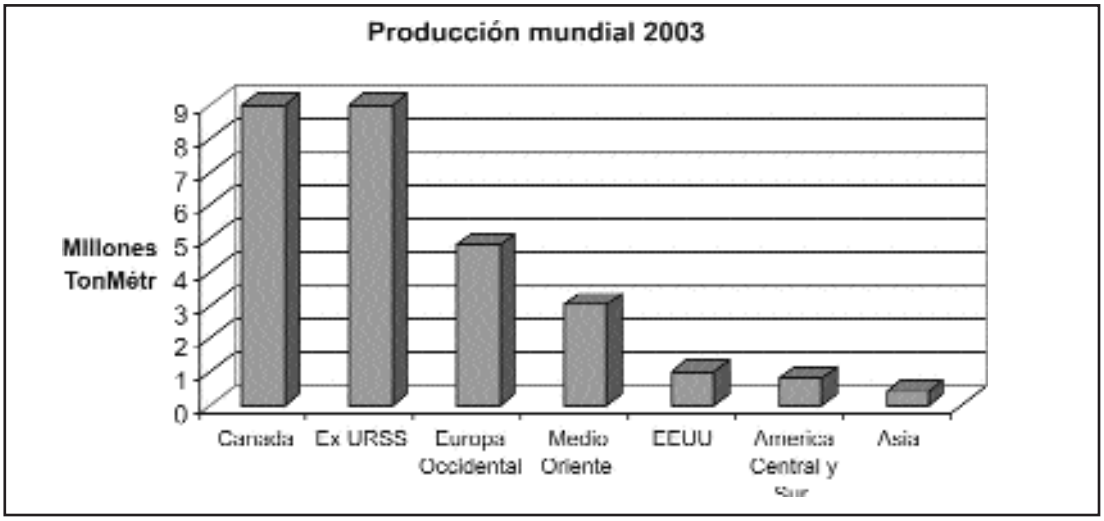


Figura IV-2. Producción de Potasio mundial (medida en MT métricas de K_2O

que la utilización de taladros de perforación con dos o cuatro brazos es el método más efectivo y económico. El método más típico es el de cámaras y pilares. En general toda explotación subterránea está acompañada por cintas transportadoras o bien vagonetas que acarrean el mineral a bocamina.

Los costos de explotación del potasio por métodos convencionales varían ampliamente. La explotación es el gasto operativo mas alto en la producción, ya que requiere gran cantidad de hora / hombre debido a baja ley de la mena o dificultades en las condiciones de explotación. En los casos de cuerpos mineralizados que permiten una alta capacidad de operación, los costos disminuyen comparados con la explotación de menas de potasio en superficie.

Explotación por disolución

En 1994, tres plantas de potasio en Canada y E.E.U.U., comenzaron a utilizar este método de operación. Consiste principalmente en inyectar agua caliente a presión por tuberías hasta alcanzar el nivel de la salmuera con potasio, ese material disuelto se lo bombea a superficie y se lo almacena en piletas de evaporación. De esa manera, precipita en un principio la halita que luego cristaliza por efecto de evaporación solar, en la salmuera restante se hallan las sales de potasio. El potasio cristaliza y la salmuera residual retorna a la mina. El potasio cosechado es llevado a plantas de procesamiento donde se utiliza el método de flotación para alcanzar su concentración final mediante secado, tamizado y compactación.

El proceso de beneficio de los minerales de potasio para transformarlos en productos de mercado requiere diferentes esquemas y equipos. La mineralogía, la ley (contenido de K_2O), grado de liberación (tamaño máximo de la partícula requerido para ser separado en diferentes minerales, tipo y cantidad de impurezas (insolubles como arcilla, anhidrita, dolomita, sílice, etc.), represen-

tan variables que deben ser consideradas en cada depósito. De acuerdo con esto, las plantas modernas de procesamiento de potasio deben ser versátiles y acomodarse de acuerdo al tipo de alimentación para mantener la calidad del producto al menor costo posible.

Cuatro técnicas básicas de concentración pueden ser aplicadas en la industria de potasio: a) flotación, b) separación por líquidos pesados, c) separación electrostática y d) disolución-cristalización termal. Otras técnicas que se han experimentado son lixiviación amoniacal y separación gravimétrica, utilizando mesas vibratorias.

Como en cualquier operación de concentración la molienda y el tamizado son los primeros pasos en la concentración de la mena sólida para reducir el tamaño y separarlo de otros constituyentes.

El segundo paso es la liberación de las partículas finas, tanto del mineral de mena como de los insolubles. Esto se hace porque al utilizar métodos como el de flotación, las partículas finas con gran área superficial, tienden a adsorber excesivas cantidades de reactivos con la consecuente contaminación del producto y el aumento de sus costos.

a) Flotación

La flotación es el método por excelencia de concentración utilizando acondicionadores con reactivos específicos, depresores y colectores. La ganga de la pulpa en el fondo de la celda es eliminada y depositada como cola. En el proceso de flotación el objetivo es en general separar la silvita de la halita, utilizando colectores catódicos; cuando la mena de potasio contiene sulfatos como kieserita u otras sales, se la puede hacer flotar usando ácidos grasos o ácidos grasos sulfatados como colectores; por ejemplo cuando existen sales combinadas como kainita ($KCl \cdot MgSO_4 \cdot 3H_2O$), puede hacerse la flotación usando amina de coco (Sicilia-Italia).

El esquema de la figura IV-3 muestra un ejemplo del sistema de concentración.

Este método es muy útil para obtener un preconcentrado o bien para combinar con otros métodos. Este proceso se utiliza para separar por gravedad silvita de halita, cuyo peso específico relativo es de 1,9 y 2,13. Comercialmente para esta operación se puede utilizar ferro silicón o magnetita generando así un líquido pesado adecuado para la separación.

c) Separación electrostática

Es otra técnica que se utiliza en seco, donde la mezcla de minerales es separada de acuerdo a su conductividad eléctrica. Debido a que los minerales de potasio, no son naturalmente conductivos, la separación debe ser precedida por un proceso que induzca a los minerales a acarrear cargas electrostáticas de diferentes magnitudes y en lo posible de diferentes polaridades. Utilizando este método se obtienen dos ventajas en términos de costos e impacto ambiental.

d) Disolución-cristalización termal

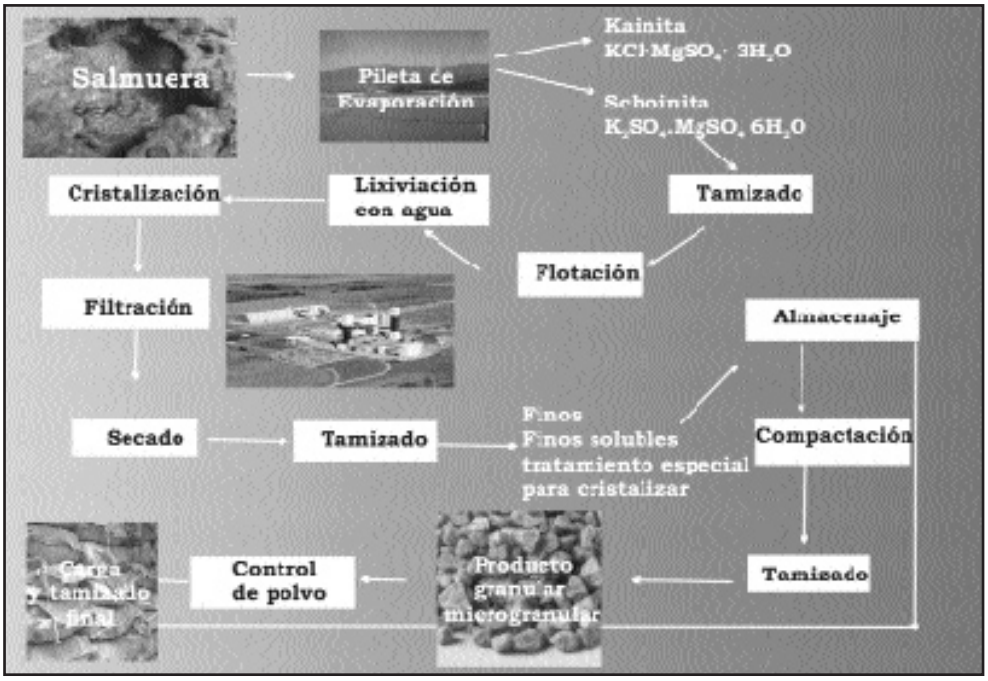


Figura IV-3: Esquema de tratamiento a partir de una salmuera rica en sales de potasio.
b) Método de separación por líquidos pesados

Este método es posible debido a que el cloruro de potasio es más soluble en agua caliente que en frío y que el cloruro de sodio es ligeramente soluble a 100 °C . En soluciones saturadas que contienen ambas sales, el NaCl realmente menos soluble a altas temperaturas. Cuando una salmuera saturada con ambas sales a 20ºC, es calentada a 100 ºC, es capaz de disolver una importante cantidad de KCl pero no de NaCl. La mayor desventaja de este proceso es alto consumo energético que se requiere para calentar la solución original. Aunque este método es solo utilizado para explotación por disolución, otra aplicación puede ser para la extracción de potasio en las salmueras.

Fertilizantes

Los principales fertilizantes potásicos son el cloruro (60 % K_2O), el sulfato (50 % K_2O) y el nitrato de potasio (46 % K_2O), que se distribuyen en una proporción de 91 %, 7 % y 2 %, los 38,793 millones de t de K_2O de producción mundial[2]. De éstos, 95 % del total del MOP se usa como fertilizantes en agricultura, casi todo el sulfato, y entre el 80 y el 85 % del nitrato; el resto, el 5 % del cloruro y entre el 15 al 20 % del nitrato tiene aplicaciones industriales. Alrededor del 65 % de toda la producción de fertilizantes se utiliza en aplicación directa, mientras que la diferencia del 35 % restante, se utiliza en la fabricación de fertilizantes complejos NPK ó PK.

Cloruro de Potasio (KCl) o muriato de potasio (MOP)

Este fertilizante ha sido desde tiempo, el principal suministro y los principales procesos industriales requeridos para transformarlo son cristalización, molienda, flotación. Las reglas comerciales exigen al menos 60 % de K_2O. Chile y Brasil son los únicos países de Latinoamérica con capacidad de producción comercial, de 650 y 600 mil t por año de KCl Argentina tiene amplias reservas y posee un proyecto de explotación en avanzado estado de estudio.

El muriato o cloruro de potasio se obtiene por refinación de la silvinita o extraído de la minerales carnalíticos o salmueras marinas. El MOP se produce en una variada granulometría según sea su uso final, ya sea la aplicación directa como fertilizante, b) En mezclas con materiales fertilizantes de N y P y otros usos industriales. Entre éstos se destacan usos muy variados, tales como floculante en pozos petrolíferos, mezclas ignífugas en matafuegos o complemento dietario en las sales de bajo contenido de sodio para consumo humano.

La granulometría mas comunes son estándar, granulado o cristalino, y poseen en promedio 60 % de K_2O. El cloruro de potasio es la fuente más común de potasio, y la más económica, tanto por peso como por unidad de K. A nivel mundial, la producción de cloruro de potasio representa el 91 % de los fertilizantes potásicos sobre la base de K_2O, mientras que el sulfato y el nitrato comprenden el 7 y el 2 % respectivamente, Cuadro IV-4.(IFA 2003).

Debido a su alto contenido de cloro, el MOP es principalmente usado en cultivos resistentes al cloro, que son la mayoría. Otros como el tabaco, o la palta son muy sensibles a l cloruro y no lo admiten como fertilizante, reemplazándose doselo en caso con sulfato o nitrato.

	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Total mundial			Miles de T K_2O			
MOP	34,513	34,831	35,173	35,615	35,423	35,520
SOP	2,816	2,866	2,796	2,865	2,872	2,997
NOP	731	881	876	844	874	921
Latino América						
MOP	600	685	745	745	755	835
SOP	130	130	130	130	130	130
NOP	353	468	491	491	514	546

[2] *Nótese que por los distintos contenidos en K_2O, la proporción es algo diferente*

Cuadro IV-4. Capacidad instalada de Fertilizantes potásicos Se incluye en SOP y NOP la producción primaria y secundaria.

Sulfato de Potasio (SOP)

El sulfato de potasio SOP se produce en la forma de sulfato de potasio, o sulfato potasio y magnesio directamente del beneficio de la kainita, kieserita, langbeinita o otros minerales (producción primaria) o por conversión del muriato de potasio (producción secundaria).

Existen métodos desarrollados en Rusia para beneficiar la alunita y otra sales potásicas [$K_2 \cdot Al_6 (OH)_{12} \cdot (SO_4)_4$], adonde el valor descansa en la alúmina.
Hay varios métodos de fabricar sulfato de potasio a partir de la silvita, uno de ellos es tratarlo con ácido sulfúrico, (Proceso Mannheim).

El sulfato de potasio tiene un contenido de 50 % de K_2O, estándar comercial es soluble en agua y de rápida acción. Es de mayor precio y más aún por unidad de K. Se utiliza ampliamente en cultivos que no toleran al Cl y sobre todo en aquellos que además requieran un suministro adicional de azufre, ya que el sulfato es absorbido como tal por las plantas. Asimismo, junto con el nitrato es la fuente preferida adonde existen problemas de acumulación salina, en regiones semiáridas adonde el agua de riego lleva una alta concentración de cloruros.

Chile es el único productor latinoamericano de sulfato de potasio. Además de nitrato y cloruro, produce 260 mil t anuales de sulfato de potasio, por producción secundaria a partir de sus recursos propios de MOP y de ácido sulfúrico, este último integrado con la mineralización del cobre.

El sulfato doble de potasio y magnesio es un fertilizante muy popular adonde los suelos y/o cultivos requieran magnesio además de potasio en cantidades importantes y sobre todo balanceadas, ya que el magnesio es un nutriente esencial para las plantas. Este fertilizante se comercializa a partir de la extracción de minas de langbeinita en Nuevo México (EE.UU.) o por extracción secundaria a partir de la kieserita, kainita o carnalita.

Nitrato de Potasio (NOP)

La mayor producción de nitrato de potasio en el mundo se realiza a baja temperatura en una reacción no acidulada de cloruro de potasio con nitrato de sodio, del que Chile posee reservas muy importantes (Caliche). Esta es la llamada producción primaria. Con una capacidad de producción de más de un millón de toneladas anuales, Chile es mayor productor mundial de nitrato de potasio. También puede fabricarse haciendo reaccionar cloruro de potasio con ácido nítrico, (producción secundaria). La concentración comercial varía entre 44 y 46 % de K_2O.

El potasio en los suelos

El K es parte de los minerales primarios o están presentes en los minerales de arcilla secundarios que conforman la fracción mineral del suelo. Por esta razón los suelos ricos en arcilla son también generalmente ricos en K. El contenido de arcilla de un suelo en parte depende del material madre que lo genera, pero también está considerablemente afectado por la pedogénesis. Los suelos maduros que hayan estado expuestos a fuertes condiciones de meteorización, como los del trópico húmedo, son con frecuencia bajos tanto en contenido de arcilla como de K. Así los suelos arenosos altamente meteorizados contrastan marcadamente con los suelos jóvenes derivados de materiales volcánicos en los que los contenidos de arcilla y de K son generalmente alto (Graham y Fox, 1971).

Minerales	Contenido de K_2O %
Feldespatos alcalinos	4-15
Feldespatos de Ca-Na	0-3
Moscovitas (K mica)	7 -11
Biotitas (mica de Mg) .	6 -10
Glauconita	5,5-6,5
Illitas	4 - 7
Vermiculitas .	0 - 2
Cloritas .	0 - 1
Montmorillonitas	0 - 0.5

Cuadro IV-5. Contenido de Potasio de algunos minerales principales y secundarios de arcilla no eavporíticos (Scheffer y Schachtschabel, 1976).

La fuente principal de K^+ para el crecimiento de las plantas en condiciones naturales viene de la meteorización de minerales que contienen potasio. Sin embargo, las distintas clases de arcillas determinan diferente capacidad de suministro de potasio a los cultivos. Los minerales del tipo de las micas y los minerales secundarios silicatos 2:1 difieren fundamentalmente en su estructura de los feldespatos, (Cuadro IV-5). Por esta razón también difieren en sus propiedades de liberar y fijar el K^+. Por otra parte, la fracción arcilla (partículas menores de 2 µm) puede estar formada por minerales que no posean nada de potasio, como las calinitas u óxidos de hierro y aluminio en proporciones variables. Los suelos de regiones tropicales y subtropicales húmedos, así en general estas regiones precisan de grandes cantidades de fertilizantes potásicos para producir económicamente.

Por otra parte, a medida que continúa el agotamiento del K^+ de las intercapas de los minerales, la tasa de liberación se vuelve progresivamente más lenta. Los sitios interlaminares se agotan de K^+ aunque retienen aún una selectividad muy alta para el K^+ respecto a los iones bivalente (Raman y Jackson, 1964). El agregado de K^+ a tales minerales resulta en una fuerte adsorción del K^+ a

	Requerimiento	Remoción a rindes corriente
	Kg de K_2O/t producto	Kg de K_2O/ha
Trigo	19	76
Soja	33	57
Girasol	28	18
Citrus	1.48 a 2.61	22 a 65
Manzano	3.9	39
Banano	760	357
Tomate	25	1250

estas posiciones y causan una contracción del mineral (Graham y López, 1964). Este proceso se

llama fijación potásica. En la práctica, esto significa que pueden agregarse grandes cantidades de fertilizantes potásicos sin que aumente de disponibilidad de K para los cultivos.

El potasio y los cultivos

Los cultivos requieren cantidades muy diferentes de potasio para producir ya sea frutos, granos o fibras. También es muy diferente la cantidad que exportan con la producción agrícola, ya que es función de la fracción que lleva en el fruto o grano, y de la producción promedio por unidad de área (Cuadro IV-6). Estas variables, en relación a las distintas capacidades de suministro de potasio de los suelos determinan diferentes requerimientos de fertilización potásica.

Cuadro IV-6. Requerimientos y extracción de potasio a rindes corrientes de diferentes productos agrícolas.

Es importante destacar que el potasio es un nutriente asociado a factores de calidad antes que al rendimiento. Más color, tamaño, sabor y mayor duración en góndola de las frutas son algunos ejemplos de atributos que contribuyen a esta calidad y atribuidos a una adecuada fertilización potásica. Precisamente las regiones o clusters agro industriales de Latinoamérica productores de frutas flores y hortalizas son grandes consumidores de fertilizantes potásicos. En estos sistemas de producción, por ejemplo la gran producción de manzanos y peras de Chile y Argentina, de flores de corte en Colombia y Ecuador, de bananos en Brasil y Costa Rica, o tomates y pimientos en México, producidos para mercados de exportación sumamente exigentes, la importancia del suelo como suministro de K es menor que en el caso de cultivos extensivos de campo, como el algodón, cereales u oleaginosas, insumos que en general no reciben pago alguno por la mejor calidad, y que por lo tanto no son fertilizados regularmente con potasio para sostener una producción económica.

Suelos y Cultivos demandantes de potasio

En el mapa de la figura IV-4, puede verse el área con bajas reservas de potasio en los suelos. Sin duda, el ambiente de suelos tropicales con arcillas de baja actividad, y altas precipitaciones determinan un alto potencial de suelos deficientes de potasio. Sin embargo, las distintos tamaños de actividad agropecuaria y mix de cultivos, redunda en un perfil de consumo de fertilizantes potásicos muy diferente para cada país (Cuadro IV-7). Algunos cultivos como el banano, requieren cerca de 600 g/ha de K_2O por año, mientras que el trigo no exportan en sus granos mas que 10 a 20 kg/ha.

Sin embargo, la gran extensión territorial de Brasil, los suelos deficientes, el tamaño de su agricultura preponderantemente con cultivos grandes extractores de potasio explican la destacada posición de su mercado en el escenario mundial.

Por otra parte, se destaca también Argentina como país agrícola destacado y con un sector agrícola moderno y competitivo, pero con índices de consumo muy bajos. Como se detallara en el capítulo por países, es justamente el resultado de poseer suelos muy ricos en potasio.

		Área x 1000	Consumo K_2O	Dosis media	Relación
		has x 1000	t x 1000	Kg K2O/ha	N : K2O
Brasil		66,081	2,984	45	0.8
Colombia		4,214	184	44	1.6
México		27,300	109	4	5.5
Ecuador		2,983	62	21	1.5
Venezuela		3,407	60	18	2.7
Chile		2,301	49	21	4.5
Costa Rica		525	44	84	1.5
Guatemala		1,905	35	19	0.4
Cuba		4,141	33	8	1.5
Rep. Dominicana		1,596	25	16	1.3
Perú		4,298	19	4	2.5
Honduras		1,427	15	11	2.0
Argentina		34,933	15	1	13.6
El Salvador		903	7	8	37.0
Uruguay		1,340	6	4	4.8
Bolivia		3,112	1	0	6.7
Nicaragua		2,155	8	4	3.2
Paraguay		3,054	9	8	9.1

Cuadro IV-7. Consumo de fertilizantes potásicos en relación al área cultivada en países de Latinoamérica. (IFA, FAO, IFDC, 2001

La figura IV-4 muestra la distribución de suelos bajos en reservas de potasio disponible.

Figura IV-4 Distribución de suelos bajos en reservas de potasio disponible

Consideraciones finales

Al igual que la industria de los fosfatos, existe una alta integración vertical entre los productores de potásicos y las fabricas de fertilizantes, y como el resto de los actores económicos del mundo, no ha sido inmune a los procesos de consolidación y fusión característicos de la globalización. Es una industria altamente cartelizada, adonde la producción es controlada de manera que los precios son bastante regulares en el largo plazo. Siete empresas producen el 95 % del mercado mundial y controlan la producción y el precio.

La mayor parte del potasio proviene de hemisferio norte y solo existe dos proveedores en Sudamérica, que en la actualidad no puede cubrir la demanda de la región, que es un consumidor importante y en crecimiento. La puesta en marcha de nuevos proyectos en Argentina mejora el posicionamiento de Latinoamérica en el mercado de fertilizantes.

Argentina

Liliana N. Castro[1] y Ricardo J. Melgar[2] (Ex aequo)

Introducción

A diferencia de los fertilizantes fosfatados y los nitrogenados, los potásicos son los menos importantes consumidos en el país. La relación N:K_2O de los fertilizantes consumidos es indicadora de la proporción de potasio sobre el N consumido, usada por la industria y la de Argentina es una de las mas bajas entre los países latinoamericanos. Inclusive los fertilizantes con azufre han tomado mayor importancia en los últimos años.

Históricamente los fertilizantes potásicos se consumieron en los llamados cultivos regionales o industriales y en los frutihortícolas; ya que la región pampeana concentra más del 85 % de las tierras cultivadas del país, fundamentalmente con granos poco exigentes en potasio, y sobre suelos muy ricos en potasio disponible.

La baja demanda fue suplida con la importación, que nunca encontró demasiadas dificultades operativas. El portafolio de productos potásicos ofertados en el país está en función de los principales cultivos demandantes. Por esa razón, el cloruro de potasio, por lejos el más importante de todos en el mundo, nunca tuvo un gran peso en el consumo local, siendo casi equivalente al consumo de sulfato y de nitrato.

Por eso, las inversiones que se están realizando en prospección y explotación de importantes yacimientos de silvita en los yacimientos de evaporitas en Mendoza y Neuquén, tienen como principal objetivo comercial la exportación antes que abastecer al mercado interno, principalmente a Brasil. Esta inversión está en manos de empresas mineras de categoría mundial, que no están integradas como empresas tradicionalmente proveedoras de fertilizantes.

[1] *Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Argentina lilianacastro@fibertel.com.ar;*
[2] *INTA Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Pergamino. rmelgar@pergamino.inta.gov.ar*

Sin embargo, fuera del circuito comercial de los grandes commodities se observan altos costos de transacción para los agricultores, consumidores finales de los fertilizantes de potasio. A pesar de una demanda creciente, los productores encuentran fallas de mercado al intentar suplirse de este nutriente. Paradójicamente resulta mucho mas eficiente la provisión de nitrato de K en el área tabacalera desde Chile, que cuesta US$1,7 /kg de K, que la de cloruro de K en la región pampeada, a un costo de US$ 0,7 /kg de K.

La creciente competencia entre los proveedores de fertilizantes induce a mejorar la calidad de servicio de provisión de productos y nutrientes adecuados a las necesidades de cada cultivo. También, los rendimientos progresivamente más elevados y la expansión de la agricultura Argentina hacia tierras menos fértiles aumentará la demanda de potasio. Los mercados se crean y se desarrollan. Es muy posible que cuando la oferta nacional de cloruro de potasio se integre plenamente con el sector distribuidor de fertilizantes se revierta el peso decreciente que tiene el cloruro en la paleta de productos, así como se corrijan las fallas de distribución y aumente el consumo por un precio más competitivo.

Oferta de Potasio de los suelos agrícolas

La actividad agropecuaria Argentina se distribuye en alrededor de 42 millones de has, de las que potencialmente podrían duplicarse (INTA). De estas, 12 millones comprenden pasturas cultivadas y cerca de 30 millones con cultivos anuales dos de las cuales son cultivos intensivos. Sin embargo, la mayor parte de la actividad agrícola está concentrada en la región pampeana, con cerca de 21 millones de has especializadas en la producción de granos: cereales como el trigo y el maíz y el sorgo, y oleaginosas como la soja y el girasol.

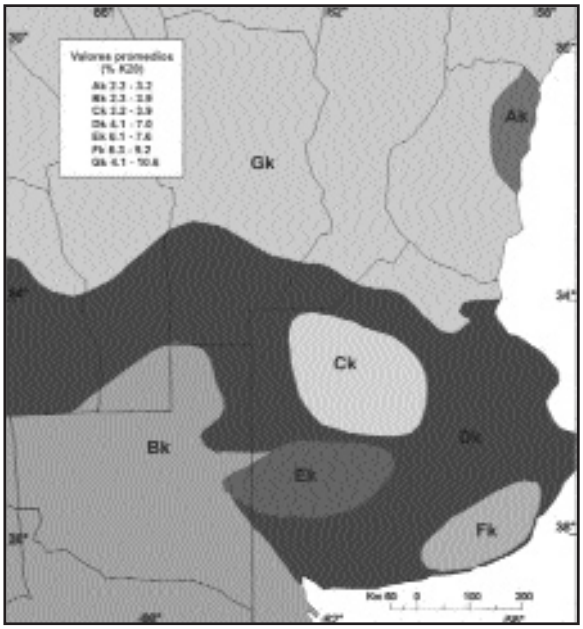


Figura IV-5. Áreas diferenciadas de acuerdo al contenido de potasio "cuasi-total" en los horizontes subsuperficiales.

Se admite que los sedimentos y suelos pampeanos presentan un contenido elevado de potasio. Sin embargo, Morras y Cruzate (2001) confirmaron a otros autores que señalaron ciertas diferencias de contenido entre suelos de distintas áreas dentro de la región pampeana. Procesaron datos de K de antiguas publicaciones del Ministerio de Agricultura de la Nación correspondientes a una fracción denominada "cuasi-total", del horizonte superficial y del horizonte subsuperficial (entre 30 y 60 cm de profundidad) de unos 1200 puntos de la región central del país, los que fueron representados cartográficamente (Figura IV-5). Esta fracción está sin duda relacionada a la disponibilidad inmediata de potasio para los cultivos, así como con el "pool" de reserva, que reempla-

za el K asimilable a medida que las plantas lo extraen y exportan con los productos de cosecha.

Área	Num. de muestras	Rango de valores individuales (‰ K_2O)	Rango de promedios por Partido (‰ K_2O)	Promedios (‰ K2O)	Equivalente en ppm K
Ak	26	0.35 – 4.63	2.2 – 3.2	2.7	2241
Bk	15	1.80 – 6.80	2.3 - 3.9	3.1	2573
Ck	74	2.06 – 5.76	3.2 – 3.9	3.6	2988
Dk	418	1.42 – 12.03	4.1 – 7.0	5.6	4648
Ek	38	3.56 – 12.13	6.1 – 7.6	6.9	5727
Fk	39	2.90 – 10.89	6.3 – 9.2	7.8	6474
Gk	544	2.03 - 15.05	4.1 – 10.6	7.4	6142

La distribución espacial de los valores de K expresados en K_2O ‰ permitió constatar variaciones significativas entre distintos puntos de la región. Tanto para los horizontes superficiales como subsuperficiales, los menores contenidos de potasio se presentan al este de Entre Ríos, mientras que los máximos se dan al norte del paralelo 34° en la región Pampeana Norte. Valores intermedios se presentan en la Pampeana Sur en la que pueden distinguirse cinco áreas con contenidos diferentes de potasio "cuasi-total" (Cuadro IV-8).

Los mismos autores analizaron el contenido y distribución del K intercambiable de otro grupo de mil muestras del horizonte superficial en los suelos del centro de la región pampeana, abarcando el NO de Buenos Aires, S de Santa Fe y SE de Córdoba, en las llamadas Pampa Ondulada y Arenosa. De acuerdo con los resultados obtenidos el contenido medio de K intercambiable para el conjunto de la región estudiada es de 2.06 cmol/kg en los horizontes A, unas 800 ppm.

Cuadro IV-8. Áreas diferenciadas en la Región Pampeana en función de los contenidos de potasio "cuasi-total" en el horizonte subsuperficial de los suelos. Los rangos de promedios por Partido y los promedios de promedios provienen de los datos de la Figura IV-5

Distintos autores indican valores entre 100 y 200 ppm de K intercambiable como adecuados para obtener máximos rendimientos, con variaciones según cultivos, sistemas de manejo y tipos de suelos (Haby et al, 1990). Estos valores, son varias veces superiores a los citados por Morrás y Cruzate (2001) y explican la falta de consumo de fertilizantes potásicos por los cultivos de granos.

Esta interpretación se confirma por una gran cantidad de ensayos agronómicos de respuesta con distintos cultivos de granos en los últimos años, principalmente con trigo, maíz y soja. Los resultados obtenidos han permitido confirmar que en los casos adonde se registraron aumentos de rendimientos fue por el nutriente acompañante de los fertilizantes potásicos, ya sea azufre ($SO_4^=$), cloro (Cl^-) (Barbagelata et al., 2004).

No obstante es posible encontrar regiones o áreas, con contenidos menores de potasio que tienen su origen en la diversa proveniencia y composición de los materiales parentales de los suelos. Valores menores de 300 ppm (0,75 cmol/kg) se han registrado con alguna frecuencia en análisis de suelo de rutina y que pueden atribuirse a esas diferencias y/o a la combinación con prácticas de manejo. El efecto extractivo de los cultivos ha sido comprobado en varios tipos

de suelos mostrando la velocidad de disminución de K por los sucesivos cultivos (Conti et al, 1993).

Cultivo	Rinde	Extracción	Índice Cosecha	Exportación	Enriquecimiento
	t/ha	kg/ha		kg/ha	kg/ha
Soja	3.5	116	0.59	68	14
Trigo	4.0	76	0.17	13	19
Maiz	10.0	190	0.21	40	45
Girasol	2.5	70	0.25	18	16

Además de los altos niveles por el material originario, la estructura de cultivos de la región pampeana hace que la mayor parte del potasio absorbido por las plantas sea reciclado en los residuos de cosecha. Con excepción de la soja, que exporta en el grano cerca del 60 % del K absorbido, los demás granos no llegan al 20 %. Además, el K en profundidad también representa una reserva a las que las raíces acceden y reciclan redepositándolo en la superficie con los residuos de cosecha. Este aporte de K del subsuelo a los cultivos es bien reconocido e incluso usado como modificador de las recomendaciones de fertilización (Haby et al., 1990). Este proceso resulta en el enriquecimiento de K en los horizontes superficiales a expensas de los subsuperficiales. Asumiendo que un 30 % de los nutrientes son absorbidos desde los horizontes subsuperficiales, en el cuadro IV-9 se muestran las cantidades estimadas de K que enriquecerían los horizontes superficiales como resultado del proceso de cultivo.

Cuadro IV-9. Cantidades de K absorbidas, exportadas y recicladas en rendimientos promedio de cultivos anuales comunes de la región pampeana.

Además de la región pampeana, los cultivos de granos se extienden hacia el noroeste en la región chaqueña, con suelos también muy ricos en potasio, tanto asimilable como en su material madre. Otros cultivos industriales, frutícolas y hortícolas se distribuyen en clústeres agroindustriales en los suelos más aptos de las regiones del noroeste, del nordeste, de Cuyo y del Alto Valle (FAO, 2003). Los contenidos de potasio en los suelos en estas regiones son variados, desde muy pobres en el nordeste, pobres en el Alto Valle y Noroeste, o ricos en el área de Cuyo. Los relevamientos de suelos realizados constatan variaciones espaciales horizontales y verticales de los contenidos de potasio intercambiable de las distintas regiones agro ecológicas, las que se hallan claramente relacionadas con las diferencias mineralógicas y granulométricas de los sedimentos que constituyen su material parental.

Gran parte de los cultivos en estas regiones son regados con aguas de deshielos que arrastran un rico contenido de minerales y específicamente de potasio, que resulta en aportes adicionales. Sin embargo, el consumo de fertilizantes potásicos en Argentina se da principalmente en estas regiones, casi con independencia de los contenidos en el suelo como se relatará en el párrafo

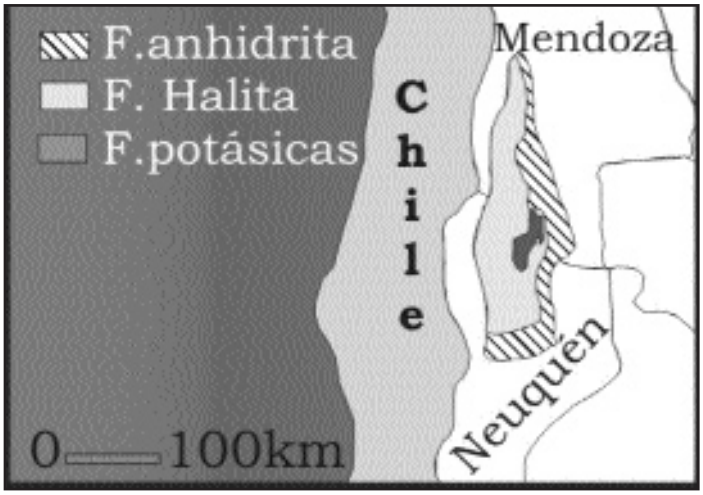


Figura IV-6. Mapa de ubicación de facies potásicas, de halita y anhidrita en Cuenca Neuquina basado en Gabrielle (1999).

sobre consumo.

Depósitos de Potasio en la Argentina

Potasio en depósitos evaporíticos

La Cuenca Neuquina presenta en los niveles evaporíticos de la Formación Huitrín horizontes ricos en potasio. El área de la cuenca huitriniana abarca 4000 km^2 y se localiza en el extremo sur de la provincia de Mendoza y norte de Neuquén (Figura IV-6). Se considera por su extensión la más grande de Latinoamérica y una de las más extensas del mundo (Gabrielle, 1999).

Dos proyectos importantes en distinto grado de avance pueden mencionarse: Potasio Río Colorado actualmente adjudicado a Rio Tinto y el área concedida a CVRD.

El Proyecto Potasio Río Colorado y está ubicado en le sur de la provincia de Mendoza y norte de la provincia de Neuquén. El yacimiento con sales de potasio está enmarcado dentro de la secuencia sedimentaria de la Cuenca Neuquina, cuyo relleno sedimentario se produjo entre el Triásico y el Paleógeno. Dentro de uno de los dos ciclos evaporíticos de la cuenca (Fm. Huitrín, Aptiano) en el sector centro oriental, se acumularon sales de potasio que Minera TEA S.A.I.C.A y E., ha estudiado desde 1976 (Balod et al., 2000). A partir del año 1990 se intensificaron los trabajos de exploración para comenzar la producción de minado por disolución. En octubre de 2003, Minera Río Tinto firmó una carta de intención con Minera TEA, para la exploración y el proyecto avanzó considerablemente. En 2004 se llevó a cabo una evaluación exhaustiva de los recursos minerales, incluyendo un estudio sísmico tridimensional de alta densidad de un área de 100 km^2 y un programa de perforaciones y una sofisticada adquisición de datos geofísicos a profundidad. Además, se amplió, modernizó y comenzó la operación de la planta piloto. Las alternativas de procesamiento y transporte han sido profundamente evaluadas con un alto grado de detalle durante la etapa de pre-factibilidad que ya se encuentra en su etapa final. También se han realizado exhaustivos estudios de mercado.

El área de interés dentro de la secuencia cuenca evaporítica contiene dos horizontes de silvita ubicados a 750 (K-3) y 1150 (K-1) m de profundidad dentro del Miembro Troncoso Superior (Figura IV-7). La mineralogía es simple, con presencia casi exclusiva de silvita mezclado con halita. La capa K-1 presenta mayor continuidad lateral y regular distribución de espesores y leyes. Su espesor varía entre 11 y 15 m con una ley del 25% K_2O. La Capa K-3 tiene un espesor promedio entre 3 y 5 m con una ley de 17 al 22% K_2O. Las reservas probables calculadas para

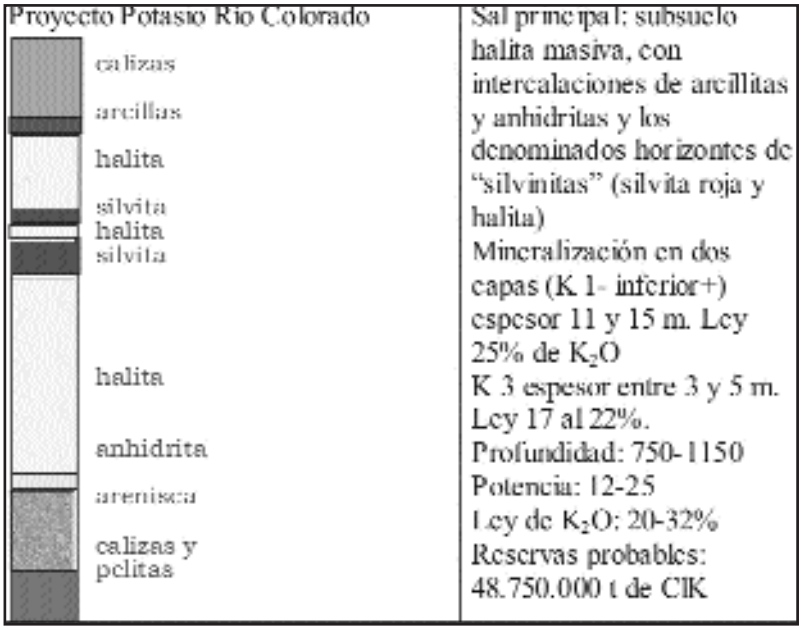


Figura IV-7. Esquema de las capas mineralógicas en Río Colorado

K-3 ascienden a 48.750.000 t de KCl comercializables, las cuales se pueden haber incrementado con los trabajos posteriores (Balod et al., 2000).

Río Tinto, a través de su subsidiaria Río Tinto Minerals Development Limited, ha ejercido la opción de compra del 100 % de Potasio Río Colorado SA. y, por lo tanto, ha tomado el control del proyecto de potasio que venía evaluando desde 2003. La decisión adoptada por Río Tinto de ejercer esta opción antes de la fecha establecida para fines de 2005 está basada en los resultados positivos de los trabajos desarrollados hasta la fecha. Se ha demostrado que el recurso es de gran escala y de excelente calidad y homogeneidad en términos mineralógicos y estructurales. Los estudios de procesamiento y transporte han identificado posibles y extensibles caminos para la producción que ya se encuentran cerca de la culminación de la evaluación de prefactibilidad. El ensayo de minería por disolución se desarrolló positivamente. Los temas ambientales han sido otro de los valores principales de todo el diseño y operación del proyecto y forman parte de su compromiso con las comunidades y las demás partes interesadas. La prefactibilidad cubre cuatro etapas: a) estudio del recurso mineral (determinación el potencial de reservas económicas) b) opciones de procesamiento (tipo de proceso e instalación de la planta c) opciones de transporte (extracción del potasio de la mina, llevarlo por tren a Bahía Blanca) y d) mercado.

La factibilidad final será desarrollada en 2006 y sujeta al resultado de dicho estudio y su desarrollo se producirá a comienzos de 2007 con una primera producción hacia mediados de 2009, lo que demandará una inversión de 500 millones de US$. Los volúmenes de producción que se están evaluando actualmente están en el rango de los 1,6 y 2,4 millones de toneladas al año con la flexibilidad de cubrir las necesidades del mercado, con reservas para más de 30 años y una proyección entre 400 y 600 empleos directos. El precio actual del potasio en el mercado mundial oscila entre

180 y 220 US$/ t. El Proyecto Río Colorado, ubicará a la Argentina en el 4º o 5º productor mundial de potasio. Si se avanza a una producción de 2.4 millones t/año de potasio, se equiparará a las más grandes minas de Canadá. Actualmente, en América Latina, Brasil produce 800.000 t/año y Chile 600.000 t/año. Por lo tanto esta operación, aún en su escala de menor tamaño de 1.600.000 t/año, será la más grande de Latinoamérica, En el proyecto de PRC trabajan actualmente 60 personas y Rio Tinto invirtió hasta la fecha 25 millones US$, La empresa anticipó que toda la producción será destinada al comercio exterior. Este yacimiento es considerado de tipo world class deposit con reservas que superan las 50 millones de toneladas de cloruro de potasio.

Gabriele (1999) indica otros sectores mineralizados con potasio dentro de la misma cuenca. Estos son:

a) Pampa de las Liebres: dos niveles mineralizados entre 600 y 700 m bajo boca de pozo, con espesores promedio de 4 m y leyes estimadas entre 13 y 15% K_2O.

b) Sierra Negra: niveles mineralizados entre 800 y 1200 m bajo boca de pozo. CORMINE en 1993 realizó en la zona de mayor concentración de pozos perfiles gamma que caracterizaron una distribución lenticular y heterogénea del mineral. El espesor del nivel varía entre 2 y 13 m con una media de 6,5 y una ley estimada de 15% de K_2O.
c) Paso Barda: Se localizaron de 2 a 6 horizontes entre 1300 y 1600 m bajo pozo, en dos horizontes: el inferior con potencia media de 8-15 m y una ley estimada del 16% de K_2O y el superior con potencia media de 5,7 m y una ley estimada del 13% de K_2O.

d) Los Barreales: Se definió un nivel mineralizado entre 980 y 1200 m bajo boca de pozo con un espesor promedio de 7 m y una ley estimada del 17% K_2O.

e) El Portón: De acuerdo con los registros de rayos Gamma se localizaron tres niveles separados por otros de halita de espesores cercanos a 1 m. El horizonte inferior el de mayor potencia (14 m promedio) y una ley entre 20 y 30% K_2O. Los recursos inferidos son de 300 Mt Cl K.

f) En todos los casos citados por Gabrielle (1999) la ley se estimada a partir de la lectura de la respuesta de los rayos Gamma en perfiles. La provincia de Neuquén ha declarado a las áreas b, c, d como parte del Área Exclusiva de interés especial para la Exploración de Potasio dentro de una superficie de 90.000 ha.

Recientemente la provincia de Neuquén licitó y adjudicó a la Companhia Vale do Rio Doce (CVRD) de origen brasilero, los derechos de exploración y producción para el depósito de potasio ubicado al norte de la provincia, en el límite con Mendoza, a unos 60 kilómetros de Rincón de los Sauces, en áreas adyacentes a la del proyecto de Río Colorado. Las reservas abarcan una concesión de 454 km^2 en el Dpto de Pehuenches.

CVRD desarrollará estudios durante los próximos dos años para identificar y evaluar esos depósitos. En la fase inicial ya comenzada, CVRD utilizará una metodología semejante a la usada en exploración petrolera (sísmica 3D y sondaje profundo de gran diámetro). Si el estudio de factibilidad del proyecto se aprueba, la producción podría aumentar a 1 Mt/año de potasio, lo que mayormente se destinaría para abastecer al mercado brasileño de fertilizantes. Si el proyecto pasa a la etapa de explotación la planta industrial requeriría una inversión de entre 300 y 400

millones de dólares. El método de extracción sería por disolución (ver métodos de explotación en este capítulo).

Brasil actualmente consume 6,3 Mt/año de potasio, de los cuales CVRD suministra un 15% y es el único productor local. Sin embargo, las reservas de potasio de CVRD en Brasil se están agotando y sólo le quedan 10 años de operaciones. La estrategia de largo plazo de CVRD es asegurar depósitos de potasio. El área que será explorada se localiza en una de las últimas cuencas potásicas sin desarrollar en el mundo, y tiene el potencial de ser un depósito de clase mundial. A pesar de la abundancia del mineral, las reservas posibles de potasio de Neuquén requerirían consideraciones logísticas, incluyendo un camino de 320 km hasta la localidad de Plaza Huincul y 636 km de vía férrea hasta Bahía Blanca, donde se ubicarán instalaciones portuarias especiales para el manejo del mineral. (Panorama Minero).

Horizontes con glauconitas

Un segundo tipo de depósito de potasio se identificó en los horizontes glauconíticos de los niveles marinos en la Formación Salamanca, provincias de Chubut y Santa Cruz y unidades correlacionables en Tierra del Fuego. (Olivero et al, 1998) que cubren un área mayor a 50.000 km^2. Durante el Cenozoico existieron períodos de marcados cambios climáticos y paleoceanográficos en el Atlántico sur, que tuvieron fuerte incidencia en la formación de fosfatos y depósitos glauconíticos. De ellos, uno de los mejores representados en la columna sedimentaria de diversas localidades de la Patagonia es el de la transición Cretácico superior - Paleoceno inferior que corresponde a una de las transgresiones marinas principales. y presenta anomalías fosfáticas frecuentes y glauconitas. Con respecto a las glauconitas en el país, se realizaron solo trabajos de tipo bioestratigráficos y mineralógicos (Andreis et al., 1975; Castro y Martínez, 1993, entre otros). A partir de nuevos trabajos (Castro y Tourn, 2003) y bajo el proyecto UBACYT EX (305(2003-2007): Minerales autigénicos marinos como fuentes de fósforo y potasio para la industria de fertilizantes se evalúan sus perspectivas económicas.

La efectividad agronómica de las glauconitas se ha estudiado en otras partes del mundo. O`Brien y Fey (www.sun.ac.za/agric/soil/GVSAWEB/OBRIEN06_03_.pdf) proponen un tratamiento comparando la efectividad del KCl versus glauconita Como conclusiones de este trabajo se llega a) Se necesitan 6 y de 18 g/kg de glauconita versus 0.2 KCl de g/kg para la misma producción b) La asimilación de K en este nivel de rendimiento es menor con glauconita, indicando posible ventaja en evitar el consumo excesivo de K y c) El uso directo del mineral sin tratamiento hace atractivo el concepto de "fertilizantes orgánicos" (términos poco recomendable si se usa minerales).

Métodos de Explotación

El método de explotación por minado por disolución in situ es aplicado como una alternativa rentable y con menor impacto ambiental frente a la explotación convencional para depósitos profundos de silvita. Una descripción breve del método propuesto para el Proyecto Potasio Río Colorado, tomado de Balod et al, (2000).

Se inicia con la perforación de una caverna, y la construcción de dos pozos con 220 mm de diámetro que se cementa con un encamisado de 178 mm. El proceso de disolución se divide en ciclos, cada uno de ellos vinculado a una etapa del desarrollo de la explotación. 1) Desarrollo del sumidero que recibirá los insolubles contenidos en el mineral, se generan pequeñas cavernas en cada pozo, 2) Bombeo con el objetivo de conectar las dos cavernas, la conexión se realiza a la altura del piso del manto de silvita; 3) Desarrollo del área del techo por bombeo mediante la disolución lateral de la sal subyacente al manto de silvita; 4) Disolución del manto de silvita en forma ascendente en capas que permite el desarrollo controlado de la disolución y de la caverna. La inyección con agua convenientemente tratada se realiza por uno de los pozos a alta presión y a una temperatura de 65° C, por el segundo pozo se obtiene una salmuera concentrada una temperatura de 55° C de sales de NaCl y KCl. El desarrollo del minado alterna la inyección del agua a uno u otro pozo, conforme avanza la explotación ascendente del manto. Como en este yacimiento la extrema aridez del área hace posible la evaporación natural de sales en piletas solares, la cual se recupera por medio de una cosechadora de sal; la operación es en húmedo semisumergida. Las sales se cosechan como pulpa de 33% de sólidos en salmuera saturada. La pulpa deja la cosechadora por una cañería flotante de polietileno hasta las bombas de piletas y de allí a las plantas de desaguado conformadas por zarandas y ciclones y un apilador radial. La salmuera recuperada se mezcla con la salmuera de retorno de la planta de beneficio que recircula a las piletas solares.

Este es un proceso que se usa comúnmente en el mundo para los minerales de sal, de los cuales el mineral del potasio es uno, y ha sido usado con particular éxito en una importante mina de potasio en Canadá, que en la actualidad produce 2.5 millones de t/año de potasio desde mediados de los 60.

Ante una eventual explotación de glauconitas el método recomendado es el de minería a cielo abierto.

Método de tratamiento

El concepto base de recuperación de KCl es la flotación diferencial de KCl del NaCl, en solución de salmuera saturada usando como colector una amina.

Lo expresado por Balod et al., (2000) para el tratamiento de la silvita en el proyecto Potasio Río Colorado es por el método de flotación, logrando la separación NaCl (deprimido) del KCl (flotado), con una recuperación del orden del 94%. Los sólidos secos del apilador radial se transportan a una trituradora primaria, luego la cosecha se vuelve a triturar y se mezcla con salmuera saturada. Esta mezcla se acondiciona en tanques con los reactivos de flotación. La pulpa acondicionada se diluye con salmuera a 25% sólidos y se bombean a las celdas de flotación.

El concentrado se envía a las celdas de limpieza, se lo desagua en centrífugas y se seca en hornos rotativos a gas natural. El producto del secador se envía a clasificar en diferentes etapas. Posteriormente el producto estándar (0,2-1,2 mm) se transporta a silos de almacenamiento, mientras el resto de los productos clasificados es enviado a la planta de compactación, para producir un producto final granular (0,8 -3,2 mm). Ambos productos deben ser acondicionados con aminas y anticaking para posterior almacenamiento en la mina y transporte a destino.

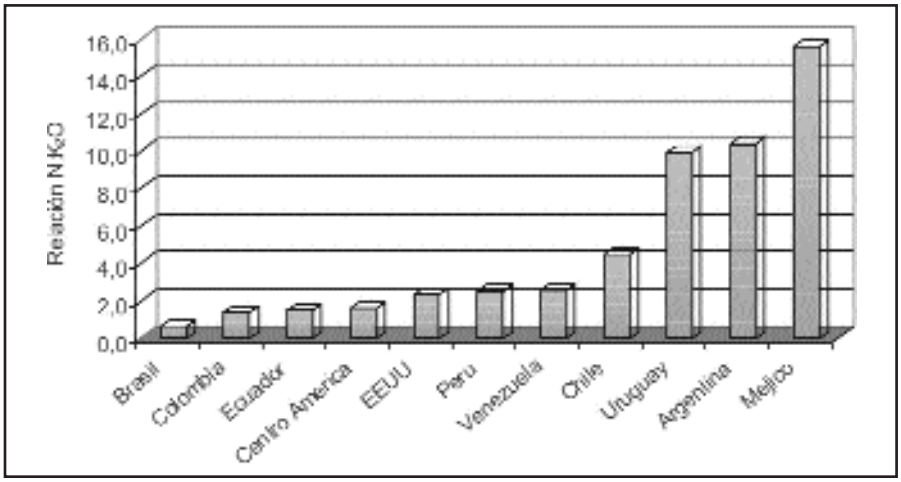


Figura IV-8. Relación N:K_2O de los fertilizantes consumidos en países de Latinoamérica

Las colas desaguadas de la flotación se diluyen con salmuera y agua fresca y se bombean al dique de colas, de idéntica construcción que las piletas de evaporación solar, impermeabilizado con una membrana plástica de mayor espesor. La salmuera sobrenadante del dique de colas se envía nuevamente a las piletas de evaporación.

El consumo de fertilizantes potásicos

Históricamente los cultivos regionales y la fruticultura y horticultura eran los únicos demandantes de potasio. Durante los años noventa, luego de varias décadas de la producción agrícola baja, la Argentina comenzó un proceso de modernización con una rápida expansión del área cultivada y una capitalización activa en maquinarias y tecnología (Melgar y Torres Duggan, 2001). Sin embargo, por las razones explicadas antes, el gran peso específico de la producción de granos en la región pampeada en suelos ricos en potasio, hace que la proporción en relación a los fosfatados y nitrogenados sea muy baja.

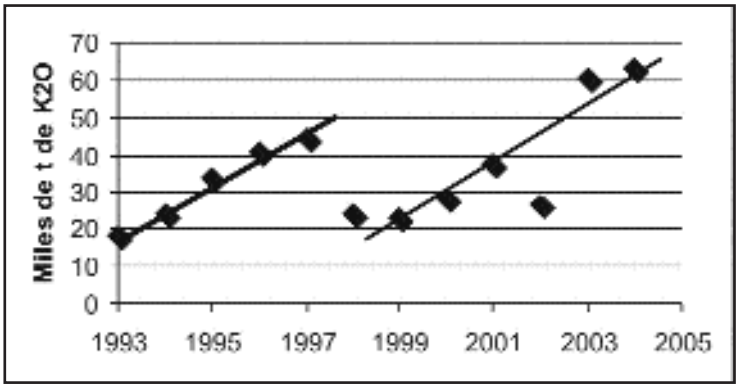


Figura IV-9. Periodos de expansión de la demanda de fertilizantes potásicos en Argentina (1993-2004). (Datos de importaciones AFIP. Sistema María).

La relación N:K_20 de los fertilizantes consumidos por un país es un indicador bastante utilizado y muestra importantes diferencias entre los países. Argentina se destaca entre aquellos en que los potásicos están en muy baja proporción (Figura IV-8).
La demanda de fertilizantes potásicos comprende principalmente fertilizantes a base de cloruro, nitrato y sulfato. Entre los dos últimos nitrato y sulfato, se incluyen sales dobles de potasio y sodio y de potasio y magnesio respectivamente. Los cloruros se importan principalmente de Canadá y Alemania, el sulfato de Alemania, Chile y E.E.U.U. (SOK-Mg), mientras que los nitratos de Chile e Israel.

	Tabaco	*Arroz*	Frutales	Horticolas	Otros
Nitratos #	60	0	30	40	10
Cloruro	0	90	70	50	80
Sulfatos #	40	10	10	10	10
Total por cultivo (t de K_20)	5,000	5,000	15,000	15,000	5,000

La figura IV-9 muestra la evolución de la demanda de fertilizantes potásicos en la última década. Pueden observarse que si bien la tendencia es creciente a lo largo de la década, se diferencian claramente dos periodos de crecimiento separadas por un periodo de recesión, que se corresponden con la evolución de la agricultura y de la economía general del país.

El consumo de potásicos puede asimilarse a especialidades, adonde la calidad del producto de cosecha tiene un premio de precio, y vinculado muchas veces a productos de exportación, como el tabaco, manzanos, cítricos, uvas finas para vinificar, etc. Por esta razón, la depresión de fines de los noventa se relaciona con la perdida de competitividad por tasa de cambio que se revierte después de la devaluación.
El cuadro IV-10 muestra la estructura de consumo de los distintos productos potásicos entre los tres principales rubros que lo consumen. Los porcentajes indican que proporción de cada tipo de fertilizante se utiliza en promedio. Obviamente el cloruro esta contraindicado en el tabaco por lo que su provisión se asegura con el sulfato y el nitrato. Es curioso notar la evolución en el tiempo de los distintos productos que se ilustra en la figura IV-10. Es posible observar la creciente participación del nitrato a expensas del cloruro y del sulfato. Esto es debido a una agresiva política comercial de SQM que desde Chile exporta por las aduanas adyacentes a las áreas de consumo de potásicos en la región de Cuyo, clústeres de las industrias frutihortícola y vitivinícola, y del NOA que concentra la industria tabacalera y citrícola.
#: Se incluyen sales dobles
Cuadro IV-10. Consumo total en t de K20 por cultivo, y proporción de los principales fertilizantes potásicos en los principales rubros que lo consumen. Inéditos.

La demanda de fertilizantes potásicos restringida a los cultivos intensivos, y abastecida más bien por especialidades ha retroalimentado la falta de oferta de cloruro de potasio, considerado un commodity. El fertilizante potásico más común y barato por unidad de nutriente resulta desproporcionadamente oneroso para los agricultores argentinos. Fuera del abastecimiento tradicional de fertilizantes N y P, los productores observan altos costos de transacción para adquirir cloruro

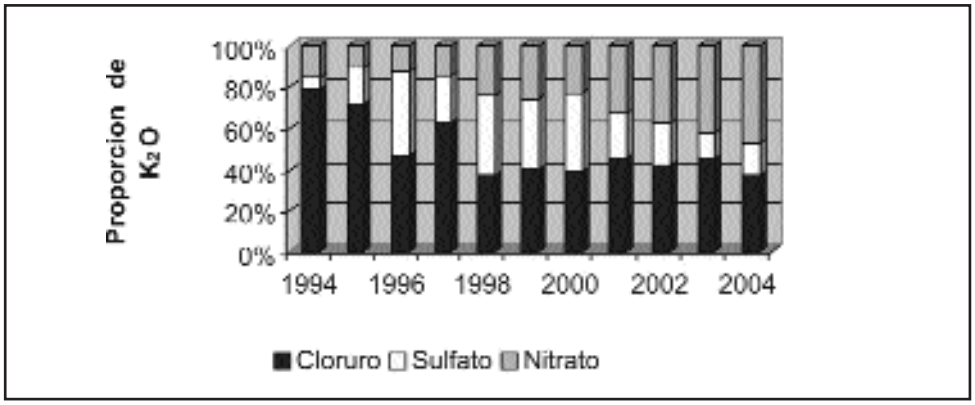


Figura IV-10. Evolución de la proporción de los distintos fertilizantes potásicos importados en la Argentina (1994 -2004).

de potasio. El incremento entre los valores C&F y locales en el punto de consumo para los agricultores, es de más del 90 % para el cloruro de potasio, cuando para el fosfato diamónico, por ejemplo, este incremento es entre el 40 o 50 %. Paradójicamente resulta mucho más eficiente la provisión de nitrato de K en el área tabacalera del Norte desde Chile, que cuesta US $1,7 /kg de K, que la de cloruro de K en la región pampeana, a un costo de US 0,7 /kg de K. Esta situación es nada más que el resultado de una baja demanda con altos costos de logística, y representa una falla de mercado.

Como en otros países, la vía comercial que facilita el desarrollo de su mercado es su uso como ingrediente en las mezclas físicas NPK. En el país éstas están en proceso de desarrollo y todavía no representan mas del 15 % del volumen total comercializado (FAO, 2003). .

Consideraciones finales

Si entrara en explotación el proyecto Río Colorado podría abastecer el 75% del consumo de Argentina, Paraguay y Uruguay, mientras que las exportaciones a Brasil tendrían como objetivo reemplazar el 5 % de las importaciones. El Proyecto tiene buenas perspectivas ya que el mercado se encuentra en expansión y que una parte importante de dicha expansión se encuentra en la región de Sudamérica, especialmente en Brasil. Dicha expansión, junto con la oportunidad de proporcionar un mejor servicio a menores costos que los actuales proveedores lejanos (Canadá, Rusia, Alemania, Israel), constituye la oportunidad de mercado.

Tanto el proyecto de Río Colorado, como el licitado en Neuquén por CVRD serán conducidos por empresas mineras de categoría mundial, poco integradas como empresas tradicionalmente proveedoras de fertilizantes. Es muy posible que cuando la oferta nacional de cloruro de potasio se integre plenamente con el sector distribuidor nacional de fertilizantes se revierta el peso decreciente que tiene el cloruro en la paleta de productos, así como se corrijan las fallas de distribución y aumente el consumo por un precio más competitivo.

Por el otro lado si se probara a la efectividad agronómica de las glauconitas de Patagonia, Argentina como se ha hecho en otros partes del menudo (Estados Unidos, Dinamarca, India) podrían cubrir parcialmente las demandas locales de ese sector del país. La existencia de P y K en una misma área podría promover el desarrollo de una industria extractiva que ayudaría a nuestro país que colaboraría en el desarrollo socio-económico de la región sur.

Bolivia

Liliana N. Castro[1]

La evaporación de lagos salinos cuencas cerradas puede conducir a la concentración de ciertos elementos en las salmueras remanentes como asi también la depositación de sales relativamente solubles. Los componentes tanto de evaporitas marinas como lacustres incluyen potasio, magnesio, boro, litio, bromuro, ioduro, sulfato de sodio, carbonato de sodio y cloruro de sodio. Con

[1] *Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Argentina lilianacastro@fibertel.com.ar;*

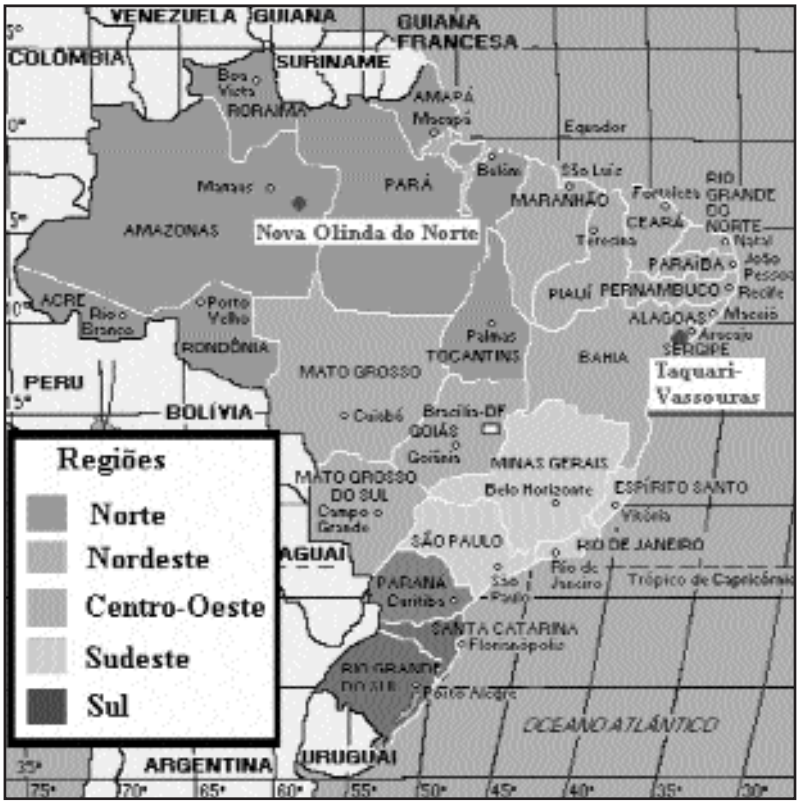
excepción de bromuro, ioduro y nitrato todos lo otros insumos están presentes en elevadas concentraciones en una o más lagos y salares de Bolivia (Ludington et al., 1992). El mayor potencial de estas evaporitas está alojado en las cuencas de edad neógena - cuaternaria.

Las principales sales de K son: silvita, carnalita, kainita y langbeinita, comúnmente la combinación de éstas u otros cloruros de potasio y sulfatos. Debido a la alta solubilidad las sales de potasio se depositan en condiciones de extrema evaporación.

Si se considera las extensas reservas de potasio en las evaporitas marinas (pej. Canadá) los depósitos continentales lacustres rara vez se explotan y cuando se explota se lo hace como salmuera. En Bolivia, se ha identificado silvita en Laguna Kollpa y en Salar de Uyuni, pero no son depósitos extensos. La silvita también ha sido identificada en menor proporción en los depósitos de halita de edad Terciaria.

Existen otros salares con concentraciones menores como el Salar de Coipasa Laguna Hedionda Norte, Laguna Chiar Krota, Laguna Capina, entre otras.

La reducida dimensión de la agricultura boliviana resulta en un muy bajo consumo de fertilizantes. Según FAO; menos de 2 mil t de fertilizantes potásicos (904 t de K_20) se importaron en 2002, contra 25 mil de nitrogenados y fosfatados.



Introdução

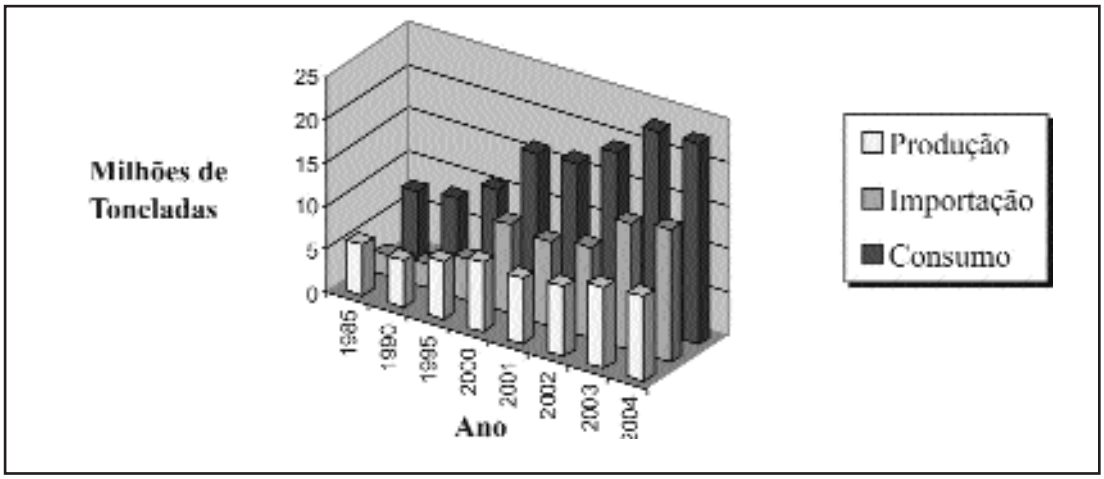
O elemento potássio, um dos dez mais abundantes na crosta terrestre, ocorre na natureza somente sob a forma de compostos. Além dos típicos minerais de minério formados por cloretos e sulfatos, o potássio está presente em numerosos outros: com teores acima

Brasil

Francisco E. Lapido-Loureiro[1] - Marisa Nascimento[1] - Clenilson da Silva Sousa Junior[1]

[1] *Centro de Tecnologia Mineral - CETEM*

de 10%, em nove dezenas e, entre 2% e 10%, em mais duas centenas (Nascimento & Lapido-Loureiro, 2004), em particular nos do grupo dos feldspatos alcalinos e das micas.



Hoje sabe-se que o potássio é um nutriente mineral essencial para as plantas e animais. /.../ é o terceiro mais abundante em nossos corpos, excedido apenas pelo cálcio e pelo fósforo. Mais de 85% do K do corpo humano é encontrado em órgãos essenciais /.../. Nem animais nem plantas podem sobreviver sem um suprimento adequado de K (POTAFOS / NUTRIFATOS, 1996)

Todo o hemisfério sul é pobre de depósitos de potássio: apenas há uma mina em operação, a de Taquari-Vassouras, em Sergipe, Brasil, que atende tão somente a cerca de 10% das necessidades do País em sais de potássio (Figura IV-11)(DNPM, 2004).

Ano	Produção(Mt)	Importação(Mt)	Consumo (Mt)	
			Micronutrientes	NPK
1985	5,8	2,4		7,7
1990	5,4	2,9		8,3
1995	6,7	4,8		10,8
2000	8	10,3		16,4
2001	7,6	9,7		16,7
2002	8,1	10,5	0,3	19,1
2003	9,4	14,7	0,4	22,8
2004	9,8	15,4	0,4	22,8

Figura IV-11: Localização dos depósitos de K.

O Brasil é grande consumidor e importador de fertilizantes e, devido ao forte crescimento da sua agroindústria, esta situação tende a acentuar-se (Figura IV-12).

Figura IV-12 - Produção, importação e consumo efetivo de nutrientes no Brasil (Mt)

Indicadores	83/84 – 85/86	92/93 - 94/95	01/02 - 03/04	Cresc. (%)
Produção -Agro-Vegetal (1000t)[1]	100.396	125.917	180.004	79
Produção de Grãos (1000t)[2]	55.710	74.348	112.148	101
Consumo de Adubos NPK (1000t)[3]	2.933	4.147	7.989	172
Consumo NPK - Kg/ha	65	89	149	129
Área Colhida - 1000 ha	44.963	46.492	53.643	19
Produção "per capita" kg/hab	743	803	1.013	36

O mercado de fertilizantes triplicou o seu volume entre 1991 e 2003 (Quadro (Cuadro) IV-11), mas a produção interna satisfaz apenas 10% das necessidades de potássio, 52% de fósforo e 32% de nitrogênio.

O Quadro (Cuadro) IV-11 mostra que, no período de 1985 a 2004, a produção de fertilizantes cresceu 69%, enquanto que a importação e o consumo aumentavam de 542% e de 196%, respectivamente.

Quadro (Cuadro) IV-11 - Produção, importação e consumo efetivo de nutrientes no Brasil (Mt)

Como reflexo de uma maior e melhor aplicação de fertilizantes, ainda distante do ideal na agricultura familiar, e ausente na de subsistência, a produção agro-vegetal brasileira teve grande crescimento a apartir dos anos 90 como se pode constatar na Quadro (Cuadro) IV-12.

(1) 16 principais produtos de exportação e consumo interno (café, soja, laranja, cana-de-açúcar, cacau, tabaco, algodão, amendoím, mamona, arroz, feijão, milho, mandioca, batata, tomate, trigo).
(2) Cereais e óleo de girassol.
(3) Ano de plantio da safra.
Quadro (Cuadro) IV-12 - Desempenho da produção agro-vegetal nacional no período 1983/84 a 2003/04 (médias trienais). Fonte: ANDA, 2005.

O potássio está presente na rede cristalina de numerosos minerais, mas apenas um pequeno número deles, constituído por cloretos e/ ou sulfatos, é considerado de interesse econômico pelo seu conteúdo em potássio e pela sua fácil solubilização.

Recursos minerais e produção de potássio no brasil

No Brasil, as reservas de sais de potássio, oficialmente aprovadas, são da ordem de 14 bilhões de toneladas (silvita e carnalita), das quais 64,9% medidas, 24,6% indicadas e 10,5% inferidas (fonte: DNPM) Estão localizadas nos estados de Sergipe e do Amazonas, nas Bacias Sedimentares de Sergipe/Alagoas e na do Amazonas.

Em Sergipe totalizam cerca de 504 milhões de toneladas de silvinita e 13 bilhões de toneladas de carnalita (medidas + indicadas + inferidas). Seus teores são de aproximadamente 9,7 e 8,3% de K2O contido, respectivamente. Esses depósitos encontram-se nas sub-bacias evaporíticas de Taquari-Vassouras e Santa Rosa de Lima, municípios de Rosário do Catete, Carmópolis e Santa Rosa de Lima. Dessas reservas (já foram explotadas cerca de 21,71 milhões de toneladas de minério, desde 1985) apenas 129,6 milhões de toneladas de silvinita se definiram passíveis de serem explotados após a introdução de índices de abatimento geológico e parâmetros de mine-

rabilidade (DNPM, 2003).

Trabalhos recentes "de reavaliação das reservas de silvinita na Sub-bacia de Santa Rosa de Lima (16 Km a oeste de Taquari-Vassouras) apontam, preliminarmente, como reserva lavrável, 66,9 milhões de toneladas de minério, equivalendo a 12,72 milhões de toneladas de K_2O" (ob. cit.)

Os depósitos na Amazônia foram descobertos em 1955 no decorrer de um programa de pesquisa de petróleo pela PETROBRAS. As camadas de salgema estão associadas à seqüência de evaporitos do Paleozóico Superior na região de Nova Olinda. Posteriormente, trabalhos de sondagem efetuados em outras áreas do médio Amazonas, região de Tapajós, de Nhamundá-Trombetas e de Nova Olinda-Maués revelaram outras ocorrências. De acordo com o Sumário Mineral Brasileiro as reservas de silvinita descobertos na Amazônia somam um bilhão de toneladas com teor médio de 18,47% de K_2O equivalente (DNPM, 2004).

O depósito da região de Nova Olinda do Norte, localizado nas localidades de Fazendinha e Arari, é formado por sedimentos químicos-evaporíticos que se situam na parte superior do Carbonífero da Bacia do Amazonas. Existem nessa região horizontes de salgema, sais de potássio, gipsita, anidrita e calcário.

Lavra e Processamento

Minérios de potássio em leitos sólidos, a profundidades não maiores que 1400 m, são extraídos principalmente por métodos convencionais de mineração subterrânea mecanizada. Variações da técnica do tipo "câmaras e pilares" são comumente usadas (IFA, 2002). Outras técnicas, em particular a de mineração por dissolução, também são comuns.

O processo de mineração por dissolução é normalmente empregado quando a extração subterrânea não é economicamente exeqüível, devido à profundidade dos depósitos e assim a técnica de injeção de água apresenta-se comparativamente mais econômica. Esta técnica possui algumas vantagens como, por exemplo, a eliminação do custo de perfuração de poços. Além disso, depósitos que originalmente eram explotados por mineração convencional, podem passar a utilizar essa técnica no final de suas operações com o objetivo de um melhor aproveitamento do depósito. É o que está previsto pra a mina de Taquari-Vassouras.

A lavra e o processamento dos minerais de potássio seguem tradicionalmente três rotas:
(1) Mineração subterrânea convencional seguida do processo de flotação, (82% da produção mundial utiliza esse tipo de processo) - é o tipo de lavra seguido na mina de Taquari-Vassouras.

(2) Mineração por dissolução seguida da cristalização fracionada dos sais (12% da produção mundial);

(3) Evaporação solar a partir de salmouras, seguido de flotação ou com algumas variantes como separação eletrostática ou cristalização a frio (cerca de 6%).

As etapas no processamento do minério potássico são geralmente britagem, moagem, deslamagem, separação seletiva dos minerais e secagem do produto final seguindo-se as etapas de

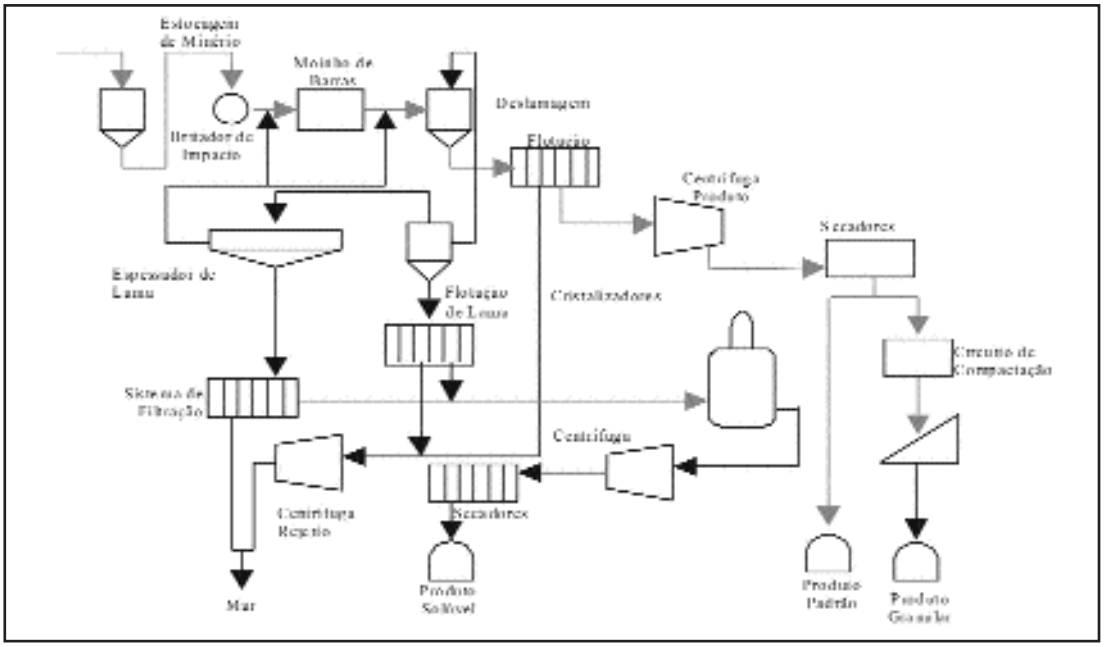


Figura IV-13 - Esquema simplificado do processamento do potássio (ICL fertilizer, 2003).

compactação ou granulação (Internacional Fertilizing Industry Association, 2002). Um esquema simplificado é mostrado na Figura IV-13.

A mina de Taquari-Vassoras, composta de um poço principal e um outro de serviço com 450 m de profundidade, é lavrada com a técnica de "câmaras e pilares". O beneficiamento é feito por flotação, como já foi referido. A extração, é executada por três mineradores contínuos do tipo Marietta que retiram cerca de 1,16 toneladas por minuto e um minerador de cabeça de corte do tipo Alpine com capacidade de produção de 0,7 toneladas por minuto. A recuperação na lavra da mina é de 46% (Baltar et al., 2001).

A existência de lençóis aquíferos trouxe dificuldades na abertura dos poços da mina que tiveram de ser recobertos por concreto especial e um tipo de resina epóxi para a sustentação e impedir o inundamento. A ocorrência de "grisu" (gases explosivos) relacionado

Ano	Produção Nacional	Importação	Consumo Aparente	Produção Nacional (%)	Importação (%)
1950	-	23,5	23,5	0	100
1960	-	106,3	106,3	0	100
1970	-	306,7	306,7	0	100
1980	-	1306,6	1306,6	0	100
1990	68,1	1133,9	1202	6	94
1995	224,1	1539,9	1764	13	87
2000	240,7	2566,6	2919,8	12	88
2001	281,4	2525,4	2882,6	12	88
2002	326,5	2702,2	3078,5	12	88
2003	390,3	2603,4	3993,7	10	90

Fonte: SIACESP (2003)/ANDA (2004).
Quadro (Cuadro) IV-13 - Evolução do balanço de Potássio no Brasil de 1950 a 2003 (1000t de K_2O).
Fonte: ANDA (2005).

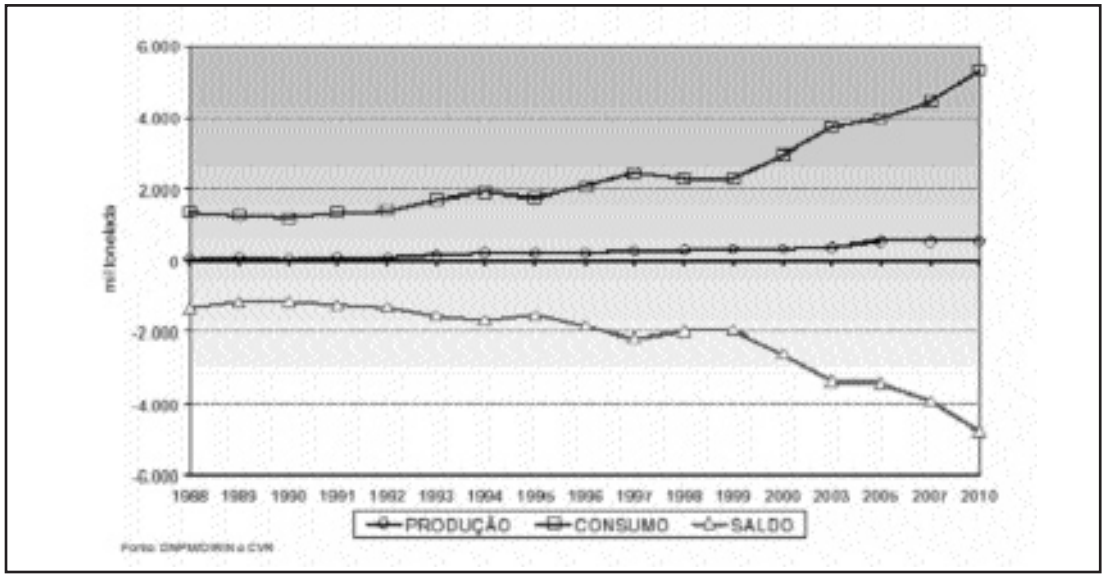


Figura IV-14 - Consumo, produção e saldo de K2O no mercado de fertilizantes e sua projeção até 2010.

com a proximidade de áreas petrolíferas na região ainda aumentou mais a dificuldade da explotação do minério potássico.

Produto	Produção	Importação
Cloreto de potássio	651	6397
Sulfato de potássio	-	85
Salitre potássico	-	176
Nitrato de potássio	-	33

Quadro (Cuadro) IV-14 - Produção e importação de produtos intermediários de potássio, para fertilizantes, em 2004 no Brasil.
Fonte: DNP.

Descriminação	2000	2001	2002	2003
10^3t de K_2O	2.605.147	2.446	2.623	3.137
10^3 US$ - FOB	579.700	528.752	529.974	624.514

Quadro (Cuadro) IV-15 - Quantidade (103 t K2O) e Valor (103 US$) das importações de potássio para fertilizantes no Brasil, de 2000 a 2004.

Produção

A produção de potássio no Brasil foi iniciada em 1985 e, até hoje, restringe-se ao complexo Mina / Usina de Taquari-Vassouras, no Estado de Sergipe, a cargo da Companhia Vale do Rio Doce - CVRD e que, como já foi dito, satisfaz apenas 10% das necessidades do País em sais de potássio para a agricultura.

A Figura IV-14 e o Quadro (Cuadro) IV-13 evidenciam a grande dependência externa de importações, fortemente crescentes no período 1999-2003.
A produção, importação, consumo aparente e custos são apresentados nos quadros (Cuadros) IV-13, IV-14 e IV-15.

Necessidades agrícolas

O potássio relativo de importância na cultura sileira, caracteristicas dos solos. Com efeito, no Brasil, a proporção média de sumo N:P_2O_5:K_2O foi em 2003, de [1:1,6:1,7] (ANDA, 2004), enquanto que a média mundial foi de [1:0,4:0,3] e, para outros países grandes produtores de alimentos como França, EUA e China, essa relação foi de, respectivamente, [1:0,4:0,6], [1:0,4:0,4] e [1:0,4:0,1] (Armelin, 1999). Ou seja, no Brasil a proporção de potássio e fósforo em relação ao nitrogênio, necessária à fertilização dos solos, é bem superior à de outros grandes produtores agrícolas (Lapido-Loureiro & Nascimento, 2003).

Cultura	Nível de produção	Total absorvido (kg K_2O)
Algodão	500 kg de fibra	42
Amendoim	2 t de grãos	92
Arroz	3 t de grãos	144
Café (5,5 – 6,5 anos => 50 sacas	3 t de grãos	187
Cana	100 t de colmos	201
Eucalipto	100 m^3 de madeira	35
Feijão	1 t de grãos	119
Forrageiras / Gramíneas	1 t de matéria seca	27
Forrageiras / Leguminosas	1 t de matéria seca	27
Laranja	18 t de frutos	73
Milho	5 t de grãos	106
Soja	2,5 t de grãos	100
Tomate	40 t	230
Trigo	3 t de grãos	51

K_2O kg/ha	Café	Cana	Milho	Soja
0	1,5	115	2,2	0,7
30	-	-	3,9	-
40	-	-	-	2,2
60	-	-	4,1	-
75	-	127	-	-
80	-	-	-	2,5
100	4,8	-	-	-
150	-	135	-	-
200	6,6	-	-	-

Há várias compostos-fonte de potássio, cada um com suas vantagens. O mais comum é o cloreto de potássio (KCl). Culturas especiais podem requerer outras fontes como o (K_2SO_4), ($K_2SO_4.2Mg\ SO_4$) e (KNO_3).

A maior parte das plantas absorve grande quantidades de potássio (Quadro (Cuadro) IV-16) e, de uma forma geral, sua presença em quantidades apropriadas, aumenta o rendimento de várias culturas (Quadro (Cuadro) IV-17)

Fonte: POTAFOS / Nutrifatos, 1996.
Quadro (Cuadro) IV-16 - Nível de produção / total de K absorvido pelas culturas

No Quadro (Cuadro) IV-17 pode verificar-se que o rendimento na produção de café é muito sensível à adubação potássica.

Fonte: POTAFOS / Nutrifatos, 1996 (dados do IBC, Planalsucar, IAC e EMBRAPA)
Quadro (Cuadro) IV-17 - Influência do K no aumento da produção

O setor florestal brasileiro também influencia o perfil/demanda de nutrientes. As indústrias associadas à produção silvícola, celulose, papel, carvão vegetal, madeira serrada, chapas e aglomerados têm forte presença em âmbito nacional.
O Brasil é o maior produtor mundial de celulose (cerca de 6,5 Mt/ano) e detém a maior área de floresta de eucaliptos do mundo (3 Mha). A produtividade em função do tipo de solo é a seguinte: 38,5 m3.ha-1ano em latossolos e 26 m3.ha-1ano em areias quartzosas. Verificou-se que, em florestas plantadas por 22 empresas no Estado de São Paulo, o potássio era o nutriente mais limitante ao crescimento do Eucalyptus (SILVEIRA, R.L.V.A et al, 2001).

Por outro lado, para se atender à demanda de álcool e açúcar nos próximos 8-10 anos, estima-se ser necessário produzir 50% a mais do que atualmente (410 Mt), isto é, cerca de 205 Mt de cana suplementares. Como uma tonelada de cana - colmo - absorve cerca de 2 kg de K_2O, é fácil deduzir as grandes quantidades de potássio fertilizante que serão necessárias.

Com a queda dos subsídios europeus ao açúcar refinado, o comércio mundial deverá crescer a uns 3% ao ano. Segundo o jornal Gazeta Mercantil de 14/08/2005, essa mudança deverá proporcionar ao Brasil uma participação adicional de 50%, o que irá permitir que o País passe a deter 39% do mercado mundial em 2010/11. Será mais um fator a ampliar a demanda por potássio fertilizante.

Deve ainda ser lembrado que, atualmente, o déficit de potássio na agricultura brasileira é de cerca de 400.000 t/ano.

Tanto no Brasil como em outros países da América Latina, principalmente no Mercosul, o agronegócio tem grande peso em suas economias. No Brasil é responsável por cerca de 40% do produto interno bruto. A agricultura e a pecuária representam uma boa parte desse montante (25%). No caso brasileiro, alguns produtos agrícolas ocupam, posições de destaque no contexto mundial como, por exemplo, o café, a laranja, a soja, o açúcar, o algodão e a silvicultura, mesmo com as enormes barreiras tarifárias que lhes são impostos na Europa e EUA. Verifica-se, por estes números, que o agronegócio brasileiro tem grande importância no cenário internacional.

No mercado de fertilizantes o Brasil ocupa lugar de grande destaque. LOPES (2002) refere que, somente em fertilizantes, o Brasil movimenta cerca de 4,5 bilhões de dólares anuais.É o quarto maior consumidor de fertilizantes do mundo atrás da China, dos EUA e da Índia e terceiro no caso do potássio. Isso se deve não só pelas dimensões do País, mas também pela política de promover o aumento de produtividade que se apoia num mais elevado consumo de fertilizantes.

O que se verifica hoje deve se, principalmente, a mudanças ocorridas na década de 80. Nesse período, houve um decréscimo sensível nos financiamentos do governo no setor agrícola e, como conseqüência, os produtores necessitaram aumentar sua produtividade e conseguiram-no. Mesmo com uma diminuição da área cultivada de cerca de 11,4% entre 1988 e 1999, a produção cresceu 22,5% o que requereu maior aplicação de fertilizantes, sustentada pelas importações que passaram de 35% para 49% do total consumido em 1988. O consumo de potássio aumentou em média 9,2% nos últimos 4 anos. Hoje cerca de 90% do potássio consumido no país provém de importações e a tendência para seu aumento mantem-se, dada a falta de ações para a entrada em produção de novos depósitos ou de novos materiais fertilizantes.

Outra característica do comércio brasileiro de fertilizantes é o surgimento de um período de fusões e compra de companhias. Em 1988, 19 importadores de KCl representavam 80% das importações brasileiras. Hoje são 13 as responsáveis pelos mesmos 80%.

Conclusões e sugestões

Nos últimos 35 anos, o crescimento da produção agrícola mundial foi de 85%. O da área cultivada aumentou somente 8% (CÁMPORA, 2003). O agente impulsionador foi o aumento do rendimento de produção, cerca de 90% naquele período. Se isso aconteceu deve-se, em grande parte, ao

uso intensivo de fertilizantes minerais, embora na maioria dos países, as fontes internas tradicionais, nomeadamente as de potássio, não sejam suficientes para atender essa demanda, sempre crescente, como é o caso brasileiro.

No Brasil o aumento da produção agrícola nos últimos 20 anos ficou a dever-se, em grande parte, a uma mais completa e racional aplicação de fertilizantes. Foi de cerca de 80% enquanto a área colhida aumentou apenas 19% (Quadro (Cuadro) IV-12).

A demanda de fertilizantes, inclusive de potássio, vem crescendo a cada ano. Com apenas uma mina em operação para produção de fertilizantes potássicos, o Brasil é fortemente dependente de importações provenientes de poucos países. É uma situação preocupante, do ponto de econômico e estratégico.

Em relação ao potássio verifica-se no Quadro (Cuadro) IV-14 que o seu consumo aparente, que havia sido de 23,5 mil toneladas de K_2O contido, em 1950, atingiu quase 4 milhões de toneladas em 2003. Mesmo assim o déficit na agricultura brasileira é de cerca de 400 mil toneladas/ano.

Há pois necessidade de serem desenvolvidos trabalhos sistemáticos de prospecção e pesquisa geológica e estudos abrangentes para aproveitamento de depósitos já conhecidos e de fontes não convencionais, seja na forma de aplicação direta ou de desenvolvimento de novos processos para a produção de fertilizantes potássicos.

Os estudos de materiais e rotas alternativas para a produção de fertilizantes potássicos reveste-se de grande importância para o Brasil, dadas as características dos solos, da forte dependência de importações e da grande distância e concentração dos países fornecedores.
O consumo de potássio em 2004 foi de 73kg/ ha, se considerada a razão entre a quantidade entregue ao consumidor final (3,9 Mt) e a área colhida (53,6 Mha) das 16 principais culturas. Na América Latina aquela razão foi de 14kg/ha em 1999.

No Brasil o percentual de K nas misturas tem vindo a aumentar A formulação média NPK que era de 9,42:15,76:13,29 em 1985, passou a ser de 10,47:13,79:15,49 em 1995 e de 9,86:15,18:17,18 em 2004 (Fonte: ANDA)

Dada a escassez de minérios de potássio tradicionais no Brasil, com a agravante de tal fato se verificar em todo o hemisfério sul, e a forte dependência do País de importações de matérias primas para fertilizantes (cerca de 2,5 Mt anuais a um custo de US$ 625 milhões em 2003) com reflexo negativo na balança comercial, há necessidade de se buscarem caminhos e se encontrarem soluções que resolvam o problema, não só por razões econômicas, mas também estratégicas, insista-se.

Além da busca dos clássicos depósitos sedimentares de silvita, silvinita e carnalita, rochas ígneas das famílias dos sienitos e carbonatitos, sedimentares como os arenitos feldspáticos, ou ainda rochas enriquecidas de potássio por processos hidrotermais, deveriam merecer uma atenção toda especial. Os equivalentes microcristalinos dos sienitos, os traquitos, e outras rochas com minerais ricos de potássio também devem ser considerados e devidamente estudados, como hipótese para aplicação direta na agricultura, como fertilizantes potássicos, pesquisas essas que, como é do nosso conhecimento, já estão sendo desenvolvidas no Brasil e em outros países.

Dentro dos minerais silicatados, comuns, com teores elevados de potássio, as micas, pelas suas propriedades cristalo-químicas, são certamente, além dos feldspatos potássicos, os de maior interesse potencial por serem abundantes na natureza e por estarem presentes em muitas rochas.

Sua aplicação direta como fertilizantes de liberação lenta deverá exigir porém estudos aprofundados de química dos solos e cinética de migração dos íons, certamente variáveis em função das características pedológicas e morfoclimáticas locais. Será necessário definir se, a médio e longo prazos, essa liberação do potássio compensa a exportação resultante da atividade agrícola intensa. A própria composição mineralógica das rochas susceptíveis de aplicação direta na agricultura poderá, ela própria, interferir na cinética de liberação / migração / fixação, pela modificação que pode provocar no pH dos solos, por exemplo. Será o caso dos carbonatitos, rochas ricas de carbonatos de cálcio e magnésio, com minerais do grupo das micas, a fonte de potássio neste caso.

Rumos a serem seguidos poderiam envolver, no que diz respeito ao potássio para a agricultura:
• A criação de uma entidade coordenadora das atividades de P&D composta por representantes dos ministérios da Agricultura, de Minas e Energia e de Ciência e Tecnologia, por pesquisadores e técnicos de Centros de Pesquisa, Universidade, CPRM (Serviços Geológicos), DNPM, PETROBRAS e ANDA que, pelo seu saber, experiência e espírito inovador pudessem contribuir, de forma efetiva, na resolução do problema da grande dependência externa de importações de potássio para fertilizantes (mais de 86% do consumo do País, como já foi dito), produto indispensável à importante, dinâmica e competitiva indústria agropecuária nacional;

• A realização de estudos intensivos, que deveriam ser considerados como prioritários, para o aproveitamento dos depósitos de carnalita e silvinita de Sergipe e Amazônia;

• O estabelecimento de um plano de prospecção e pesquisa mineral, sistemática e abrangente, de novos depósitos em que a PETROBRAS poderia desempenhar papel fundamental, como já aconteceu em relação à única mina em produção, em Sergipe, e às importantes reservas que definiu na Amazônia;

• O incentivo ao estudo de novos materiais e novos caminhos para produção de fertilizantes que se adaptem às diferentes condições solo/clima e sócio-econômicas do Brasil;

• A inventariação sistemática e a definição geológica e geoquímica de ocorrências de rochas e minerais que possam vir a constituir fontes alternativas, tanto a produção de sais de potássio para fertilizantes, como de materiais para utilização direta na agricultura ou ainda para produção de termofosfato potássico, produto de solubilização lenta, não fabricado no Brasil, que poderia ser uma boa opção nas condições climático-pedológicas prevalecentes no Brasil.

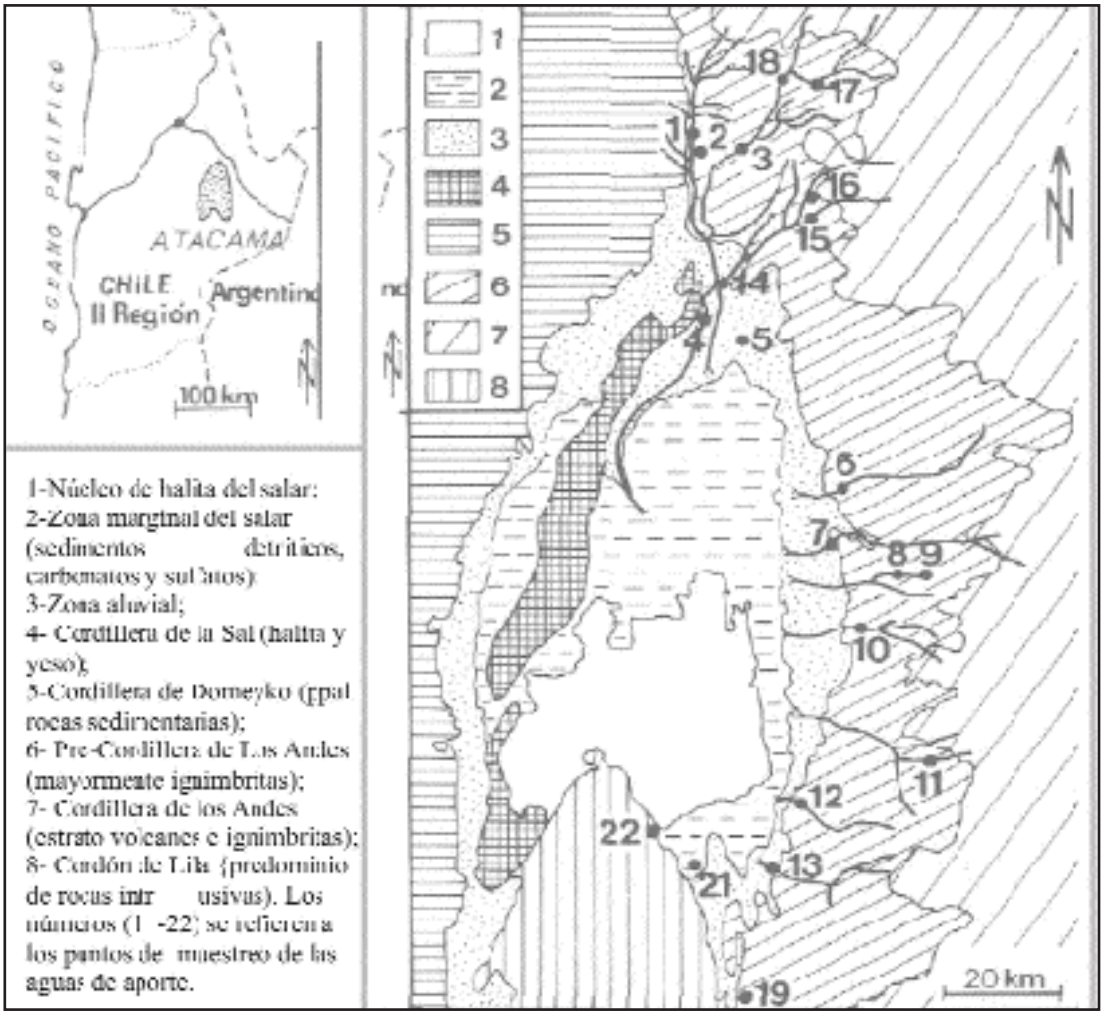
Por outro lado, minerais como a biotita, aluminossilicato rico de ferro poderão agravar o problema dos latossolos no que diz respeito aos seus teores em Al e Fe.

Os estudos de materiais e rotas alternativas para a produção de fertilizantes potássicos reveste-se de grande importância para o Brasil, dadas as características dos solos, da forte dependência de importações e da grande distância e concentração dos países fornecedores.

Chile

Rafael Ruiz Sch [1]

[1] *Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA-Chile, Chile. rruiz@inia.cl*



Introducción

En el caso de Chile la materia prima de la cual derivan los fertilizantes potásicos no puede separarse de otros componentes de valor fertilizante contenidos en el "caliche", ya comentado en otras secciones. A partir de esa materia prima presente en numerosos yacimientos del Norte de Chile al estado sólido y de las "salmueras" o soluciones altamente concentradas presentes en el Salar de Atacama se producen una serie de fertilizante potásicos y también nitrogenados, boratados, sulfatados, etc, cubiertos en otras secciones del informe.

Depósitos de Potasio en Chile

Desde el punto de vista del potasio, el Salar de Atacama es el salar que presenta el mayor potencial en cuanto a reservas de K explotables económicamente. Este Salar está ubicado a 200 km al este de la ciudad de Antofagasta (Figura IV-15), con una cuenca de 15.000 km^2 de los cuales 1100 km^2 corresponden al núcleo con un espesor de 900 m (Bevaqua, 1992).

Geomorfológicamente el salar corresponde a una depresión tectónica cerrada, cuenca intermontana , de tipo endorreica. La parte basal de la cuenca corresponde a ignimbritas altamente impermeables (Díaz del Río, et al., 1972). En cuanto al aporte de sales debe considerarse que el Salar de Atacama es una cuenca endorreica hacia la cual fluyen y han fluido numerosos cursos hídricos que atraviesan formaciones geológicos de diverso origen, pertenecientes principalmente a formaciones volcánicas del Terciario. La geología del sector que circunda el Salar así como las fuentes hídricas que lo alimentan se indica en la Figura IV-15.

Se aprecia el núcleo, el cual se compone principalmente de halita, el cual deriva en parte de disolución de la Cordillera de la Sal. (Alonso y Risacher, 1996). Luego se aprecia una zona marginal del salar que comprende sedimentos detríticos, carbonatos y sulfatos. Rodeando esta área se aprecia un área aluvial generada por las diversas fuentes hídricas.

Se observa que la litología de los cordones que bordean el Salar por el este, norte, sur y oeste son principalmente rocas ígneas de tipo ignimbritas.

Aparentemente la mayor parte de las sales presentes en el Salar fueron depositadas durante el Terciario, época de intenso volcanismo y al parecer de mayores precipitaciones. Este proceso de acumulación de sales continúa actualmente, a menor tasa. La única descarga del Salar lo constituye la evaporación, que alcanza valores extremadamente altas (3200 mm/año). La recarga, en cambio proviene de las precipitaciones tanto nivales como pluviales que se producen en el área.

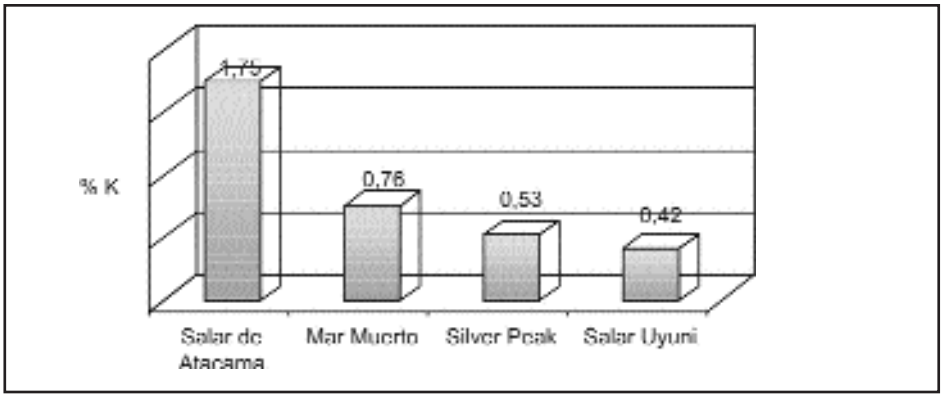
Tipo Agua	K	Na	Cl	SO_4	Ca
Superficial	49.7	479	731	576	132
Sub superficial	46.9	465	979	573	179

Las últimas ocurren preferentemente durante la época estival ("invierno boliviano") y se caracteriza por ser de corta duración y de tipo torrencial.

Figura IV-15. Ubicación y principales unidades morfológicas de la cuenca del Salar de Atacama. Fuente: Risacher y Alonso, 1996. Revista Geológica de Chile 23 (2).

El promedio de precipitaciones no supera los 10-15 mm/año, lo que corresponde a la evaporación de un día en el salar. Principalmente la recarga proviene de la lluvia y/o derretimiento de la nieve que ocurre en las partes altas, al este del Salar. Los ríos y tributarios que nutren el salar atraviesan formaciones volcánicas del Terciario, las que se mantienen con alguna actividad hasta el presente y con un importante aporte hidrotermal. Esto hace que la calidad química de las aguas, base de la composición de sales del Salar, sea muy especial. Estas particulares características han afectado no sólo la composición del salar sino también las aguas de regadío (Ferreyra, et

al, 1997).



Resumiendo, el origen del potasio, está por una parte en los solutos disueltos en las aguas que atraviesan y atravesaron la cuenca volcánica que rodea el Salar por el este y por otra en las condiciones endorreicas y de impermeabilidad del subsuelo bajo el Salar. La escasa precipitación y alta evaporación explica la formación de las evaporitas que constituyen el Salar.

Estudios recientes indican que las sales presentes en el núcleo no provienen de desecamiento de un antiguo lago salado (como es el caso del lago Poopó de Bolivia) sino que derivan principalmente de aportes subsuperficiales. De hecho se han identificado tres acuíferos sobrepuestos en depósitos detríticos semiconsolidados separados por ignimbritas y cenizas volcánicas (Díaz del Río et al, 1972). Estas fuentes vierten sus aguas al Salar en una situación diferente al de otros salares del mundo. De hecho, la ausencia de sedimentos lacustres indican que el Salar de Atacama nunca fue recubierto por un extenso lago permanente. (Risacher y Alonso, 1996). La entrada de agua a través de acuíferos subterráneos explica la gran pureza de las sales determinadas en el Salar y las diferencias de composición debido a estos "ríos subterráneos" que alimentan el Salar.

Recursos mineros y actividad extractiva

Se calcula que el 90% del núcleo del Salar de Atacama está constituido por halita (cloruro de sodio), estando el resto constituido por más de 10 tipos de sales diferentes.

Respecto del K, éste se encuentra impregnando la halita porosa a manera de una salmuera intersticial, generalmente en conjunto con litio, magnesio y boro. La zona marginal que rodea al núcleo está constituida por sedimentos salinos finos ricos en sulfatos, especialmente yeso. Es decir en lo que respecta al K, éste se encuentra preferencialmente en la zona del núcleo.

La composición promedio de cationes y aniones presentes en las sales más importantes en salmueras de superficie y profundidad se indica en el Cuadro IV-18.

Cuadro IV-18. Composición promedio de las aguas del Salar de Atacama. (mg/l).

Fte: Díaz del Río et al, 1972.

Se observa que la cantidad de K presente en aguas de salmueras de superficie o en profundidad es similar, predominando fuertemente los iones Na^+ y Cl^- provenientes de disolución de NaCl.

El K presenta en las aguas superficiales de los cursos de agua que ingresa a la cuenca no superan los 5 mg/l y en promedio no contienen más de 0,9 mg/l (Alonso y Risacher, 1996), lo cual indica, por una parte el fuerte proceso de concentración de sales y por otra el enriquecimiento en K al circular las soluciones por el subsuelo y el aporte hidrotermal.

Las salmueras del Salar de Atacama presentan ventajas competitivas importantes, ya que presentan concentraciones de K más altas que otros depósitos de salmueras naturales a nivel mundial. (Figura IV-16).

Figura IV-16. Concentración de K en diferentes depósitos salinos del mundo
Fte: Elaborado a partir de C. Nakousi., 2001

Las reservas de K correspondiente a la propiedad minera de SQM en el Salar de Atacama corresponden al 85% de la superficie del salar. El resto pertenece a la Sociedad Chilena del Litio. En su conjunto el salar en lo que respecta a SQM, tiene reservas estimadas en 50 millones de toneladas de cloruro de potasio y 39 millones de toneladas de sulfato de potasio. Agregando el 15% y suponiendo la misma concentración de K del resto del núcleo, el total asciende a 57,5 millones de toneladas de KCl y 45 millones de toneladas de sulfato de K.

La otra materia prima necesaria para completar la serie de fertilizantes potásicos básicos producidas en Chile (nitratos, sulfatos y cloruro potásico) se encuentra en los mantos de caliche los que se hayan ubicados entre la localidad de Camarones (I Región) y Taltal (II Región), con una extensión total de 750 km de largo. Los yacimientos corresponden a asociaciones mineralógicas complejas donde se reconoce la presencia principal de nitratos, sulfatos, cloruros, boratos, asociados a sedimentos arcillosos silicatados. La explotación de ellos se inicia con una prospección, lo que permite definir las áreas de localización de la futura extracción. (Le Fort Rudloff, 2001). Los mantos de caliche están constituidos secuencialmente por capas de material estéril no consolidado, luego una capa de material estéril cementado. A continuación se presenta la capa de caliche, de diferente espesor y luego nuevamente material estéril. La extracción se efectúa mecánicamente separando el material estéril y extrayendo el caliche el cual se envía a las oficinas

salitreras María Elena y Pedro de Valdivia.

Proceso de elaboración de los fertilizantes

Nitrato de Potasio

Mediante un proceso de alta temperatura se efectúa una combinación de nitrato de sodio (elaboración ya indicada en capítulo respectivo) y cloruro de potasio lo que da como resultado el nitrato de potasio. La separación del cloruro de sodio que resulta como subproducto, se realiza mediante espesadores y por centrifugación.

La solución de nitrato de potasio saturada se cristaliza al vacío, produciéndose nitrato de potasio

Cultivos	Superficie (ha x1000)	Demanda (ton/pais)
Cereales grano pequeño	536	5360
Maiz	112	4480
Papas	58	3480
Leguminosas grano	31	620
Remolacha	34	1020
Otros	59	1180
TOTAL		**16140**

cristalizado. Posteriormente el producto obtenido se envía a planta de secado o prilado según sea el producto final que se desea obtener.

Especies	Superficie (hax1000)	Demanda (ton/pais)
Horl. de hoja	3	90
Tomate	20	1600
Cucurbitáceas	14	700
Choclo	13	520
Poroto verde y granado	10	200
Aliáceas	10	300
Pimentón	3	45
Crucíferas	4	16
Hort. Perennes	8	32
Flores	2	40
Otros	38	760
TOTAL		**4303**

Especies	Superficie (hax1000)	Demanda (ton/país)
Carozos	53	3180
Frutales de pepa	49	3430
Frutales de nuez	14	560
Vid vinífera	81	4050
Vid de mesa	43	3870
Cítricos	15	1200
Kiwi	8	400
Palto	18	1080
Otros	10	500
TOTAL		**18270**

Cloruro de Potasio

La salmuera que contiene K se extrae del Salar de Atacama por bombeo desde pozos ubicados a 30 m aproximadamente. De allí el producto líquido se deposita en pozos de evaporación salar.

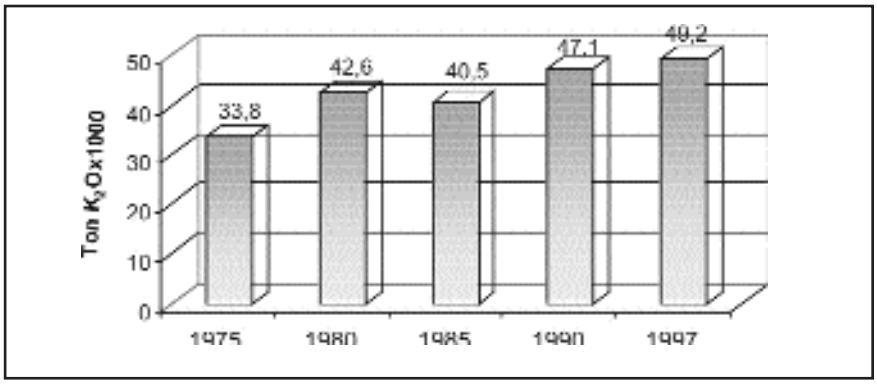
La salmuera es traspasada de poza en poza mediante bombas centrífugas. En este tránsito la solución se concentra progresivamente. En este proceso se van depositando secuencialmente los distintos tipos de sales, las que se van retirando desde las pozas y constituyen la materia prima tanto para cloruro como sulfato de potasio. La producción de KCl implica alimentar la planta con una línea que entrega silvinita (cloruro de potasio y cloruro de sodio), obtenido por separación mecánica en fase anterior. El producto sólido es molido con el objeto de liberar los cristales de KCl y NaCl. Las partículas con sobre tamaño se devuelven a la molienda y el material fino pasa a la etapa de flotación que separa el cloruro de sodio del de potasio. El producto obtenido se lleva a varias etapas de concentración siendo posteriormente lavado y centrifugado, generando un producto con 95% de KCl. La planta tiene una capacidad potencial de producción de 500.000 t/año de KCl.

Sulfato de potasio

Se genera a partir de material seleccionado en la poza de sulfatos. De allí se llevan a una etapa de conversión, donde se transforma en una mezcla de sales de schoenita (K_2SO_4. $MgSO_4$. $6H_2O$), cloruro de potasio y cloruro de sodio. Posteriormente estas sales se separan por medio de etapas de flotación y se recupera la shoenita y el cloruro de potasio. Las sales remanentes del proceso de flotación son filtradas para recuperar la salmuera y el NaCl es descartado en una pila de sal común.

Las sales de schoenita y cloruro de potasio son mezcladas y dosificadas en un equipo cristalizador de K_2SO_4, donde son disueltos el magnesio y el cloruro.
Por último, las sales de sulfato de potasio son filtradas y lavadas con agua para aumentar la pureza del sulfato de potasio.

La planta de sulfato de potasio tiene una capacidad instalada para producir 250.000 ton/año de producto.



Necesidades agrícolas

Es posible estimar las necesidades actuales de potasio en la agricultura conociendo, a) el requerimiento anual del mismo para el rendimiento promedio país b) la superficie dedicada al cultivo o

frutal en el país en los últimos años (base: cifras del Censo nacional Agropecuario más reciente ,INE,1997). Por último es necesario considerar el aporte de K del suelo de las diferentes áreas edafoclimáticas del país. Para los efectos de este informe, la cifra que se entrega es obviamente muy gruesa pudiendo sufrir substanciales modificaciones al entrar a un detalle mayor.

En cuanto al requerimiento de K para cultivos, este ha sido estimado o medido para diferentes niveles de rendimiento (Rodríguez, 1996.). En el caso de las especies frutales más importantes y también en vides viníferas y de mesa el requerimiento de K también ha sido cuantificado (Ruiz y Sadzawka, 2005). A partir de esta información es posible estimar el requerimiento actual de K a nivel país.

El requerimiento de K para el caso de los cultivos anuales se indica en el cuadro IV-19.

Cuadro IV-19 Demanda de K proveniente del ámbito de los cultivos.

En el cuadro IV-20 se indica la demanda generada desde el ámbito de las hortalizas.

Cuadro IV-20 Demanda de K proveniente del ámbito de las hortalizas.

Cuadro IV-21 Demanda de K proveniente del ámbito de las especies frutales.

Por último desde el ámbito de praderas sembradas se visualiza una demanda de alrededor de 5000 toneladas proveniente principalmente de especies leguminosas.

[1] *INTA . Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Pergamino. rmelgar@pergamino.inta.gov.ar*

De acuerdo a estas cifras la demanda total se estima en alrededor de 43.713 toneladas de K, equivalentes a 52.666 toneladas de K_20/año.

Consideraciones finales

Chile es el quinto productor mundial con valores en el 2004 cercanos a 400.000 t y reservas probadas 10 Mt y reservas base de 50 Mt

Los depósitos de potasio, en el Salar de Atacama, corresponden en la actualidad en un 85% de las reservas del Salar a la Empresa SQM, el resto pertenece a la Sociedad Chilena del Litio. SQM tiene reservas estimadas en 50 millones de toneladas de ClK y 39 millones de toneladas de SO_4K_0, las cuales pueden aumentar suponiendo la misma concentración de K del resto del núcleo. La otra materia prima necesaria para completar la serie de fertilizantes potásicos básicos producidas en Chile (nitratos, sulfatos y cloruro potásico) se encuentra en los mantos de caliche los que se hayan ubicados entre la localidad de Camarones (I Región) y Taltal (II Región). Esto indica que las necesidades del mercado local están cubiertas.

[1]*Edafología, Colegio de Postgraduados Montecillo, Texcoco, Edo. De México E-mail: ronues@colpos.mx*

El mercado futuro para potasio en el país se visualiza fuertemente dependiente del requerimiento que emana de especies hortofrutícolas, en las cuales los aspectos de calidad son de relevancia. En este sentido existe cada vez más el convencimiento de que el K afecta positivamente los aspectos cualitativos de la fruta, en especial los frutos suculentos, incluyendo la uva de mesa.

Por otra parte, el requerimiento de rendimientos cada vez mayores para hacer rentable el negocio agrícola y el aumento de exportaciones en rubros no tradicionales incluyendo carne y leche ,implica una extracción de K y no reposición al sistema. Esto conlleva a una pérdida neta de K que debe verse reflejada a futuro en una mayor demanda de K .
Las cifras estimadas de consumo de K a nivel país así lo demuestran. (Figura IV-17)

Figura IV-17. Estimación de la evolución del consumo de Potasio (Kg de K_2O) a nivel país (Fuente : ODEPA-CIREN CORFO)

Área o Reservorio	TM de	Salmueras % KCl (#)	TM de KCl
Ramón (evaporitas)	1.96×10^8	1.06	2.08×10^6
Ramón (arenas)	2.54×10^8	0.75	1.91×10^6
Zapallal	7.15×10^8	0.41	2.93×10^6
Ñamuc	3.13×10^8	0.42	1.30×10^6
Cañamac	1.90×10^8	0.45	8.60×10^6
Reventazón	1.55×10^8	0.35	8.60×10^6
Depresión Grande	2.67×10^8	0.70	1.80×10^6
Reservas Totales			23.83×10^6

De acuerdo a estas cifras es dable esperar un incremento entre 700 y 1000 toneladas de K_2O por año en los próximos años.

[1]*INTA . Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Pergamino. rmelgar@pergamino.inta.gov.ar*
[2]*Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. gaguirre@lamolina.edu.pe*

Colombia

Ricardo Melgar[1]

La silvita está comúnmente asociada a los yacimientos evaporíticos de sal común. No obstante, la fracción de KCl presente en las minas de NaCl existentes en la cordillera Oriental de Colombia es mínima. Se conoce de la existencia en la cordillera Central de fuentes saladas que, por ser originadas en la lixiviación de rocas ígneas, pueden contener alguna fracción importante de sales de potasio. Sin embargo, no se han adelantado investigaciones en tal sentido.

Colombia es un país que por sus suelos y la agricultura intensiva orientada e la exportación consume altas cantidades de potasio por ha cultivada. Por esa razón y a pesar de contar con una industria propia de fertilizantes, la falta de minerales locales hace depender su provisión de potasio completamente de la importación. Durante 2003, se importaron por ej. 260 y 9 mil t de Cloruro y sulfato de potasio respectivamente .Según IFA, 184 mil t de K_20 fueron importadas en el quinquenio 1999-2003, lo que representa el segundo país en Latinoamérica después de Brasil.

Mientras el conocimiento geológico no muestre una nueva realidad frente a los minerales de potasio, el país no podrá prescindir de la importación de las sales de estos elementos, necesarias para el desarrollo de la industria de los fertilizantes y de otras.

México

Roberto Núñez Escobar[1]

No existen en México depósitos naturales de minerales potásicos de volumen y calidad suficientes para su explotación comercial. A principios del decenio 1980 se hicieron planes para la explotación del cloruro de potasio contenido en las salmueras de la planta geotermoeléctrica de Cerro Prieto, en el Estado de Baja California, con una capacidad proyectada de 80,000 t/a de KCl; sin

Reservas de Yacimientos (MTM)	Producción Nacional TM	Importación TM	Total Producción / Importación TM	Consumo TM	Requerimientos Plan de Siembra 2005 TM K_2O
0	0	61.589	61.589	60.744	175.834

embargo el proyecto no se llevó a cabo por no resultar competitivo con los precios de oferta de dicha sal en los mercados mundiales (Anónimo, 2002).

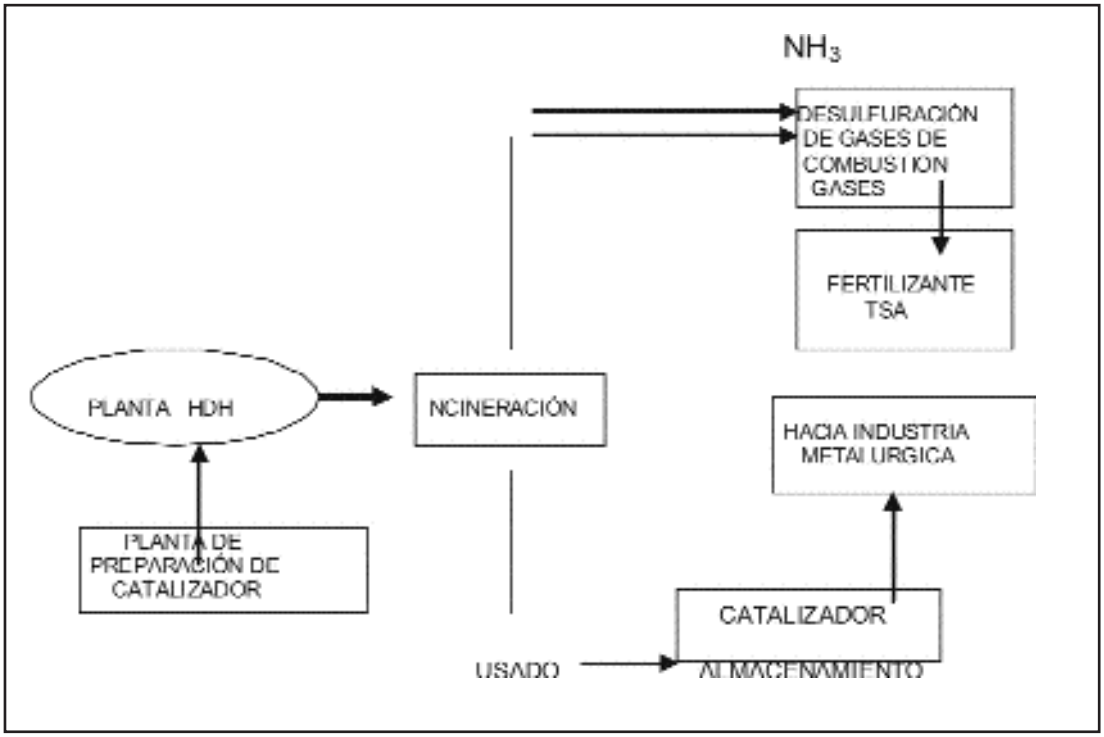
Por lo anterior, todo el potasio consumido por la agricultura mexicana proviene del exterior. En 1990, antes de la privatización de la industria mexicana de fertilizantes, se importaron 88,000 t de K_2O principalmente en forma de KCl y complejos NPK, pero con la desaparición del monopolio

[1]*Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía, Instituto de Edafología, Maracay, Estado Aragua, VenezuelaE-Mail: casanovaen@cantv.net*

paraestatal que no permitía el ambiente de mercado abierto para fertilizantes NPK, la importación ascendió a 158,000 t de K_2O en 1994 y a 269,000 t en el año 2003.

Perú

Ricardo Melgar[1] y Guillermo Aguirre Yato[2]



En la provincia de Sechura del departamento de Piura, existe uno de los más grandes yacimientos de fosfatos del mundo y a su costado, un importante depósito de salmueras con alto contenido de potasio, magnesio y con cantidades recuperables de bromo. Cabrera (1962, los describe en las llamadas "Sechura Western Depression" y "Eastern Sechura Depression-N. E". En las proximidades de estos yacimientos, la provincia de Sechura alberga un pequeño depósito de azufre nativo (Reventazón) y otro de coquina o carbonato de calcio. Todos los yacimientos mencionados están próximos al puerto de Bayóvar, en el cual termina el Oleoducto Nor peruano. Al Norte de los depósitos mencionados, a pocas decenas de kilómetros de Bayovar están los campos petrolíferos del Noroeste peruano que producen gas para el cual se busca su utilización.. Un resumen de la ubicación de dichas reservas se muestran en el cuadro IV-22.

Para los yacimientos de Sechura la empresa MIDEPSA hizo en la década de los '60 estudios de factibilidad de explotación que incluyen la cubicación de reservas, determinación de leyes, su calidad y factibilidad técnica de su explotación y tratamiento. (Cabrera, 1962). Se mencionan 6.3

millones de t de reservas en un área de 62.195 has. Dichos proyectos no se ejecutaron debido a la situación política y del mercado de aquel entonces las que actualmente han cambiado.

La falta de producción propia de fertilizantes, y en particular de yacimientos potásicos hace que la demanda deba abastecerse por la importación. El consumo de fertilizantes en general y en particular de fertilizantes potásicos, es de los mas bajos de Latinoamérica. Cerca de 20 mil t de K_2O se han importado en promedio en la ultima década, pero en los últimos años se ha registrado un significativo aumento del consumo. En 2003 se importaron unos 56 mil t de KCl y 42 mil de Sulfato simple y doble de K y Mg,

Cuadro IV-22. Reservas identificadas de salmueras en el área de Bayóvar, Peru.
Fuente: Empresa Minera Regional Bayóvar S.A. (1994)
(#): La relación entre el ClNa y el ClK en promedio es de 28:1

Venezuela

Eduardo Casanova[1]

Introducción

El potasio es el tercer elemento nutricional requerido en los cultivos en Venezuela después del nitrógeno y el fósforo. A diferencia de estos dos nutrientes, no existen yacimientos de potasio en Venezuela y ha habido en el pasado estudios de evaluación de recuperación de potasio de salinas y de los filtros de las fábricas de cemento sin posibilidades económicas debido a la baja concentración de ese elemento en esas posibles fuentes.

Recursos mineros y actividad extractiva →

Todo el potasio usado en Venezuela es importado particularmente de los Estados Unidos y de Canadá, generalmente como cloruro de potasio o como sulfato de potasio (no se incluyen los fertilizantes N-P-K y el Sulpomag). El uso de nitrato de potasio será explicado en la sección de nitratos.

Las necesidades agrícolas y panorama de mercado

El Cuadro IV-23 presenta la información sobre las reservas de los yacimientos de potasio en Venezuela, la importación nacional de fertilizantes simples como cloruro de potasio y sulfato de potasio, el consumo real de estos fertilizantes para los diferentes cultivos anuales y permanentes y los requerimientos de potasio para el plan de siembra 2005 de acuerdo a la superficie estimada de siembra por el Ministerio de Agricultura y Tierras.

Cuadro IV-23. Reservas, Producción Nacional, Importación y Consumo de potasio en el 2004 y requerimientos del plan de siembra 2005.

Los cultivos con mayores requerimientos de potasio en Venezuela son la caña de azúcar, los

bananos, uvas y el tomate.

Potencial Petroquímico para la Producción de Tiosulfato de Potasio en Venezuela.

El petróleo pesado que se produce en la Faja Petrolífera del Orinoco requiere de un proceso de eliminación del azufre que ha sido propuesto por PDVSA -INTEVEP bajo el nombre de HDH® (Figura IV-18, Shrestha et al., 1995; Marzin, et al., 1993; Galiasso et al., 1999; Vasquez, 1994).
Figura IV-18. Proceso de desulfuración (HDH®) del petróleo pesado de la Faja Petrolífera del Orinoco propuesto por PDVSA - INTEVEP (Fuente: Shrestha et al., 1995).

Se trata de un proceso para la conversión de residuos provenientes de crudos pesados a través de la ruta de adición de hidrógeno. El residuo de vacío (500° C) se mezcla con un catalizador natural de bajo costo y luego esta mezcla es puesta en contacto con H_2 en los reactores (normalmente son tres reactores conectados en serie). En estos reactores, se obtienen diferentes tipos de destilados los cuales son separados en caliente y luego enviados a una unidad de hidrotratamiento, después de haber sido condensados y eliminados los gases livianos. El catalizador gastado y el residuo no convertido del fondo del separador caliente, son enfriados, despresurizados y enviados a una etapa de separación del catalizador, con el objeto de recuperar un residuo de alta calidad y libre de sólidos. El catalizador gastado se incinera en un horno de lecho fluidizado y luego es enviado a la industria metalúrgica. Los gases de la incineración se combinan con H_2S y NH_3 producidos en la sección de hidroconversión, con el objeto de producir el fertilizante líquido tiosulfato de amonio y también como materia prima para la producción de otro fertilizante líquido como es el tiosulfato de potasio (TSK). Shrestha et al., 1995, señalan que desde el punto de vista ambiental, operacional y de infraestructura, este proceso es el más adecuado para la desulfurización de los gases de incineración del proceso HDH®.

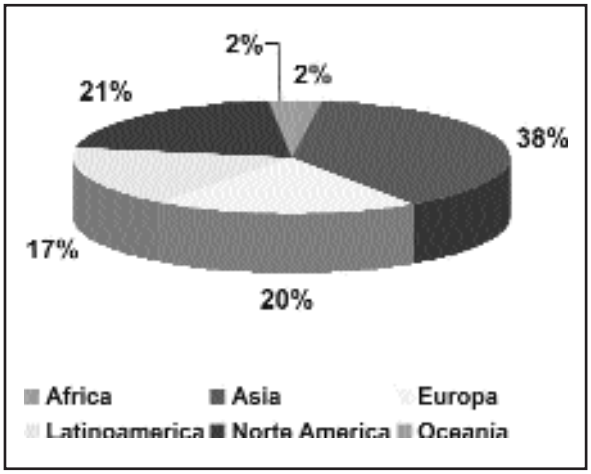


Figura IV-19. Consumo mundial de fertilizantes potásicos 2002

Este proceso HDH® tiene una gran importancia para la corporación petrolera del país pues de no buscar el uso de este subproducto en el área agrícola y otras áreas de interés (recuperación de oro y plata de minas, agente reductor de la plata en la industria fotográfica, componente de fabricación de catalizadores, tratamiento de desechos cloacales y de desechos sólidos con celulosa, componente de detergentes granulares) se generaría un enorme pasivo ambiental en función de las grandes reservas de petróleo pesado que se describen más adelante. Las ventajas del pro-

[1]*Centro de Estudios para la Sustentabilidad - Universidad Nacional de San Martín*
nizquier@unsam.edu.ar

ceso HDH® cuando son comparadas con otras tecnologías, han sido descritas por Marzin et al., 1993: uso de catalizadores de bajo costo y de gran actividad que operan bajo presión moderada y alta tasa de niveles de conversión de residuos, un estado de separación catalítica que mejora la recuperación de productos líquidos, la flexibilidad de procesar insumos de diferentes reactividades en un rango de 90 a 97 % de conversión, alto rendimiento y calidades de los productos destilados líquidos, la recuperación del catalizador usado con metales pesados a través de la combustión de los contaminantes y de uso en la industria metalúrgica, la reacción de subproductos gaseosos como H_2S, SO_2 y NH_3 en tiosulfato de amonio, un fertilizante líquido comercializable hacia los cultivos bajo riego en Venezuela como fuente de nitrógeno y azufre.

La Faja Petrolífera del Orinoco posee la mayor concentración de recursos de petróleo pesado del hemisferio (Soberanía, 2003) donde se estiman reservas de 275 mil millones de barriles y de acuerdo a Marzin et al. 1993, los crudos pesados en los próximos años aumentarán su participación en la cesta de refinación debido a la disminución de las reservas de crudos medios y livianos.

A partir del TSA y a través de un proceso con el uso de una resina de intercambio propuesto por INTEVEP (Vasquez, 1994), se puede producir TSK de acuerdo a la siguiente reacción:

$$\underset{\text{TSA}}{(NH_4)_2 S_2O_3} + KCl \text{ (con resina de intercambio)} \qquad \underset{\text{TSK}}{K_2S_2O_3} + 2\,(NH_4)_2Cl$$

El proceso petroquímico antes mencionado y el uso del subproducto como fertilizante líquido, representan una respuesta de la Corporación Petróleos de Venezuela a las crecientes demandas por un ambiente más limpio y al reto de regulaciones ambientales más severas.

El potencial de producción de TSA y TSK viene dada por la explotación de las reservas de petróleo pesado en la Faja Petrolífera del Orinoco y la capacidad de desulfuración usando el sistema HDH mencionado anteriormente y su potencial de uso está dado por la capacidad instalada de riego presurizado en Venezuela (70.000 ha) y las posibilidades de expansión de esa superficie de acuerdo con los planes agrícolas de la nación que pueden alcanzar a 2.000.000 ha en un período de 15 años (Solórzano, 1999). La caña de azúcar sería el cultivo con mayor superficie actual y potencial bajo riego por goteo seguido por los bananos y las uvas. En el caso de la caña de azúcar permitiría compensar el déficit de azúcar que anualmente se importa en el orden de 350.000 t /año generando en algunos casos crisis como ha ocurrido a finales del año 2003 y comienzos del 2004. En el caso de los bananos contribuiría a una mejor nutrición en la población venezolana y en las uvas para el consumo de mesa o a través de bebidas como vinos naturales o espumantes. Es por ello que las evaluaciones agronómicas de TSA y TSK se han concentrado en éstos cultivos (caña de azúcar, bananos y uvas) como lo ha reportado Casanova y Castillo (2002).

Panorama de Mercado de Potasio

Natacha Izquierdo González[1]

La industria de fertilizantes potásicos se ha desarrollado principalmente en Canadá y Rusia quienes poseen el 59.7% y 13.5% de las reservas mundiales y aportan el 47.8% de la producción

total. En Latinoamérica Brasil y Chile son los únicos productores. El total producido en el 2002 fue de 25.8 millones de toneladas, es decir que solo 17% del total de fertilizantes producido corresponde a fertilizantes potásicos. Dicha producción se distribuye de la siguiente manera: Europa (Rusia) 49%, Norteamérica (Canadá) 35%, Asia 13% y Latinoamérica aporta al total solo el 3%, (Fig. IV-19).

El 95% de la producción de potasio se destina al uso como fertilizante, siendo el 90% de esa producción en forma de cloruro de potasio. El restante es consumido por la industria química.

A nivel mundial, la compañía POTASH CORP. OF SASKATCHEWAN produce 12.1 MM t/año, el 52% del mercado mundial, y es reguladora de precios; IMC Global Inc. con una capacidad anual de 10.1 MM t/ año, equivalente al 37% de la producción de Norte América; y AGRIUM INC. que produce 1.79 MM t/año.

Dada la concentración en la producción de dicho producto, el comercio exterior es sumamente importante. Se mueven cerca de 23 millones de toneladas, de las cuales el 16% es demandado por Latinoamérica. Las importaciones se realizan principalmente desde Asia (36%), Europa (25%), Norteamérica (19%), Latinoamérica (16%) y África (3%). Dichas importaciones se correlacionan con el consumo, ya que las mismas se realizan para satisfacer necesidades internas de abastecimiento.

Argentina

Actualmente, Argentina no registra producción de potasio. No obstante, se encuentra el proyecto Potasio Río Colorado, ubicado en la Fm. Huitrín, cuenca neuquina, donde Río Tinto tiene la opción exclusiva de adquirir el 100% del potasio de Río Colorado S.A. hasta noviembre de 2005. Hasta el momento, la empresa está finalizando la etapa de factibilidad, proyectando la construcción para fines de 2006-2007, para estar operativa para el 2009. La inversión estimada es de 300-400 millones de dólares.

El volumen de importación de Argentina de fertilizantes potásicos es de aproximadamente 17.590 toneladas anuales, de las cuales 11.000 toneladas corresponden a cloruro de potasio superior a 45% K_2O y el resto a sulfato de potasio.

Brasil

La producción de fertilizantes potásicos, en Brasil, se inicia en 1985 y esta limitada al complejo mina - usina Taquari-Vassouras, en Sergipe y estaba a cargo de PETROBRAS MINERACAO S/A - PETROMISA hasta octubre de 1991. En la fase de extinción de PETROMISA, por medidas gubernamentales y con un fin de proceso de liquidación de la misma, todos los derechos mineros de la empresa pasaron a PETROBRAS a través de la cesión de derechos, teniendo PETROBRAS arrendado a la COMPAÑÍA VALE DO RIO DOCE - CVRD una concesion referente al area del compleo minero de Taquari - Vassouras, por un plazo de 25 años. Dicho complejo, cuyo proyecto base previó una producción de 500 mil toneladas año de KCl, desde 1998, ha superado esta

meta y en el 2003 la producción fue de 657.570 toneladas de KCl, correspondiendo a 394.650 mil toneladas de K_2O equivalente. La producción, año a año, ha aumentado paulatinamente. De acuerdo a los requerimientos del mercado, la misma ha sido distribuida en dos tipos: estándar (0.2 a 1.7 mm) y granular (0.8 a 3.4 mm).

En virtud a la pequeña producción interna comparada con la gran demanda del producto, Brasil se sitúa en el contexto mundial como un importante importador de potasio, teniendo como principales proveedores a Canadá (24%), Alemania (21%), Rusia (20%), Israel (17%) y Bielo Rusia (11%). En el 2003, estas importaciones fueron superiores a las del 2002 en un 19.6%. Se importaron cerca de 60 mil toneladas de sulfato de potasio como fuente de potasio para la agricultura en usos específicos. Las exportaciones de potasio son poco significativas, ya que solo han alcanzado en el 2003, las 2 mil toneladas destinadas a países de América del Sur, relativas a cloruro de potasio.

El consumo aparente interno de potasio en el 2003, se sitúo por encima del año anterior en un 19.28% y esta en el orden de las 3.5 millones de toneladas de K_2O. Este incremento se viene observando desde el 2001, acompañado por un aumento de las importaciones. La producción local solo abastece el 11.2% del mercado interno, aún superando las metas previstas de producción originales. El principal uso del cloruro de potasio es en fertilizantes, siendo el sector agrícola el principal demandante de este producto. El sulfato de potasio y el sulfato doble de potasio y magnesio también son usados como fuente de potasio en agricultura, aunque en menor proporción y específicamente.

La única fuente productora de fertilizantes potásicos es el Complejo de mina - usina de Taquari - Vassouras/SE, que esta a cargo de CVRD desde finales de 1991, como se explicara anteriormente. Otros proyectos previstos para el área arrendada son: proyecto de investigación tecnológica con vista a la visualización de depósitos de roca carnalítica para el proceso de disolución y el proyecto de exploración de reservas de silvinita de Santa Rosa de Lima, continúa pendiente de definición por parte de la arrendataria. También se encuentra pendiente el proyecto de potasio de FAZENDINHA E ARARI, en el estado de Amazonas, siendo PETROBRAS la actual concesionaria.

Asimismo, la COMPAÑÍA VALE DO RIO DOCE - CVRD está ampliando su capacidad productiva de cloruro de potasio en Taquari - Vassouras, en el estado de Sergipe, con una inversión en el orden de 64.4 millones de dólares. La capacidad de producción deberá superar las 657,57 mil toneladas producidas en el 2003, para pasar a 850 mil toneladas año en el 2006.

Chile

Chile es prácticamente el único país productor de nitratos de sodio y de potasio, conocidos como salitre, y SOQUIMICH es el principal productor mundial. Se calcula que los yacimientos de caliche tienen reservas para explotar durante otros 50 años. El caliche se extrae a cielo abierto, usando un sistema de cantera. Las operaciones incluyen la remoción de la sobrecarga, perforación, voladura, carga y transporte del caliche a las plantas de chancado.

Las cinco minas y siete plantas de producción de SOQUIMICH están situadas en el norte de

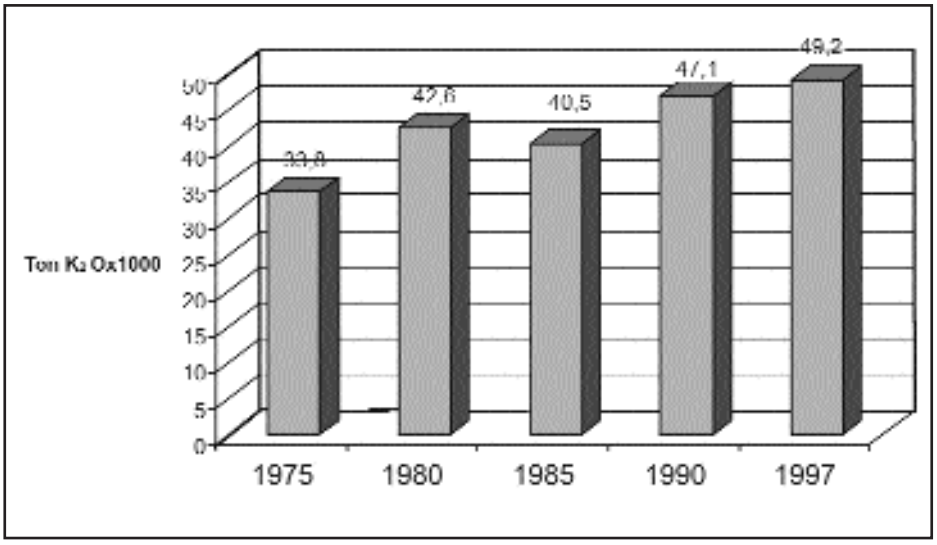


Figura IV-20. Estimación de la evolución del consumo de Potasio (Kg de K_2O) a nivel país (Fuente: ODEPA-CIREN CORFO)

Chile, entre las ciudades costeras de Iquique y Antofagasta.

Anualmente, Chile produce en la II Región cloruro de potasio (764.000 ton - 2003) y sulfato de potasio (157.000 ton - 2003) además de salitre, yodo, sulfato de sodio, ácido bórico y carbonato de litio.

SQM Salar, filial de SQM controlada por Julio Ponce Lerou y la canadiense PCS, invertirá US$ 234,2 millones para modernizar las operaciones de extracción en el Salar de Atacama, ubicado en la II Región. El proyecto busca sustentar la actual producción de potasio, sulfato de potasio, ácido bórico y salmuera rica en litio en las instalaciones que actualmente posee la compañía.

En cuanto al comercio exterior, Chile destinó sus exportaciones de cloruro de potasio en el 2003 (71.000 ton) a Argentina, Sudáfrica, Ecuador y Perú, mientras que las de sulfato de potasio (136.000 ton) fueron a China, Sudáfrica, Argentina y México. En el mismo año, las importaciones de cloruro de potasio y sulfato de potasio fueron de 2.395 y 2.772 toneladas respectivamente, las primeras con origen en Canadá, China, Alemania y Estados Unidos y las segundas de Suecia,

Producto	1980	1998	2002
Cloruro de potasio	S/d	S/d	S/d
Sulfato de potasio	S/d	S/d	S/d
Otros	S/d	S/d	S/d
Total Potásicos	**1876**	**1975**	**4002**

S/d = sin datos
Fuente: Revista Fertilizantes América Latina Nº 6/1 Marzo 2001; FAOTAST

Alemania y Bélgica. También se registran importaciones de otros fertilizantes potásicos por un volumen de 17.300 toneladas con origen en Estados Unidos y España.

Las necesidades actuales de potasio en la agricultura ser pueden estimar conociendo, el requerimiento anual del mismo para el rendimiento promedio país, la superficie dedicada al cultivo o frutal en el país en los últimos años (base: cifras del Censo nacional Agropecuario más reciente, INE,1997). Por último es necesario considerar el aporte de K del suelo de las diferentes áreas climáticas del país. Para los efectos de este informe, la cifra que se entrega es obviamente muy gruesa pudiendo sufrir substanciales modificaciones al entrar a un detalle mayor.

En cuanto al requerimiento de K para cultivos, este ha sido estimado o medido para diferentes niveles de rendimiento (Rodríguez, 1996.). En el caso de las especies frutales más importantes y también en vides viníferas y de mesa el requerimiento de K también ha sido cuantificado (Ruiz y Sadzawka,2005). A partir de esta información es posible estimar el requerimiento actual de K a nivel país. Por tanto, la demanda de K en el caso de los cultivos anuales para una superficie total de 830.000 ha se estima de 16.140 toneladas; en el ámbito de las hortalizas (125.000 ha) la demanda esta establecida en 4.303 toneladas y en los frutales (291.000 ha) la demanda es de aproximadamente 18.270 toneladas.

Por último desde el ámbito de praderas sembradas se visualiza una demanda de alrededor de 5.000 toneladas proveniente principalmente de especies leguminosas.

De acuerdo a estas cifras la demanda total se estima en alrededor de 43.713 toneladas de K, equivalentes a 52.666 toneladas de K_20/año.

El mercado futuro para potasio en el país se visualiza fuertemente dependiente del requerimiento que emana de especies hortofrutícolas, en las cuales los aspectos de calidad son de relevancia. En este sentido existe cada vez más el convencimiento de que el K afecta positivamente los aspectos cualitativos de la fruta, en especial los frutos suculentos, incluyendo la uva de mesa.

Por otra parte ,el requerimiento de rendimientos cada vez mayores para hacer rentable el negocio agrícola y el aumento de exportaciones en rubros no tradicionales incluyendo carne y leche ,implica una extracción de K y no reposición al sistema. Esto conlleva a una pérdida neta de K que debe verse reflejada a futuro en una mayor demanda de K .

Las cifras estimadas de consumo de K a nivel país así lo demuestran. (Figura IV-20)

De acuerdo a estas cifras es dable esperar un incremento entre 700 y 1000 toneladas de K_2O por año en los próximos años.

Latinoamérica

La producción de la región en materia de fertilizantes potásicos es de 1.578 mil toneladas (KCl), localizada en Brasil y Chile como únicos productores. La región aporta al total producido a nivel mundial el 3%.
En esta última década, el consumo de fertilizantes potásicos en la región, ha duplicado su volumen respecto a la década del ´80. Dicho consumo aumenta en mayor proporción que los fosfatados. Los productos consumidos son mayormente cloruro de potasio y menor medida el sulfato de potasio.

El Cuadro IV-24 muestra el consumo de fertilizantes potásicos en América Latina y su evolución en las últimas tres décadas.

Latinoamérica abarca el 17% del consumo de fertilizantes potásicos, ocupando el cuarto lugar después de Europa. El principal producto consumido es el cloruro de potasio (79%), seguido por el sulfato de potasio (14%) y el restante 7% corresponde a otras productos derivados.

México es un importante consumidor de fertilizantes potásicos dentro de la región, con una demanda de más de 260 mil toneladas año de K_2O. Las necesidades internas de potasio se satisfacen exclusivamente a través de la importación ya que México no produce fertilizantes en base a potasio. A principios del decenio 1980 se hicieron planes para la explotación del cloruro de potasio contenido en las salmueras de la planta geotermoeléctrica de Cerro Prieto, en el Estado de Baja California, con una capacidad proyectada de 80.000 t/año de KCl; sin embargo el proyecto no se llevó a cabo por no resultar competitivo con los precios de oferta de dicha sal en los mercados mundiales (Anónimo, 2002). Existen varias modalidades dentro de este grupo de fertilizantes, sin

embargo, en México se utilizan mas ampliamente el cloruro de potasio y el sulfato de potasio, seguidos por el nitrato de potasio y el fosfato de potasio. Los fertilizantes potásicos en México se concentran en cultivos como café, caña de azúcar, tabaco, papa y los altamente redituables como los hortícolas, florícolas y frutícolas de exportación.

Respecto a Perú, la gama de productos es totalmente importado y la principal fuente es el cloruro de potasio (70%), seguido por el sulfato de potasio (25%), el sulpomag (4%) y un 1% a otras fuentes potásicas (nitrato de potasio). Su procedencia, en cuanto al cloruro y sulfato de potasio es Chile y Estados Unidos, mientras que el nitrato de potasio tiene su origen en Chile. Las materias primas utilizadas para la producción de mezclas físicas en base a fuentes potásicas son el cloruro de potasio (0-0-60), sulfato de potasio (0-0-50) y el nitrato de potasio (13-0-44). El nombre comercial que reciben las mezclas físicas es CAMPOMASTER, que varía el producto final de acuerdo a la formulación empleada, combinando diversas fuentes.

En Venezuela, el potasio es el tercer elemento nutricional requerido en los cultivos después del Nitrógeno y el Fósforo. A diferencia de estos dos nutrimentos, no existen yacimientos de potasio en Venezuela y en el pasado se realizaron estudios de evaluación de recuperación de potasio de salinas y de los filtros de las fábricas de cemento sin posibilidades económicas debido a la baja concentración de ese elemento en esas posibles fuentes. Todo el potasio usado en Venezuela es importado particularmente de los Estados Unidos y de Canadá, generalmente como cloruro de potasio o como sulfato de potasio (no se incluyen los fertilizantes N-P-K y el Sulpomag). La importación nacional de fertilizantes simples como cloruro de potasio y sulfato de potasio en el 2004 fue de 61.589 ton, el consumo de estos fertilizantes para los diferentes cultivos anuales y permanentes ascendió a 60.744 ton, mientras que los requerimientos de potasio para el plan de siembra 2005 de acuerdo a la superficie estimada de siembra por el Ministerio de Agricultura y Tierras se estima en 175.834 toneladas.

Los cultivos con mayores requerimientos de potasio en Venezuela son la caña de azúcar, los bananos, uvas y el tomate.

BIBLIOGRAFÍA

CARACTERIZACIÓN GENERAL

ANDERLE, J.A., CROSBY, K.S. AND WAUGH, D.C., 1979. Potash at Salt Springs, New Brunswick, Canada. Economic Geology. Bulletin of the Society of Economic Geologists, Vol. 74: 389-396.

CROSBY, K.S., 1991. An Overview of the Saskatchewan Potash Industry. Industrial Minerals Forum: 47-55.

CROSBY, K.S., 1995. An Overview of Geological Phenomena Related to Saskatchewan Potash Mine Water Inflow Events, SME and AIME Annual Meeting, Denver, Co., USA.

FUZESY, A., 1982. Potash in Saskatchewan. Saskatchewan Energy and Mines, Report 181.

GRISWOLD, G.B., 1982. Geology of the Carlsbad Potash Mining District.

HARBEN, P. W. Y KUZVART, M 1997. Industrial Minerals: A Global Geology. Metal Bulletin, London

HITE, R.J. AND JAPAKASETR, T., 1979. Potash Deposits of the Khorat Plateau, Thailand and Laos. Economic Geology, Vol. 74: 448-458.

MAENE, L. 2001. Global Potassium Fertilizer Situation. Current Use and Perspectives. IFA New Dehli Conference. www.fertilizer.org/ifa/publicat.asp

NASCIMENTO, M. Y LAPIDO-LOUREIRO, F.E., 2004, Fertilizantes e Sustentabilidade. O potássio na Agricultura Brasileira, [http:www.cetem.gov.Br/ publicações/ Séries/ Série Estudos e Documentos], 64p.

RICHTER-BERNBURG, G., 1972. Saline Deposits in Germany: A Review and General Introduction to the Excursions. Geology of Saline

SCHULTZ, H., 1993, In: Ulmann's Encyclopedia of Induatrial Chemistry, V. A22, VCH,

SMITH, D.B. Y CROSBY, A., 1979. The Regional and Stratigraphic Context of the Zechstein 3 and 4 Potash Deposits in the British Sector of the Southern North Sea and Adjoining Land Areas. Economic Geology, Vol. 74: 397-408.

SUWANICH, P., 1986. Potash and Rock Salt in Thailand. Non metallic Minerals Bulletin No.2, Economic Geology Division, Department of Mineral Resources, Bangkok, Thailand.

SZATMARI, P. ET AL, 1979. A Comparison of Evaporite Facies in the Late Paleozoic Amazon and the Middle Cretaceous South Atlantic Salt Basins. Economic Geology, Vol. 74: 432-447.

ARGENTINA

ANDREIS, R.R., MAZZONI, M.M. Y SPALLETTI, L.A., 1975. Estudio estratigráfico y paleoambiental de las sedimentitas terciarias entre Pico Salamanca y Bahía Bustamante, provincia del Chubut, República Argentina. Revista de la Asociación Geológica Argentina. 30 (1), p. 85-103.

BALOD, M., CÁMPORA, A, Y COLOMÉ, J., 2000. Proyecto Potasio Río Colorado. Revista de Asociación Argentina de Geólogos Economistas. 12, .5-16.

BARBAGELATTA, P., A. BONO, J. CASTELLARÍN, H. ECHEVERRÍA, E. LOVERA, P. IMAS, J. LAVANDERA, H. MAGEN, R. MELCHIORI, R. MELGAR, H. PEDROL, H.P. SALAS Y F. SALVAGIOTTI (EX AECUO). 2004. Efecto de la aplicación de nutrientes secundarios en el rendimiento a largo plazo de dos rotaciones en la región pampeana Argentina (Comunicación). XIX de la Congreso asociación Argentina de Ciencia del Suelo, Parana, 22 a 25 de Junio 2004.

CASTRO, L. Y TOURN, S. 2004. Direct application of phosphate rocks and glauconite as alternative sources of fertilizer in Argentina. SUM 21 special issue of Exploration and Mining Geology on sustainable development in the minerals industry. Geological Society of Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum 12: (72-79)

CASTRO, L.. Y MARTINEZ, G., 1993. Authigenic minerals of Salamanca Formation, Cerro Tortuga, Patagonia, Argentina. International workshop on "Concepts and controversies in phosphogenesis" (IGCP 325). Correlation with Phosphorites and associated autighenic minerals. Interlaken, Suisse. 12 p.

CONTI M.E., A. M. DE LA HORRA, D. EFFRON Y M. P. GIMÉNEZ. 1993. Alteraciones producidas en la relación cantidad e intensidad de potasio (Q/I) de algunos suelos argentinos afectados por el laboreo continuo. Agrochimica 37:150-156.

FAO, 2003. Uso de fertilizantes por cultivo en Argentina. FAO, Roma, 70 pag.

GABRIELLE, N., 1999. Cuenca potásica huitriniana, En Recursos Minerales de la República Argentina. Anales 35: 1083-1089. Ed. E. Zappettini, SEGEMAR. ISBN 0328.2325

HABY, V.A., M.P. RUSELLE Y E.O. SKOGLEY. 1990. Testing soils for potassium, calcium and magnesium. Chapter 8 En R.L. Westerman (Ed.) Soil Testing and Plant analisis. 3rd. Ed. SSSA Book Series nº 3. Soil Science Society of America. Madison. WI

MELGAR, R .J. Y TORRES DUGGAN, M., 2002. Evolución histórica y perspectivas del Mercado Argentino de Fertilizantes. En Productos y servicios en el comercio moderno de fertilizantes.INTA.Pergamino (en prensa). 276 p.

MELGAR, R. J. Y CAMOZZI, M. E., 2000. El Impacto de los fertilizantes en la agricultura argentina en un contexto de globalización. 9º International congress of Soil Conservation. Buenos Aires, Argentina. Proceedings en CD.

MORRÁS H. J.M. Y G. A. CRUZATE. 2001. Origen y distribución del potasio en los suelos de la region Chaco-Pampeana. Pag.21-34 En. El potasio en Sistemas agrícolas Argentinos. 1º Simposio FAUBA - IPI- INTA Fertilizar. Buenos Aires 20-21 Noviembre 2001

O'BRIEN, R Y FEY, M, 2003. Can local glauconite be used as a K fertiliser? Department of Soil Science Stellenbosch University www.sun.ac.za/agric/soil/ GVSAWEB /OBRIEN 06_03_.pdf

OLIVERO, E., CASTRO, L., SCASSO R., FAZIO, A.. Y MIRETZKY, P. , 1998. Fosfatos marinos del Paleogeno de Tierra del Fuego. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 53 (2), p. 239-246.

BOLIVIA

LUDINGTON, S., ORRIS, G., COX, D., LONG K. Y ASHER-BOLINDER, S., 1992. Mineral deposit Models en Geology and Mineral Resources of the Altiplano and Cordillera Occidental, Bolivia, U.S. Geological Survey Bulletin 1975. 81-85

BRASIL

ANDA, Anuário Estatístico Setor de Fertilizantes, ANDA, 2000 - 2001 -2002 - 2003 - 2004 - 2005, S. Paulo

ARMELIN, W., 1999, Current Situation and Prospects for Potash Use in Brazil, Manah S/A, Disponível em: www.fertilizer.org, Acesso em: 26/10/2003.

BALTAR, C. A. M., MONTE, M. B. M., ANDRADE, M. C., et. al., 2001, Cloreto de Potássio-CVRD/Mina de Taquar". In: Sampaio, J. A., da Luz, A. B., Lins, F. F. (eds), Usinas de Beneficiamento de Minérios do Brasil, 1ed., Rio de Janeiro, RJ, Brasil, CETEM.

BARTHELMY, D., 2004, Mineralogy Database, Disponível em: www.webmineral.com, Acesso em: 20/07/2004.

BAUER, G., 1993, Em: Ulmann's Encyclopedia of Induatrial Chemistry, V. A22, VCH, 1993.

BETEJTIN, A., 1977, Curso de Mineralogia, 3aed., Moscou, Editorial Mir.

CANADIAN POTASH PRODUCERS, 2001, Natural Resources Canada, Disponível em: http://www.nrcan.gc.ca/mms/efab/mmsd/minerals/potash.htm, Acesso em: 29/07/2001

CARVALHO, L.F.A., 1965, Rochas Alcalinas como Matéria Prima para Indústria de Sais Solúveis de Potássio, In: Boletim Número 43, Departamento Nacional de Pesquisa Mineral - DNPM, São Paulo, SP.

CONTI M. E., Dinâmica de la liberación y fijación de potasio en el suelo, Faculdad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Argentina, disponível em: www.ppi.org, acesso em 17/07/2002.

CVRD, 2003, Cloreto de Potássio, Companhia Vale do Rio Doce, Disponível em www.cvrd.com, acesso em : 20/09/2003.

DASGUPTA, A., 1975, Fertilizer & Cement From Indian Orthoclase, Indian Journal of Technology, v.13, pp.359-361

DNPM-Departamento Nacional de Produção Mineral, 2004, Sumário Mineral, Brasília, DF.

DYSON, P., 1979, Production of Alkalis Metal Chlorides, Patente EP0003429B1.

DOROKHINE, I. et al, Gisements de Minéraux Utiles et leur Prospection, Moscou, 1967.

FAO, Fertilizer requirements in 20015 and 2030, Roma, 2000

FAO / IFA, Stratégies en matière d'engrais, 2000

FAO / IFA, Los fertilizantes y su uso, Roma / Paris, 2002

FAO, Economie de l'agriculture de conservation, Roma, 2003

FAO, Fertilizer use by crop in Brasil, Roma, 2004

FAO, Current world fertilizer trends and outlook to 2008/09, Roma, 2004

GREENWELL, B., 1999, Canadian Minerals Yearbook- General review, disponível em: http://www.nrcan.gc.ca/mms/cmy/content/1999/01.pdf, Acesso em: 29/07/2001.

GUARDANI R., Fertilizantes potássicos, Tecnologia de Produção de Fertilizantes, IPT, 1990

IPT, Termofosfato Potássico, Minas e Geologia Aplicada.

IPT, Tecnologia de Produção de fertilizantes, 2000.

HAGEDORN, F. 1993, In: Ulmann's Encyclopedia of Induatrial Chemistry, V. A22, VCH, 1993.

IFA, Medium-term outlook for global fertilizer demand, supply and trade - Summary Report, Paris, 2005.

IFA / IMPHOS, Les engrais et leurs applications - Précis à l'usage des agens de vulgarisation agricole (4e ed.), Rabat, 2003

IMC Global Incorporation, Home Page, Disponível em: http://www.imcglobal.com/general/education_corner/potash/techniques.htm, Acesso em 20/08/2003.

INTERNATIONAL FERTILIZING INDUSTRY ASSOTIATION, Home Page, Disponível em: www.fertlizer.org, acesso em :03/11/2002.

ISHERWOOD, K.E., Mineral fertilizer use and the environment, IFA / UNEP, Paris, 2000

KORNDÖRFER G.H., 2003, Apostila Potássio, Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia,

Disponível em: http://www.dpv24.iciag.ufu.br/new/dpv24/Apostilas/Transp.%20POTASSIO%20-%20Apostila%2006.pdf, acesso em: 15/08/2003.

KRAUSS, A., Balanced fertilization integral part of sustainable soil management, Expo 2000, Science in Dialogue, [www.ipipotash.org], 14 p., Hanover, Alemanha, 15 de agosto de 2000.

KRAUSS, A., Demographic development and its implication for fertilizer use, AFA 7th International Annual Conference, [www.ipipotash.org], 14 p. Cairo, Egito, jan/fev de 2001.

KRAUSS, A., Potassium, integral part for sustained soil fertility, Regional IPI Workshop on Potassium and Phosphorus, [www.ipipotash.org], 16 p., Lituânia, outubro de 2000.

KRAUSS, A., Quality production at balanced fertilization: the key for competitive marketing of crops, 12th CIRC International Symposium on role of fertilizers in sustainable agriculture, [www.ipipotash.org], 16 p., Suceava, Romênia, 21/22 de agosto de 2000.

LAPIDO-LOUREIRO, F.E. & NASCIMENTO, M., 2003, Importância e Função dos Fertilizantes numa Agricultura Sustentável, [http:www.cetem.gov.Br/publicações/Séries/Série Estudos e Documentos], 75p.

LIDE, D.R. (Editor Chefe), Handbook of Chemistry and Physics - 75a Ed., 1994.

LOPES A. S., 2002, Fertilizantes, Produção de Alimentos e Preservação Ambiental, In: NIELSON H., SARUDIANSKY R., Fertilizantes Y Enmiendras de origen mineral, 2003, Buenos Aires, Argentina, 283p.

LOPES, A.F., GUILHERME, L.R.G. & SILVA, C.A.P., Vocação da terra, 2003, ANDA

MMSD, 2002 - Minerals and Mining Statistics Division, Potash Case Study, International Institute for Enviroment and Development, disponível em: http://www.nrcan.gc.ca , acesso em: 29/07/2003.

MAZUNDER, A.K., SHARMA, T., RAO, T.C., 1993, Extraction of Potassium From Glauconitic Sandstone by the Roast-Leach Method, International Journal of Mineral Processing, v.38, pp. 111-123.

NASCIMENTO, M., 2004, Desenvolvimento de Método para Extração de Potássio a Partir de Feldspato Potássico, tese de doutorado, COPPE/UFRJ, 113p.

NASCIMENTO, M. & LAPIDO-LOUREIRO, F.E., 2004, Fertilizantes e Sustentabilidade. O potássio na Agricultura Brasileira, [http:www.cetem.gov.Br/publicações/Séries/Série Estudos e Documentos], 64p.

NEUMANN, R., Caracterização Mineralógica e Tecnológica da Rocha Potássica do Estéril da Mina Osami Utsumi, Caldas (MG), Como Subsídio á Extração do Potássio, Projeto Fontes Alternativas de Potássio para Fertilizantes, CETEM-CTM, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2002.

PERONI, R., 2003, Mineralogia: Estudo dos Minerais, Departamento de Engenharia de Minas, UFRGS, Disponível em: www.lapes.ufrgs.br/demin/discipl_grad/geologia1/apostilas/5mineralogia_2003.pdf, Acesso em, 10/10/2003.

PPIC, Potash: its need & use in modern agriculture, 2002

POTAFOS, 1996, Nutrifatos-Informação agronômica sobre nutrientes para as culturas, Arquivo do agrônomo n.10.

POTAFOS, 2002, Disponível em : www.ppi-ppic.org, acesso em: 21/04/2002.

REHM, G.; Schmitt, M.; Potassium for crop production, Extension Service, University of Minnesota. Disponível em: http://www.extension.umn.edu, Acesso em: 23/06/2004.

SANTOS, B. A., 1981, Amozônia-Potencial mineral e perspectivas de desenvolvimento, São Paulo, 1ed, Editora Universidade de São Paulo.

SILVEIRA et al., 2001, POTAFOS, Arquivo Agronômico No 12

SCHULTZ, H., 1993, In: Ulmann's Encyclopedia of Induatrial Chemistry, V. A22, VCH, 1993.

SEARLS, J.P., 2000, Potash in crop year 2000, Mineral Industry Surveys, U.S. Geological Surveys. Disponível em: http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/potash/, Acesso em: 20/03/2002.

SEGEMAR / USAM: Sales - Seminário de Estúdios sobre el ciclo minerales-materiales, Publ. Tecn. SEGEMAR - USAM, no 9, Argentina

SPG Media Limited, Rocanville Potash Mine, Disponível em: http://www.mining-technology.com/projects/rocanville/index.html, Acesso em: 12/07/2003.

THOMPSON, B., 2002, Efficient Fertilizer Use-Potassium, International Potash Intitute, disponível em: http://www.back-to-basics.net/efu/pdfs/potassium.pdf, acesso em 20/03/2002.

LAU, C.H , 2000, Extraction of Potassium by Sulfuric Acid in Selected Particle Size-Fraction of Five Malaysian Sois,

Capítulo V

Carbonatos

Coordinadores: María Beatriz Ponce y Sebastián P. Gambaudo

Las rocas carbonaticas

María Beatriz Ponce [1] *y Sebastián P. Gambaudo*[2] *(Ex aequo)*

Introducción

Las rocas carbonáticas corresponden a variedades pétreas con una amplia aplicación en la industria, siendo la construcción y la fabricación de cemento los mayores demandantes. El empleo de estas rocas que incluyen no solo las calizas sino también las dolomías, dependerá de las propiedades mineralógicas y características fisico-químicas que posean. La utilización con fines agrícolas de esta variedad de rocas, constituye un porcentaje muy bajo en los países de Iberoamérica.

Con referencia a las calizas se debe señalar que este término es de tipo genérico puesto que por su amplitud abarca las rocas que contienen en su composición al menos 80% de los carbonatos de calcio o magnesio. Se acepta denominar con el término caliza aquellas rocas cuya fracción carbonática excede a la no carbonática. Generalmente, la fracción carbonática esta compuesta por calcita, reservándose la clasificación de dolomía a las formadas por el mineral dolomita.

El origen de las calizas es amplio e involucra a procesos de diferente índole entre los que se cuentan los mecánicos, químicos y bioquímicos. A su vez las rocas originadas por tales procesos, pueden sufrir modificaciones como consecuencia de cambios pos-sedimentarios donde los rasgos originales pueden resultar enmascarados o borrados.

Aún cuando la denominación de caliza no es la más adecuada desde el punto de vista petrográfico, razones de índole comercial y/o industrial, han contribuido a la persistencia de esta terminología utilizándose frecuentemente.

Génesis

Las rocas carbonáticas son poligenéticas y su formación se explica tomando como punto de partida un depósito sedimentario, el cual con tiempo suficiente y acción de la presión y la temperatura llega a transformarse en una roca metamórfica dando lugar a las formas cristalinas de calizas llamadas mármoles. Por otro proceso y en presencia de soluciones portadoras de magnesio, es posible el reemplazo metasomático entre iones de Ca por los de Mg, dando lugar a la formación de dolomías.

Una tercera alternativa genética, es la que da lugar a las carbonatitas y está vinculada a las rocas ígneas.

La clasificación geológica de las rocas carbonáticas se basa principalmente considerando la génesis y la mineralogía.
El Cuadro V-1 muestra un esquema que incluye los procesos genéticos a partir de los cuales se

diferencian las rocas carbonáticas.

Rocas carbonáticas sedimentarias

La caliza cuyo origen es sedimentario está compuesta generalmente por el mineral calcita ($CaCO_3$) o por su polimorfo aragonita. La presencia de aragonita debido a su carácter inestable, es un indicador de materiales de formación reciente. La dolomía se corresponde con una roca sedimentaria pero contiene el mineral dolomita ($CaMg(CO_3)_2$). Tal como se ha mencionado más arriba, la formación de este último mineral se realiza por sustitución metasomática del calcio por magnesio como consecuencia de la acción de soluciones ricas del segundo elemento. Existen otros carbonatos que pueden encontrarse asociados tanto a las calizas como a las dolomías, entre ellos siderita ($FeCO_3$), ankerita ($Ca_2MgFe(CO_3)_4$) y magnesita ($MgCO_3$).

Gran parte de los carbonatos sedimentarios han tenido su origen en procesos químicos y bioquímicos; entre estos últimos, se cuentan los formados por esqueletos de microorganismos y moluscos.

Entre las rocas sedimentarias carbonáticas se identifican la denominada tiza (Chalk), con textura formada por cristales muy finos (micrítica), de color blanco, con tacto relativamente suave y porosa.

Otras variedades incluyen la llamada marga (arcilla calcárea), travertino (precipitación de carbonato de calcio a partir de aguas termales) y vetas de calcita (cristales gruesos asociados a baritina epigenética, fluorita y minerales de plomo y cinc).

Rocas carbonáticas ígneas

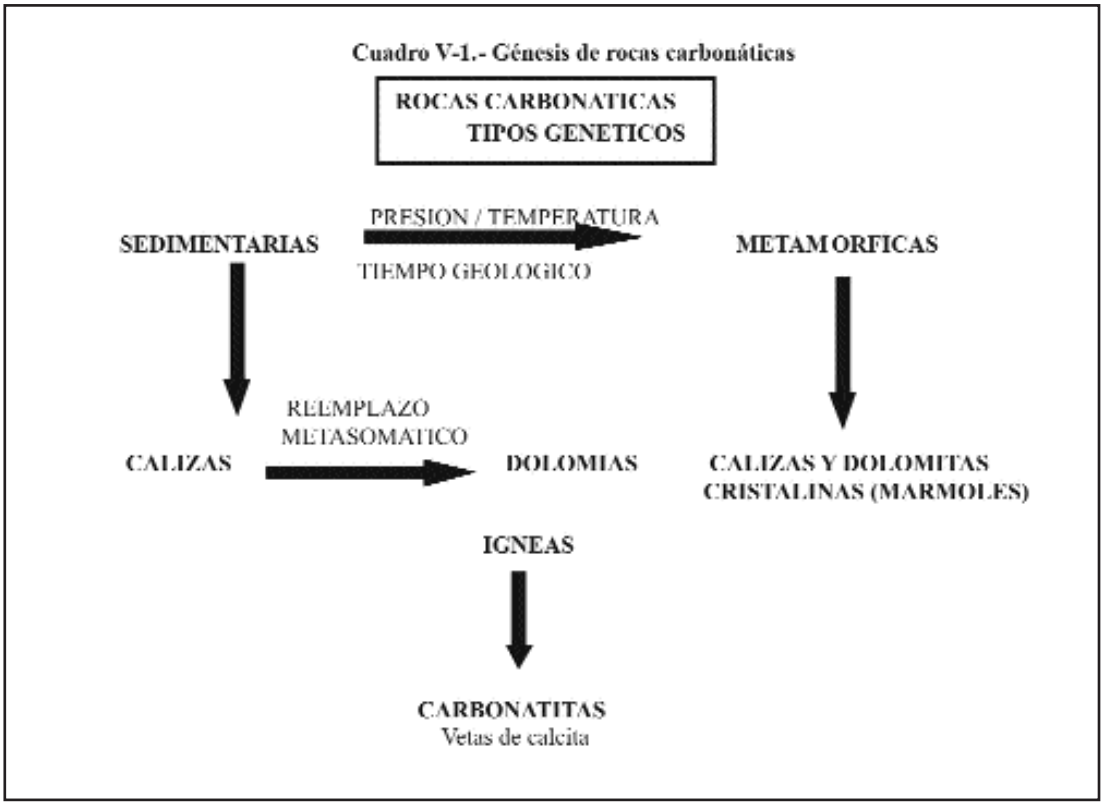
Denominadas carbonatitas, son poco comunes y se encuentran formadas por carbonatos de calcio, magnesio y/o hierro apareciendo en los anillos intrusivos alcalinos de áreas de basamento antiguo o como rocas intrusivas o volcánicas dentro de estructuras profundas (www.segemar.gov.ar) .

Rocas carbonáticas metamórficas

Corresponden a calizas y dolomías que por efecto del metamorfismo han experimentado un proceso de recristalización, pasando a denominarse mármoles. Las impurezas más frecuentes para este tipo de rocas están representadas por cuarzo, mica, cloritas, hematita y limonita.

Impurezas comunes en rocas carbonáticas

Es frecuente encontrar impurezas junto a las rocas carbonáticas, constituyendo una información importante ya que posee incidencia en el valor económico del yacimiento. Las más comunes



Cuadro V-1.- Génesis de rocas carbonáticas

están constituidas por materiales arcillosos, los cuales son detectados a partir de los residuos solubles después del ataque ácido. La sílice es también un mineral bastante común en las calizas; puede presentarse como calcedonia en forma de grano fino, esferulitas o como relleno entre los cristales rómbicos de rocas dolomitizadas. También puede aparecer formando nódulos ya como ftanita o pedernal. Cuarzo detrítico se ha observado en calizas y dolomías.

La siderita raramente aparece en calizas. El hierro ferroso puede aparecer diseminado; aunque una leve oxidación da como resultado la descomposición de la siderita, siendo observable la distribución de manchas de óxido en los bordes de los cristales y en las superficies de clivaje.

Como un componente menor puede aparecer feldespato como cristales de tipo autígeno y raramente sobrepasa el 40% de la composición total de la roca.

Glauconita, colofana y pirita entre los componentes menores pueden ser encontrados. La primera se presenta como gránulos redondeados constituyendo localmente, concentraciones abundantes. La segunda es producto de detritos esqueléticos fosfáticos tales como conchas de braquiópodos y espinas de peces.

La pirita puede encontrarse como granos dispersos que por procesos de oxidación, pasa a formar

CO_2 DISUELTO EN HIDROSFERA				
PROCESOS BIOGENICOS	ACCION BIOQUIMICA	DEPOSITOS BIOACUMULADOS	CIENOS CALCAREOS BIOSTROMAS	CRETA CALIZA COQUINOIDE
	ACCION BIOQUIMICA	DEPOSITOS BIOCONSTRUIDOS	ARRECIFE BIOHERMAS ESTROMATOLITOS	CALIZA REFRACTAL CALIZA BIOHERMAL CALIZA ESTROMATOLITICA
	ACCION QUIMICA O BIOQUIMICA	PRECIPITADOS Y / O BIOACUMULADOS	FANGOS CALCAREOS ARENAS OOLITICAS	FANGOCALCITA CALIZA OOLITICA
PRECIPITACION QUIMICA INORGÁNICA				TOSCA TUFA TRAVERTINO
FRAGMENTACION MECANICA	CLASTOS CARBONATICOS		FANGOS CALCAREOS CALCARENITAS CONCHILLAS	FANGOCALCITA MICROCOQUINA COQUINA

Cuadro V-2. Procesos de formación de calizas

CATEGORIA	COMPOSICION % $CaCO_3$
Muy alta pureza	> 98,5
Alta pureza	> 97,0 – 98,5
Medianamente pura	> 93,5 – 97,0
Baja pureza	85,0 93,5
Muy baja pureza	< 85,0

Cuadro V-3. Clasificación química de calizas
Fuente: Mineralogy and Petrology Group, British Geological Survey

limonita. Raramente una caliza contiene una cantidad de pirita suficiente como para ser calificada de pirítica.

El bitumen por su parte, puede ser abundante en algunas calizas a las que les confiere color gris a negro y eventualmente, al partirse exhalar un fuerte olor fétido.

Clasificación

Tanto la génesis como los procesos a que hayan sido sometidas las rocas carbonáticas, estarán reflejados en la composición mineralógica. El proceso de formación de las calizas junto con el origen y naturaleza del mismo permite definir algunas características de las mismas (Cuadro V-2).

Teniendo en cuenta la variedad de los procesos de formación raramente las rocas carbonáticas están constituidas por un único mineral. Normalmente aparece calcita, dolomita y otros materiales cuya composición sea no carbonática.

Desde el punto de vista de la aplicación industrial uno de los parámetros que se tienen en cuenta se refieren a la composición química casi más que en la composición mineralógica, razón por la cual se especifica el contenido de $CaCO_3$ (ó CaO) y $MgCO_3$ (ó MgO) o ambos.

Las calizas de grado químico son clasificadas según el contenido de carbonato presente (Cuadro V-3)

Esta clasificación apunta exclusivamente al contenido de carbonato de calcio y dependiendo de alguna aplicación específica aparte de determinar los componentes mayoritarios (CaO, MgO, SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3, Na_2O, K_2O, P_2O_5, MnO y S, F, Cu, Pb y Zn) también se analiza la presencia de As, Cr, Co u otros elementos. Relacionado con la pureza se menciona el color, ya que un mínimo contenido de algún material no carbonático produce un marcado cambio del mismo.

Mineralogía

Los principales minerales que componen las rocas carbonáticas y sus propiedades se muestran en el Cuadro V-4.

Básicamente en los grupos de carbonatos anhidros se agrupan según pertenezcan a la calcita, dolomita y aragonito tal como se muestra en el Cuadro V-5.

El carbonato de calcio puede emplearse en forma de crudo y molido, como precipitado o calcinado.

En el caso del carbonato de calcio molido, producto generalmente destinado a encalado es procesado a través de las operaciones de:

Carbonato de calcio molido

Extracción: Se desmonta el área a trabajar y se lleva a cabo el descapote, posteriormente se procede a barrenar aplicando el patrón de barrenación para homogeneizar la fragmentación de la roca, se realiza la carga de explosivos y se efectúa la voladura, carga y acarreo a planta de trituración.

Trituración: Los trozos son puestos en las quebradoras con el fin de reducir su tamaño y facilitar la siguiente etapa que corresponde a la molienda.

MINERAL	SISTEMA CRISTALINO	DUREZA MOHS	DENSIDAD	COLOR
CALCITA $CaCO_3$	Hexagonal Clivaje romboedral	3	2,72	Comúnmente incolora o blanca. Coloreada por impurezas.
DOLOMITA $CaCO_3.MgCO_3$	Hexagonal Romboedros de caras curvas	3,5 a 4	2,87	Comúnmente blanco o rosado
ARAGONITA $CaCO_3$	Ortorombico	3,5 a 4	2,93 – 2,95	Comúnmente incoloro, blanco o amarillo. Otros colores por impurezas
SIDERITA $FeCO_3$	Hexagonal Cristales rómbicos distorsionados	3,5 a 4	3,7 – 3,9	Comúnmente marrón o negro
ANKERITA $Ca_2MgFe(CO_3)_4$	Hexagonal Cristales romboédricos	3,5 a 4	2,9	Comúnmente blanco, rosado o gris
MAGNESITA $MgCO_3$	Hexagonal Granular o masas terrosas	3,5 a 4	2,96 – 3,1	Comúnmente blanco o amarillento. Otros colores por impurezas

Cuadro V-4. Propiedades físicas de los minerales más comunes de las rocas carbonáticas

GRUPO DE LA CALCITA	GRUPO DE LA DOLOMITA	GRUPO DEL ARAGONITO
CALCITA (Ca)	DOLOMITA (CaMg)	ARAGONITO (Ca)
MAGNESITA (Mg)	ANKERITA (CaFe)	WITHERITA (Ba)
SIDERITA (Fe)	KUTNAHORITA (CaMn)	ESTRONCIANITA (Sr)
RODOCROSITA (Mn)	----------	CERUSITA (Pb)
SMITHSONITA (Zn)	----------	----------

Cuadro V-5. Minerales según el grupo de carbonato

Molienda: El producto triturado es introducido a los molinos para reducir aun más el tamaño del grano del carbonato de calcio hasta convertirlo en polvo, así como preparar la granulometría requerida por el usuario.

Clasificación: El producto obtenido en la molienda contiene varios tamaños de partículas por lo que es necesario separarlas y remover las sustancias extrañas. Lo anterior es importante porque los requerimientos de la industria están relacionados con la granulometría, blancura y pureza, entre otros.

Envase y Embarque: El carbonato de calcio es envasado a través de una tolva de envase en bolsas de papel, de hule o cargado directamente en carros para su entrega a granel.

Precipitado

El carbonato de calcio precipitado es el compuesto químico de fórmula $CaCO_3$, obtenido por la precipitación del calcio en forma de carbonato. Tiene menos impurezas, más brillo y morfología

controlada, es usado como relleno y extensor en plástico, pintura, papel y adhesivos; así como en productos para aplicación en alimentos y farmacéutica. Otras aplicaciones en que puede usarse es en recubrimientos y elastómeros. El proceso para obtenerlo se denomina Carbonatación

La forma más común para obtener carbonato de calcio precipitado consiste en pasar CO_2 en forma de gas a una solución de lechada de cal, realizándose las siguientes reacciones químicas:

Calcinación	$CaCO_3 \longrightarrow CaO+CO_2$
Hidratación o apagamiento	$CaO + H_2O \longrightarrow CaO+(OH)_2$
Carbonatación	$Ca(OH_2) + CO_2 \longrightarrow CaCO_3+ H_2O$

Cuando el procesado del carbonato de calcio implica temperatura el destino de uso es la fabricación de cal y cemento.

TIPO	GENESIS	CARACTERISTICAS	USOS
Calizas organógenas	Sedimentación de restos orgánicos en lechos marinos asociados con arenas o arcillas	Bancos de espesores variables con textura de grano fino o compuestos por acumulación de restos de coquinas, con parcial cementación de carbonato de calcio y algo de sílice	Esencialmente como filler en pinturas, gomas, plásticos, papel, cosmética. Cemento Cal para siderurgia **Mejorador de suelos**
Calizas químicas	Precipitación como barros en cuerpos de agua compactados	Forman la tosca o caleretes	Cemento Cal Baldosas y losetas Cerámica Base de caminos
Calizas clásticas	Clastos carbonáticos con cemento calcáreo	Restos fósiles acumulados por transporte	Cemento Cal **Agricultura**
Calizas metamórficas	Depósitos de bajo grado de metamorfismo	De colores blanco a gris claro. No son mármoles Sensu Stricto	Ornamental. Baldosas Cales Vidrio Filler

En el Cuadro V-6 se resumen los usos industriales de la caliza de acuerdo a su génesis.
Cuadro V-6. Génesis y Usos industriales de la caliza

Del cuadro se evidencia que la aplicación de esta variedad de rocas en agricultura representa un uso menor.

Entre los productos más conocidos con destino a la industria se mencionan:

a) Caliza metamórfica para roca dimensional. Se identifica como mármol
b) Triturada para uso químico
c) Triturada para uso como agregado

d) Molida para empleo como carga mineral de bajo valor
e) Molida a tamaños finos para cargas minerales.
f) Molida a tamaño ultrafino para carga de alto valor.
g) Molida y aglutinada en pellet
h) Caliza calcinada para fabricación de cemento
i) Fabricación de cal
j) Fabricación de cal hidratada
k) Fabricación de cal con CO_2
l) Carbonato de calcio precipitado.

Usos

Es muy amplia la aplicación de calizas y dolomías en la industria. El uso más importante está dirigido a la construcción tanto como agregado o en la producción de cal y cemento; también en la industria del hierro y el acero, en química, en fabricación de vidrios, como carga mineral u otros usos específicos.

La agricultura emplea tanto calizas como dolomías en procesos de encalado y enmiendas con la finalidad de reducir la acidez de los suelos o bien para incrementar el contenido de calcio y magnesio, considerados como nutrientes.

En el caso de la dolomita no solamente se la emplea como aditivo para los suelos sino también como material base para los fertilizantes; para este último caso, debe contener como mínimo 90% de $CaCO_3/MgCO_3$ combinado, así como un contenido de sílice que no exceda el 5%. Cuando la dolomita es de bajo grado (15 A 20% MgO) se usa como acondicionador de suelos.

Entre las especificaciones que debe cumplir la caliza /dolomía se refieren al Equivalente Químico (EQ), es decir la capacidad que posee la roca para neutralizar la acidez del suelo a partir de la comparación con el poder de neutralización del carbonato de calcio puro, al cual se le asigna el valor de 100%.

Otra característica que se toma en cuenta es el tamaño de partícula, puesto que con un aumento de la finura existe un aumento de la superficie específica y consecuentemente, su poder de reacción.

Carbonatos. Su uso en la agricultura

En un ecosistema, los suelos tienen cuatro funciones básicas: 1) soportar la estructura física de las plantas para que las mismas puedan vivir, 2) proporcionar, en sincronía con el aire de la atmósfera, aire y temperaturas compatibles con la fisiología de los organismos del ecosistema, 3) recibir, retener y proporcionar agua a las plantas y 4) proporcionar la mayor parte de los nutrimentos esenciales para las plantas y animales.

La sustentabilidad del uso del suelo para la producción de cultivos está principalmente condicionada por las cantidades finitas de nutrimentos esenciales presentes. Estas cantidades dependen del ma-

terial geológico que originó a los suelos y a factores como el clima, la topografía y los organismos. Cuando los recursos naturales se utilizan sobrepasando los límites de su regeneración natural, se producen desequilibrios ambientales que retardan la resiliencia, es decir la recuperación del equilibrio del ecosistema, afectando la existencia de todos los seres vivos.

El objetivo de este documento es cuantificar el uso actual y potencial en Latinoamérica de rocas minerales calcíticas y dolomíticas para la corrección de suelos ácidos, como así también de aquéllos en los cuales es necesario corregir deficiencias de elementos como el calcio y el magnesio.

Argentina

María Beatriz Ponce [1] y Sebastián P. Gambaudo[2] (Ex aequo)

Las rocas carbonáticas en Argentina

Las rocas carbonáticas de diversas variedades se hallan ampliamente distribuidas en Argentina. De acuerdo a su aplicación tecnológica, los minerales compuestos por carbonato de calcio poseen una gran demanda entre las industrias argentinas, entre ellas la agricultura.

Entre las distintas rocas cuya composición es eminentemente de base carbonato, las más representativas y empleadas con fines industriales corresponden a las calizas y dolomías.

El concepto de caliza implica un término genérico, en especial para el productor de cal, que identifica aquellas rocas que contienen como mínimo un 80% de carbonato de calcio o magnesio. Desde la geología, la denominación de caliza se aplica solamente en aquellas rocas cuya fracción carbonática es proporcionalmente mayor a los componentes no carbonáticos.

La génesis de esta variedad de rocas puede esquemáticamente, ser explicada tomando como inicio un depósito sedimentario, el cual por los efectos de presión, temperatura y tiempo suficiente, pasa a transformarse en una roca metamórfica dando lugar a formas cristalinas de calizas, denominadas mármoles. Por otra vía, en presencia de soluciones con magnesio, se produce el reemplazo metasomático Ca-Mg, formando dolomías.

Una tercera forma es la vinculada a rocas ígneas, donde dan lugar a las carbonatitas, formándose vetas de calcita.

Las condiciones genéticas de formación unido a procesos posteriores son los que condicionan la variedad mineralógica de las rocas calcáreas.

Geología

El territorio argentino ha sido dividido en diferentes unidades geológicas que coinciden parcialmente con la fisiografía.

Desde una perspectiva orográfica y geológica se mencionan regiones que agrupan diferentes unidades morfoestructurales.

Puna: Ubicada en el extremo sur del Altiplano boliviano y peruano, alcanza el territorio argentino a partir de los 21°45´S , en el límite con Bolivia extendiéndose hasta la ladera austral de la

[1] *Instituto de Tecnología Minera - SEGEMAR - bea@inti.gov.ar*
[2] *INTA EEA Rafaela - sgambaudo@rafaela.inta.gov.ar*

Cordillera de San Buenaventura. El clima árido unido a una geografía que desarrolla una altiplanicie sobre elevada a los 3.700 m s.n.m. se halla limitada por los cordones cordilleranos Oriental (E), pasando a la Cordillera Frontal y al Sistema de Famatina al sur. En este sector se encuentran depósitos continentales de edad neopaleozoica que contienen en su parte media calizas carboníferas. La característica predominante de la Puna es la presencia de distintas formas de vulcanismo orogénico cenozoico los que se intercalan con depósitos terciarios continentales que han dado lugar al desarrollo de cuencas intermontanas mayormente endorreicas, que culminan con depósitos evaporíticos que forman los grandes salares. Entre las formaciones que se desarrollan se ubica la correspondiente al Grupo Salta de edad cretácica restringida al sector septentrional de la Puna. Alli se identifican las calizas oolíticas, dolomíticas y arenosas de la Formación Yacoraite. Otro grupo de interés es el de Pastos Grandes formado por sedimentos continentales cenozoicos que poseen depósitos de boratos, sal de roca y yeso. Sincrónicamente a Pastos Grandes y en la etapa final del vulcanismo con emanaciones y vertientes boracíferas y calcáreas, se forman las cuencas endorreicas con boratos, cloruro, sulfatos y carbonatos de sodio (salares y salinas).

Cordillera Oriental: Corresponde a los Andes de Salta y Jujuy. El ambiente presenta cadenas montañosas subparalelas de orientación NNE separadas por profundos valles. El clima es seco y templado a frío con fuertes vientos. Esta unidad geológica corresponde al basamento precámbrico formado por esquistos cuarcíticos, filitas y pizarras afectados por metamorfismo de bajo grado. Este paquete se encuentra en la Formación Puncoviscana y dan lugar a la aparición de yacimientos de piedra laja en la Sierra de Mojotoro (Salta) y El Carmen (Jujuy). En forma infrayacente, se localiza la Formación Volcán con sedimentos calizos, objeto de explotación. La Formación Yacoraite también presenta en su composición calizas y dolomías en las localidades de El Volcán y Agua Chica.

Sierras Subandinas: Ubicada al este de la Cordillera Oriental y la llanura chacobonaerense, constituyendo una faja de rumbo N-S. Posee un complejo plegamiento con elevaciones coincidentes con anticlinales asimétricos afectados por fallas de empuje, inversas e inclinadas hacia el oeste. En esta unidad geológica se explotan depósitos de calizas oolíticas, dolomíticas y estromatolíticas de la Formación Yacoraite (Mesozoico) en la sierra de Puesto Viejo (Jujuy). La Formación Río Salí también posee depósitos de calcáreos oolíticos , los que son explotados en la sierra de La Ramada (Tucumán), lo mismo que los bancos de yeso de la cuenca Vipos-Tapia.

Sistema de Famatina: Abarca un conjunto de bloques serranos desde el norte de Chaschuil comprendiendo las sierras de Las Planchadas, Narváez, Famatina, Paimán, Vilgo, Sañogasta y Paganzo. La aparición de rocas carbonáticas se ubica en los travertinos del Pleistoceno-Holoceno de amplio emplazamiento en el faldeo occidental de la unidad.

Sierras Pampeanas: Unidad geológica limitada al norte por la Puna y la Cordillera Oriental, al este y sur con la Cuenca Chaco Paranaense y por el oeste con el Sistema de Famatina y Precordillera. Geológicamente esta formada por un basamento cristalino (Precámbrico) depositado en ambiente de cuencas marinas como materiales areno-arcillosos y sedimentos carbonáticos. El tectonismo posterior con sus procesos de deformación y metamorfismo regional con intrusiones de rocas ácidas, conformó un cuadro altamente complejo. Esta unidad registra grandes espesores de metamorfitas tales como esquistos, gneises, calizas-dolomías (mármoles) donde participan rocas básicas y ultrabásicas. En este ámbito son objeto de explotación yacimientos de calizas y dolomías de la sierra de Ancasti (Catamarca), calizas cristalinas del Morro de Peñas Azules (Tucumán). En la provincia de Córdoba en la sierra Chica hay yacimientos de calizas y dolomías; también en la

sierra El Gigante (San Luis), la sierra de Pie de Palo (San Juan) y Santiago del Estero.

Precordillera: Se desarrolla en las provincias de San Juan y Mendoza entre las Sierras Pampeanas y la Cordillera Frontal. De importancia son las acumulaciones de calizas y dolomías ordovícicas de la Formación San Juan extendiéndose hasta La Rioja a la altura del río Guandacol y terminando en el cerro La Cal en Mendoza. En este potente complejo se explotan mármoles, calizas y dolomías. Bancos carbónicos de ambiente continental se detectan en la Precordillera riojana.

Cordillera Frontal: Corresponde a la cadena montañosa que se ubica entre la Precordillera y la Cordillera Principal desde el norte de la provincia de San Juan hasta la latitud del río Diamante en Mendoza. De edad Precámbrica es el complejo metamórfico formado por micacitas, filitas, anfibolitas, cuarcitas y calizas.

Sistema de Ventania y Tandilia: Ambos desarrollados en la provincia de Buenos Aires. El mas septentrional denominado Tandilia constituye cordón discontinuo con amplios valles y abras emerge de la llanura pampeana bonaerense con orientación NO-SE. Las sierras de Olavaria están formadas por estratos subhorizontales de composición granitoide. Perteneciente al Paleozoico se identifican las calizas de la Formación La Tinta. Las dolomías se ubican entre dos miembros cuarcíticos en Sierras Bayas en forma de un banco guía muy homogéneo y uniforme con típico color bayo (castaño amarillento). En la zona Boca de la Sierra se presenta con estructuras algales o estromatolíticas. Ya cercano a Barker, las Sierras Bayas y serranías del lugar poseen calizas que por su coloración llega a ser negra o chocolate. Por su parte el Sistema de Ventania constituye las denominadas Sierras Australes, cuyo conjunto surge de la llanura pampeana con rumbo NO-SE.

Región Patagonia-Comahue: De esta región participan varias unidades morfoestructurales, de las sólo se mencionarán aquellas que posean depósitos de rocas carbonáticas.

Precámbrico: Se identifican calizas cristalinas en la sierra de Pailemán y Yaminué (Río Negro).

Paleozoico: En el ámbito cordillerano de Chubut y Santa Cruz, afloran sedimentitas marinas afectadas por distinto grado de metamorfismo. Los depósitos de esta naturaleza han permitido explotar canteras de pizarras, calizas y esquistos. Al oeste de la provincia de La Pampa se encuentran sedimentos representados por calizas, cuarcitas y vulcanitas.

Mesozoico: En el área de la Cuenca Neuquina-Cordillera Principal la manifestación correspondiente a la trasgresión marina se inicia con depósitos calcáreos coralinos a los que le sigue la Formación Auquilco (Yeso Principal). La Formación Vaca Muerta también posee yacimientos de calizas oscuras explotadas en las proximidades de Zapala y en la sierra homónima. Los depósitos de yeso y caliza presentes en el alto Valle del Río Negro se relacionan con los movimientos larámicos que ocasionan la intrusión del batolito andino generando una intensa plutonización.

Cenozoico-Terciario: A este período pertenecen las manifestaciones de calizas organógenas con intercrecimiento con arcillas de la Bahía Bustamante (Chubut), lo mismo que las explotadas en Comodoro Rivadavia. En Pico Truncado (Santa Cruz) esta unidad muestra bancos de coquina

de gran espesor.

Composición Química

La composición química de las calizas refleja prácticamente su composición mineralógica. Es posible considerar que las calizas están formadas esencialmente por calcita, con lo cual las proporciones de CaO y CO_2 serán elevadas llegando a 95% del total. Otros componentes incluyen MgO, el que puede representar una variable importante, si su proporción excede el 1 ó 2 %, lo que seguramente dará lugar a la formación del mineral dolomita. En caso que la proporción de óxido de magnesio no superara la proporción señalada, se clasificaría como caliza magnesiana.

La presencia de Mg indica el contenido de este elemento en la parte detrítica de la caliza, como también el desarrollo de procesos de alteración química. Especialmente importante es el de dolomitización, por el cual una caliza generalmente incorpora magnesio.

La sílice también puede encontrarse entre los compuestos carbonáticos bajo la forma de ftanita (amorfa). Cuando existen materiales arcillosos que participan en los procesos que los vinculan a las calizas, aparece el óxido de potasio y el agua de combinación.

Excepcionalmente, las calizas pueden ser portadoras de componentes menores tales como fósforo, óxido de hierro o sulfuro.

Las rocas cuya génesis ha sido de tipo biogénica, presentan particularidades que son evidentes en los caparazones de crustáceos los que pueden contar con un contenido de fosfatos mayor, conchas aragoníticas con déficit de óxido de magnesio y conchas calcíticas que preferentemente son más ricas en ese componente.

Los contenidos en carbonato de calcio de las rocas provenientes de depósitos argentinos son muy variables, desde menos de 85% hasta muy alto como 98,5%.

Las impurezas se corresponden con contenidos de dolomita, arcillas, limos, arenas y conglomerados.

Usos de las rocas carbonaticas

Muchas son las industrias que emplean las rocas carbonáticas ya sea sin modificarlas o sometiéndolas a procesos de transformación. En Argentina la mayor demanda proviene de la industria de la construcción, en la fabricación de cemento, en siderurgia, manufacturas de vidrios e industria química.

En los últimos años está teniendo una importante demanda su aplicación en la corrección de la acidez de suelos destinados a cultivos. En este último caso se emplean calizas organógenas, clásticas, dolomías y eventualmente travertinos.

El aporte de Ca y Mg a partir del agregado de calizas, a suelos que se han acidificado debido a

la intensidad de los cultivos, permite recuperar o conservar la fertilidad de los mismos. De esta forma, se logra llevar el pH a valores entre 5 y 7 considerados adecuados que permite la asimilación de nutrientes en el agrosistema.

El procedimiento por el cual se incorpora carbonatos en el suelo se denomina encalado. La proporción en que se adiciona dependerá del estado esencialmente del suelo, de la variedad de cultivo, de las necesidades de fósforo y molibdeno y aporte de Ca y Mg (Gambaudo, 2002).

El agregado de carbonato con fines agrícolas comprende varias especies:

* Carbonato de calcio ($CaCO_3$) como mineral, teniendo en cuenta las exigencias de la norma correspondiente.
* Dolomita ($CaCO_3$. $MgCO_3$) mineral que aporta no sólo calcio sino también magnesio.
* Cal en su forma apagada, ($Ca(HO_2$).
* Magnesita (MgO).

Normativa argentina sobre el uso de carbonatos con fines agropecuarios

El Instituto Argentino de Normalización - IRAM - cuenta con la norma 22451: 97, en la cual se definen los requisitos y ensayos para las rocas carbonáticas destinadas a la industria agropecuaria.

La eficiencia del material empleado para encalar depende esencialmente de la velocidad de reacción de éste con el suelo. Intervienen como variables la solubilidad del material, su densidad, su estado cristalino y dureza entre otros. Por otra parte la solubilidad se halla fuertemente relacionada con la finura o grado de molienda, ya que al poseer mayor finura, aumenta la superficie específica del material que va a reaccionar.

No obstante, se debe tener en cuenta que un material extremadamente fino, podría presentar problemas de aplicación y escaso poder residual; en tanto uno demasiado grueso, tiene escasa solubilidad demorando su reacción con el suelo.

La norma IRAM tomó como referencias las normas americanas ASTM C25:95, C50:91 y C 602:95 y las españolas UNE 142-102 : 94, UNE 142-401 : 94, UNE 142-402 : 94 y UNE 142-403 : 94.

El análisis químico de la roca calcárea de potencial uso en suelos agrícolas, deberá indicar los contenidos de residuo insoluble, sílice, alúmina, óxido de hierro, óxido de calcio, óxido de azufre, pérdida por calcinación a 1000 °C y pérdida a 105-110 °C asociada a la humedad. Es conveniente determinar la alcalinidad para conocer la asociación existente el calcio y el magnesio en la muestra, como también determinar los cationes solubles en agua, ya que este dato brinda información sobre la rápida disponibilidad de muchos de ellos.

También por vía química se identifican elementos considerados peligrosos de acuerdo a lo establecido en la ley de Residuos Peligrosos N°24051; ellos son: Sb, As, Ba, Be, Cd, Co, Cu, Cr, Sn, Hg, Ni, Ag, Pb, Se, Te y V.

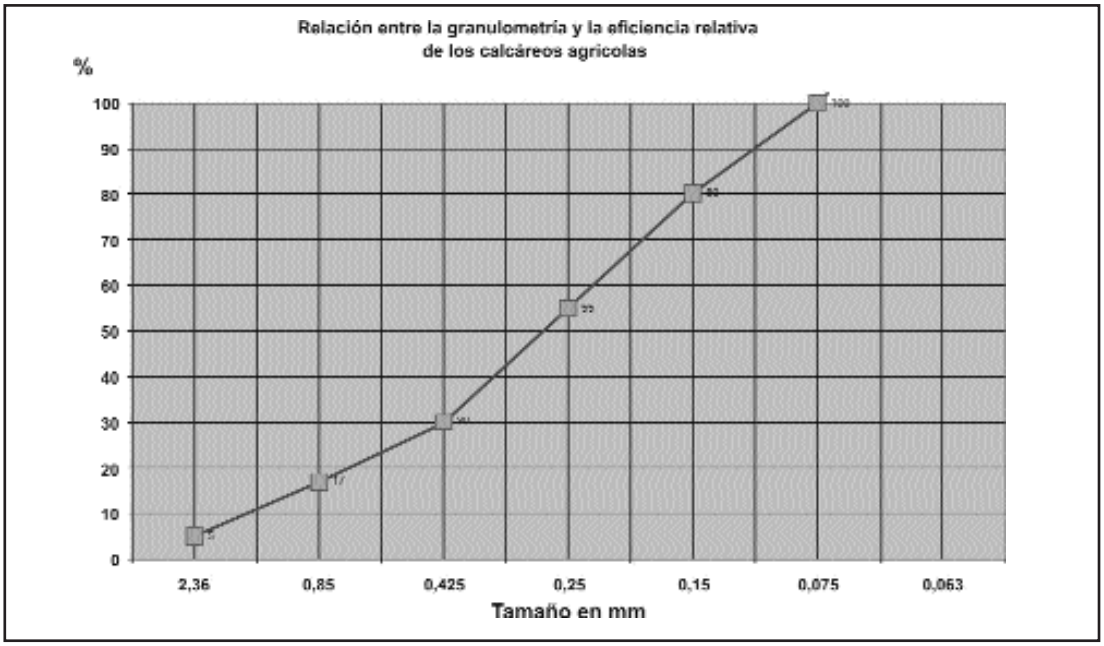
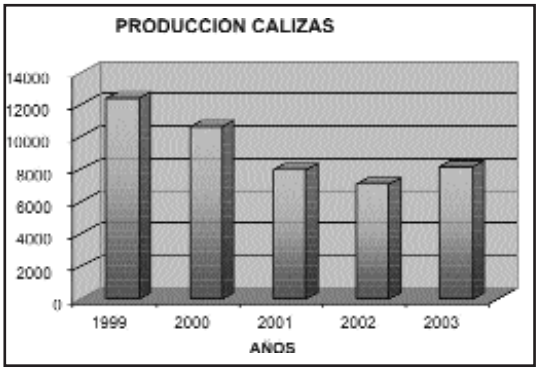
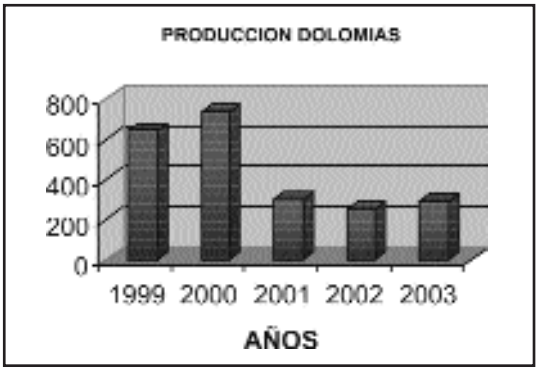


Figura V-1 . Granulometría y E.C.C.





La producción de calizas en el período 1999-2003 muestra que a partir del año 2002 se ha incrementado, hecho que no se cumple de la misma forma en el caso de las dolomías.

Recursos mineros

Existe una amplia distribución en la República Argentina de yacimientos de rocas carbonáticas de tipo calizas (en todas sus variantes) y dolomíticas.

Básicamente se distinguen las siguientes regiones geográficas donde es posible ubicar los yaci-

mientos y depósitos:
a) Noroeste (Jujuy - Tucumán - Catamarca - La Rioja)
La formaciones más antiguas (Volcán en Jujuy , Peñas Azules en Tucumán y Sierra Brava en Catamarca) se relacionan con origen metamórfico.
b) Centro - Cuyo (San Juan - San Luis - Córdoba -Mendoza)
Se corresponden a depósitos de basamento y de cuenca.
c) Cuenca Neuquina (Neuquen - Río Negro - Chubut)
Pertenecen a depósitos de origen marino.
d) Provincia de Buenos Aires

Depósitos de origen marino, ubicados geográficamente en las Sierras Septentrionales.

En el Cuadro V-7 se resumen los depósitos/yacimientos/canteras de calizas y dolomías de las

Cuadro V-7. Depósitos, yacimientos y canteras de rocas carbonáticas

Dep./Yac/Cant.	PROVINCIA	CARACTERISTICAS	USO y Pot. Agr.
Fm Villa Mónica	**BUENOS AIRES**		
Sierras Bayas *La Teresa * El Progreso * Cerro Largo		Dolomitas con cuarcitas y pelitas. $CaCO_3$ 88,6 – 89,8% $MgCO_3$ 1,3 – 6,2%	Roca ornamental Piedra partida para construcción. Fabricación de vidrio
Origen sedimentario			
Fm Loma Negra **Loma Negra** Providencia		Calizas de tipo micríticas y subesparíticas. Espesores de 40 m. $CaCO_3$ 86–91% $MgCO_3$ 1,7%	**Excelente Potencial Agrícola con control de otros compuestos**
Origen sedimentario			
Fm Yacoraite	**JUJUY**		Fabricación de cemento
* Cant. Adriana * Cant. Mairmará * Cant. Silvia * Cant. Elisco * Cant. Adriana		Calizas masivas, oolíticas, travertino, aragonita y ónix. Con estratos de areniscas calcáreas Contenido $CaCO_3$ superior al 85%.	Fabricación de cal
Origen sedimentario			
Fm Volcán			
* Cant. Volcán		Calizas metamórficas $CaCO_3$ 95%	**Buen Potencial Agrícola con control de otros compuestos**
Metamórfico			
Fm Sierra Brava	**CATAMARCA**		
* Cant. Ben Hur * Ojo de Agua * La Esperanza/El Porvenir * Cant Esquiú * El Cerrito/El Morro * La Calera		Mármoles con intercalaciones de esquistos Calizas magnesianas y dolomitas. $CaCO_3$ 87 – 96% $MgCO_3$ 0,5 – 5,5%	Fabricación de cal y cemento Roca ornamental **Buen Potencial Agrícola con control de otros compuestos**
Metamórfico			

Fm Río Salí	**TUCUMAN**		
* La Ramada		Calizas masivas, grano fino y textura oolítica. Con capas de arcillitas y yeso. $CaCO_3$ 78% $MgCO_3$ 17%	Fabricación de cal
Fm Peñas Azules			
* Las Bardas		Intercalaciones de calizas y gneises. La primera posee	
* Peña Redonda		potencias entre 60 y 190 m	
* Sector Occidental		Caliza granular a microcristalina $CaCO_3$ 87 – 92% $MgCO_3$ <5%	**Buen Potencial Agrícola**
Santa Bárbara	**LA RIOJA**	Bancos travertínicos con alternancia de aragonita y mix. $CaCO_3$ 89% $MgCO_3$ 2.5%	Fabricación de cal.
Qda. Chorrillos		Dolomitas cristalinas en parte calcíticas. $CaCO_3$ 48 – 52 % $MgCO_3$ 30 – 44%	Roca ornamental
Fm Espinal Nueva Esperanza		Calcáreos en forma de bancos en parte silicáticos.	
El Salto		Caliza cristalina, granulosa, a veces con cloritas y óxidos de Fe.	
Fm San Juan Guandacol		Calizas y dolomías con nódulos de pedernal e intercalaciones de arenas, conglomerados y venillas de calcita. $CaCO_3$ 90% $MgCO_3$ 3,2%	Fabricación de cemento
Las Lorritas		Areniscas conglomerádicas con cemento calcáreo	
El Totoral		Banco de caliza cristalina granulosa	Fabricación de cal **Buen Potencial Agrícola**

* Carapé * Candonga	**CORDOBA**	Mármoles en dos cuerpos: O con tendencia dolomítica y Este, de tipo calcítico.	
Falda del Carmen.Lagunilla * Cant. Tobías		Carbonatos dolomíticos. OMg 18% Mármoles blancos, grises y fechosos. OMg 14 – 20%	
* San Agustín- Sin Nombre		Mármol dolomítico MgO 14 – 21% Insoluble 2 – 8%	
* Unquillo		Calizas de gran desarrollo. OMg hasta 18%	
* Dumesnil			
* Mal Paso		Mármoles calcíticos OMg > 4%, Insol. 20%	
* La Calera		Mármoles calcíticos	Fabricación de cemento y cal
* Yocsina Malagueño		Mármol con interestratificaciones de gneises y anfibolitas. $CaCO_3$ 86% $MgCO_3$ 4%	Fabricación de cemento
* Cerro Moro		Mármol calcítico $CaCO_3$ 58% $MgCO_3$ 26%	
* La Fronda		Mármol calcítico	
* Quilpo		Bancos de mármol calcítico	
* Pampa de los Guanacos		Mármol calcítico con tendencia dolomítica.	Uso ornamental
* Iguazú		Mármol calcítico	
* Iggam, La Argentina, Los Arroyos			**Buen Potencial Agrícola con control químico**
Fm San Juan * El Refugio * San Roque o Agua Negra	**SAN JUAN**	Calizas sedimentarias estratiformes en mantos interestratificados con flanita. $CaCO_3$ 97%	Elaboración de cal
* Niquivil Viejo		Calizas mantiformes $CaCO_3$ 98%	

* Caballo Blanco * San Rafael * Baños de la Salud * Campo Sarmiento		Caliza gris con venillas de calcita recristalizada. CaO 54% MgO < 8% SiO_2 0,6 - 1%	
* San Jorge * El Rincón		Calizas sacaroides en bancos menores a 1 m CaO 54% SiO_2 0,9 – 1,5%	Elaboración de carburo de calcio
Fm I.a Laja * El Volcán		Calizas grises de grano fino y con venas de calcita. $CaCO_3$ 97%	Elaboración de cal
Fm Zonda * El Fuerte		Calizas dolomiticas y dolomias CaO 33,3% MgO 16 % SiO_2 2,7%	
* El Volcán Villicum		Bancos dolomíticos de grano fino de depósito sedimentario CaO 32,5% MgO 18,5 % SiO_2 2,3 %	
Sedimentario			**Buen Potencial Agrícola**
	SAN LUIS		
* Sierra de Socosora		Mármol dolomitico en bancos y bolsones $CaCO_3$ 52% $MgCO_3$ 35%	
* Cañada Grande		Bancos dolomiticos $CaCO_3$ 50-75% $MgCO_3$ 25-45% Insol. 6 - 13%	
* La Marmolina I y II		Bancos dolomíticos	
* Cerro Impuro I y II		Mármol calcítico $CaCO_3$ 80-96% $MgCO_3$ 1-11%	

* Cerro Redondo Metamórfico		Mármol calcítico $CaCO_3$ 80-96% $MgCO_3$ 1-11%	**Buen Potencial Agrícola**
Fm San Juan * Salagasta	**MENDOZA**	Estratos de calizas mezcladas con margas y chert CaO 54% MgO 0,8% SiO_2 1 6 %	
* Cerro Blanco		Calizas de grano fino con ftanita SiO_2 0,5 – 22%	
* Cerro La Cal Sedimentario		Bancos de calizas de grano fino con textura sacaroide. CaO 53,5 – 55 % SiO_2 1,7 2,5 %	**Buen Potencial Agrícola**
*Vaca Muerta Sedimentaria	**NEUQUEN**	Calizas gris azulada claro con restos coralinos. Potencias mayores a 30 m. $CaCO_3$ 76 – 98% MgO < 1%	
* E. Salitral		Caliza subbituminosa $CaCO_3$ 60 75%	**Excelente Potencial Agrícola**
Comodoro Rivadavia	**CHUBUT**	Yacimiento con arenisca calcárea y restos de valvas en bancos. $CaCO_3$ 25 – 40%	
*Sindicato		Niveles de caliza coquinoide horizontales de espesores variables. Intercalaciones de arcilla con ostreas. $CaCO_3$ 65 70%	
* Arroyo La Mata		Calcáreo esencialmente formado por ostrea y coquina.	Fabricación de cemento
Fm Salamanqueano * Sierra Chata		Caliza con restos de bivalvos y conchillas. $CaCO_3$ 80 - 85%	Fabricación de cemento
* La Esther * E. Alamo * Piedras Blancas		Caliza con sectores de coquina y espesor variable. $CaCO_3$ 93% MgO < 0,8%	Fabricación de cemento

* La Ibérica-El Tablón		Caliza organógena con areniscas $CaCO_3$ 93% MgO 0,41%	
* La Alicia		Calizas organógenas, con areniscas y arcillas $CaCO_3$ 73% MgO 0,3 %	
* Las Chapas		Calizas organógenas con areniscas $CaCO_3$ 85 – 98%	
Sedimentario			**Buen potencial Agrícola**
Fm El Jagüelito	**RIO NEGRO**		
* Pailemán		Varios cuerpos de calizas cristalinas entre esquistos y porfiritas.	
Metamórfico		$CaCO_3$ 75 97,5%	
Fm Arroyo Barbudo			
* Bajo del Gualicho * Pajalta		Bancos calcáreos fosilíferos Lomas de calizas de 30 m de altura con eflorescencias sacaroides de calcita.	
* Cant. Pedro Lucero		Calizas compactas con venillas de carbonato de calcio.	Fabricación de mosaicos
* Cant. Cayuqueo		Calcáreo aragonítico, botroidal y coloforme.	Fines ornamentales
* Cant. Gisella		Dolomías arenosas, microgranulares, masivas. $CaCO_3$ 53,2 64,7 %	
Sedimentario			**Excelente Potencial Agrícola**

áreas mencionadas.
A continuación se muestra un mapa de la República Argentina con los yacimientos de calizas y dolomías.

Figura V-2 . *Yacimientos*

Carbonatos. Su uso en la agricultura Argentina

En un mapa realizado por Michelena et al. (1997) sobre la base del Atlas de Suelos de la República Argentina se diferencian las áreas con problemas edáficos de acidez (Figura V-3).

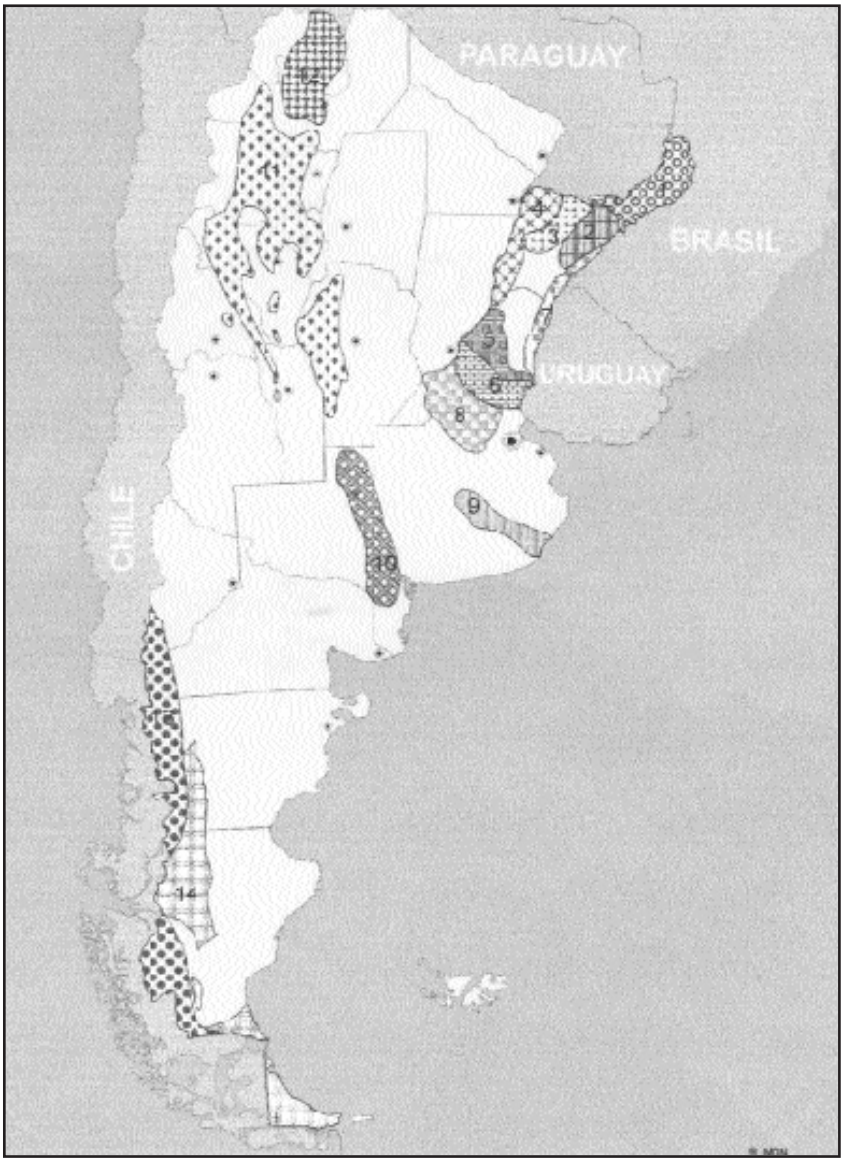


Figura V-3. Áreas de suelos ácidos de la República Argentina

Las características principales de suelo y clima, así como el tamaño de cada una de las áreas señaladas en la Figura V-3 (Giorgi) son:

1. Misiones - NE de Corrientes:
Suelos rojos. Meteorización avanzada. Sesquióxidos libres. Bien provistos de materia orgánica (M.O.), fósforo (P) fijado, ácidos con baja capacidad de intercambio catiónico (CIC) y bajo porcentaje de saturación de bases (%SB); pH entre 4,3-5,8. Precipitación: media anual 1500 a 1700 mm.
Representan: 3.448.259 has.

2. Este de Corrientes:
Hidromórficos. Buena provisión de MO. Acidez con pH de 5,5. Precipitación: media anual 1400 mm.
Representan: 2.188.593 has.

3. Centro -Norte de Corrientes:
Mal drenados, reacción ácida, no salinos. Precipitación: media anual 1600 mm.
Representan: 1.589.606 has.

4. Oeste de Corrientes y NO de Entre Ríos:
Albardon arenoso y profundo, reacción ácida. Precipitación: media anual 1100 a 1300 mm.
Representan: 3.221.725 has.

5. Oeste de Entre Ríos:
Area ondulada. Vertisoles con Argiudoles vérticos. Baja permeabilidad. Acidez en superficie, con pH que aumentan en profundidad de 5,5 a 8. Precipitación: media anual 1000 mm.
Representan: 2.039.486 has.

6. Sur de Entre Ríos, Isla y Delta del Río Paraná:
Arenosos, con napa de agua cercana, anegadizos. Acidos. Precipitación: media anual 950 a 1050 mm.
Representan: 2.671.586 has.

7. Margen derecha Río Uruguay en Entre Ríos y Corrientes:
Arenosos sobre subsuelo arcillo-arenoso, moderadamente drenados. Acidos. Bajo CIC y %SB. Precipitación: media anual 1300 a 1400mm.
Representan: 1.589.606 has.

8. Centro, este y sur de Santa Fe, Noroeste de Buenos Aires:
Argiudoles, con B2 textural. Bien provistos de MO y nutrientes. Levemente ácidos en superficie y moderadamente alcalinos en profundidad. Precipitación: media anual 900 a 950.
Representan: 3.923.565 has.

9. Sistema de Tandilla - centro Sureste de Bs As:
Bien drenados. Ricos en MO y en nutrientes, son ligeramente ácidos a neutros. Precipitación: media anual 800 mm.
Representan: 2.169.704 has.

10. Centro este de La Pampa y pequeñas áreas de SO de Bs As y SO de Cba:
Textura liviana. Horizonte pertrocálcico a 1m de profundidad. Moderadamente provistos de MO y nutrientes. Ligeramente ácidos en superficie. Precipitación: media anual 550 a 600 mm.
Representan: 4.591.209 has.

11. Sector serrano de Catamarca, La Rioja, Córdoba, San Luis, San Juan y Tucumán:
Suelos someros. Perfil poco desarrollado. Pobres en MO y en nutrientes. Ácidos a neutros.
Precipitación: media anual 100 a 500 mm.
Representan: 17.429.120 has.

12. Este de Jujuy, noroeste y sur de Salta:
Las zonas de bosque: bien provistos de MO y son ácidos.
Representan: 4.788.801 has.

13. Centro oeste de Neuquén:
Desarrollados sobre cenizas volcánicas. Horizonte al ácido, con baja %SB. Ricos en MO y nutrientes.
Representan: 9.464.966 has.

14. Santa Cruz y Tierra del Fuego:
Suelos medianamente profundos. Horizonte A_1 superficial rico en MO poco humificada. De reacción ácida.
Representan: 8.924.025 has.

Cruzate y Casas (2003) identificaron zonas de extracción de nutrientes por los principales cultivos de Argentina, maíz, trigo, sorgo granífero, soja y girasol, determinando que los mayores valores de calcio se exportan de los departamentos San Nicolás (Buenos Aires) y Rosario (Santa Fe) con una extracción de 7,80 kg por hectárea en la campaña 2002/03 (Figura V-4). Además determinaron que en tres áreas, una del S de Santa Fe y N de Buenos Aires, otra del centro de Córdoba al S de Santiago del Estero y la tercera en el SO de Santiago del Estero y E de Tucumán, los valores de calcio exportado fueron superiores a 6 kg. ha-1.

En cuanto al azufre, la mayor exportación por hectárea corresponde al centro de Córdoba, con valores superiores a los 12 kg de S. ha-1 (Figura V-5). Existe otra zona que comienza en el SO de Santiago del Estero, pasa por el centro de Córdoba, penetra en el S de Santa Fe y N de Buenos Aires, con valores superiores a los 10 kg de S. ha-1-

Para generar mapas de necesidades relativas de aplicación de nutrientes, los autores ponderaron el valor del nutriente exportado por índices simples en los cuales intervinieron las limitaciones a la fertilidad de los suelos (contenido de arena, contenido de materia orgánica, disponibilidad de fós-

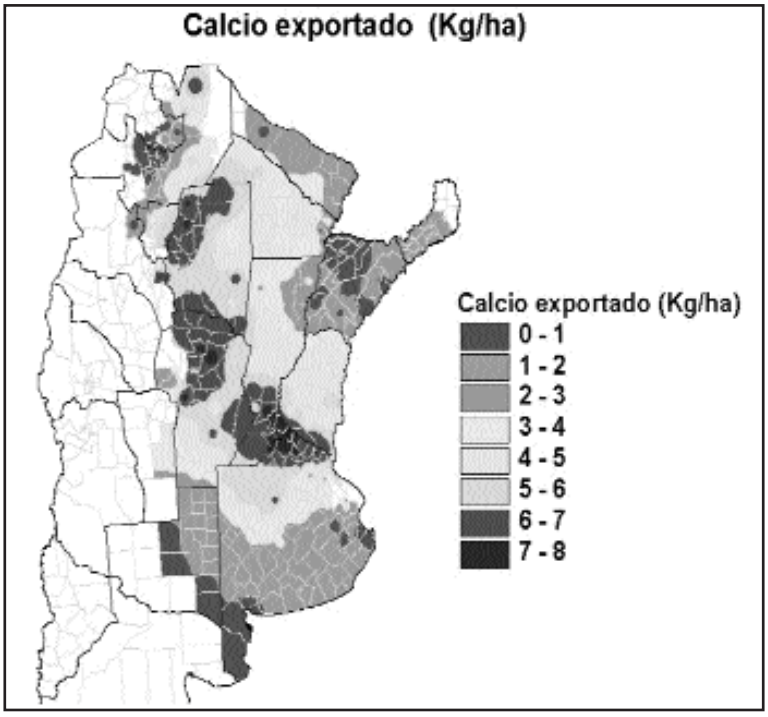
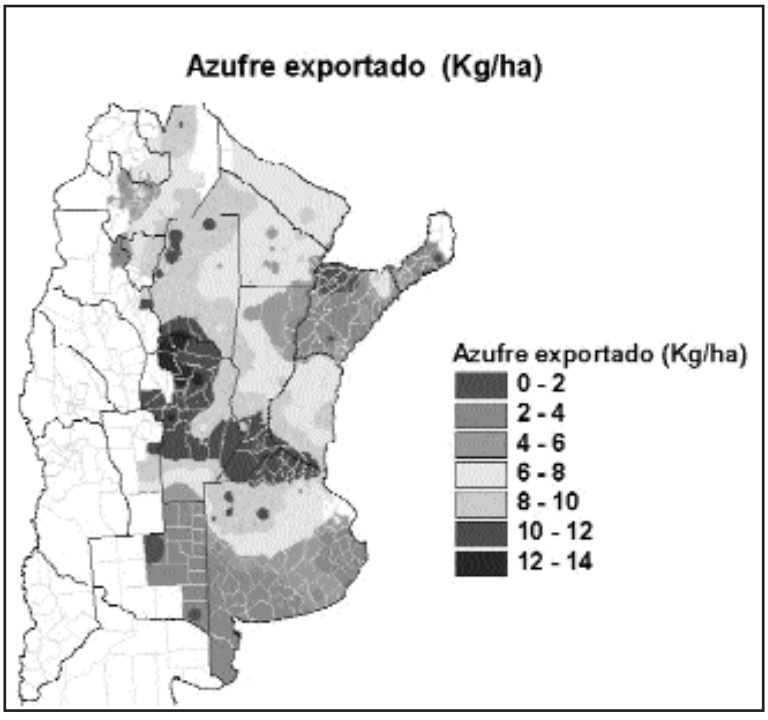
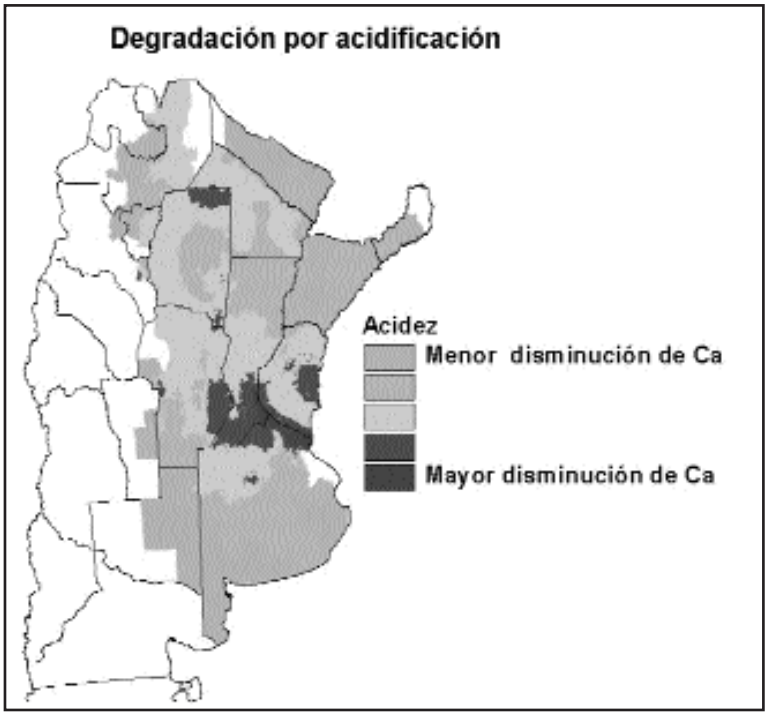


Figura V-4. Calcio exportado por los cultivos de maíz, trigo, sorgo granífero, soja y girasol en la campaña agrícola 2002/2003.



foro, acidez) obteniéndose los mapas denominados "de necesidad de aplicación". La necesidad de aplicación



aumenta en las áreas de mayor extracción y menor disponibilidad, brindándose en este estudio sólo valores relativos. Los suelos de las zonas húmedas tienden a incrementar su nivel de acidez, fenómeno que se acelera con la duración del proceso agrícola. Los suelos de la Región Pampeana han sufrido un descenso en los contenidos de Ca y Mg que se manifiesta en una disminución generalizada del pH, el cual alcanza valores inferiores a 6 en algunas zonas como el S de Santa Fe y el N de Buenos Aires (Figura V-6).

Figura V-5. Azufre exportado por los cultivos de maíz, trigo, sorgo granífero, soja y girasol en la campaña agrícola 2002/2003.

Figura V-6. Degradación del suelo por acidificación.

Investigaciones realizadas en la Región Pampeana estiman un 10% de lotes agrícolas donde la acidez del pH es menor a 5,8; un 25% de lotes cuyos problemas son menos severos, con niveles de pH entre 5,8 - 6,2 y un 30% de lotes con pH entre 6,2 - 6,5.

Tanto en el país como en varias de las provincias existen legislaciones referidas a la conservación y recuperación de la capacidad productiva de los suelos, donde los problemas de la acidez edáfica y de la disminución catiónica son considerados como agotamiento de la fertilidad química. Estas leyes ofrecen exenciones impositivas y créditos bancarios de fomento para aquellos productres que se avienen a realizar prácticas de recuperación y conservación.

Calidad	*PRNT (%)*
Superior	Más del 90
Buena	Entre el 75 y 90
Regular	Entre el 60 y 74
Inferior	Entre el 45 y 59

Las enmiendas factibles de utilizarse para la corrección de la acidez edáfica en Argentina han quedado definidos por la Norma IRAM 22451 (IRAM, 1997). En la misma se establecen los requisitos, las condiciones de recepción y los métodos de ensayos de materiales calcáreos para uso agropecuario que se emplean en suelos. Al material calcáreo se lo define como el producto constituido básicamente por calcio, o calcio y magnesio, que actúa como corrector de suelos y es fundamental para la nutrición vegetal.

El encalado es una práctica que ejerce un efecto duradero, generalmente entre dos y tres años, dependiendo del manejo del suelo y de los cultivos realizados. Ello se debe a que no todo el material incorporado reacciona inmediatamente como consecuencia de las diferentes granulometrías. También depende de la concentración del material que se utilice y si se trata de uno calcítico o dolomítico, según la diferencia a corregir sea de calcio, o calcio y magnesio.
Ambos aspectos, la concentración y la granulometría, determinan el Poder Relativo de

Tipo	*Designación IRAM*	*Composición química*	*Equivalente en CO_3Ca **
I	Caliza	CO_3Ca	100
II	Dolomita	CO_3Ca . CO_3Mg	100 x + 119 y
III	Conchilla	CO_3Ca	100
IV	Cal viva cálcica	CaO	178
V	Cal viva dolomítica	CaO . MgO	178 x + 250 y
VI	Cal hidratada cálcica	$Ca(OH)_2$	135
VII	Cal hidratada dolomitica	$Ca(OH)_2$. $Mg(OH)_2$	135 x + 172 y

Neutralización Total (PRNT) que está compuesto por el Poder Neutralizador del material (PN) y su velocidad de reacción, la Eficiencia Relativa (ER), quedando definida de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$PRNT = \frac{PN \times ER}{100}$$

A partir del PRNT es posible diferenciar la calidad de los materiales a utilizar y establecer una clasificación (Cuadro V-8).

Cuadro V-8. Calidad de los materiales calcáreos para su uso agropecuario según su Poder Relativo de Neutralización Total (PRNT).

Tamiz IRAM	*Eficiencia relativa (%)*
2,36 mm	5
0,850 mm	17
0,425 mm	30
0,250 mm	55
0,150 mm	80
0,075 mm	100
< 0,075mm	125

La capacidad de neutralizar la acidez de los diferentes materiales se determina a través de una comparación con el valor neutralizante del carbonato de calcio (CO_3Ca) que actúa como valor de referencia y que se denomina equivalente en carbonato de calcio (ECC), el que se expresa en g

de CO_3Ca por 100 g de producto. Este valor es establecido a través de ensayos de laboratorio donde se lo compara con el material puro y de similar granulometría. De esta manera se determinó el valor de neutralización de los óxidos, hidróxidos, bicarbonatos y carbonatos.

De acuerdo a su concentración, un producto es considerado dolomítico cuando contiene más del 12% de óxido de magnesio (MgO), es magnesiano cuando la concentración de MgO está entre el 5 - 12% y resulta calcítico cuando contiene menos del 5%. En la mencionada norma los materiales se clasifican según su PN de la manera presentada en el Cuadro V-9.

Cuadro V-9. Equivalentes de carbonato de calcio (CO3Ca) de los materiales calcáreos para uso agropecuario, en estado puro.

** Referencias. x: porcentajes de CaO; y: porcentaje de MgO.*

Con respecto a la presencia de metales pesados tóxicos, la mencionada norma hace especial mención que todo material de uso agropecuario debe respetar la Ley de Residuos Peligrosos (Nº 24051/92) donde se establecen los niveles guías de calidad de suelos.

La eficiencia relativa (ER) es otra cualidad que poseen las enmiendas agrícolas y corresponde a la velocidad de reacción en el suelo en función del tamaño de la partícula. Por consiguiente, el material más fino reacciona más rápidamente y tiene menor residualidad en el tiempo; a medida que aumenta su tamaño, disminuye la velocidad de reacción por lo que su efecto será menos inmediato (Cuadro V-10).

Cuadro V-10. Granulometría y eficiencia relativa de los materiales calcáreos para uso agropecuario.

Experiencias realizadas en varios cultivos y en las forrajeras más importantes que se cultivan en el país, citadas por Gambaudo (2003), demuestran la importancia de corregir la deficiencia catiónica y la acidez edáfica.

Bolivia

Sebastián P. Gambaudo[1] y María Beatriz Ponce [2] (Ex aequo)

Las rocas carbonáticas en Bolivia

El territorio boliviano puede ser dividido en dos grandes regiones: la occidental montañosa y la oriental de llanos. Se distinguen las siguientes provincias fisiográficas:

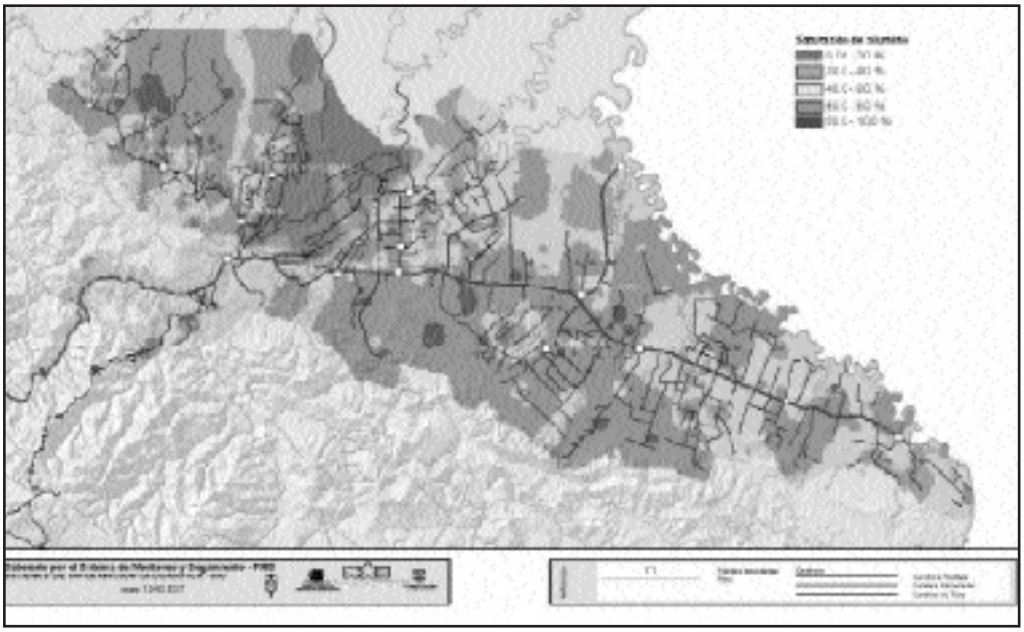
A - 1 Cordillera Occidental : de tipo volcánico
A - 2 Cordillera Oriental
B Altiplano: también denominado Meseta Andina
C Subandino: Formado por una serranía paralela a la Cordillera
D Llanuras: Se desarrolla al este del Subandino, con características variadas
E Escudo Brasileño
F Serranías Chiquitanas

[1] *INTA EEA Rafaela - sgambaudo@rafaela.inta.gov.ar*
[2] *Instituto de Tecnología Minera - SEGEMAR - bea@inti.gov.ar*

Las calizas en Bolivia afloran en distintas partes del país entre las que se encuentran:

Cuaternario:	*Formación Calizas Minchin*
	Formación Calizas Ballivián
Cretácico:	*Formación Ayavacas*
	Formación Cajones
	Formación Flora
	Formación El Molino
	Formación Pahua
	Formación Miraflores
	Formación Anta
Triásico:	*Formación Vitiacua*
Pérmico:	*Formación Copacabana*
	Formación Nube
Cámbrico:	*Formación Bocaina*

La actividad que tiene relación con los minerales no metálicos, entre ellos las calizas, apoyan a la agricultura que requiere de fertilizantes.



Carbonatos. Su uso en la agricultura de Bolivia

La región de Cochabamba es una de las más importantes en cuanto a la producción agropecuaria. Trabajos realizados por Armando Ferrufino Coqueugniot y Luis Meneses Junco (2003) (a y b), dentro del Programa de Desarrollo Alternativo Regional en el Trópico de Cochabamba (TC)

estudiaron los problemas de fertilidad de los suelos en la implantación de varias especies para diversificar la producción. La mayor parte de los suelos tiene valores de capacidad de intercambio efectiva (CICE) bajos a medios, lo que los caracteriza como suelos de baja a media fertilidad. La saturación de bases es en general baja, sólo los suelos de la cuenca del río Chapare muestran contenidos entre altos y muy altos de bases cambiables. La saturación de bases es una referencia sobre la necesidad de encalado que tienen los distintos cultivos.

Nivel Elemento/Característica	*Muy Bajo*	*Bajo*	*Medio*	*Alto*	*Muy Alto*
Acidez (pH)	<4,3	4,4-5,0	5,1-5,5	5,6-6,0	>6
Calcio (cmol/kg^{-1})		0-3	4-7	> 7	
Magnesio (cmol/kg^{-1})		0-4	5-8	5-10	
Saturación de Al (%)	0-20	21-40	41-60	61-90	>90
Saturación de bases (%)	0-25	26-50	51-70	71-90	>90

Los contenidos de calcio y magnesio intercambiable son predominantemente bajos. En la cuenca del río Chapare se encuentran contenidos intermedios de estos nutrimentos , debido a que en la zona cordillerana de dicha cuenca se encuentran depósitos de dolomita, material arrastrado por los sedimentos que acarrea el río.

En cuanto al pH, la mayor parte de los suelos del TC tienen niveles de pH entre 4 - 5, lo que los caracteriza como suelos ácidos, siendo los de la cuenca del río Chapare, por lo dicho anteriormente, los menos ácidos de la zona.

La saturación de Al, es decir la proporción de la CICE ocupada por ese catión, está correlacionada con el pH del suelo y los ácidos presentan altos niveles de saturación con Al. En el TC predominan los suelos con niveles medios a altos de saturación de Al, tal como se observa en la Figura V-7.

Cultivo	*pH óptimo*	*Saturación de Al tolerada (%)*	*Cal/dolomita (t ha^{-1})*
Banano	6,0 – 7,0	30	1,0 – 2,0
Palmito	4,5 – 5,5	50	0,5 – 1,5
Piña	4,5 – 5,5	60	0,25 – 0,5
Pastos – Gramineas			
Brachiaria decumbens	4,5 – 5,5	70	0,5 – 1,0
Brachiaria humidicola	4,5 – 5,5	75	0,5 – 1,0
Panicum spp.	5,5 – 6,0	30	1,0 – 2,0
Pastos – Leguminosas			
Pueraria phaseoloides	5,0 – 6,0	70	0,5 – 1,0
Desmodium ovalifolium	4,5 – 6,0	70	0,5 – 1,0

Figura V-7: Saturación de aluminio en los suelos del trópico de Cochabamba.
Fuente: Coqueugniot y Junco (a-2003).

La acidez del suelo actúa como un factor restrictivo en la productividad de los cultivos, siendo la toxicidad del Al la responsable directa. El daño a las raíces es la expresión más saliente de la misma, debido a que el Al actúa sobre el ápice radicular produciendo la reducción del sistema radicular y, disminuyendo la adquisición de nutrimentos y agua, lo cual conduce a reducciones en

el rendimiento de los cultivos.

Los límites de interpretación de los niveles de los distintos nutrimentos que determinan la acidez edáfica se detallan en el Cuadro V-11.

Cuadro V-11. Límites de interpretación de niveles de distintos nutrientes de los suelos.

Los cultivos de banano, palmito, piña y pastos tienen distinta tolerancia al Al. La acidez del suelo y consiguientemente la toxicidad al Al, pueden ser corregidas con la aplicación de diversas enmiendas, de las cuales las más usadas son la cal y la dolomita. La primera no se puede utilizar libremente en el TC porque es una sustancia precursora en la fabricación de cocaína. La dolomita es de uso libre, más aún, existen importantes depósitos en la zona de piedemonte del TC. Por otra parte, la dolomita además de disminuir la acidez del suelo, es una fuente importante de Ca y Mg, nutrimentos que se encuentran en bajos niveles en la mayor parte de los suelos de la zona.

Coqueugniot y Junco (2003 b) proponen la siguiente tabla en cuanto al nivel de pH, la saturación de Al y los requerimientos estimados de enmienda para su corrección (Cuadro V-12)

Cuadro V-12. Niveles óptimos de pH, saturación de Al tolerable y requerimientos estimados de encalado para distintos cultivos.

La mayor parte del área de cultivo de banano en el TC está en zonas con bajos niveles de Al, por lo que no se requiere aplicación de enmiendas en esas zonas. Sin embargo, existe un área importante de bananales situados en suelos con problemas de acidez para este cultivo. En estas zonas será necesario aplicar dolomita sobre la base de un análisis de suelo. En plantaciones establecidas, será necesario aplicar dolomita mezclada con yeso para facilitar el movimiento del Ca y del Mg hacia el subsuelo, fenómeno que se produce en mínima escala si se aplica la dolomita en forma superficial. En general, los subsuelos son más ácidos y contienen más Al intercambiable que las capas superiores del suelo.

En el caso de plantaciones de palmito, se estima que las que se encuentran en suelos con más de 60% de saturación de Al, requerirán de aplicaciones de dolomita, cuya dosis debe ser calculada sobre la base de un análisis de suelo. Es posible que también se requiera corregir la acidez del subsuelo, para lo cual se recomienda aplicar dolomita en combinación con yeso.

La mayor parte de los cultivos de piña en el TC están ubicados en suelos con altos niveles de Al intercambiable. Debido a que esta especie es medianamente tolerante a la misma, se estima que se requieren aplicaciones pequeñas de dolomita, que también contribuirán a mejorar la nutrición de la planta con Ca y Mg.

Las pasturas que predominan en el TC son aquéllas compuestas por gramíneas del género Brachiaria y varias especies de gramíneas nativas. Debido a que dichas especies son tolerantes a los niveles de Al que tienen los suelos del TC, la aplicación de dolomita no es estrictamente necesaria, aunque contribuiría a mejorar la nutrición de las pasturas por la adición de Ca y Mg. Para especies de gramíneas más sensibles a la toxicidad por Al, como es el caso de las gramíneas del género Panicum, y algunas especies de pastos de corte, será necesario el uso de dolomita para incrementar sus rendimientos y persistencia.

Brasil

Samir Nahass[1] y Joaquim Severino[2]

Introducción

La agricultura moderna debe volcarse hacia el desarrollo sustentable, creando y manteniendo la productividad del suelo a largo plazo.Los sistemas agrícolas empleados generalmente en Brasil ya comienzan a ser cuestionados y a ser relacionados al concepto de sustentabilidad, es decir "usar sin depredar de tal modo que los recursos naturales esencialmente el suelo y el agua puedan ser transferidos a las generaciones futuras como un legado usufructuado, en condiciones de capacidad productiva".

De acuerdo con el Dr. Ignacio Lazcano-Ferrat, con tecnología apropiada, el cal agrícola protege el ambiente, incrementa la eficiencia de los nutrientes y fertilizantes, mejora la efectividad de algu-

[1]*Coordinador-Gral de la Secretaria de Geología, Minería y Transformación Mineral - Ministerio de Minas y Energía*
[2] *Profesor de Política Agrícola de la Universidad Federal de Paraná - UFPR*

nos herbicidas y aumenta las utilidades del cultivo. El exceso de acidez es uno de los principales obstáculos para la obtención de altos rendimientos y productividad de los suelos.

Un programa adecuado de uso de carbonato produce grandes beneficios en la agricultura, destacándose entre ellos, la mejoría de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos, la reducción de la toxicidad de algunos minerales, facilitando la disponibilidad de nutrientes para las plantas y la eliminación de elementos nocivos que destruyen los cultivos.

Investigaciones exhaustivas en el ámbito agrícola, han comprobado que los suelos brasileños son en su mayoría muy ácidos y que su corrección por encalado es imprescindible para la obtención de una cosecha abundante. En los casos en los que no se ha empleado el encalado, los rendimientos de algunos cultivos son tan bajos que cualquier cultivo se torna económicamente inviable (Volkweiss S et. Al 1995).

La acidez del suelo para un agricultor es perjudicial para su rendimiento, debiendo ser combatida sin tregua puesto que se trata de un fenómeno de ocurrencia general en el país provocando pérdidas generalizadas en la agricultura.

Existe la necesidad de dar continuidad a las políticas gubernamentales que incentiven al productor y al agricultor, tanto como reiniciar los programas desarrollados en las últimas décadas del siglo pasado por instituciones estatales y asociaciones relacionadas, algunos de los cuales presentaron resultados prospectivos de inestimable valor.

Tales programas han contribuido en gran medida en los Estados en los que se aplicaron, contribuyendo a fomentar la demanda de insumos minerales utilizados por la agricultura, principalmente de calcáreos agrícolas poniendo a disposición del empresario del sector mineral y agrícola, valiosa información de tipo geológico, mineralógico, de producción, consumo y calidad de los mismos, imprescindibles para la optimización de sus suplementos y la expansión de las actividades relacionadas.

El calcáreo agrícola en Brasil

Franco et al (2000) define el calcáreo agrícola como la roca calcárea molida o polvo calcáreo y sus productos derivados: calcáreo agrícola calcinado, cal virgen y cal agrícola, escoria y otros.

En Brasil el término calcáreo incluye varios productos tales como: calcáreo calcinado, cal virgen, cal hidratada, etc.

En el presente trabajo el término calcáreo agrícola, cuando es empleado sin ninguna especificación, se referirá a dolomita agrícola y los productos derivados tales como yeso agrícola (sulfato de calcio hidratado, $CaSO_4.2H_2O$) y otros.

Es conveniente aclarar que en la literatura mundial el término lime se refiere a la cal la cual es posible diferenciar en cal virgen (quicklime) y cal hidratada (hidrated lime), las que pueden ser de calidad agrícola o no.

En agricultura los calcáreos magnesianos y dolomíticos son empleados como roca molida, cal virgen (roca molida y calcinada) y cal hidratada o apagada (cal virgen hidratada). El calcáreo dolomítico es usado principalmente como fertilizante de suelos con deficiencia en magnesio.

El calcáreo agrícola en Brasil según la legislación (extracto de minuta de Portaria del Ministerio de Agricultura, 30/05/86 publicado en DOU en 16/06&96 página 8673) se encuentra caracterizado por las siguientes exigencias mínimas:

* Granulometría 100 % (o 95%) Tamiz 10 ABNT
70 % Tamiz 20 ABNT
50 % Tamiz 50 ABNT

* Calidad Química	PN (%$CaCO_3$)	Σóxidos (%CaO+MgO)
Escorias	60	30
Calcáreos	67	38
Calcáreo calcinado	80	43
Cal hidratada	94	54
Cal virgen	125	68
Otros	67	38

* Calidad agronómica - PRNT

Tipo A	45 a 60 %
Tipo B	60,1 a 75 %
Tipo C	75,1 a 90 %
Tipo D	> 90 %

* Calidades Mínimas Admitidas

PN	=	67 %
PRNT	=	45 %

* Fórmula de Cálculo de PRNT

PRNT = PN x RE

PN = Poder de neutralización (% $CaCO_3$)
RE = Reactividad de las partículas del correctivo

0 % Fracción retenida en tamiz 10 ABNT
20 % Fracción retenida en tamiz 10 y 20 ABNT

60 % Fracción entre tamices 20 y 50 ABNT
100 % Fracción pasante al tamiz 50 ABNT

Figura V-8. Depósitos de calizas y dolomías en los Estados de Brasil

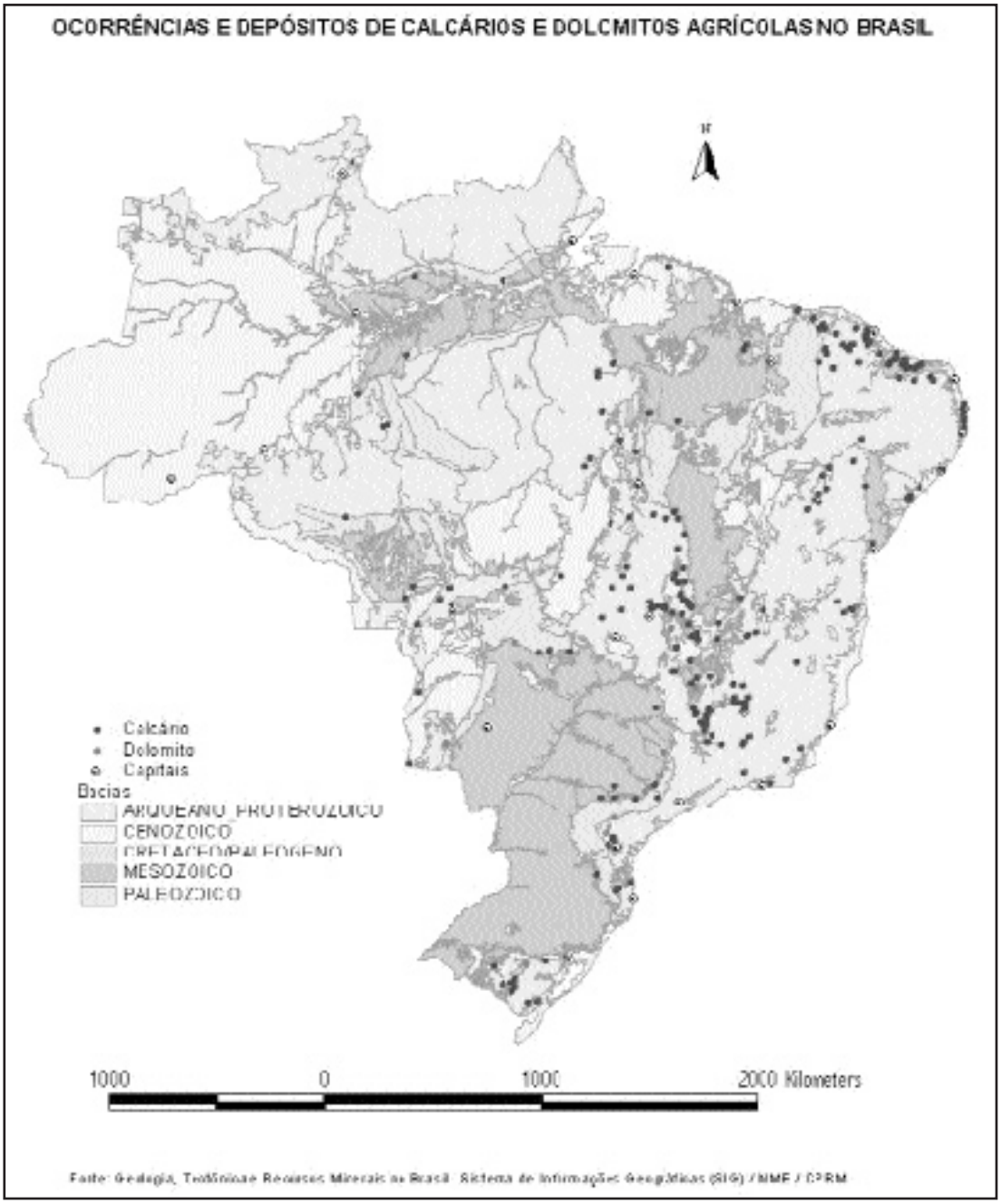


Figura V-9. Depósitos de calizas y dolomías

* Clasificación según el tenor de MgO

Calcáreo calcítico	MgO < 5 %
Calcáreo magnesiano	MgO 5 % y < 12 %
Calcáreo dolomítico	MgO = 12 %

Brasil posee una cantidad significativa de depósitos y yacimientos de calcáreos y dolomitas agrícolas. Es posible afirmar que la mayoría de los estados brasileños poseen alguna ocurrencia o depósito calcáreo con características favorables para la agricultura (Gráfico 1).

Los calcáreos agrícolas de Brasil son originados principalmente de las cuencas arqueanas-proterozoicas, mesozoicas y paleozoicas; las dolomitas agrícolas en menor proporción se encuentran mayormente en cuencas paleozoicas especialmente en la correspondiente al Paraná (Gráfico 2).

Con relación a la vegetación, en Brasil el Cerrado, alcanza aproximadamente 200 millones de hectáreas presentándose generalmente en suelos ácidos y casi siempre pobres en nutrientes, necesitando en consecuencia, de correctivos y fertilizantes y sin duda, de tratamientos agrícolas especiales apropiados. Los especialistas afirman que cerca del 45 % del abono usado en la labra pierde la potencia por la falta de encalado.

En este sentido la corrección de la acidez por medio del encalado, se vuelve indispensable para mejorar la productividad de los cultivos, hecho que no será una tarea extremadamente difícil considerando la potencialidad de esa región en términos de reservas de rocas carbonáticas.

A este efecto, el PIMA - Programa de Evaluación Geológico-Económica de Insumos Minerales para la Agricultura de Brasil, de CPRM mostró que el centro oeste brasileño por ejemplo, cubierto por un área de aproximadamente 1.034.000 Km^2 de Cerrado (52% del área total del Cerrado brasileño) representa una reserva de rocas carbonáticas prácticamente inagotables, evaluadas en algunas decenas de billones de toneladas.

Estas reservas se concentran principalmente en el centro oeste de Goiás, en la Provincia Serrana, del Mato Grosso y Serra da Bodoquena del Mato Grosso del Sur.

En los estados de Goiás, Tocantins y Distrito Federal, además de los grupos Bambuí y Araxá se encuentra en lentes y camadas de los grupos Natividade, Arai y Tocantins y formaciones Piauí, Pedra do Fogo, Irati, Codó y Baurú.

En Mato Grosso las reservas de rocas carbonáticas se encuentran en la Formación Araras de los Grupos Beneficiente, Cuiabá y Baurú. Al sur de esta misma región es abundante en el Grupo Cuiabá y las formaciones Cerradinho Araras y Xaraies (Justo 1996).

De esta manera, conforma una considerable extensión donde el cuidado agrícola deberá trasla-

ESTADO	RESERVAS – en 1000t		
	MEDIDA	INDICADA	INFERIDA
1.- Mato Grosso do Sul	**14.697.880**	**8.057.869**	7.752.012
2.- Minas gerais	**8.382.769**	**4.480.626**	3.345.360
3.- Paraná	**3.674.976**	**780.679**	542.612
4.- São Paulo	**2.931.018**	**1.838.624**	522.503
5.- Ceará	**2.359.768**	**1.606.253**	1.478.305
6.- Rio Grande do Norte	**2.323.653**	**1.915.133**	1.341.936
7.- Rio de Janeiro	**2.184.757**	**689.903**	234.158
8.- Bahia	**1.793.093**	**964.875**	790.608
9.- Mato Grosso	**1.405.502**	**2.253.191**	1.098.458
10.- Goiás	**1.257.446**	**1.836.011**	375.084
11.- Paraíba	**856.318**	**400.582**	655.247
12.- Espíritu Santo	**665.856**	**46.945**	100.526
13.- Sergipe	**614.275**	**272.735**	174.321
14.- Pará	**596.848**	**326.026**	219.921
15.- Maranhão	**402.945**	**18.558**	800
16.- Pernambuco	**240.186**	**161.069**	128.054
17.- Rondônia	**219.880**	------	------
18.- Santa Catarina	**202.561**	**85.569**	4.154
19.- Distrito Federal	**154.076**	**26.915**	36.715
20.- Rio Grande do Sul	**153.475**	**107.382**	63.879
21.- Tocantins	**121.037**	**35.217**	42.341
22.- Piauí	**92.209**	**77.592**	------
23.- Amazonas	**80.791**	**105.432**	44.000
24.- Alagoas	**48.440**	------	------
TOTAL	45.338.722	26.151.969	**18.908.653**

Cuadro V-13. Reservas de calcáreo en Brasil - Año 2000.

darse a la Amazonia mediante la implementación de modernas tecnologías, teniendo en cuenta además, que todavía es muy efectiva la tradición de labrar - quemar-plantar y abandonar, para luego buscar otro terreno donde se reinicia nuevamente el proceso. Esta situación desarrolla el crecimiento horizontal sin favorecer necesariamente una producción adecuada, además de contribuir a la degradación del suelo contraponiéndose al crecimiento de la productividad agrícola vertical, la cual beneficia el desenvolvimiento agrícola sustentable.
RESENDE 2001, alerta sobre el hecho de que " Romper ese ciclo vicioso, requiere conocimiento, orientación, dominio, aplicación de tecnología adecuada para la comunidad agrícola. En esto, el calcáreo agrícola desempeña un papel significativo".

Se pone de manifiesto que en el Estado de Roraima, que posee una potencialidad de exploración de aproximadamente 3 millones de hectáreas de labradío (cerrados roraimenses), una de las limitantes mayores es justamente la falta de calcáreo agrícola.

A pesar de las grandes reservas y según lo registrado por ABRACAL - Asociación Brasileña de Productores de Calcáreo Agrícola - Brasil consumió en el año 2004 solamente 23 millones de toneladas de cal, en tanto las necesidades del país superan los 70 millones de toneladas/año, lo que revela una extensa área de suelos ácidos. La producción anual de cal virgen e hidratada es consumida prácticamente por el mercado interno.

Según ABRACAL el mejor desempeño económico del sector azucarero/alcoholero asociado a la ampliación de áreas de renovación de cañaverales en el 2003, ha estimulado el incremento en el uso de calcáreo en los cultivos, provocando el aumento del consumo en la caña de azúcar (principal demandante en la agricultura paulista y pernambucana).

Unidades rudimentarias de producción

Existe el problema que representa la elevada cantidad de pequeñas unidades rudimentarias en la mayoría de los estados brasileños, principalmente los del Norte y Nordeste que producen derivados de rocas calcáreas con un alto impacto ambiental debido a la excavación de enormes canteras y a la emisión de gases y partículas poluentes durante el proceso de fabricación de esos derivados.

El geólogo Marcelo Rafael Correa Borges Da Fonseca, de la Universidad Federal de Paraíba conciente de la magnitud del problema, elaboró un proyecto cuyo objetivo apunta a solucionarlo en el Nordeste brasileño.

En términos generales el Nordeste de Brasil ha tenido en las últimas décadas, una importante producción mineral la cual ha integrado la región a la economía nacional. Mientras tanto, la mayor parte de la actividad extractiva de los calcáreos se ha producido por los garimpeiros propiciando una producción desordenada y usando tecnologías rudimentarias de labra y beneficio, ocasionando serios perjuicios al medio ambiente y al óptimo aprovechamiento minero.

La disponibilidad de los recursos mineros favoreció a partir de la década del 80, la instalación de industrias de beneficio y transformación del calcáreo, incidiendo en la polución atmosférica derivada del polvo calcáreo y del combustible de leña y de los neumáticos usados en la transformación de la cal, liberando gases tóxicos.

Borges enfatiza que normalmente, una comunidad local convive con la extracción y el beneficio de las rocas calcáreas; en consecuencia se producen:

• Dolencias respiratorias en parte de la población;
• La vegetación es cubierta por una fina capa de polvo reduciendo la fotosíntesis y la capacidad productiva de la misma;

• Los trabajadores directamente involucrados en las tareas de labra y beneficio se encuentran expuestos al polvo, a los ruidos, olores y altas temperaturas.

Este mismo autor resalta la necesidad de crear en términos de estrategia, un instrumento capaz

de implementar el desarrollo económico y social de la región, protegiendo los ecosistemas representativos y específicos, a los que se debe incorporar la acción institucional. También regular los

CULTIVO	RENDIMIENTO –kg/hectárea			EFECTO ENCALADO %
	Media/Estado	Con Abono	Abono-Calcáreo	
Maiz	1.100	5.190	6.560	26
Trigo	900	1.500	2.000	33
Soja	1.200	2.500	3.200	28
Forraje	2.000	4.000	12.000	200

dispositivos de la Carta de 1988 que privilegia el garimpo efectuado de manera corporativa, que sin duda, es válido para todo el territorio nacional en zonas que presentan el mismo problema.

En esta misma línea, los análisis ambientales deberán ser realizados desde el ángulo de la utilización racional de los yacimientos, de la implantación de tecnologías adecuadas y modernas, del regimen de trabajo, del control de las operaciones y de la contribución de la empresa al proceso de desarrollo. Los proyectos deben ser ejecutados transcendiendo a la simple medida oportuna en pos de proteger la naturaleza.

Considerando que la producción de cal sea agrícola o no, se ubica principalmente en regiones donde las necesidades básicas de la población todavía no están satisfechas, será necesario conocer los efectos producidos por los cultivos, la organización social y el bienestar de las comunidades locales.

Políticas sobre los calcáreos agrícolas en brasil

Operación Tatu

A finales de la década del 60 el Estado de Río Grande do Sul, administró una experiencia exitosa conocida en los medios rurales con el nombre de "Operación Tatu" , la cual apuntaba a demostrar al agricultor que las prácticas de encalado y de fertilización cuando están bien empleadas, pueden aumentar la productividad y el rendimiento de la exploración.
Dicha operación proporcionó ganancias de productividad en Río Grande do Sul muy alentadoras. Algunos ejemplos se muestran en el Cuadro V-14.

Cuadro V-14. Ganacia de Productividad en el Estado de Río Grande do Sul

Fuente: E. Malavolta. Encalado, abono y Productividad Agrícola - Piracicaba, SP

Aún así Brasil no poseía una política efectiva para incentivar el uso de calcáreo por parte de los agricultores. El gobierno brasileño en un intento de posicionar el país en el ranking mundial como fuerte productor de granos y proteínas, lanzó a partir de 1975 varios programas los que sin ninguna duda, impulsaron la agricultura de encalado en una política de crédito agrícola implantada estratégicamente.

Dichas políticas las cuales serán desarrolladas más adelante, tuvieron como fruto los avances en el complejo agroindustrial, en términos de producción, instalación de infraestructura de apoyo

a la producción y de nuevas plantas industriales. En este contexto la industria de molienda de calcáreo, se vió beneficada en ese momento y sus proyectos también se vieron impulsados por la creciente demanda de alimentos.

Programa Nacional de calcáreo agrícola - PROCAL

En la década de 1970 se estimaba que en el año 1975 serían necesarias aproximadamente 60 millones de toneladas de calcáreo para la total corrección de la acidez de los suelos; teniendo en cuenta las hectáreas cultivadas en el país y las cantidades medias de 1,5 t/ha durante 3 años, considerándose áreas ocupadas por laboreos con su proyección para el año 1975 y la estimada de las áreas ya tratadas con calcáreo en el período 1972 a 1974.

Considerando lo expresado precedentemente y con el objetivo de atenuar la influencia de los factores negativos que afectan al sector de producción de calcáreo agrícola, el Gobierno Federal por medio del Consejo Monetario Nacional, aprobó el Reglamento del Programa Nacional de Calcário Agrícola - PROCAL -(8 de enero de 1975), que fuera posteriormente difundido e instituído por la Circular N° 245 del Banco Central de Brasil. La ejecución del programa fue fijada para el período 1975/1979.

PROCAL y el problema de acidez de suelos en Brasil

Tal como ya fue mencionado, en términos generales los suelos agrícolas de Brasil tienen como característica el hecho de ser ácidos a muy ácidos (pH entre 4 y 5,5); en consecuencia se enfatiza sobre la aplicación de encalado (aplicación de calcáreo molido) como una práctica para corregir tal acidez.

La demanda efectiva de correctivos en Brasil se concentraba básicamente en las Regiones Centro y Sur donde es de práctica la agricultura con niveles tecnológicos más avanzados.
No obstante, igualmente en esas regiones se verifican problemas que afectaban a la industrialización y comercialización del calcáreo, hecho que impide una mejor difusión del producto entre los agricultores. Tales problemas puede resumirse del siguiente modo:

a) Elevados precios finales de los productos, ocasionados tanto durante la etapa de producción, así como en la etapa del transporte;
b) Plazos inadecuados concedidos a los créditos destinados a la adquisición y comercialización de los calcáreos;
c) Deficiencia en el procedimiento de difusión sobre el conocimiento de la importancia de las prácticas de la corrección en suelos.

La producción nacional de la caliza agrícola al igual que la demanda, se localizaba principalmente en las Regiones Centro y Sur donde los volúmenes producidos en 1973 alcanzaron cerca de 4 Mt, en tanto la capacidad instalada de producción era del orden de 6,8 Mt anuales.

Por otra parte, la existencia de materia prima se distribuye prácticamente por todo el país. Aún así los volúmenes existentes de materia prima y su distribución satisfactoria desde el punto de

vista geográfico, muestra que varias regiones brasileñas carecen de corrección de suelos o no disponen de reservas de calizas en sus territorios.

Existen factores que limitan la oferta nacional de calizas; entre ellos se menciona:

a) Costos elevados de producción, los que se originan desde la etapa de extracción de la materia prima (donde todavía se emplean en general procesos rudimentarios de trabajo), como también en la fase de molienda;
b) Baja aplicación de recursos técnicos y financieros en especial en lo que se refiere al almacenamiento de los productos.

Objetivos

- Defensa de la tierra como patrimonio nacional, de forma que las generaciones futuras posean un suelo sano y productivo en lo que se refiere a la producción de alimentos;

- Aumento de la productividad del suelo a través de la corrección de la acidez con el consecuente incremento de la renta del productor agrícola y de las cantidades de productos, como consecuencia de la mejoría en la calidad de los mismos y de la nutrición del suelo.

- Creación de las bases necesarias para la utilización más eficaz de los fertilizantes agrícolas, como consecuencia de la corrección de la acidez del suelo, ya que cuando existe, hace indisponibles los nutrientes contenidos y necesarios para las plantas.

Metas

- Difusión de la práctica de la corrección de la acidez de los suelos;

- Oferta de calcáreos a precios accesibles para el agricultor;

- Incremento progresivo de la utilización de correctivos durante el período de ejecución del programa.

Entre las características regionales que hace a la demanda de calcáreo agrícola, se encuentran los niveles de tecnología aplicados; PROCAL debería actuar de forma de atender a tales peculiaridades en las unidades de producción. De este modo en las Regiones Centro y Sur donde ya se verificaron niveles más elevados de tecnología agrícola y donde son mayores los volúmenes de demanda efectiva, se admitió que las unidades de producción a ser implantadas, deberían adecuarse a los planes de expansión ya existentes. Por otra parte, las informaciones disponibles permitirían considerar que la industria nacional de bienes de capital se encontraba debidamente capacitada para atender la demanda de máquinas y equipamientos para la industrialización de las calizas.

Con el objetivo de dimensionar los recursos necesarios para el desarrollo de la industria, se previó que la inversión fija para la instalación de una unidad completa de molienda con capacidad de 500 t/día (turnos de 8 horas), estuviese alrededor de Cr$ 6 millones, siendo que el Programa, estipulaba un total de Cr$ 400 millones (aproximadamente US$ 50 millones) que serían invertidos

en unidades de molienda durante el período 1975-1979.

En lo relacionado con la formación de stocks, PROCAL consideraba todavía ampliar el financiamiento de las empresas productoras de calcáreos (inclusive las cooperativas que actuaban en el sector) para cubrir la formación de stocks del producto final. Con esa medida, se propiciaba el flujo constante de producción industrial, eliminando los inconvenientes caracterizados por la estacionalidad del producto. A esta modalidad de financiamiento se aplicarían Cr$ 900 millones (aproximadamente US$ 112,5 millones) en el período 1975/1979.

El transporte que constituye un factor preponderante en la elevación de los costos del producto a nivel del agricultor, el Programa se propone incentivar la creación de puntos de distribución en las áreas de gran consumo de calcáreo, como un modo de intensificar la adopción de otros medios de transporte, como el ferroviario en la medida de las posibilidades de cada región, introduciendo en ese caso tarifas preferenciales que serían adoptadas por la Red Ferroviaria Federal, de modo de permitir el transporte de cargas para la formación de stocks cercanos a las zonas de mayor consumo de correctivos.

También estaba contemplado por PROCAL, el financiamiento al consumo del calcáreo mediante créditos para la compra, transporte y aplicación del calcáreo de acuerdo a las normas vigentes de uso del crédito rural.

Con la finalidad de dimensionar las necesidades de este tipo de financiamiento se consideró el producto colocado en la propiedad agrícola (incluido el stock) con un límite de 100% financiable sobre los totales aplicados al consumidor.
Las inversiones destinadas a la adquisición, transporte y aplicación de correctivos serían del orden de Cr$ 5,2 billones (cerca de US$ 650 millones) para el período 1975/1979.

El total de recursos a ser invertidos durante los cinco años de vigencia de PROCAL alcanzaría a Cr$ 6,5 billones (aproximadamente US$ 820 millones), siendo Cr$ 5,2 billones (US$ 650 millones) destinados al financiamiento de los agricultores.

La Operación Tatu y PROCAL son dos ejemplos de iniciativas bien ejecutadas para el sector agrícola brasileño, estableciendo un nuevo referente para el conocimiento de prácticas agrícolas en suelos pobres y ácidos. Ambos inducen a crear en el medio rural una conciencia de que la acidez del suelo es un factor limitante al incremento de la productividad y de un mejor aprovechamiento de los fertilizantes nitrogenados y fosfatados. Tomar caminos alternativos a esas prácticas es encaminar en dirección al desperdicio y no a una virtuosa ubicación de los insumos fundamentales en la nutrición de las plantas (BECKER, F.C., 1996).

PROCAL habría cumplido un importante papel en el sentido de aumentar la oferta del insumo mediante la modernización y expansión del parque de molienda, pero el significativo incremento del uso del calcáreo por parte de los productores rurales, infelizmente fue interrumpido entre otras causas, por denuncias de malversación de los fondos públicos.

Plan Nacional del Calcáreo Agrícola - PLANACAL

ABRACAL y sus asociados conscientes de su papel y sus compromisos de una creciente participación de Brasil en la oferta mundial de granos y proteínas, se preocupa por el nivel de desnutrición de buena parte de la población brasileña, ha alertado sobre la necesidad de invertir fuertemente en tecnologías de producción sin que ello afecte drásticamente al medio ambiente.

Es tiempo de actuar, de encontrar caminos antes que las decisiones de plantar sean tomadas, a pesar de que exista cierta disconformidad en las discusiones entre agricultores y el gobierno en lo referente a las grandes cuestiones relacionadas con los precios de productos agrícolas, las políticas de almacenaje, endeudamiento y apertura comercial para la importación de géneros alimenticios.

Ese pasado reciente de apertura, de visión más amplia del negocio agrícola frente a los problemas del ecosistema, que de esa exploración se manifiestan, posibilitó al sector del calcáreo trazar una propuesta a modo de contribución formulada por ABRACAL en 1998, a partir del Plan Nacional de Calcáreo Agrícola sobre la cuestión de la acidez de los suelos brasileños y cuanto cuesta para un país que crece de un proceso horizontal, por la incorporación de áreas no siempre aptas para la actividad de exploración, año a año.PLANACAL se encuentra fundamentado también en la corrección de la acidez del suelo brasileño, enfatizando que tal acidez es un factor limitante de la productividad agrícola y por consiguiente, inhibidor del crecimiento en el rendimiento de la agricultura. Analizando esta cuestión desde el punto de vista de la oportunidad económica de la inversión, se asume que la acidez del suelo es un fuerte limitante al retorno del capital invertido para alcanzar resultados en la actividad agropecuaria.

El agotamiento de las tierras fértiles y el surgimiento del proceso erosivo de esas áreas, según norma, próximas a los centros consumidores, empujarán a la agricultura brasileña hacia las regiones de suelos ácidos, pobres y erodados. Por el bajo valor de la tierra, se torna en un buen negocio a corto plazo pero no tardan el surgir problemas con el desgaste de esos suelos. Los resultados económicos obtenidos se presentan como insuficientes para el mantenimiento de la actividad, a medida que la capa fértil natural se agota.

Existe una amplia literatura científica, trabajos de investigación experimental y resultados de campos de cultivo que evidencia la correlación existente entre el grado de acidez de un suelo y la productividad de los mismos. Aunque todavía no se admita que la acidez es la única variable determinante de la productividad, es por acción que se produce la reducción de la asimilación del mayor nutriente en cantidad del suelo (fósforo) que tiene que estar disponible para las plantas, ocasionando a la agricultura severas pérdidas.

Afirman los autores que "...Entre 1950 y 1980 el crecimiento medio del consumo de fertilizantes en Brasil fue de 13% al año, muy por encima de los 4,5% verificados en la producción agrícola. La productividad agrícola no reveló con todo, un aumento representativo, lo que sugiere dos conclusiones: que la situación sería peor si el consumo de fertilizantes no hubiese crecido; que la productividad marginal de los fertilizantes fue baja, lo que refleja un destino ineficiente del insumo. En verdad el subsidio para la compra de fertilizantes, es distorsivo para la relación entre el valor de la productividad marginal y el costo de producción, tanto como la poca atención de la corrección previa de la acidez del suelo, que estaría entre los principales responsables por su empleo poco productivo y concentrado en una pocas áreas..."

Los autores continuan diciendo que "...En el período pos-setenta la relación entre el consumo to-

tal de calcáreo y el de fertilizantes viene sufriendo una quita de 3:1 en 1973, hacia 2:1 en 1980 y de 1,4:1 en 1985. Tal evidencia es preocupante porque la acidez del suelo afecta la asimilación de los nutrientes e impide que se den las condiciones adecuadas para el desarrollo de las plantas. El calcáreo siendo un insumo barato, todavía no forma parte de los hábitos de cultivo de la gran masa de agricultores..."

Con el objetivo de elevar los índices de productividad de los cultivos y de proporcionar plenamente las condiciones a la exploración del potencial del suelo brasileño, ABRACAL elaboró una Propuesta para un Plan Nacional de Calcáreo Agrícola. Consecuente con este acto, emergió otra cuestión no menos importante que fue la preocupación de la entidad con relación a la preservación del ecosistema y la conservación del suelo, que aún siendo explorado para los fines agrícolas, en caso de estar adecuadamente realizado, puede dar un gran resultado desde el punto de vista económico a la Nación, sin que ello signifique la destrucción de los recursos naturales para las generaciones futuras.

De esta forma, se destinaron recursos del orden de 500 millones de reales (aproximadamente U$S 427 millones) para fomentar el uso del calcáreo a través de la implantación del programa PROSOLO.

Objetivos
Objetivo general:

Contribuir al aumento de la productividad, competitividad y calidad de la producción agropecuaria a través del estímulo a la práctica de encalado, reduciendo la acidez de los suelos en todo el territorio brasileño, donde se practique la agricultura.

Objetivos específicos:

1.- Mejorar y conservar la capacidad de producción de los suelos, preservando el medio ambiente y la calidad de vida del medio rural;

2.- Comunicar a los agricultores sobre los beneficios del encalado en la agricultura y sobre la ganancia en la rentabilidad que es posible alcanzar con su uso racional;

3.- Establecer relaciones de compañerismo entre los sindicatos de la industria del calcáreo, gobiernos municipales, estatales y federales, cooperativas y entidades pertenecientes al sector primario, para promover la educación del productor y definir rutinas sobre la práctica del encalado y sus beneficios.

Alcances del Plan

La Propuesta para el Plan Nacional del Calcáreo Agrícola - Contribución a la Calidad y la Productividad - sería de alcance nacional concentrando su esfuerzo inicialmente, sobre los estados agrícolas de mayor consumo del correctivo calcáreo, cuyos cultivos existentes y la estructura empresaria ya establecida, puedan favorecer el proceso de implementación del Plan.

Paralelamente, mediante el esfuerzo focalizado y dirigido a introducir la práctica del encalado en aquellos estados agrícolas menos estructurados y de menor cultivo en cuanto a la práctica , que seguramente adoptarán con menor celeridad que los que poseen experiencia y dominan la técnica.

Estrategia educacional

Desarrollar e implementar campañas de educación y de esclarecimiento al productor rural, a través de la radio, televisión, diarios, conjuntamente con la población, de instituciones de enseñanza, investigación y extensión rural, demostrando los beneficios del uso del calcáreo agrícola, por cuanto:

1.- Las calidades y beneficios para la conservación de los suelos brasileños ácidos y degradables y su influencia en la producción potencial de esas tierras;

2.- La ganancia en el rendimiento y aprovechamiento de las tierras que están siendo abandonadas - agotamiento precoz/éxodo rural - próximas al centro con disponibilidad infraestructural, en favor de otras más alejadas que terminan por encarecer el producto agrícola;

3.- El uso correcto de la aplicación - adoptando prácticas como el muestreo y análisis del suelo, mejorando la fertilidad, rendimiento de las actividades y el lucro emergente de la unidad de producción agrícola.

Estrategia promocional

Se trata de convocar al agricultor y concientizar a la población de los centros urbanos, sobre el desarrollo de un proceso de cambio en la economía brasileña en la cual la agricultura tiene un papel fundamental en esta tarea de estabilización, en que los precios y salarios deben mantenerse en niveles compatibles con el crecimiento de la productividad de los distintos sectores. Esto es, estamos persiguiendo ganancia de productividad para alcanzar la condición de competitividad.

De llegar a ese nivel, se exige la inversión en nuevas técnicas, procesos de producción, gerenciamiento, cambio de hábitos, sustituyéndolos por los nuevos referentes.

Se torna necesario buscar la aprehensión del cambio el que podrá proporcionar lo que fue idealizado como el camino para la agricultura. La práctica tiene que ser demostrada y para ello, se propone:

1.- Promover la instalación de campos de demostración de uso de calcáreo en tierras de agricultores, convocando al poder público, la iniciativa privada, entidades de categoría de modo de mostrar los beneficios resultantes del encalado, asociado a otras prácticas agrícolas, tales como el uso de fertilizantes y la conservación de suelos;

2.- Concientizar sobre el uso del calcáreo como parte de un programa mayor de esclarecimiento sobre la defensa del patrimonio nacional, cuyos propósitos son los de: uso adecuado, construcción de la fertilidad y la preservación permanente del suelo, trayendo beneficios a los agricultores en particular, y a la sociedad en general.

Metas del Plan

La Propuesta para un Plan Nacional de Calcáreo Agrícola, que exigirá un esfuerzo de inversión de cinco años, está amparada en las posibilidades reales de una ganancia que podría tener, no en los aspectos económicos de base argumental sino en las ventajas sociales y beneficios para el ecosistema.

La esperada elevación de la renta del agricultor producida por el aumento de la productividad y del ingreso, será revertida en la mejoría de la calidad de vida y mayor inversión en capital productivo dentro de la unidad de producción. Este resultado afectará también al sector industrial proveedor.

Unidad de federación	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Paraná	5.595,7	6.416,5	7.237,5	8.044,1	8.864,6
São Paulo	5.051,1	5.647,2	6.243,2	6.839,3	7.435,5
Rio Grande do Sul	4.330,3	5.137,8	5.956,0	6.763,7	7.581,9
Minas Gerais	2.444,8	2.918,9	3.393,0	3.867,0	4.336,6
Goiás	2.441,1	2.679,1	2.915,0	3.152,9	3.388,9
Mato Grosso	2.147,2	2.406,6	2.666,2	2.925,7	3.185,4
Mato Grosso do Sul	1.203,0	1.393,0	1.583,0	1.773,1	1.963,1
Santa Catarina	948,0	1.179,6	1.411,1	1.642,5	1.874,2
Otros	8.387,4	9.686,8	10.868,1	12.167,6	13.348,9
TOTAL	32.548,6	37.465,5	42.273,1	47.175,9	51.979,1

Meta de Productividad:

Utilizando una superficie media de 30,57 millones de hectáreas de plantaciones (1990-94) incrementar 18,89 millones de toneladas de granos comparativamente a la oferta actual.

Meta del uso del correctivo:

Pasar de los actuales 453 Kg/ha para un tope con oscilación de 1.000 a 1.500 Kg/ha en razón de las agriculturas estructuradas técnicamente y de las que todavia deben incorporarse a ese proceso.

Meta de demanda:

Estimular el uso del correctivo para pasar del consumo que en la época de implementación del plan es de 21,2 millones de toneladas, a un volumen al quinto año de su vigencia de 51,98 millones de toneladas reduciendo la capacidad ociosa del sector.

Las metas de demanda por Estado, en Brasil y establecidas por el Plan están registradas en el cuadro V-15. Los ocho estados con mayor consumo de calcáreo representan el 74% de la demanda total.

Cuadro V-15 Demanda de calcáreo agrícola por Estado en Brasil (1.000 t)
Referido al período contado a partir de la implementación del plan propuesto
Fuente: Asociación Brasileña de Productores de Calcáreo Agrícola - ABRACAL

Necesidades de Crédito

ABRACAL realizó un registro sobre las necesidades de crédito para inversión, para un plan de calcáreo agrícola y propone medidas sobre políticas de crédito para financiamiento de manera de hacer posible su viabilización junto a los productores.

Línea de Crédito Especial

El crédito para el financiamiento de calcáreo agrícola debe ser incluido en la Norma Permanente del Manual de Crédito Agrícola - MCR, por el hecho de ser considerado un insumo importante para la corrección de la acidez del suelo.

La experiencia adquirida por el Banco Central y el Banco de Brasil con el financiamiento de ese insumo y los resultados emergentes son vitales para que sea establecida una nueva relación de confianza entre la Autoridad Monetaria y el agricultor, buscando:
1.- Contemplar el financiamiento del calcáreo, como parcela suplementaria del crédito agrícola de costeo;

2.- Definir que el encargo financiero incidente sobre el empréstito sea el crédito de costo, pactado a través de MCR o por la equivalencia Producto.

Operativa de los Recursos

1.- Los recursos serán destinados a las cooperativas de crédito y/o de producción, pudiendo ser transferidos directamente los agentes financieros a los agricultores;

2.- El destino y la liberación de los recursos será realizada mediante presentación del Programa Estadual de Inversión en Calcáreo Agrícola;

3.- Las industrias productoras de calcáreo abarcarán el costo de la elaboración de los Programas Estaduales.

Impacto del Plan

PLANACAL podrá trazar en el corto plazo, ventajas en los campos económico, social y ambiental. Desde el punto de vista social y ambiental las observaciones estarán relacionadas a la

conservación y al mejoramiento del suelo, proporcionando aumento de la capacidad productiva, incremento de la renta y mejor calidad de vida para el hombre de campo. Ello se verá reflejado de manera importante en la decisión de permanecer o salir de la actividad agrícola. De presentarse como viable junto con la rentabilidad, será suficientemente atractivo para su permanencia. También serán beneficiarios del programa los sectores de molienda del calcáreo, transportes y de beneficiamiento de granos, entre otros.

Beneficios económicos

Los beneficios deberán aparecer a través del mayor ingreso líquido provocado fundamentalmente, por la ganancia de productividad y el mejor desempeño de las áreas de producción:

a) Aumento de la producción de granos en torno de 18,98 millones de toneladas;
b) Incremento de la productividad de aproximadamente 30%;
c) Incremento del ingreso de granos en torno de R$ 2,74 billones;
d) Retorno del Plan de aproximadamente R$2,4 por cada real invertido;
e) Aumento de cargas para los sectores de transportes próximo a los 3,6 millones de t/año;
f) Permanencia del hombre de campo e incremento del empleo rural;
g) Efecto de arrendamiento de ICMS y de divisas externas (soja, azúcar, café, jugos cítricos y frutas).

Impacto sectorial

Sobre el sector Primario y sobre el sector de Molienda de calcáreo agrícola, el impacto esperado sería del siguiente orden:

a) Agricultura - Mejorar las condiciones de 30,57 millones de hectáreas de granos en términos de fertilidad y corrección de la acidez;

b) Industria - Reducir la capacidad ociosa al pasar de un beneficio actual de 21,28 millones de t/año a la posibilidad de producir 38,69 a 51,98 millones de toneladas.

Programa de Incentivo al uso de Correctivos de Suelos - PROSOLO

La elevación de la productividad agrícola de forma vertical es una propuesta más sustentable en lo referente al desarrollo agrícola, comparativamente al aumento de forma horizontal; en ese contexto fue creado PROSOLO.

Tasa de interés

Se estableció una tasa de interés del 8,75% al año incluida la actividad del agente de 3% al año.

Nivel de participación

El límite de los financiamientos fue definido para el caso de cada productor, en la posibilidad de poseer financiamientos contratados en ese programa en el período de 01.07.2001 a 30.06.2002 de un valor de hasta R$ 80.000,00 (aproximadamente U$S 35.000,00).

Criterios específicos

• Para todos los pedidos de financiamiento se debería exigir al cliente la presentación del comprobante de análisis del suelo y la respectiva recomendación agronómica, incluida la fertilización verde, cuando el caso correspondiere expedida por un profesional habilitado, basado según en el análisis técnico del proyecto;

• Para lograr un proyecto con apoyo de PROSOLO la fecha de emisión de los documentos de comprobantes de gastos, no podrán ser anteriores a la fecha de entrada del pedido de financiamiento en la institución financiera acreditada;

• Se exigirá al cliente la presentación de una declaración referida al cumplimiento del límite de valor de financiamiento;

• La institución financiera deberá mantener los registros de operación documentados que indiquen el tipo y la cantidad de correctivos utilizados, los valores respectivos de inversión y las áreas beneficiadas. Estas informaciones deberán encontrarse individualizadas para cada producto beneficiado, como forma de fortalecimiento a las cooperativas y sus asociados.

Programa Nacional de Recuperación de Pastos Degradados - PROPASTO

El sector pecuario en Brasil contribuye sustantivamente en la regulación de exportaciones agrícolas, por ello necesita de incrementos en su productividad, principalmente en la calidad nutricional de los pastos, es decir, en el alimento que el ganado come para que haya un incremento tanto cuantitativo como cualitativo relacionado a la productividad, la carne, leche y sus derivados.

Es evidente la importancia del sector para el país tanto como el liderazgo gubernamental a través de la iniciativa de crear un programa (Resoluciones CMN/Bacen Nos. 2.856 de 03/07/2001 y 2.877 de 26/07/2001, Art. 7°) para solucionar el problema de las pasturas brasileñas nativas y plantadas en la recuperación de zonas de pastos degradados cuyo nombre le fue dado al programa (Programa Nacional de Recuperación de Pastos Degradados - PROPASTO), también de varias disputas entre las cuales se destacaron los estudios desarrollados por PLANACAL.

Finalidad del crédito

Recuperación de áreas de pasturas cultivadas degradadas en todo el territorio nacional, admitién-

dose también las pasturas nativas de los estados de la Región Sur.

Beneficiarios

El programa atiende a los pecuaristas que ya han recibido el crédito rural de otros proyectos y/o iniciativas de bancos privados y estatales, en lo referido al crédito correspondiente a ese sector.

Items financiables

Adquisición, transporte, aplicación e incorporación de correctivos agrícolas (calcáreo y otros); implantación o recuperación de cercas en áreas que están siendo recuperadas; adquisición y plantación de semillas y cambio de forrajes; implantación de prácticas conservacionistas de suelo y construcción de reformas de pequeños bebederos.

Límite del crédito

El crédito a conceder a los beneficiarios del proyecto fue como máximo de R$ 150.000 (cerca de U$S 65.000,00) por productor, independientemente de otros préstamos al amparo de recursos controlados por el crédito rural, excepto cuando fueran destinados al Programa de Incentivo al Uso de Correctivos de Suelo - PROSOLO - cuyo monto debe ser deducido de ese límite.

Interés

El préstamo para los pecuaristas, tuvo una tasa efectiva de 8,75% al año.

Plazo

El período total para el pago del préstamo fue de 5 años, incluidos hasta 2 años de carencia para que el pecuarista pueda pagar con el retorno de la inversión.

Amortizaciones

Las amortizaciones fueron establecidas de forma semestral o anual, de acuerdo con el flujo de ingresos de la propiedad beneficiada.

Garantías

Las garantías fueron admitidas de acuerdo con los pre-requisitos establecidos para la adquisición del crédito rural.

Calcáreo - Recurso Mineral en la Sustentabilidad Agropecuaria y Mejoría

de los Recursos Hídricos

La falta de calcáreo no solo compromete el desenvolvimiento de una agricultura empresarial sino también induce a una agricultura familiar y de subsistencia altamente degradante, en la medida que la misma cumple con un ciclo indeseable: desmantelamiento, agotamiento, abandono y más desmoronamiento.
La mayor evidencia de la importancia del calcáreo ha sido la constatación por parte de uno de los más famosos investigadores brasileños, el Dr. E. Malavolta de ESALQ, que demostró en 1958 con la caña de azúcar perteneciente al Estado de San Pablo que:

• El calcáreo sin fertilizante aumenta la productividad en un 64%;
• El fertilizante sin calcáreo produce un aumento de la productividad de igualmente 64%;
• Finalmente, el calcáreo y fertilizante combinados aumentan la productividad en 235%.

Mediante análisis se constató que no se utiliza calcáreo o que se usa en dosis inadecuadas, hecho que fue comprobado en todo el territorio nacional y en diferentes niveles según la región.

El Departamento Nacional de Producción Mineral - DNPM - sensible a la cuestión ambiental, acató las decisiones y solicitó a la Secretaría de Recursos Hídricos - SRH , del ministerio del Medio Ambiente - MMA, en el sentido de profundizar los estudios sobre el calcáreo agrícola, al mismo tiempo que se facilita esta disponibilidad para los productores rurales, lo que se convertiría en ahorro de florestas, recuperador de áreas degradadas, inductor del manejo integrado de los recursos naturales a nivel de microcuencas hidrográficas y consecuentemente, altamente beneficioso al proceso de preservación y mejoría de los recursos hídricos.

La cooperación entre DNPM/MME y SRH/MMA con relación al tema calcáreo se considera primero la promoción del insumo ahora estratégico y poco valorizado como mineral; segundo, la necesidad de elegir un elemento de anclaje capaz de enseñar y motivar el manejo de los recursos naturales a nivel de microcuenca para obtener como resultado entre otros aspectos, el agua necesaria y limpia.

El desarrollo del estudio consecuente de esa cooperación en esa línea, evidencia que el mineral calcáreo en ese contexto, pasa a constituirse en un elemento de gran beneficio ambiental y por lo tanto, en minimizador de la imagen negativa invariablemente asociada a la exploración mineral.

En lo relacionado a los recursos hídricos, el estudio llama la atención a una obviedad, en la que la agricultura que es una actividad intrínsecamente antinatural, hace uso de aproximadamente el 70% de agua dulce disponible y de la calidad y cantidad de agua corriente, con la calidad de manejo que se aplica a la agricultura, lo que es coherente con el apoyo al manejo adecuado de lo agropecuario.

Es evidente que el Ministerio de Agricultura y tantos otros organismos y segmentos públicos y privados, siempre llamarán la atención en ese aspecto.

La acción identificada entonces del DNPM en apoyo a las causas mencionadas, especialmente con los recursos hídricos, se está realizando en el sentido de:

a) Sumarse a los esfuerzos ya desarrollados
b) Considerar y evaluar aspectos del calcáreo en este nuevo contexto;
c) Contribuir efectivamente para que la expansión en el uso se efectúe de la forma más ventajosa en la relación costo/beneficio a los ojos no solo de los agricultores sino de toda la sociedad.

En este sentido el estudio coordinado por la Fundación de la Universidad Federal de Paraná en el Desarrollo de la Ciencia, la Tecnología y la Cultura - FUNPAR, denominado "Calcáreo - Recurso Mineral en la Sustentabilidad Agropecuaria y Mejoría de los Recursos Hídricos", consideró y evaluó todos los aspectos relativos al calcáreo agrícola de Brasil para después formular estrategias.

Estrategias

• Los análisis indican en el caso de que más que una provisión pura y simples instrumentos tales como el crédito, asistencia técnica y otros, en muchos casos en especial para los pequeños productores, puede no generar los efectos esperados a menos que se integren en una bien formulada estrategia;

• Las recomendaciones de una estrategia integrada en una determinada microcuenca, no parece ser suficiente como recurso que asegure una implementación de una base segura de éxito, considerando que en cada una de ellas la interacción necesaria se realizará de forma distinta, no solamente por las diferencias individuales de sus integrantes, sino por la cultura de las organizaciones involucradas, locales y externas, públicas y privadas.
• El principio fundamental, en tanto, es la clarificación de los beneficios individuales y colectivos y la demostración de los niveles de demanda individuales y colectivas, de forma tal que los primeros superen a los segundos en un emprendimiento en el que todos se beneficien;

• El actual modelo de incentivo al calcáreo, estaría indicando en sentido contrario la medida en que los financiadores, tomadores de crédito y el propio objeto, si no se beneficia al menos lo haga en la mínima dimensión deseada;

• Los bancos no se muestran atraídos en financiar el calcáreo (a menos que se encuentre dentro de "otros" servicios), los productores no se encuentran atraídos por las condiciones de financiamiento (debido al costo de "otros" servicios) y consecuentemente, no se verifica el pretendido encalado. Los recursos destinados a PROSOLO por ejemplo, en el período de agosto de 1998 a enero de 2000, presentó un desembolso de apenas el 20% del total montado para disponibilidad de ese programa;

• Aún en términos de estrategia, es de mayor importancia tener presente las transformaciones de orden organizacional y operacional verificadas como de municipalización de la agricultura y de la tercerización de servicios, como los indicados en los grandes cambios en los procedimientos tradicionales de manejo de microcuencas, como por ejemplo, los practicados en el Paraná;
• El Paraná tal como sucedió en el programa de microcuencas contó con un fuerte apoyo del gobierno estatal, con recursos propios y abultados financiamientos internacionales, proveyendo a municipios y productores con varios beneficios (combustible, horas/máquina, semillas, calcáreo, distribuidores comunitarios, etc.), condición dificil de aplicar en la actualidad;

• En 2001 el propio gobierno de Paraná destinó tres millones de reales (equivalentes en enero de 2001 a aproximadamente US$ 1,550,000.00) para financiar proyectos de naturaleza ambiental, con la participación del gobierno estadual en un monto que no superó los sesenta mil reales (equivalentes a aproximadamente US$ 31.000,00) por proyecto siendo que los recursos complementarios (financiero, bienes y servicios) deberían ser ofrecidos como contrapartida por los proponentes;

• Lo que se presenta como sorprendente es el hecho que se han presentado aproximadamente 300 pequeños proyectos lo cual da un promedio de un proyecto por municipio y gran parte de ellos alcanzando microcuencas y mejoría de los recursos hídricos;

• Estas situaciones muestran una realidad nueva no sólo para las relaciones entre organismos de las diferentes esferas de gobierno como también, para las relaciones entre segmentos públicos y privados particularmente es de esperar una postura diferenciada de ABRACAL;

• Es de esperar además de la postura clasista y reivindicatoria, también una postura proactiva, de fomento, incentivadora, participativa, es decir una postura de crear y satisfacer clientes.

• El principio de multifuncionalidad de la agricultura deberá ser aplicado considerando la constitución justificativa de americanos y europeos para subsidiar fuertemente sus productores rurales, bajo la argumentación de que los mismos, deben ser remunerados no sólo como productores de materia prima, sino también como recuperadores y preservadores de los recursos naturales.

El trabajo elaborado por FUNPAR tomó en cuenta los estudios fundamentados en los ejes nacionales de integración y desarrollo considerando:

• Desde 1997 Brasil ha cambiado como referencia de los estudios, el concepto que considera el territorio nacional como un espacio geoeconómico abierto, rompiendo con la visión tradicional de país fragmentado según sus fronteras geopolíticas formales, con macroregiones y estados;

• De un inmenso trabajo de selección y clasificación resultó la división del territorio nacional en nueve regiones que recibirán el nombre de Ejes Nacionales de Integración y Desarrollo, cuyas características fortalecerán los paradigmas para la determinación final de la importancia de proyectos individuales o agrupados;

• Los Ejes son macroregiones que compartirán en un grado de identidad forjada por factores históricos y culturales, en los cuales diferentes vocaciones económicas están siendo fortalecidas por grandes proyectos de infraestructura. Juntos, los planos para los nueve Ejes dan una visión consolidada de la estrategia de largo plazo para el desarrollo nacional;

• Una definición de los Ejes enfatiza sobre el análisis de los flujos de reales en bienes y servicios y en la identificación de las demandas de los ciudadanos en el ambiente en que viven. De este modo, ellos representan espacios territoriales delimitados a los fines de la planificación, según la dinámica socioeconómica y ambiental que los caracteriza;

• El levantamiento de las realidades regionales y la identificación de las potencialidades y obstá-

culos en todo el territorio nacional, harán posible la mejor comprensión en Brasil, la definición de los caminos para un desarrollo económico y social;

• El estudio detallado de los Ejes concluyó que los proyectos de infraestructura representaban apenas una de las cuatro dimensiones esenciales para el desarrollo, siendo las otras tres de naturaleza social, ambiental y de información y conocimiento;

• Fueron evaluados programas sociales y fueron efectuados las estimaciones de las necesidades estructurales actuales y futuras en las áreas de educación, salud, vivienda popular y saneamiento básico (agua y cloacas) que precisan ser atendidas para permitir el crecimiento acelerado, como costo de esas acciones;

• Fueron examinadas carencias de cada región en términos de información y conocimiento, estimando también el costo de satisfacción de esas omisiones;

• Finalmente, consideró el impacto ambiental de los proyectos, sugiriendo estrategias para proteger el medio ambiente durante la implantación y operación de proyectos de desarrollo, presentando estrategias para el desenvolvimiento sustentable, no como un componente de costo de los proyectos, sino como una oportunidad adicional para inversiones lucrativas.

Se torna evidente en este contexto, la correlación entre el uso del calcáreo, la sustentabilidad agropecuaria y los recursos hídricos, pues como ya fue expresado, la agricultura responde por aproximadamente ¾ de la totalidad del agua consumida pudiéndose constituir en gran poluente o en gran proveedora de recursos hídricos, dependiendo del manejo que se aplique a los recursos naturales. En la agricultura sustentable por ejemplo, adosada a un recurso hídrico se torna en proveedora de buena agua y su reflujo deberá filtrar agua poluída proveniente del área de consumo.

El Recurso Mineral en la Sustentabilidad Agropecuaria y Mejoría de los Recursos Hídricos enfoca los nueve ejes (Araguaia-Tocantins, Arco Norte, Madeira-Amazonas, Oeste, Red Sudeste, San Francisco, Sudoeste, Sur y Transnordestino) como referencias fundamentales de análisis y proposiciones, constituyéndose en una obra de consulta obligatoria a todos los órganos responsables por la implementación de políticas volcadas al sector mineral, a la agricultura, medio ambiente e hidrología, considerando que tiene como objetivo esencial subsidiar al gobierno, organismos e instituciones relacionadas con informaciones amplias y concretas indicando un nuevo cambio, nuevas alternativas para el incremento del uso del calcáreo agrícola.

Conclusiones

• La agricultura moderna tiene que ser sustentable, por medio de la creación y manutención de la productividad del suelo a largo plazo, garantizando los beneficios enfocados a las futuras generaciones. Los beneficios de suelos de alta productividad incluyen la protección ambiental, el uso eficiente de los insumos (calidad y cantidad) principalmente en los suelos ácidos brasileños, donde la aplicación del calcáreo agrícola es imprescindible.

El agricultor verdaderamente ecológico es aquel que aumenta su productividad verticalmente. Para

eso, el primer paso a dar es la corrección del suelo, seguido de su fertilización a través del uso correcto del calcáreo. Solo así estará contribuyendo al desarrollo sustentable de la agricultura.

• Según Costa (2000) la degradación de las pasturas se constituyen en un gran problema para las áreas de pastos de Brasil. La pérdida de fertilidad, superpastoreo, quemas periódicas y la aparición de plantas indeseables, son los principales factores responsables de la degradación de los pastos. El encalado y la fertilización son esenciales para la mejoría de la fertilidad del suelo y el aumento de la producción de forraje de las pasturas y forrajes. Mientras tanto, para que el encalado y la fertilización tengan óptimos resultados, es de fundamental importancia conocer la calidad y cantidad de calcáreo a ser utilizada en función principalmente de los cultivos y de las características del suelo y clima.

• Se enfatiza, que de ser usado en forma correcta, adoptando prácticas sobre el muestreo y los análisis, la aplicación del calcáreo no sólo permite la maximización de los efectos del fertilizante y sino también el aumento sustancial de la capacidad productiva de la tierra. Entre tanto para realizarlo de forma eficiente, se debe antes hacer la corrección del suelo para lo cual, el encalado es indispensable. Varios estudios han demostrado que desde que la corrección es realizada, es posible bajo ciertas condiciones, al término de cinco años duplicar la producción de granos en la misma área cultivada mediante el empleo de fertilizantes adecuados. Además de todo esto, la técnica empleada es simple, barata y accesible.

• Para el transporte de commodities, mercadería que se caracteriza por ser negociada en grandes volúmenes y bajo precio unitario, en el caso de largas distancias es más ventajoso utilizar la hidrovía y el ferrocarril, más que las rutas terrestres. El uso casi exclusivo de las rutas provoca en la gran mayoría de las regiones brasileñas, que el costo de transporte de granos y otros productos, como es el caso del calcáreo, sea uno de los más elevados del mundo lo que compromete la productividad de los mismos.

• Las carencias en el sistema de transporte de Brasil se observa en las rutas, ferrocarriles, hidrovías, terminales ferroviarias y puertos. Posee como aspecto crítico, la falta de inversión sistemática en el sector, una red de caminos nacional la que se encuentra en general, en un estado inadecuado para soportar la demanda que surgiría a través del movimiento creciente de las producciones brasileñas.

• Además se debe resolver el problema relacionado al transporte de larga distancia mediante la investigación geológica adecuada, sobre el modelo de la elaborada por CPRM (Servicio Geológico del Brasil), por intermedio de PIMA y delimitar posteriormente, las áreas favorables más próximas al consumidor, ejecutar una investigación detallada por un equipo multidisciplinario, compuesto por especialistas pertenecientes no sólo a las geociencias sino también al medio ambiente, a la química, agronomía, botánica, etc., para que sean analizados todas las variables del problema (calidad del calcáreo, viabilidad económica, impacto ambiental, tipo de suelo y vegetación, etc.).

Es evidente que todo trabajo multidisciplinario deberá ser precedido y basado en una planificación estratégica participativa, envolviendo a todos los actores interesados, incluidos los representantes de la sociedad civil, sin olvidar a los que representan a las comunidades de las áreas que se encuentran en esa mira.

• El éxito comercial de una compañía minera depende de la combinación adecuada de una serie de factores. Entre ellos se incluyen en primer lugar la existencia de una investigación geológica bien realizada y en escala compatible. Se debe enfatizar que antes de invertir cualquier capital en equipamiento de extracción y procesamiento del calcáreo, el industrial debe tener la certeza de la calidad y cantidad de roca calcárea que planea extraer y procesar. Se trata de economizar en niveles que comprometan una investigación y el medio ambiente, para no comprometer abultadas inversiones posteriores. Una investigación cuidadosa y metódica, es un factor de seguridad pues puede remover muchas especulaciones. Por otro lado, concordamos con Pereira et. al (2003) en que un minero debe también tomar en cuenta la preservación ambiental antes, durante y después de la vida útil del emprendimiento (Planificación estratégica). Es necesaria la planificación de la gestión desde el inicio de la investigación geológica durante todo el ciclo de vida del emprendimiento y también de su desactivación (cierre de minas).

• En la última década del siglo pasado, fueron concretadas algunas macrotendencias a nivel mundial que sin duda, posee fuertes connotaciones de "agribusiness" nacional y la formulación de la política agrícola en el presente y futuro. Esas macrotendencias son: reducción del papel del Estado en la economía, mayor integración de los mercados mundiales y mayor peso de las variables ambientales y sociales en el cálculo económico de las empresas y de las decisiones gubernamentales.

• Debido a algunas de sus características, la agricultura en todo el mundo continua y continuará todavía por bastante tiempo dependiendo de las políticas de soporte y del control gubernamental para garantizar el equilibrio entre la producción y el consumo doméstico, preservar el interés de la sociedad en la exploración de los recursos naturales y poseer condiciones competitivas en el mercado internacional.

• En Brasil a despecho de las limitaciones de naturaleza presupuestaria y de los grandes avances de los últimos años, en términos de implantación de instrumentos de política agrícola menos intervencionista, el crédito rural oficial continua siendo la espina dorsal del sistema de financiamiento de la agricultura y los instrumentos de apoyo a la comercialización y transferencia de riesgo dependen fuertemente del apoyo del Estado.

• Entre las principales razones económicas para la existencia de una política agrícola, las cuales poco han cambiado desde la década del treinta, se destaca: mejora del destino de recursos (las mayores críticas a PROSOLO y PROPASTO están dirigidas a la liberación de recursos), reducir las fluctuaciones de la renta y garantizar la seguridad alimentaria.

• El gobierno brasileño deberá continuar privilegiando los programas de desarrollo rural, principalmente en lo que se refiere a la capacitación de mano de obra. En este sentido, se debe resaltar la gran importancia de la formación y entrenamiento de empresarios agrícolas que son las personas que van gerenciar directamente la expansión de las actividades de "agribusiness". En consecuencia el Ministerio de Agricultura deberá firmar dentro de los programas de desarrollo rural, contratos y convenios con algunas universidades para acelerar y ampliar la formación de tales profesionales.

• Con relación a la agricultura sustentable, la adopción gradual de prácticas de cultivo compatibles con los principios de conservación del medio ambiente tiende a ser el desdoblamiento natural del

fortalecimiento de infraestructura del campo. Esto es así, porque a medida que fue mejorando la calidad de vida de la población rural y que los elevados costos de transacción fueron reduciéndose, cada vez más los productores estarán en condiciones de absorber los cambios en los gustos y preferencias de los consumidores, tendrán implícitamente mayor grado de responsabilidad en el sentido de responder a los deseos de la sociedad.

• En la actualidad, escasamente los mayores productores usan el calcáreo para la corrección de suelos. El volumen total del área cultivable en Brasil hoy, no alcanza a un consumo de 500 Kg/ha/año, cuando el mínimo recomendado sería de 1.000-1.500 Kg/ha/año (Pereira et. al 2003). Existe la necesidad de crear las condiciones para que el insumo sea también usado en las pequeñas propiedades, impidiendo la expansión del área agrícola que deberá crecer según el cálculo de los especialistas, en diez millones de hectáreas con graves daños al medio ambiente, en los próximos veinte años en caso que no se intensifique el uso del calcáreo agrícola en todos los niveles de la agricultura.

• Concordando con Borges (2002), se reitera que tratándose de unidades rudimentarias de producción de calcáreo o cualquier otro bien mineral, existe la necesidad de crear en términos estratégicos, un instrumento capaz de implementar el desarrollo económico y social de la región, con protección a los ecosistemas representativos y específicos incorporando el punto de vista institucional y reglamentar los dispositivos de la Carta de 1988 que privilegian el garimpo realizado en forma cooperativa.

• En este aspecto, los análisis ambientales deberán ser realizados desde un ángulo de utilización racional de los yacimientos, de la implantación de tecnologías adecuadas y modernas, del régimen de trabajo, del control de las operaciones y de la contribución de la empresa al proceso de desarrollo. Considerando que este tipo de producción de cal se localiza principalmente en regiones donde las necesidades básicas de la población todavía no están satisfechas, sería necesario conocer de antemano los efectos que se están produciendo en los cultivos, la organización social y el bienestar de las comunidades locales, por intermedio de una planificación estratégica participativa, involucrando a todos los actores incluidos los representantes de las comunidades locales.

Finalmente, es válido transcribir un párrafo del trabajo de la Asociación Brasileña de Productores de Cal, Calcáreos y Dolomitas de Brasil - Usos y Mercado, escrito por Guimarães años pasados, todavía pertinente:

"...las actividades mineras para la labra de calcáreos y dolomitas destinados a fines de interés social o de política gubernamental - como corrección de la acidez del suelo, polución ambiental y regularización de pH de lagos y lagunas - donde los precios ofrecidos al minero para la compra de sus productos son marginales, deben merecer por parte del Poder Público su apoyo, reflejado en el favorecimiento tributario, tarifas privilegiadas, financiamiento de stocks, préstamos bancarios para equipamiento y otros incentivos. Este incentivo será extensivo a la investigación de los depósitos calcáreos y dolomíticos de alta pureza, en regiones de influencia de industrias carecientes de cal química especial, mediante el mapeo, estudios y análisis, de las instituciones oficiales que permiten la localización de ocurrencias con tales atributos y despertar el interés del minero nacional", Guimarães - 1978.

8. Agradecimientos

Nuestros agradecimientos al Dr. Gildo Araújo de Sá C. de Albuquerque, Ex Director del Centro de Tecnología Mineral - CETEM - por las críticas y sugestiones como también autorizar a los autores durante la ejecución del trabajo, el uso de todas las facilidades del CETEM (In Memoriam).

Somos gratos a la Dra. María Laura Barreto, investigadora del CETEM por el incentivo y apoyo logístico; a la Dra. Heloísa Vasconcellos de Medina, investigadora del CETEM; a la Dra. Suely Borges da Silva Gouvêa y a la Dra. Patricia Duringer Jacques , geólogas de CPRM/DEGEP y al Sr. Leandro Andrei Beser de Deus, geógrafo del CETEM por su inestimable apoyo a la compo-

sición y elaboración de los mapas electrónicos; al Dr. Henrique de Oliveira Moreira, Consultor de FUNPAR por el envío de los datos necesarios para la elaboración del ítem 7 de este trabajo; a la Dra. Júlia Strauch y al Dr. Francesco Palmieri de EMBRAPA por el empeño puesto en brindar algunos datos.

Agradecemos al Dr. Benedito Marques da Costa, Profesor Titular del Departamento de Zootecnia de la Escuela de Agronomía de UFBA por autorizarnos el uso de algunos párrafos y conceptos de su artículo "@groArtigo" titulado "Uso do Calcário em Pastagens".

Por el intercambio de informaciones y envío de artículos y publicaciones internacionales agradecemos al Dr. Vincenzo Nino Agnello y a la Sra. Ruth Van Staden (Departamento de Minerales y Energía de Africa del Sur), al Dr. Aldo Bonalumi (Departamento de Geología de la Universidad de Córdoba, Argentina); al Dr. Fred Bruvel (Departamento de Minas y Energía de Australia), al Dr. Roy Towner (Instituto de Geociencias de Australia), Roger Buckley (Servicio Geológico de Vitória, Australia), al Dr. Valentin V. Tepordei (Servicio Geológico de los Estados Unidos), al Dr. José E. Mendía (Servicio Geológico y Minero de Argentina) y al Dr. Lary Quinlivan da Aglime.

PRNT de los calcáreos	*Clasificación*
45 a 60%	Bajo
60,1 a 75%	Medio
75,1 a 90%	Alto
Mayor que 90%	Muy alto

Agradecimientos especiales al Dr. Marcelo Ribeiro Tunes, Ex Director General de DNPM por el apoyo e incentivo proporcionado durante toda la etapa de investigación y al Dr. Federico Lopes Meira Barbosa, Ex Secretario de la Secretaría de Minas y Metalurgia por las facilidades proporcionadas durante la fase de edición de este trabajo.

Finalmente, agradecemos a la Dra. Maria Beatriz Ponce por la excelente traducción del nuestro trabajo para el idioma Español.

Carbonatos. Su uso en la agricultura de Brasil

Sebastián P. Gambaudo[1]

La calidad de los productos a utilizar está regido por el Poder Relativo de Neutralización Total (PRNT) y se clasifica en cuatro niveles (Cuadro V-16). Se exige a las enmiendas un Poder Neutralizador = a 67% y un PRNT = a 45%, como mínimo. (Nahass y Severino, 2003).

1 INTA EEA Rafaela - sgambaudo@rafaela.inta.gov.ar

Cuadro V-16. Clasificación del Poder Relativo de Neutralización Total para los calcáreos.

El método más utilizado para la determinación de la cantidad a utilizar es el del porcentaje de saturación de bases (NC) para una profundidad de suelo entre 0 - 20 cm, el cual puede ser modificado según la profundidad a corregir y la forma de aplicación, de la siguiente manera:

- De 0 a 30 cm de profundidad = NC x 1,5
- De 0 a 40 cm de profundidad = NC x 2,0
- Encalado superficial = NC / 2,0

Otro de los métodos utilizados es el criterio basado en los tenores de aluminio intercambiable (Van Raij, 1991) donde la cantidad de carbonato de calcio a agregar resulta de aplicar un factor de encalado (1,5 ó 2) el que se multiplica por la cantidad de aluminio intercambiable. También es posible utilizar el método del buffer SMP.

En cuanto a los momentos de aplicación se recomienda, de acuerdo al PRNT, los siguientes:

- PRNT 70% : aplicar 90 días antes de la siembra
- PRNT entre 70 - 80%: aplicar 60 días antes de la siembra
- PRNT entre 80 - 90%: aplicar 30 días antes de la siembra.

La producción de enmiendas calcáreas en el Brasil ha ido incrementándose a través del tiempo, llegando en el año 2000 a 19.305.200 Tm, debido principalmente a una política de Estado. La aplicación de programas se iniciaron a fines de la década del 60 con el desarrollado por Río Grande del Sur, conocido como "Operación Tatu" que demostraba los incrementos de rendimiento logrados con la corrección de la acidez edáfica. En la década del 70 se implementó el Programa Nacional del Calcáreo Agrícola (PROCAL) desarrollado por el Gobierno Federal por intermedio del Consejo Monetario Nacional. Se pretendía llegar a 1979 con una producción y utilización en todo el país de 15.300.000 Tm, valiéndose de métodos de difusión de las prácticas de corrección de la acidez de los suelos, oferta de calcáreos a los productores a precios razonables y una elevación progresiva del uso hasta alcanzar la cifra mencionada.

En 1998 se implementa el Plan Nacional de Calcáreo Agrícola cuyo objetivo es contribuir al aumento de la productividad, competitividad y calidad de la producción agropecuaria, a través de la estimulación de la práctica del encalado, reduciendo al acidez de los suelos en todo el territorio brasileño. Para ello se acordaron estrategias educacionales (campañas de educación y esclarecimiento a los productores agropecuarios) y promocionales (campos demostrativos, créditos especiales) con el objeto de pasar de un uso promedio de 453 kg/ha de calcáreo a 1.000-1.500 kg/ha, o sea pasar de una utilización de 21,2 millones a 51,98 millones de toneladas.

Actualmente están en vigencia el Programa de Uso de Correctivos de Suelo (PROSOLO), cuyo objetivo es elevar la productividad agrícola brasileña mediante la intensificación del uso de los correctivos del suelo y la disponibilidad de una línea de créditos para financiar la adquisición, flete y aplicación de correctivos agrícolas. El segundo es el Programa Nacional de Recuperación

Estado	*Producción*	*Consumo Aparente*
1- Paraná	6.556,7	3.797,8
2- Mato Grosso	5.250,7	5.433,4
3- Minas Gerais	3.832,8	2.921,5
4- Goiás	3.000,0	3.033,4
5- Sao Pablo	2.895,9	3.843,0
6- Rio Grande do Sul	2.443,8	2.823,2
7 – Mato Grosso do Sul	800,0	1.593,4
8- Tocantins	638,0	331,0
9- Maranhao	400,0	500,0
10- Espírito Santo	294,0	229,0
11- Santa Catarina	200,0	725,2
12- Permambuco	148,0	132,0
13- Alagoas	100,0	100,0
14- Otros	790,0	1.000,0
TOTAL	*27.359,9*	*26.462,9*

Cuadro V-17. Producción y consumo aparente de calcáreo agrícola en el Brasil durante el 2003. (en miles de Tm). Fuente: Nahass y Severino, 2003.

de Pasturas Degradadas (PROPASTO) que tiene por finalidad solucionar el problema de las pasturas nativas e implantadas y la recuperación de áreas con pasturas degradadas a través de créditos especiales.

La producción y consumo aparente de calcáreo agrícola en Brasil para el 2003 figura en el Cuadro V-17.

La región del Cerrado de Brasil es una vasta sabana que cubre una superficie de 1.8 millones de km2, lo cual representa el 20% de la superficie de ese país. La región contribuye con el 52% de la producción de soja, el 44% del maíz, el 59% del café y el 9% de la producción de carne del país en el año 2001/02.

Según una clasificación realizada por Yamada (2004), el 50% de los suelos del Cerrado son Oxisoles y el resto está constituido por Entisoles, Inceptisoles y Ultisoles. Los Oxisoles son pobres en carbono, calcio, magnesio y potasio, pero poseen una saturación alta de aluminio. Presentan una relación con el pH demostrando que el aluminio de intercambio se incrementa significativamente por debajo de un 5,5. Varios autores (Souza et al 1989, Souza y Lobato, 2002 citados por Yamada) demostraron que el porcentaje de saturación de bases óptimo de estos suelos está entre el 35 - 50%, el cual es inferior a otros. Los principales cultivos de soja, maíz, trigo y poroto incrementan su rendimiento cuando la saturación de bases llega al 40%, se alcanza un plateau entre el 40 y 60% de saturación, declinando cuando se pasa esta cifra (Souza y Lobato, 2002, citados por Yamada).

Los métodos de encalado para esta región se basan en la neutralización del aluminio, el incremento de calcio y magnesio acordes a la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y al contenido de arcilla. Por ello se pueden realizar las siguientes recomendaciones:

Teniendo en cuenta el al intercambiable:

- Si el suelo tiene una CIC > 4,0 cmol.dm^3, contenido de arcilla > 15% y Ca + Mg < 2,0 cmol.dm^3: la recomendación de encalado (tm/ha) es: (2 x Al) + 2 -(Ca+Mg) .
- Si el suelo tiene una CIC > 4,0 cmol.dm^3, contenido de arcilla > 15% y Ca + Mg > 2,0 cmol.dm^3: la recomendación de encalado (tm/ha) es: (2 x Al) . f ; donde f. es el factor de corrección por la calidad de la enmienda.

Teniendo en cuenta el porcentaje de saturación de bases:
- En el método mencionado, se considera que el porcentaje de bases debe alcanzar sólo al 50% en los suelos del Cerrado para ambos sistemas de siembra tradicional y directa.

Colombia

Sebastián P. Gambaudo[1] y María Beatriz Ponce [2] (Ex aequo)

Las rocas carbonáticas en Colombia

Se conocen numerosos yacimientos de calizas distribuidos en casi todo el territorio, con importantes reservas de más de 1.000 millones de toneladas probadas, en tanto las indicadas alcanzan a 4.000 Mt abasteciendo la demanda de la industria cementera, la fabricación de cal, industria del vidrio, cerámica y siderúrgica entre otras. Con relación a la dolomita, la misma se importa

1INTA EEA Rafaela - sgambaudo@rafaela.inta.gov.ar
2 Instituto de Tecnología Minera - SEGEMAR - bea@inti.gov.ar

probablemente debido a la escasa pureza del producto nacional.

Los depósitos calcáreos se presentan en varias de las unidades geológicas con edades que van desde el Precámbrico hasta el Neógeno, siendo de origen sedimentario y metamórfico, ubicados en la Cordillera Oriental, Central y Occidental, en la Sierra Nevada de Santa Marta y en la Península de la Guajira.

El marco geológico de Colombia comprende distintos tipos de rocas y ambientes. Las regiones fisiográficas que se identifican son las siguientes:

1.- Orinoquía
2.- Amazonia

Ambas registran rocas metamórficas de edad Paleoproterozoica con gneises migmatíticos y granulíticos, granitoides, cuarcita y anfibolitas. La secuencia de recubrimiento está formada por: metamorfitas de bajo grado (metaconglomerados, pizarras y filitas), luego unidades marinas formadas por areniscas cuarzosas, shales, chert y calizas.

3.- Cordillera Oriental: Formada por tres macizos ígneo-metamórficos y un cinturón sedimentario. Este último presenta unidades marinas de edad Paleozoica Inferior con limolitas, lutitas e intercalaciones de calizas; unidades marinas del Paleozoico Superior con conglomerados, areniscas, lodolitas calcáreas, calizas y limolitas. Las rocas de edad Cretácica también contienen unidades marinas que albergan calizas.

4.- Valle Superior del Magdalena
5.- Valle Medio del Magdalena
6.- Valle Inferior del Magdalena

Esta unidad separa las cordilleras Central y Oriental y por sus características es dividido en tres regiones conocidas como valles Inferior, Medio y Superior. En el primero se encuentran depósitos marinos (Cretácicos) entre los que se hallan bancos calizos, los que también se repiten en el sector del Valle del Medio junto a limolitas, lutitas, areniscas, brechas, conglomerados y piroclastitas, todo muy fracturado.

7.- Cordillera Central: Formada por cuatro grandes cinturones rocosos de los cuales se mencionan la presencia de mármoles en el primero y segundo a partir del sector oeste; en tanto las calizas se ubican en los dos restantes de edad cretácica.

8.- Valle Cauca-Patía: Constituido por sedimentos que indican depósitos de tipo marino a continental y edades desde el Cretácico hasta el Neógeno. Las calizas se relacionan con las unidades marinas.

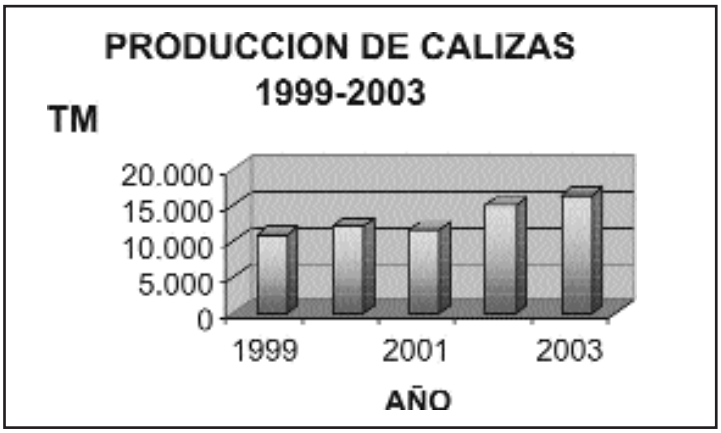
9.- Cordillera Occidental: Corresponde a rocas sedimentarias de origen marino a transicional y rocas volcánicas básicas de afinidad oceánica. Estas últimas se encuentran relacionadas con lentes de chert, limolitas y calizas.

10.- Valle Atrató-Baudó

YACIMIENTOS POR AREAS	RESERVAS MEDIDAS (Mt)
Boyacá	1.500
Magdalena del Medio	350
Costa Atlántica	50
Valle, Cundinamarca y Tolima	50

Cuadro V-18. Reservas en Colombia
Fuente: Ministerio de minas y Energía; UPME

11.- Llanura Costera Pacífica
12.- Serranía del Baudó



La llamada región Pacífico comprende las unidades identificadas 10, 11 y 12. Las dos primeras están compuestas por sedimentos marinos y transicionales del Paleógeno al Neógeno y Cuaternario. En ellas se encuentran depósitos de calizas.

13.- Sierra Nevada de Santa Marta: Es un conjunto montañoso de tres cinturones con rocas granulíticas precámbricas asociadas al magmatismo Jurásico-Triásico y Cretácico; otro de rocas metamórficas (Paleozoicas) entre las que se hallan mármoles diopsídicos y un tercero compuesto de metamorfitas.

14.- Guajira: Formada por una región de llanuras aluviales (Baja Guajira) y otra de serranías formadas por rocas metamórficas alas que se asocian mármoles (Alta Guajira) de edad pretriásica y cretácica. La aparición de sedimentos del Triásico al Neógeno muestran la presencia de calizas en unidades volcano-sedimentarias. Otros afloramientos calcáreos se encuentran en unidades continentales y transicionales.

Actividad	1970	1980	1987	1999
Agricultura	3.5	4.1	5.3	4.4
Pastos	20.8	25.2	40.1	41.2
Bosques y otros	89.9	84.9	68.8	68.6
TOTAL	**114.2**	**114.2**	**114.2**	**114.2**

En la Figura V-10 se muestra el mapa geológico del país.

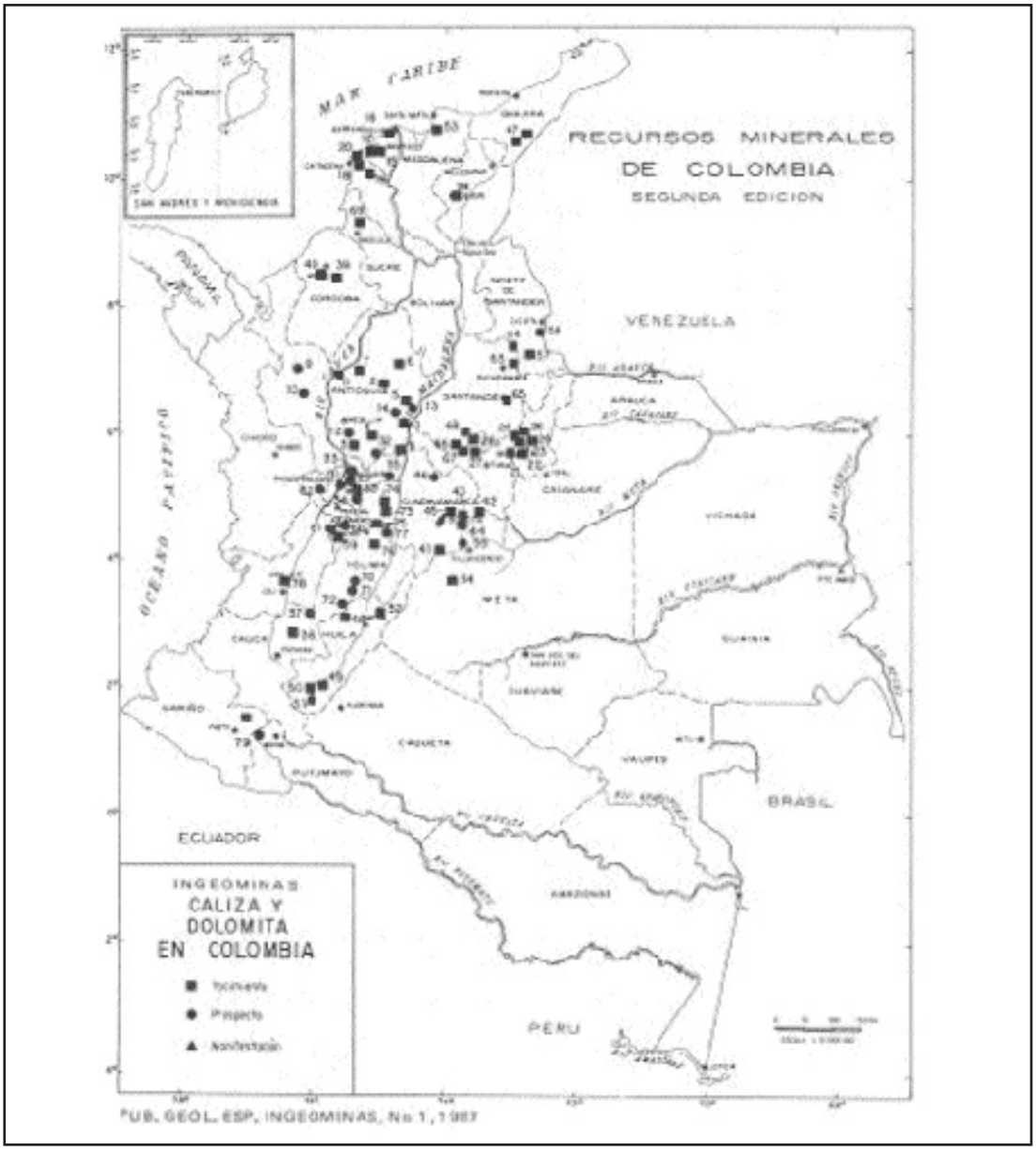


Figura V-11. Caliza y Dolomita en Colombia

Con relación a las reservas medidas se mencionan los Departamentos de Boyacá seguido por el Magdalena del Medio, Costa Atlántica, Valle, Cundinamarca y Tolima (Cuadro V-18)

El destino esencial de las calizas es la industria del cemento.

Los años comprendidos entre 1999 y 2003 la producción de calizas experimentó un sensible incremento (Figura V-10 Producción de calizas).

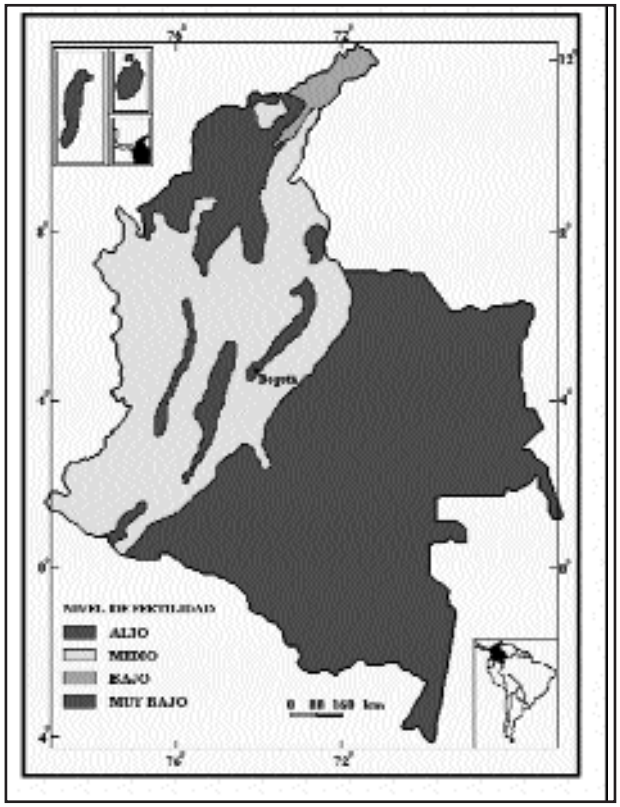


Figura V-12. Mapa de fertilidad de los suelos de Colombia (Jaramillo, 2004)

Carbonatos. Su uso en la agricultura de Colombia

Sicard y Rodríguez Sánchez (2001) advierten sobre la disminución de los bosques y el incremento de las tierras destinadas a la agricultura y ganadería, analizando treinta años de uso de la tierra en Colombia (Cuadro V-19).

Cuadro V-19: Evolución en el uso de la tierra en Colombia durante el período 1970-1999.

Al ser Colombia un país húmedo, los excesos de precipitaciones lixivian las bases del suelo, que incluyen a los cationes como el calcio, el magnesio, el potasio y el sodio, generando suelos ácidos (Castro, 2005).

La mayor parte de los suelos presentan baja fertilidad (Figura V-12), la cual se manifiesta en condiciones de alta acidez, con altos contenidos de aluminio intercambiable, bajo contenidos de elementos nutricionales para las plantas como el fósforo, calcio, magnesio, y potasio; baja capacidad de suministrar nitrógeno y azufre debido a la presencia de bajos contenidos y/o a la mala calidad de la materia orgánica que se ha acumulado en ellos, presencia de altos contenidos de materiales coloidales inorgánicos de baja actividad en la fracción arcilla. Aproximadamente el 85% de los suelos del territorio nacional presentan valores de pH menores a 5,5 y el 57,6% tiene pH menor a 5. (Jaramillo, 2004).

Para el cultivo de café, Jaramillo (2004) estableció que el pH debe conservarse entre 5 - 5,5, el calcio no debe ser superior a 4,2 meq/100 g de suelo y si es menor de 2,6 meq/100g se debe encalar el suelo. Para el magnesio se estableció un valor de 0,7 ± 0,2 meq/100 g como límite inferior aceptable. En cuanto a la suma de bases, se menciona que el 74% de los suelos cafeteros se encuentra con un valor inferior a los 5 meq/100g.

El consumo nacional actual de enmiendas calcáreas es bajo según la Unidad de Planeación Minera Energética, siendo de 2.000 Tm de carbonato de calcio, 8700 Tm de óxido de magnesio y 6.000 Tm de sulfato doble de calcio y magnesio, cantidades muy inferiores a las necesarias para solucionar los problemas de acidez de los suelos.

Costa Rica

[1] *INTA EEA Rafaela - sgambaudo@rafaela.inta.gov.ar*
[2] *Instituto de Tecnología Minera - SEGEMAR - bea@inti.gov.ar*

Sebastián P. Gambaudo[1] *y María Beatriz Ponce* [2] *(Ex aequo)*

Las rocas carbonáticas en Costa Rica

Los depósitos de carbonato de calcio se hallan vinculados a la industria del cemento, vidrio y fabricación de cal para uso como enmienda agrícola y carga en la industria química. La caliza es una de las rocas industriales más abundantes que posee el país, mencionándose entre los principales depósitos:

• Formación Barra Honda. Ubicada en el NO del territorio en una serie de colinas aisladas alrededor del Valle del río Tempisque y el cierre del golfo de Nicoya. Es el yacimiento de mayores reservas habiéndose identificado las yacencias en Colinas de Peña Blanca, Cuevas y Naranjo. El valor promedio de la pureza en este sector es de 98,9%.

• Formación San Miguel. Localizada en el centro del país, cerca de las poblaciones de San Miguel de Patarrá, Quebradilla, Coris y Agua Caliente. Contiene entre 70 y 85 % de carbonato de calcio con un 6 a 17% de sílice.

• Formación Las Animas. Comprenden una secuencia que alcanza los 105 m de espesor, siendo su origen bioclástico o bioesparítico, con buena estratificación cercanas a Turrialba. La pureza del yacimiento varía entre 92 y 98 %.

• Formación Brito. Ubicado al sur del país se conoce como Fila de Cal. Las reservas han sido estimadas en 18.000 millones de toneladas con una pureza variable entre 92,6 y 98,4 %.

Independientemente de las empresas grandes existen explotaciones de calizas que se manejan de forma artesanal, con baja producción en las cuales la roca se tritura y se destina a diversos usos entre el que se cuenta el de fertilizantes con un tamaño de partícula menor a 0,1 mm. Existe una explotación de empresas pequeñas que no son controladas por ningún ente gubernamental, lo cual hace difícil la clasificación del material en primera, segunda o tercera ya que tal nomenclatura varía según la cantera de donde se obtiene el mineral (Conejo Solís y Fernández Arce 2000).

Carbonatos. Su uso en la agricultura de Costa Rica

En Costa Rica la acidez y la insuficiencia de bases de los suelos son las principales limitantes para los cultivos en muchas de las regiones agrícolas (Carballo y Molina, 1993). Los mapas de suelos señalan que el 33% de éstos se clasifican como Ultisoles o Alfisoles y según Bertsch (citado por Carballo y Molina, 1993) el 35% de los suelos del país presentan problemas de fertilidad debidos a bajos contenidos de Ca y Mg, así como un 20% sufren problemas directos de acidez por Al.

La calidad de los productos que se utilizan se basa en el PRNT (metodología ya descripta) y los materiales que se comercializan no presentan mucha variabilidad. El 83% de los productos mostró contenidos de Ca superiores al 32%, lo que origina un equivalente químico de 80% considerado el mínimo de calidad permisible. Los contenidos de Mg fueron muy bajos, menos del 3%, lo cual indica que los carbonatos de Costa Rica son calcíticos y la dolomita que se utiliza es importada.

En un trabajo realizado en la Región Huetar Norte, Rodríguez y Paniagua (2005), encontraron más de la mitad de los suelos correspondientes al orden Ultisoles, por lo que es necesario encalar para precipitar el Al y el Fe, suplir el Ca y el Mg. Por ello, recomiendan una dosis de 1,5 Tm/ha/año de $CaCO_3$ durante tres años y el agregado de otros nutrientes también faltantes.

Mainor Rojas (2003), reconoce en la región de Pérez Zeledón que la acidez edáfica es el principal problema de sus suelos, con un pH que oscila entre 4 - 5 y con un porcentaje de saturación inferior al 40%. El autor recomienda utilizar productos con un PRNT superior al 75% para el cultivo de café.

Por su parte, la Dirección General de Investigación y Extensión Agrícola (1991) establece que un suelo con concentración de Al intercambiable mayor a 0,3 meq/100 g de suelo, debe ser corregido mediante la incorporación de un material neutralizante, entre cuatro y seis semanas antes de la siembra, para favorecer la reacción en el suelo, estableciendo en términos generales una dosis de $CaCO_3$ entre 0,5 y 2 tm/ha.

Cuba

Sebastián P. Gambaudo[1] y María Beatriz Ponce [2] (Ex aequo)

[1]INTA EEA Rafaela - sgambaudo@rafaela.inta.gov.ar
[2] Instituto de Tecnología Minera - SEGEMAR - bea@inti.gov.ar

Proceso degradativo	*Area afectada (MM ha)*	*Area agrícola (%)*
Salinidad y Sodicidad	1,00	14,1
Erosión	2,90	43,3
Mal drenaje	2,70	40,3
Mal drenaje interno	1,80	26,9
Baja fertilidad	3,00	44,8
Compactación elevada	1,60	23,9
Acidez (pH KCl<6) (pH KCl< 4,6)	1,66 0,47	24,8 7,0
Bajo contenido de Materia Orgánica	2,13	31,8
Baja retención de humedad	2,50	37,3
Pedregosidad y rocosidad	0,80	11,9

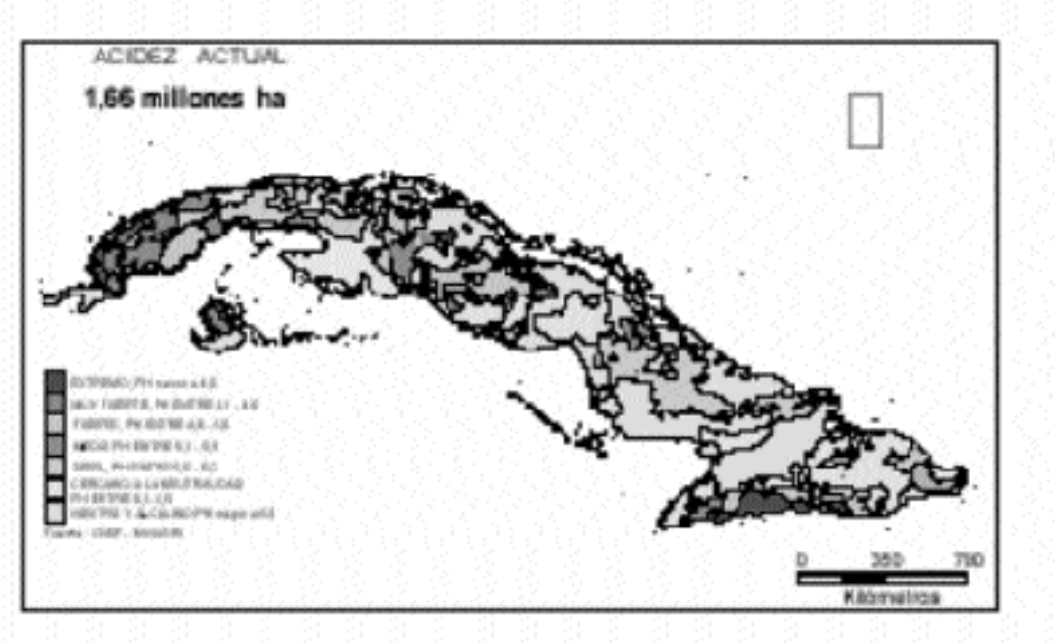
Cuadro V-20. Áreas afectadas por procesos degradativos en cuba.

Provincia	*S2 Débilmente salino*	*S3 Medianamente salino*	*S4 Fuertemente Salino*	*S5 Muy fuertemente salino*	*Total área agrícola afectada*	*(%)*
Isla de la Juventud	5,9	1,6	2,1	0,7	10,3	11,3
Pinar del Río	34,4	6,2	2,9	10,5	54,0	9,3
La Habana	9,8	3,0	2,6	0,6	16,0	3,2
Matanzas	4,2	12,0	1,2	--	17,4	2,7
Cienfuegos	1,5	0,2	0,4	--	2,1	0,8
Villa Clara	51,0	7,9	5,4	16,9	81,2	13,4
Sancti Spiritus	53,5	26,0	17,8	2,7	100,0	20,8
Ciego de Avila	31,2	14,1	19,8	12,0	77,1	15,4
Camagüey	61,9	32,5	41,0	10,7	146,1	11,5
Las Tunas	28,4	5,9	4,5	2,3	41,1	7,4
Granma	79,0	59,4	64,1	24,8	277,3	37,3
Holguín	87,6	36,7	35,7	20,5	180,5	30,3
Santiago de Cuba	16,3	3,6	1,3	0,2	21,4	8,7
Guantánamo	10,9	4,8	10,5	1,4	27,6	19,4
Total	475,3	213,9	209,3	103,3	1.002,1	14,1

Cuadro V-21. Áreas afectadas por la salinidad en Cuba (miles de ha).

Las rocas carbonáticas en Cuba

Este país posee depósitos de rocas carbonatadas de todas las edades, siendo de composición calcítica con contenidos variables de dolomita. Se presentan con tipos litológicos representados por calizas organógenas, biodetríticas, pelimórficas, margosas, tobáceas y brechas (Martinez Salcedo et al 2000). La forma de los depósitos es de tipo masivo desarrollados en capas aunque en otros sectores la estratificación se muestra afectada por intemperismo, agrietamiento, tectonismo y dolomitización. Los colores son variados entre blanco, crema, grises y negras.



Entre los yacimientos de mayor relevancia se mencionan La Palma, Laguna de Piedra, Cayo San Felipe y Portales II que corresponden a calizas negras de uso ornamental. Las de coloración crema y blancas se sitúan en parte central del país, su génesis es organógena y se hallan relacionadas con calizas dolomíticas.

Las calizas coloreadas son de edad Eoceno Medio se presentan en forma compacta y estratificada.

En general los yacimientos poseen una pureza variable entre el 90 y 99 %.

Los afloramientos de dolomitas pertenecen al Cretácico y al Neógeno y se han formado por procesos de dolomitización. Su presentación en bajo la forma de cuerpos masivos con potencia importante generalmente con procesos de karstificación y agrietamiento.

Carbonatos. Su uso en la agricultura de Cuba

La degradación de los suelos, como resultado histórico del mal uso del suelo y manejo de las tierras por el hombre es la causa fundamental de la desertificación en Cuba. Se ha determinado que los procesos de degradación más importantes son la salinidad, la erosión y la degradación de la cubierta vegetal (CITMA, 2003). La cantidad de suelos ácidos alcanza casi a un 25%, como

puede observarse en el Cuadro V-20.

El uso del recurso agua, aplicada a suelos sobrehumedecidos o en zonas de drenaje impedido y la utilización de éstas enriquecidas con sales, ha desencadenado un proceso activo de salinización en diferentes regiones del país, razón por la cual se fueron abandonando las tierras productivas para cultivos varios y se dedicaron a la explotación ganadera, utilizándose en ocasiones excesos de carga animal, lo que aceleró el proceso de desertificación en el país. Las áreas afectadas por salinidad de Cuba se presentan en el Cuadro V-21.

En las provincias orientales y en el macizo norte de la parte central del país, la salinización se ha extendido por efecto del agua mineralizada del subsuelo, dada la elevación del manto freático, hecho que está vinculado al aumento de las áreas bajo riego, la construcción de presas y canales de distribución de agua, así como daños a las redes de drenaje natural y artificial. En las áreas arroceras, norte de la provincia de Granma, sur de Sancti Spiritus, Habana y Pinar del Río, se observan los efectos de salinidad sobre los rendimientos de los cultivos.

En cuanto a la acidez edáfica, la misma ha tenido incremento por el mal uso y manejo del agua de riego, el uso de fertilizantes minerales de efecto residual ácido y la utilización excesiva del suelo con cultivos fuertemente esquilmantes, alcanzando a 1,66 millones de hectáreas (Figura V-13).

Figura V-13: Mapa de acidez de los suelos de Cuba.

Las áreas afectadas, así como la intensidad de la degradación, pueden llegar a incrementarse con la consiguiente disminución de la producción alimentaria, estimándose que, de no detenerse el desarrollo de los procesos degradativos antes mencionados, la tendencia al incremento en los próximos 15 años puede aumentarse. En el caso de la acidez del suelo éste sería del orden del 2,9% y para la salinidad - sodicidad del 7,5%. Ambos valores fueron estimados teniendo en cuenta la dinámica de los procesos de los últimos 50 años, el grado de deterioro a que pudieran conducir los cambios actuales del clima y la aplicación de sistemas de producción intensivos.

El 77% de los suelos de Cuba está categorizado como poco a muy poco productivo y se encuentran afectados por condiciones que impiden reflejar más del 70% del potencial productivo de las especies cultivadas, por lo que resulta prioritaria toda actividad que tienda a mejorar esta realidad. Cada área de 0,6 ha de suelo que corresponde a cada habitante está afectada en distintos grados por los factores degradativos mencionados.

La política agrícola llevada a cabo por el gobierno ha sido enfocada hacia cambios en la tenencia y uso de la tierra, descentralización del uso y disminución de las tierras ociosas, creación de fincas forestales, determinación de cuencas hidrográficas de interés nacional, e incentivación de la investigación científica y la innovación tecnológica como soporte del Programa Nacional de Lucha contra la Desertificación y la Sequía.

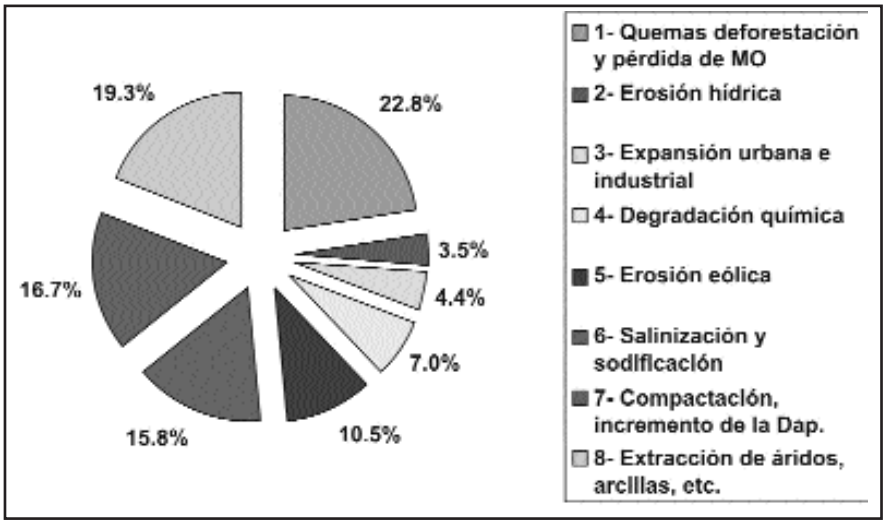
Chile

[1]*INTA EEA Rafaela - sgambaudo@rafaela.inta.gov.ar*
[2]*Instituto de Tecnología Minera - SEGEMAR - bea@inti.gov.ar*

Tipo de uso	*Aptitud de uso*	*Capacidad de uso*	*Superficie (ha)*	*Porcentaje (%)*
	Sin limitaciones	I	90.846	0,1
Suelos agrícolas		II	711.625	0,9
Arables				
	Con limitaciones	III	2.195.439	2,9
		IV	2.273.670	3,0
Suelos agrícolas	Ganadera	V	2.271.144	3,0
No arables				
	Ganadera-Forestal	VI	6.510.693	8,6
	Bosques	VII	12.339.882	16,3
Suelos no agrícolas	Conservación	VIII	14.200.000	18,8
Suelos improductivos			35.114.147	46,4
Total			**75.707.366**	**100,0**

Sebastián P. Gambaudo[1] *y María Beatriz Ponce* [2] *(Ex aequo)*

Las rocas carbonáticas en Chile



Los depósitos de calizas se ubican en las Regiones I, VIII, IX y XII siendo de tipo sedimentarios de edad Paleozoico-Terciario. Se encuentran en forma de mantos siendo su destino principal la industria del cemento, la cal y metalurgia. Las dolomitas por su

parte, se sitúan en la Región III, también de génesis sedimentaria de edad Cretácico inferior. Esencialmente, el destino es como enmienda agrícola. La caliza junto al azufre es el recurso no metálico con mayor cantidad de yacimientos conocidos en el país. Los principales afloramientos pertenecientes al Paleozoico Superior corresponden a las calizas Tarlton de la XII Región y a las de Tunga en la V Región.

Las secuencias Jurásicas de origen marino sedimentarias se encuentran en dos fajas: una la oriental con los afloramientos de mayor interés ubicados en la II Región, en la Cordillera Andina (III Región), en el sector sur de la cordillera de la IV Región y sureste de la Región Metropolitana.

Tipo de suelo	*Poder tampon (1) (0 – 7,5 cm)*	*Calcio (2) (kg/ha)*
Trumao v. Central	0, 0 8 - 0,09	1.100 - 1.200
Trumaos precordillera	0,14 - 0,15	650 - 700
Trumaos s. costero	0,17 – 0,19	530 – 600
Rojo arcillosos v. Central	0,10 - 0,12	830 - 1.000
Transición v. central	0,11 - 0,12	830 - 900

La franja occidental posee las calizas de la Cordillera de la Costa (I Región) y en la zona central del país (V Región).

Las calizas cretácicas se ubican en la Cordillera de la Costa (II Región), en la III Región y en la cordillera nombrada en primer término perteneciente a las Regiones IV a VI. También en la Región Metropolitana y sector cordillerano de las Regiones VI y VII.

Los depósitos de edad Terciaria están compuestos por calizas y calizas travertínicas de ambiente lacustre ubicados en la II Región y por las calizas coquinoides de la IX Región. La producción de rocas carbonáticas está dirigida al mercado nacional.

Carbonatos. Su uso en la agricultura de Chile

En un estudio realizado sobre el estado del medio ambiente de Chile (www.centrogeo-Quitar), se determinó que de la superficie total del sector continental del país, sólo 5.271.580 ha son arables. De ellas, la mayor parte presentan importantes limitaciones por profundidad, pedregosidad o topografía y sólo el 15% no presentan limitaciones (Santibañez y Uribe, 1999). La superficie ocupada por cada grupo de capacidad de uso y sus porcentajes, se presentan en el Cuadro V-22.

Cuadro V-22. Aptitud y capacidad de uso de los suelos de Chile.

Fuente: Santibañez et al, 1996.

La degradación acelerada de los suelos en Chile comenzó en el siglo XIX por la producción de ce-

Especie	Tipo de suelo				Especie	Tipo de suelo			
	Trumao		Rojo			Trumao		Rojo	
	CR	OP	CR	OP		CR	OP	CR	OP
Papa	4,9	5,3	5,0	5,4	Lenteja-garbanzo	5,4	5,8	5,4	5,8
Avena (1)	5,2	5,6	5,3	5,7	Arveja-Poroto	5,4	5,8	5,4	5,8
Ballica	5,4	5,8	5,5	5,9	Trébol rosado	5,4	5,8	5,4	5,8
Lupino	5,4	5,8	5,5	5,9	Remolacha-Cebada	5,4	5,8	5,4	5,8
Maíz (1)	5,5	5,9	5,6	6,0	Alfalfa	5,4	5,8	5,4	5,8

reales en suelos con pendientes, pero como es un proceso gradual y repartido en todo el país, no se ha percibido su gravedad. Uno de los impactos más directos de la agricultura es la degradación y salinización de los suelos. Los orígenes y las causas de la degradación de los suelos han sido agrupados en ocho categorías, los que se presentan en la Figura V- 14(CONAMA, 1994).

Año	Superficie	Toneladas Apli cadas
1998	12.387	23.665
1999	14.190	21.657
2000	21.651	32.578
2001	24.737	45.133
2002	35.029	56.599
2003	17.771	30.580
2004	27.848	47.832

Figura V-14: Causas y orígenes de la degradación de los suelos en Chile.

El 15,8% de los suelos presenta problemas de salinización como consecuencia de la mayor intensidad de uso del agua de riego, la utilización de tecnologías inapropiadas y la alta evaporación en

las zonas áridas que contribuye a la acumulación de sales. La degradación química, que incluye la acidificación de los suelos, alcanza al 7% de los suelos.

El problema de la acidez en Chile ha sido bien estudiado y existen recomendaciones de solución para todas las regiones, un ejemplo de ello es el trabajo realizado por Campillo y Sadzawka en la IX Región donde establecen para cada tipo de suelo el poder tampón y la necesidad de enmienda para corregir el problema (Cuadro V-23).

Cuadro V-23: Efecto del encalado en algunos suelos de la IX Región.
(1): variación del pH en agua por ton/ha de cal aplicada.
(2): cantidad de CO3Ca para elevar el pH en 0,1 unidades.

Suárez (1997) estableció un pH crítico bajo el cual los rendimientos se deprimen y estableció que el pH óptimo corresponde a 0,4 unidades sobre el crítico. Algunos valores para diferentes cultivos sobre dos tipos de suelos de Chile, los rojo-arcillosos y los trumaos, se muestran en el Cuadro V-24.

El citado autor calcula la dosis de carbonato necesaria para elevar el pH inadecuado hasta alcanzar el adecuado, mediante la siguiente fórmula:

Dosis (Tm de carbonato/ha) = (pH a alcanzar - pH actual) / poder tampón del suelo

El poder tampón de los suelos trumaos es de 0,12 pH/Tm de carbonato y para los rojo-arcillosos de 0,15 pH/Tm. Estas dosis corresponden a carbonato puro, los cuales deben ajustarse de acuerdo al contenido de la enmienda a utilizar.

El Servicio Agrícola Ganadero del gobierno de Chile creó el Sistema de Incentivos para la Recuperación de Suelos Degradados, conocido como Programa de Recuperación de Suelos Degradados. El mismo promueve la incorporación de productos equivalentes al carbonato de calcio para elevar el valor de pH hasta 5,8 y disminuir la toxicidad por aluminio a niveles inferiores al 5%, otorgando subsidios que cubren hasta el 80% del costo neto de la operación.

Cuadro V-24. Valores de pH críticos (CR) y óptimos (OP) para algunos cultivos en suelos Trumaos y Rojo-Arcillosos.
(1)grano y forraje

La utilización de este Sistema de Incentivos incrementó la aplicación de enmiendas (Cuadro V-25).

Cuadro V-25. Superficie tratada y toneladas de enmienda aplicadas por el Sistema de Incentivos para la Recuperación de Suelos Degradados.
Fuente: Rojas Walker, C. Proyecto BMPA (comunicación personal)

Las proyecciones de uso del suelo agrícola chileno establecen que la agricultura deberá crecer proporcionalmente al aumento de la demanda interna por alimentos y materias primas, y de la participación del sector agrario en las exportaciones. Este crecimiento generará una presión creciente sobre los recursos naturales, especialmente los suelos, patrimonio escaso, que se en-

[1] *INTA EEA Rafaela - sgambaudo@rafaela.inta.gov.ar*
[2] *Instituto de Tecnología Minera - SEGEMAR - bea@inti.gov.ar*

cuentra a plena capacidad de uso.

Los estudios indican una reducción de la superficie de tierra arable por persona de 0,38 ha en 1995 a 0,26 ha por habitante para el año 2035, debido principalmente al efecto combinado del crecimiento de la población, los procesos degradativos y las pérdidas de suelo por expansión urbana. La disminución de la superficie arable alcanzaría a las 60.000 ha, que si bien no es una

cifra muy significativa, representa alrededor del 60% de la superficie de suelos de clase I de capacidad de uso.

Ecuador

Sebastián P. Gambaudo[1] *y María Beatriz Ponce* [2] *(Ex aequo)*

Las rocas carbonáticas en Ecuador

La geología del Ecuador está denominada por las cadenas montañosas de Los Andes que limitan sus principales regiones geomorfológicas, las cuales de este a oeste comprenden: la Región Amazónica, la Cordillera Real, la Región Interandina, la Cordillera Occidental y la Costa. Los depósitos de rocas calizas se cuentan entre los recursos más importantes, siendo la industria del cemento uno de los mayores consumidores. Existe relacionada a las calizas, la actividad desarrollada por pequeños productores a nivel de subsistencia a cielo abierto y en socavones; el producido es destinado a la producción de cal para elaboración de morteros. Casi el 77% del producido de caliza es proveniente de la Provincia del Guayas en el litoral. Para el año 2000 el Instituto de Estadísticas y Censo de Ecuador reportó una producción de calizas algo superior a las 3.000.000 T

Carbonatos. Su uso en la agricultura de Ecuador

Además de los métodos mencionados para calcular la cantidad de enmienda a agregar, en Ecuador (Espinosa y Molina, 1999) se utiliza el método desarrollado por Cochrane y otros (1980) que tiene en cuenta el Al intercambiable, el porcentaje recomendado de saturación de este elemento (PRS) y la capacidad de intercambio efectiva (CICE), según la fórmula:

$$Ca\,CO_3\ (Tm/ha) = \frac{1{,}8\ (Al - PRS)\ (CICE)}{100}$$

y una variante del mismo, propuesto por Van Raij (1991), expresado en términos de saturación de bases en lugar de acidez, con la ventaja que incluye el factor (f) calidad del material encalante:

$$Ca\,CO_3\ (Tm/ha) = \frac{(VI - V2)\ (CICE)}{100} \times f$$

donde: V1: porcentaje de bases deseado, V2: procentaje de bases que presenta el suelo, f: 100/PRNT.

[1] *Edafología, Colegio de Postgraduados Montecillo - ronues@colpos.mx*
[2] *Instituto de Tecnología Minera - SEGEMAR - bea@inti.gov.ar*

Además existe otro método combinado de práctica utilización:

$$Ca\ CO_3\ (Tm/ha) = \frac{1,5\ (Al - PRS)\ (CICE)}{100} \times f$$

México

Roberto Núñez Escobar [1] *y María Beatriz Ponce* [2]

Las rocas carbonáticas en México

México posee gran diversidad geológica lo que lo hace un importante productor de minerales.

Se puede asumir que geológicamente el territorio mexicano se corresponde con un país joven ya que la mayor parte está cubierto por rocas Mesozoicas esencialmente sedimentarias donde las calizas son una de las más representativas. Asi conforman grandes extensiones de superficies en las que afloran, ofreciendo una gran disponibilidad en este tipo de rocas. En 1998 se reportaron 27 estados productores, de los cuales, la región norte (Coahuila, San Luis Potosí y Nuevo León) participa con el 23.7% del volumen de producción; en el sureste (Quintana Roo, Tabasco y Oaxaca) se concentra el 20.1%; en la porción occidental (Jalisco y Colima) el 19.0%; la parte central (Hidalgo y México) aporta el 16.2% y la noroeste (Sonora, Chihuahua y Baja California) contribuyen con el 10.8%.

El cemento es la industria con una fuerte actividad, cuya materia prima es abastecida por las calizas provenientes de los grandes cuerpos de plataforma del Jurásico y Cretácico correspondientes a los estados de Hidalgo, Morelos, México, Puebla, Jalisco, Colima, Guerrero y Chihuahua.

Básicamente los usos a los que se destinan las calizas son las industrias de la construcción, fundición, química, agroquímica, vítrea. Es interesante mencionar la utilización de rocas en ciudades coloniales a las cuales se las identifica por el color, tal es el caso de la Ciudad Blanca, Mérida capital del estado de Yucatán que debe su nombre por sus edificios construidos con calizas.

La dolomita es explotada esencialmente en Coahuila en:

- Castaños
- Sierra Mojada Guerreo
- Iguala

El proceso al que se somete la caliza que se obtiene desde canteras explotadas a cielo abierto a partir del uso de barrenos y voladuras controladas, incluye el transporte por bandas para su posterior trituración y molienda.

Las reservas probadas son muy importantes y han sido calculadas para 90 años.

Dentro del marco legal normativo de la ley minera (arts. 4° y 5°) no se menciona en forma específica a la caliza, ya que se encuentran exceptuados de la aplicación de la misma las rocas o los productos de su descomposición que solo puedan ser usados para la fabricación de materiales de construcción o se destinen a tal fin.

También en el marco de los acuerdos de libre comercio se otorga la desgravación arancelaria para el caso de la caliza.

Otra de las aplicaciones de la caliza es por su efecto neutralizador en tierras ácidas.

Con relación a la forma de comercialización una vez hecha la explotación del mineral, el primer paso, cuando no se es beneficiador, es la venta del producto a las empresas transformadoras; básicamente las caleras. Este paso solamente se da en los casos en que el productor no tenga los medios de beneficio mineral.

Una buena parte de los beneficiadores posee su propia cantera; sin embargo, en los casos en que se le compra a un tercero, ya sea por falta de producción de mineral o por falta de cantera, la venta es directa productor-beneficiador y no hay intermediarios en el proceso. La operación es directa entre el gerente o líder de productor y el comprador.

Se calcina el producto y se realiza la venta a un distribuidor o comercializador que pondrá el producto al alcance del consumidor final. Raras veces, el producto pasa de un distribuidor o comercializador mayorista a uno minorista.

Unidad y Subunidad	Superficie (10^3 ha)
Gleysol mólico	1 717.3
Gleysol húmico	413.9
Cambisol districo	846.9
Cambisol húmico	9.5
Andosol húmico	746.6
Andosol ócrico	292.1
Andosol vítrico	7 334.3
Planosol districo	139.0
Acrisol órtico	641.1
Acrisol férrico	139.5
Acrisol plíntico	56.4
Acrisol gléyco	42.5
Nitosol districo	626.8
Histosol districo	122.4
Total	13 128.3

Cuadro V-26: Superficie ocupada por suelos ácidos en la República Mexicana, según la clasificación FAO-UNESCO (Dirección General de Agrología, 1973).

Según el Sistema de Información Comercial de México, los principales países compradores de carbonato de calcio mexicano son: Estados Unidos (73.0%), Cuba (15.6%), Venezuela (5.3%) y Colombia (2.7%).

Carbonatos. Su uso en la agricultura de México

Dado que la posibilidad del uso económico de la roca fosfórica como fertilizante se circunscribe a los suelos ácidos, es de interés conocer la superficie ocupada por suelos ácidos en la República Mexicana. En el Cuadro V-26 se reporta la superficie ocupada por los diferentes suelos ácidos de México, de acuerdo a la clasificación de la FAO (Dir. Gral. de Agrología, 1973).

De acuerdo a este estudio puede observarse que la superficie total ocupada por suelos ácidos en la República Mexicana es de 13.128 millones de hectáreas, lo que representa el 6,7% del territorio nacional. Estos suelos se ubican principalmente en la zona intertropical, con abundante precipitación pluvial. Un total de 8.373 millones de hectáreas de suelos ácidos corresponden a Andosoles, principalmente vítricos y se ubican en el Eje Neovolcánico, que atraviesa el país desde los Tuxtlas, al Sur de Veracruz, en el Golfo de México, hasta Nayarit y Colima en el Océano

Pacífico. En segundo orden de importancia se tiene a los Gleysoles, Cambisoles, Acrisoles y Nitosoles (estos dos últimos corresponden a los Ultisoles de la clasificación Americana) que se localizan principalmente en la zona lluviosa de Tabasco, Chiapas y Sur de Veracruz.

Los suelos ácidos del Sureste de México están dedicados principalmente a pastizales o al cultivo de café, cacao, yuca, plátano, caña de azúcar o piña, mientras que los de mayor altitud, clasificados en su mayor parte como Andosoles, están ocupados por bosques de coníferas o dedicados al cultivo de maíz o frutales caducifolios de clima templado.

Del total de los suelos ácidos de la República Mexicana, unos seis millones de hectáreas están cubiertas de bosque y aproximadamente cinco millones de hectáreas están dedicadas a pastizales. Aunque tanto en especies forestales como en pastos se ha detectado una insuficiencia natural de fósforo, su fertilización todavía no es una práctica usual. Las aproximadamente dos millones de hectáreas de suelos ácidos restantes son dedicados a la agricultura, en las que habitualmente se aplican fertilizantes fosfatados de alta solubilidad, en dosis de 40 a 150 kg de P2O5 por hectárea. Los fertilizantes fosfatados usuales son superfosfatos simple, triple o fosfato diamónico. No se acostumbra la aplicación directa de roca fosfórica.

En cuanto a los minerales que pueden ser utilizados como enmiendas de suelos ácidos, la calcita es muy abundante en el territorio mexicano; su acumulación en el suelo es propiciada bajo climas árido y semiárido, los cuales cubren el 82% de la superficie del país, especialmente en el Norte, en latitudes superiores a 20ºN. Los Calcisoles, suelos caracterizados por tener un horizonte cálcico, petrocálcico o con caliza pulverulenta blanda en los primeros 125 cm de su perfil, ocupan 35.6 millones de ha (18.2% del territorio nacional), principalmente en los Estados de Chihuahua, Coahuila, Sonora, Zacatecas, San Luis Potosí y Nuevo León. Por su parte los Leptosoles, caracterizados por contener más de 40% de $CaCO_3$ en su perfil, o bien por tener una capa cementada de este material en los 30 cm superficiales, son suelos que ocupan 46.9 millones de ha (24.0% del territorio nacional), principalmente en los Estados de Chihuahua, Coahuila, Durango, Quintana Roo, Oaxaca y Yucatán.

Por lo anterior, las necesidades de encalado se circunscriben a los suelos ácidos con clima cálido húmedo del Sureste del país, que en total representan el 6.7% del territorio nacional. En esta zona dominan los suelos dedicados a la ganadería y los cubiertos de vegetación natural, por lo que la práctica de encalado no está muy extendida. El consumo de cal agrícola en el país no está bien determinado debido entre otras razones, a que parte de la cal que se aplica al campo es adquirida como cal hidratada para construcción; sin embargo es muy probable que no rebase 20,000 Tm/año (Aguilar et al., 1994).

En los Estados de Chiapas y Jalisco se han reportado casos de terrenos agrícolas que se han acidificado a valores de pH menores de 4.8 por el uso sistemático de dosis elevadas de sulfato de amonio a través de 10 ó m{as años. En ellos ha sido necesaria la aplicación de cal agrícola en dosis de 2 a 4 Tm .ha-1. La periodicidad de esta aplicación puede variar de anual a cada cinco años, dependiendo de las características del suelo. Es conveniente usar cal dolomítica para evitar

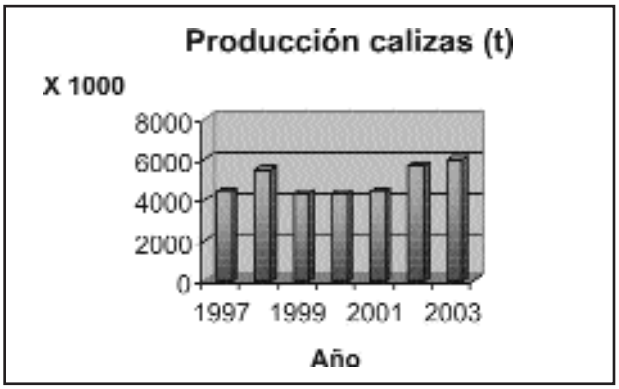
[1] *Universidad Nacional Agraria La Molina - gaguirre@lamolina.edu.pe*
[2] *INTA EEA Rafaela - sgambaudo@rafaela.inta.gov.ar*
[3] *Instituto de Tecnología Minera - SEGEMAR - bea@inti.gov.ar*

el desbalance Ca/Mg en la nutrición de las plantas.

La producción de dolomita en México, según datos de la Dirección General de Minas de la Secretaría de Economía, ha ido en aumento, registrándose 403,664 Tm en el año 2000 para llegar a 1.158.929 Tm en el 2004; sin embargo, este material es fundamentalmente para usos industriales.

Perú

Guillermo Aguirre Yato Gambaudo[2] y María aequo)



[1], Sebastián P. Beatriz Ponce[3] (Ex

Las rocas carbonáticas en Perú

La geología de este país permite diferenciar estructuras las cuales se distribuyen según franjas subparalelas y entre las que se mencionan:

1. Cordillera de la costa
2. Llanuras preandinas
3. Cordillera Occidental
4. Franja de Volcanes activos
5. Franja Interandina
6. Cordillera Oriental
7. Franja Subandina
8. Llano Amazónico

Las calizas constituyen una de las rocas más abundantes, siendo los cercanos a la Costa los más accesibles y cercanos a la ciudad de Lima los que son objeto de explotación e industrialización. Estos depósitos son de edad cretácica y pertenecen a las Formaciones Atocongo y Chilca, se destinan esencialmente a la fabricación de cemento. En la costa de Ancash se han encontrado yacimientos relativamente pequeños de las calizas Santa (Cretácico inferior), en tanto de la Formación Simbal se abastece la ciudad de Trujillo. También los departamentos de Lambayeque y Piura también se explotan calizas siendo del tipo conchilla en el segundo caso. Depósitos de coquina abundantes se desarrollan entre Pisco y Tacna.

En la Cordillera Occidental se encuentran calizas aflorantes de los valles donde la cubierta volcánica fue removida por erosión. Estas calizas constituyen una transición entre los yacimientos de la Costa y la Franja Interandina. Hacia el norte las calizas de mayor interés son las cretácicas de la Formación Cajamarca empleadas para fabricación de cemento y cal; en tanto en la zona central de Perú las calizas Jurásicas Condorsinga son las mejores para la fabricación de cemento.

La Cordillera Oriental contiene a las calizas del Grupo Pucará en tanto en la Franja Interandina ya

Figura V-15. Mapa de Recursos No metálicos de Perú

los calcáreos corresponden a travertinos similarmente a los de la Franja del Vulcanismo Activo.

Las explotaciones más importante se encuentran en el valle del Mantaro, departamento de Junín.

El sur del país es más pobre en calizas comparativamente a las regiones norte y centro. En el departamento de Puno el cemento se elabora de las calizas de Ayabaca. La Franja Subandina en la localidad Loma Larga (Tarma-Jauja, Junín) contiene calizas mesozoicas que podrían ser aprovechadas como abono por su contenido de fosfato (Figura V-15 Mapa geológico).

Zona	*Sitios alrededor de*	*Superficie estimada (ha)*	*pH*	*Recomendación Dolomita (kg/ha)*
Aguaytia	Huipoca	36.000	Entre 4,3 – 5,0 (50% del área)	2.000
			< 4,3	4.000
Alto Huallaga	Tingo María	16.000	4,3 – 5,0	2.000
Alto Huallaga	Tancacha y Uchiza	37.000	< 4,3	4.000
Huallaga Central	Moyambamba y Rioja	15.000	< 4,3 (100% del área)	4.000
Huallaga Central	Tres Unidos	1.000	< 4,3 (100% del área)	4.000
Huallaga Central	Valle de Sisa	5.500	> 4,3 (100% del área)	2.000

Cuadro V-27. Area de trabajo, superficie estimada, valor de pH del suelo y dosis de dolomita a utilizar para recuperación de suelos de la Amazonia Peruana.

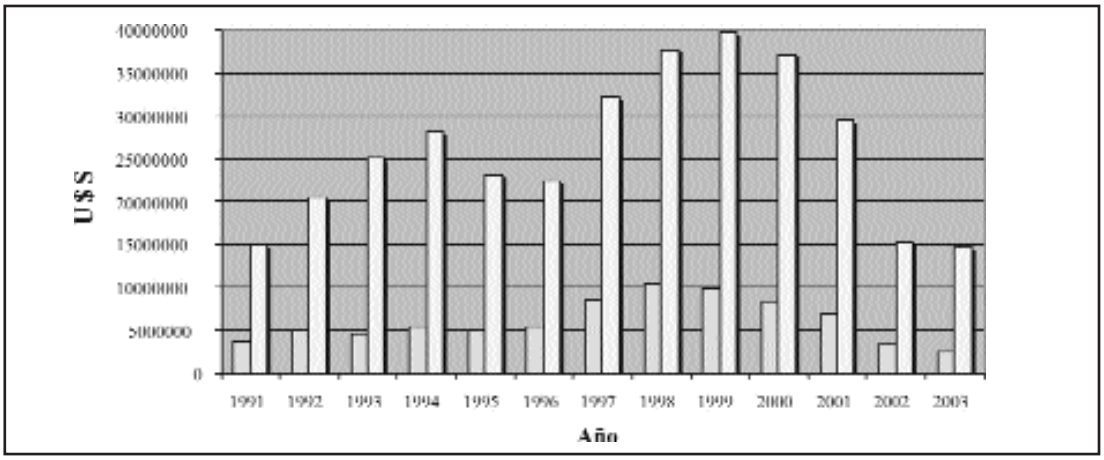
El uso de las calizas está dirigido esencialmente a la industria del cemento. En proporciones menores es empleada como suplemento mineral en el consumo animal por el aporte de calcio.

De acuerdo a lo publicado en el Anuario 2004 por el Ministerio de Energía y Minas de Perú en el período 1997-2003 la producción de calizas fue en toneladas (Figura V-16):

Figura V-16. Producción de Calizas en Perú

Carbonatos. Su uso en la agricultura de Perú

El Perú presenta unas 49.200.000 ha de suelos ácidos que se encuentran distribuidos en la Zona Alto Andina de la Sierra y en la Selva; corresponden a suelos Ultisoles, en los cuales es común encontrar un 65% de saturación de aluminio.



El Ministerio de Agricultura del Perú en su Programa para el Desarrollo de la Amazonia estimó que la deforestación alcanza unas 100.000 ha por año, debido fundamentalmente a la "agricultura migratoria", que se dedica al cultivo de coca a través de la practica de "la tala y quema" de árboles. Los bosques son quemados, la coca es sembrada y cuando los campos se agotan de nutrientes, se talan nuevos bosques repitiéndose el ciclo indefinidamente. Ante tal situación se desarrolló un trabajo de recuperación y manejo de suelos degradados a través de una estrategia simple, efectiva y de corto - mediano plazo. Comprendió las zonas de Aguaytía, Alto Huallaga y Huallaga Central, en donde se llevaron a cabo prácticas de recuperación de la fertilidad de los suelos, entre las cuales figuraba la corrección de la acidez edáfica, cuyas recomendaciones se sintetizan en el Cuadro V-27.

[1] *Departamento de Geología - Facultad de Ciencias (Universidad de la República) Iguá 4225. CP 11400, Montevideo - Uruguay.*
[2] *Dirección Nacional de Minería y Geología - Ministerio de Industria, Energía y Minería. Hervidero*

Si bien el costo inicial de las enmiendas y su aplicación es relativamente alto, el análisis de costo-beneficio del primer ciclo presentó rentabilidad en todos los sistemas mecánicos a corto y mediano plazo propuestos por el proyecto.

En estos suelos predominan tres órdenes: Entisols, Inceptisols y Ultisols. Los Inceptisols están localizados en las terrazas bajas y medias (lomas), más alejadas de los ríos, y son de fertilidad natural baja a media. Los Ultisols se encuentran en terrazas elevadas y su fertilidad natural es baja, con altas concentraciones de aluminio y por lo tanto son suelos ácidos. La razón por la cual estos suelos son ácidos con pocos nutrientes es el proceso natural de edafización o intemperización de los minerales cristalinos. La Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva (CICE) varía de 4 a 8 Cmol(+)/L con niveles de aluminio mayor a 80% de todos los iones intercambiables.

Los agricultores que practican el sistema de tumba y quema, normalmente abandonan el área después de dos años y dejan crecer el bosque otra vez para recuperar el suelo. Este bosque secundario necesita por lo menos 20 años para su recuperación, aunque los agricultores nunca esperan y por consiguiente se siguen degradando los suelos.
La mejor forma de disminuir los niveles de aluminio de los suelos ácidos en el Perú, es aplicar roca fosfórica y dolomita donde no solamente sé esta aplicando fósforo, sino también calcio, magnesio y algunos micronutrientes. El proyecto AMAZONIA recomienda:

- Aplicar la enmienda al voleo, el 50% de la dosis antes del primer paso del tractor y el 50% restante después, usando un arado de disco a 20-30cm de profundidad.

- Esperar 30 días después de la aplicación de las enmiendas para sembrar los cultivos.

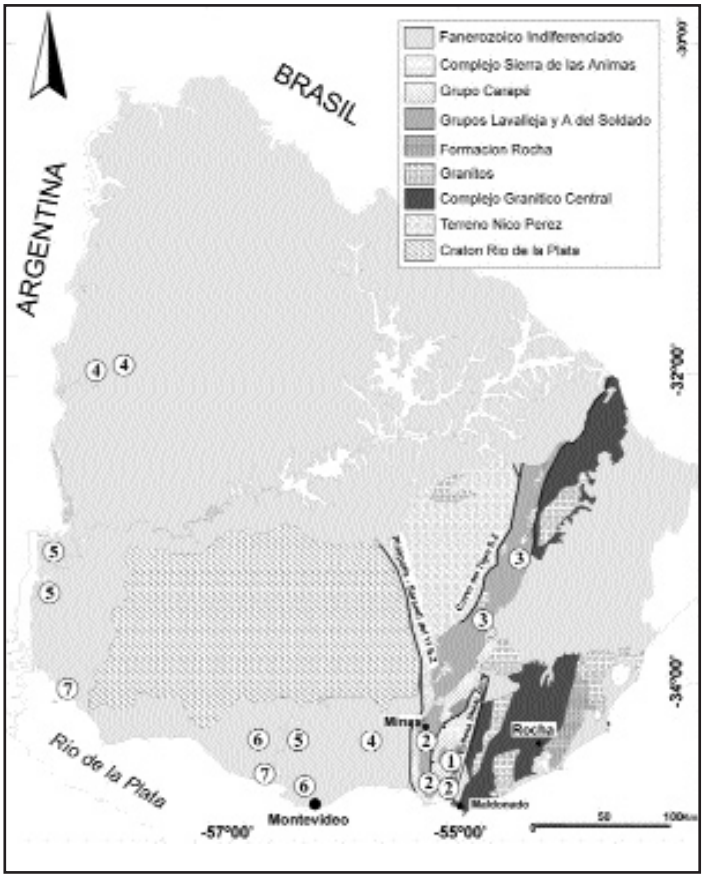
- La aplicación de las enmiendas de roca fosfórica y dolomita en grandes cantidades una sola vez para satisfacer las necesidades de los nutrientes, corregir los problemas de acidez y toxicidad de aluminio. Se pretende lograr un 20% de saturación para un efecto residual a cinco años.

Uruguay

Pecoits, E.[1], Spoturno, J.[1-2] & Aubet, N.[1]

Introducción

Históricamente la producción de carbonatos en el Uruguay ha estado ligada a su desarrollo económico y consecuentemente al crecimiento del PBI. Nuestro país cuenta con reservas muy importantes de carbonatos situadas en el este (departamentos de Treinta y Tres, Cerro Largo, Lavalleja y Maldonado) y en el litoral oeste (departamento de Paysandú). Dadas las características de estos depósitos y de nuestros suelos, casi la totalidad del carbonato extraídos se destina a la industria cementera y de cales, siendo ocasional su aplicación como corrector de la acidez de los suelos. La influencia de estos en la producción mineral nacional es de considerable importancia, tal como se desprende del análisis de la Figura V-17.
Figura V-17. Producción de carbonatos y producción mineral total en dólares americanos (Fuente: Estadísticas



DINAMIGE).

Recursos Mineros

En el Uruguay se identifican depósitos carbonáticos precámbricos y fanerozoicos cuyo origen y edad condiciona eventualmente sus tenores. Los carbonatos precámbricos (comúnmente denominados metamórficos) se concentran exclusivamente en rocas del Neoproterozoico-Cámbrico (este-noreste del país) mientras que los carbonatos de origen sedimentario se reconocen en depósitos de edades Cretácico Superior y Terciario (noroeste-oeste y centro-sur). La identificación de estos recursos ha sido resultado de relevamientos cartográficos a escala regional y de semi-detalle así como de investigaciones destinadas a su exploración, principalmente para la industria cementera.

Teniendo en cuenta su relevancia para la industria extractiva y del agro, se presenta a continuación, una breve descripción de las distintas unidades geológicas que contienen este recurso (ver Figura V-18)

Grupo Carapé

Las unidades calcáreas definidas en este Grupo, de edad neoproterozoica, se enmarcan en una geología compleja siendo reconocidas como parte de una sucesión volcano-sedimentaria y otra exclusivamente sedimentaria afectadas por metamorfismo de grado variable y estilos deformacionales diferentes. Rossini & Aubet (2000) definieron dos unidades litotectónicas donde los litotipos calcáreos muestran características geoquímicas diferentes: Unidad Carapé y Unidad Zanja del Tigre.

En la Unidad Carapé, afectada por metamorfismo de facies anfibolita, las rocas calcáreas se interestratifican con metamargas, granate-muscovita esquistos, cuarcitas a diópsido y biotita esquistos, registrándose episodios volcánicos ácidos de tipo piroclásticos. La presencia de estos

niveles efusivos, así como su estructura geológica, permite la diferenciación de tres asociaciones, siendo la Asociación 3 (Unidad Carapé Norte) la que muestra los tenores de carbonato de calcio más favorables: 92% $CaCO_3$, 1% MgO, 7% otros.

Por otra parte, las rocas metacalcáreas de la Unidad Zanja del Tigre se interestratifican con litologías únicamente paraderivadas (filitas muscovíticas, metareniscas arcósicas y metaconglomerados). Los litotipos carbonáticos más comunes son los mármoles, esquistos calcáreos y esquistos dolomíticos (metadolomías). Esta sucesión presenta una paragénesis metamórfica correspondiente a facies esquistos verdes mostrando una deformación principalmente de tipo rúptil.

Desde el punto de vista geoquímico, los metacalcáreos de esta contienen elevadas proporciones de MgO en relación inversa a los de la Unidad Carapé siendo común para ambos bajos porcentajes de minerales silicáticos. Los tenores promedio para esta Unidad son: 82% $CaCO_3$, 16% MgO, 2% otros.

Grupo Lavalleja

El Grupo Lavalleja representa una secuencia volcano-sedimentaria neoproterozoica afectada por metamorfismo en facies esquistos verdes. Ocurre en el sector sureste de Uruguay desarrollándose con una dirección general noreste. En esta unidad, se reconocen paquetes metasedimentarios (metapelitas, metareniscas, metacalizas), metavolcánicos ácidos (metariolitas y metadacitas) y metavolcánicos básicos (metandesitas, metabasaltos, metagabros). La potencia total de la sucesión es aún desconocida estimándose en el entorno de los 1500 metros.

Figura V-18. Distribución de los depósitos calcáreos del Uruguay. 1) Grupo Carapé; 2) Grupo Lavalleja; 3) Formación Polanco; 4) Calizas del Queguay; 5) Formación Fray Bentos; 6) Formación Libertad; 7) Formación Villa Soriano. (modificado de Sánchez, 1998).

Los litotipos calcáreos corresponden a: mármoles calcíticos y dolomíticos, calizas, esquistos calcáreos, calizas dolomíticas y dolomías. Se presentan como cuerpos elongados continuos de dimensiones kilométricas y como estructuras lentiformes asociadas principalmente a litologías efusivas.

Del análisis de los resultados químicos realizados en calizas (Sánchez Bettucci et al., 1999) se reconoce la existencia de zonas caracterizadas por:

A) Altos porcentajes de $CaCO_3$ (superiores al 90%) donde las relaciones de MgO raramente superan el 3% (porcentaje en peso) y

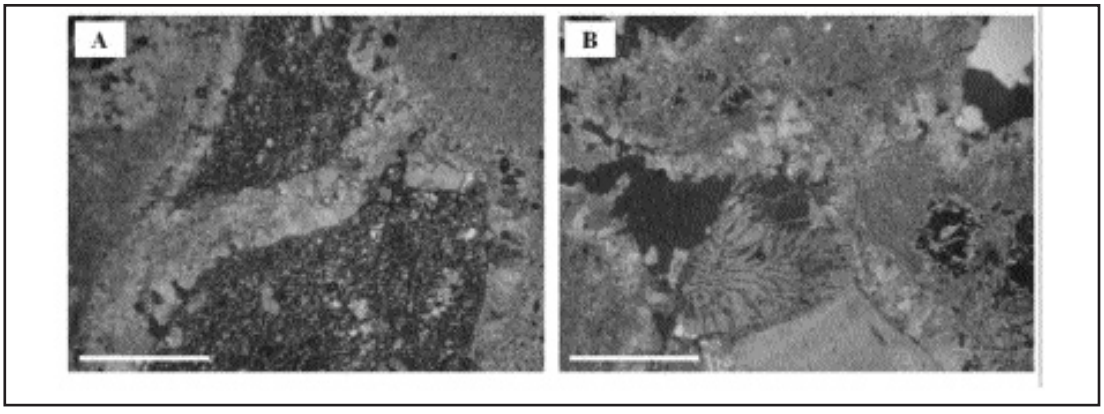
B) otras con predominio de calizas magnesianas mostrando titulaciones próximas al 60% de $CaCO_3$ y tenores de MgO y CaO promedio al 13% y 28% respectivamente.

En Cantera Mina Verdún (departamento de Lavalleja) un estudio expuesto por Poiré et al (2003) señala la ocurrencia de niveles calcáreos con una potencia aproximada a los 170 m. Los citados autores reconocen calizas estromatolíticas, calizas laminadas y masivas cuyo tenor promedia el 84% de $CaCO_3$ intercaladas con niveles calcáreos cuyo tenor máximo es de 42% de $CaCO_3$.

Unidad	Reservas Probadas	Reservas Probables	Reservas Posibles
Calizas del Queguay	18	12	10
Formación Polanco (Depto Treinta y Tres)	2	16	40
Grupo Lavalleja	4	19	15
Grupo Carapé	-	2	10

Cuadro V-28. Reservas de calizas calculadas para las diferentes unidades litoestratigráficas. Valores expresados en 10 6 toneladas. (Modificado de Bossi & Navarro, 2000).

Con menor desarrollo ocurren dentro de este Grupo, niveles dolomíticos de gran pureza. Este es el caso de Mina Valencia, donde tradicionalmente se explotaba un banco de 40 metros de poten-



cia con porcentajes promedios de 99% de $MgCO_3$. Si bien este emprendimiento actualmente se encuentra inactivo, existen pequeñas canteras donde su extracción es habitual.

Formación Polanco

Se asignan a esta unidad calizas aflorantes en los departamentos de Lavalleja, Treinta y Tres y Cerro Largo (este-noreste del Uruguay) relacionadas genéticamente con pelitas y areniscas de

edad neoproterozoica superior del Grupo Arroyo del Soldado (Gaucher et al, 1996). Corresponden a calcáreos grises a gris oscuro a veces interestratificados con niveles dolomíticos primarios y afectadas por metamorfismo regional de grado muy bajo y deformación dúctil en ocasiones mostrando patrones de interferencia a gran escala (domos y cubetas). A partir del análisis de la cartografía de semidetalle del área se ha estimado un área de afloramiento, para esta unidad, de aproximadamente 50 Km^2.

Se trata de calizas donde la titulación (% eq. $CaCO_3$) promedia el 90% siendo la ley media de MgO de 4% aproximadamente (Rossini et al, 2000). Otros datos señalan proporciones de $CaCO_3$ superiores al 80%; $MgCO_3$ no mayor al 10% con una media de MgO de 5% (Roth et al, 1980). Se estima una potencia total de 500 metros.

Actualmente, la principal planta de extracción implantada sobre litotipos calcáreos de Formación Polanco (Cantera La Plata) se localiza al sur de la ciudad de Minas (departamento de Lavalleja).

Calizas del Queguay

Esta unidad presenta espesores variables alcanzando un máximo de 40 metros; su distribución geográfica coincide, en términos generales, con los bordes de los depósitos del Cretácico Superior (litoral oeste). La edad y origen de las calizas sedimentarias del Queguay son aún inciertas. Diversos autores han asignado edades que van desde el Cretácico Superior hasta el Paleoceno (ver por ejemplo Sprechmann et al., 1981; Veroslavsky & Martínez, 1996) y su origen ha sido atribuido al desarrollo de cuerpos lacustres así como a procesos de calcretización y pedogenéticos vinculados a la circulación de aguas subterráneas.

Los principales depósitos se localizan a lo largo del valle del Río Queguay en su curso inferior y medio en el departamento de Paysandú. Las principales litologías corresponden a calizas y calizas arenosas, interestratificadas con sedimentos silicoclásticos, con niveles de silicificación variable. La composición química media es la siguiente: 8.93% SiO_2, 0.45% Al_2O_3, 0.13% Fe_2O_3, 0.02% TiO_2, 47.60% CaO, 1.76% MgO, <0.01 Na_2O, 0.11% K_2O, 0.02% S, 0.03% MnO, 0.01% P_2O_5, 40.79% PPC.

La Cantera ANCAP (Paysandú) realiza una explotación a cielo abierto sobre cuerpos de geometría tabular en ocasiones lenticular dispuestas subhorizontalmente. Las reservas potenciales de esta región se estiman en el orden de varios cientos de millones de toneladas (cuadro V-28).

Formaciones Fray Bentos y Libertad

Varias ocurrencias carbonáticas se asocian a niveles edafizados (paleosuelos) de unidades sedimentarias del Oligoceno Superior (Fm. Fray Bentos) y del Pleistoceno (Fm. Libertad).

Son frecuentes los horizontes calcretizados tabulares y continuos los cuales representan interesantes acumulaciones de carbonato de calcio, de importante extensión y con una potencia no superior a 1.5m (Spoturno et al., 2005). Estas concentraciones están asociadas a limolitas de

ORDEN I. SUELOS POCO DESARROLLADOS	ORDEN II. SUELOS MELÁNICOS
Gran Grupo I.1 **Litosoles** / Gran Grupo I.2 **Arenosoles** / Gran Grupo I.3 **Fluvisoles** / Gran Grupo I.4 **Inceptisoles**	Gran Grupo II.1 **Brunosoles** / Gran Grupo II.2 **Vertisoles**
ORDEN III. SUELOS SATURADOS LIXIVIADOS	**ORDEN IV. SUELOS DESATURADOS LIXIVIADOS**
Gran Grupo III.1 **Argisoles** / Gran Grupo III.2 **Planosoles**	Gran Grupo IV.1 **Luvisoles** / Gran Grupo IV.2 **Acrisoles**
ORDEN V. SUELOS HALOMÓRFICOS	**ORDEN VI. HIDROMÓRFICOS**
Gran Grupo V.1. **Solonetz** / Gran Grupo V.2. **Solonetz Solodizados** / Gran Grupo V.3. Solods	Gran Grupo VI.1. **Gleysoles** / Gran Grupo VI.2. **Histosoles**

Cuadro V-29. Clasificación de suelos del Uruguay según Durán (1991).

Gran Grupo	Miles de Km^2	%
Arenosoles	1.2	0.7
Acrisoles	6.8	3.9
Luvisoles	6.1	3.5

Cuadro V-30. Superficie areal que ocupan los diferentes grandes grupos de suelos con problemas de acidez.

Formación Fray Bentos (Figura V-19).

Por otra parte, subordinadas a limos (loess) de la Formación Libertad, ocurre carbonato de tipo nodular y pulverulento en general disperso en la matriz.

Figura V-19. Microfotografías de preparados petrográficos correspondientes a la Formación Fray Bentos. A) Calcretización de limolitas con clastos dispersos en la matriz donde se observan fenómenos de fractura y relleno (LP x 50). B) Detalle de dos generaciones de cemento: 1ª circungranular y 2ª de grano fino sustituyendo la matriz (LP x 50). Escala: longitud de la barra 1mm.

Ambas unidades litoestratigráficas se distribuyen en buena parte del territorio siendo los afloramientos característicos la porción sur-suroeste del Uruguay para la Formación Fray Bentos mientras que la Formación Libertad se distribuye particularmente en la región sur y centro sur del país.

Formación Villa Soriano

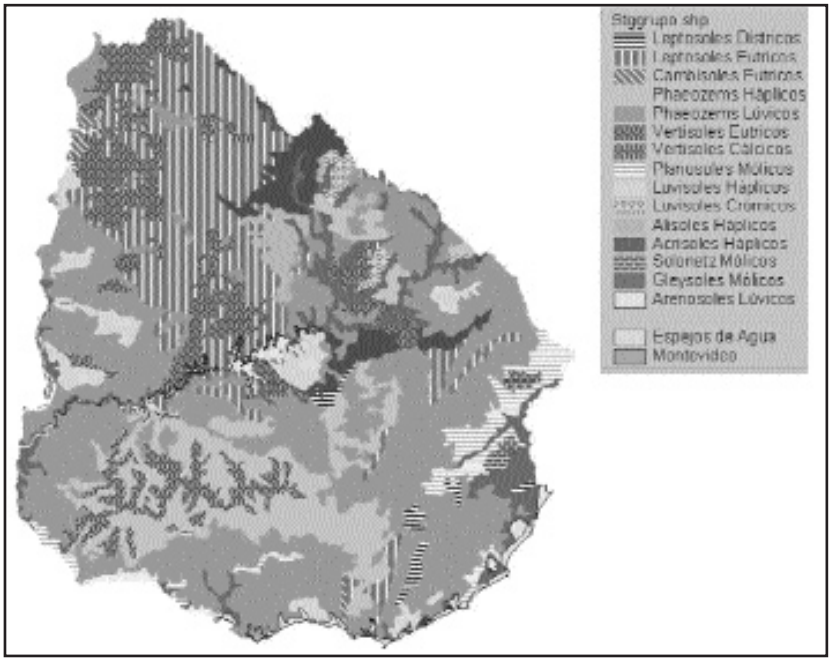
La Formación Villa Soriano ha sido fuente secundaria y alternativa de calcáreos destinada principalmente a la producción de cal y a la fabricación de raciones para animales de granja. El carbonato de calcio proviene de acumulaciones fosilíferas constituidas por bivalvos ubicadas dentro de bancos arenosos vinculados con ingresiones marinas del Cuaternario. Los depósitos se asocian a la faja costera del Río de la Plata, Océano Atlántico y Río Uruguay en su porción litoral sur.

Necesidades agrícolas

Pese a que Uruguay presenta una reducida extensión sin accidentes geográficos de relevancia así como un clima homogéneo en todo su territorio, muestra una amplia variabilidad en lo que a los tipos de suelos se refiere. Ello se debe a la gran diversidad de materiales geológicos sobre los cuales se implantan, desde rocas muy antiguas correspondientes a un basamento cristalino precámbrico hasta sedimentos cuaternarios (Durán, 1991).

Nuestros suelos son deficitarios en fósforo y nitrógeno, en tanto que el potasio y el calcio ocurren con frecuencia debido a la ocurrencia de un material parental (granitos, basaltos) que aporta dichos elementos asegurando un pH adecuado para la actividad agronómica. Básicamente en la industria del agro el carbonato de calcio se utiliza como corrector de suelos, proceso comúnmente denominado encalado. Dicho proceso se efectúa en algunos tipos de suelo cuyas propiedades físico-químicas manifiestan un pH ácido (menor a 6), texturas livianas, baja capacidad de intercambio catiónico y alta permeabilidad. Son suelos arenosos y franco-arenosos, poco estructurados y con baja diferenciación de perfil.

El aporte de calcio se realiza como Ca^{2+} intercambiable de relativa y fácil capacidad de retención por parte de la escasa fracción arcilla presente en estos suelos. El encalado disminuye la acidez propiciando el desarrollo de bacterias radiculares que permiten una mejor absorción de agua y micronutrientes a la planta.



En nuestro país, la disponibilidad de carbonato se obtiene a partir de la extracción en canteras a cielo abierto. Posteriormente el material es sometido a un proceso de calcinación e hidratación (cal apagada) el que finalmente es triturado a un tamaño adecuado para su uso.

Según Durán (1991) en Uruguay ocurren suelos pertenecientes a los siguientes Ordenes (cuadro V-29).

De la clasificación ex-

puesta, los suelos que presentan problemas relativamente importantes de acidez son: Arenosoles (Hapludalfs & Quartzipsamments), Acrisoles (Hapludalfs & Hapludults) y Luvisoles (Hapludalfs). El siguiente cuadro resume la distribución porcentual que ocupan cada uno de estos suelos en el país (cuadro V-30).

En lo que sigue se exponen algunas de las principales propiedades físico-químicas de los mencionados tipos de suelo extraídas de Durán (1991).

Arenosoles

Abarcan toda la franja costera del sur y este del país (Figura V-20). Son suelos poco desarrollados con horizontes de tipo A y C. Presentan textura arenosa franca o arenosa en todos sus horizontes. La retención de agua es muy baja, la infiltración y la conductividad hidráulica son rápidas. La capacidad de intercambio catiónico es muy baja y la estructura es débil o inexistente. El uso actual es muy restringido, no tienen un valor agronómico significativo. Poseen una baja fertilidad que debe corregirse a partir del aporte de nitrógeno, fósforo y potasio así como el agregado de calcio en el control de la acidez.

Luvisoles

Se desarrollan sobre coluviones de formaciones cuaternarias continentales (Formación Las Arenas), sobre areniscas de las formaciones Cerrezuelo (Devónico), Yaguarí (Permo-Triásico), Tacuarembó (Triásico), Míguez (Cretácico) y Salto (Terciario). Estas unidades se reconocen principalmente en la región centro y norte, litoral oeste y sur del país (Figura V-20). Son suelos donde la desaturación afecta la parte superior del horizonte B, siendo muy elevado el contenido de aluminio intercambiable en dicho horizonte. Su uso es casi exclusivamente ganadero, no obstante ocurren cultivos de soja, tabaco y maní. La capacidad de retención de agua es elevada debido al horizonte A liviano y profundo y al horizonte B de textura más fina. El drenaje natural es bueno. Presentan contenido de fósforo muy bajo y de potasio de medio a bajo y son fuerte a medianamente ácidos.
La acidez es elevada pero no excesiva en el horizonte superficial donde el pH promedio es 5.6 en tanto que en profundidad la reacción puede ser más ácida. La fertilización es imprescindible y el encalado es necesario debido al alto tenor de aluminio y la fuerte acidez.

Acrisoles

Son los suelos más lixiviados y meteorizados dentro del Orden 4 (Figura V-20). Se localizan asociados a materiales parentales tales como las areniscas de las formaciones San Gregorio-Tres Islas (Permo-Carbonífero), Tacuarembó (Jurásico) y Las Arenas (Cuaternario).

Presentan una intensa desaturación del perfil donde afecta incluso hasta el horizonte C. La sa-

[1] *Facultad de Agronomía - Universidad Central de Venezuela - casanovaen@cantv.net*
[2] *Instituto de Tecnología Minera - SEGEMAR - bea@inti.gov.ar*

turación en bases es muy baja. La presencia de materia orgánica siempre es baja a muy baja. El contenido de aluminio intercambiable es aún mayor que el de los Luvisoles. La capacidad de retención de agua es baja.

Estos suelos son más pobres que los Luvisoles debido a su mayor acidez, mayor contenido de aluminio intercambiable y menor contenido de materia orgánica. La fertilización es imprescindible, particularmente fósforo, nitrógeno y potasio. Por otra parte, la presencia de intensa acidez requiere frecuentes encalados.

Figura V-20. Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay (Fuente: FAO 1998).

Venezuela

Eduardo Casanova [1] y María Beatriz Ponce [2] (Ex aequo)

Las rocas carbonáticas en Venezuela

Desde el punto de vista geológico se distinguen en el país tres grandes unidades morfoestructurales: el Escudo Precámbrico, los Andes Venezolanos y la cordillera de la Costa y las Formaciones Sedimentarias del norte. De las cinco provincias que comprenden el Escudo Precámbrico, se identifica la presencia de dolomita en el Complejo de Imataca la que se encuentra asociada a rocas metamórficas y posee como destino principal los centros siderúrgicos de Puerto Ordaz.

La cordillera de la Costa por su parte posee importantes reservas de calizas y dolomitas, estas últimas de muy alta calidad asociadas a secuencias metamórficas correspondientes a las zonas de Yaritagua, Yaracuy y Puerto Cabello-Patanemo, Estado Carabobo. Esta roca dolomítica se presenta como estratos con una importante producción destinada a los sectores de refractarios,

vidrio y cerámica.

Las calizas también en forma de estratos que poseen menos del 90% de $CaCO_3$ se explotan en canteras a cielo abierto en las cercanías de las ciudades de Caracas, Valencia, Maracay, Puerto Cabello, Villa de Cura, Cagua y Los Teques.

Las Formaciones Sedimentarias del sector norte del país contienen importantes yacimientos de calizas y dolomitas, habiendo sido datadas junto a cuerpos arrecifales del Paleoceno, aflorantes al este de San Juan de Los Morros. Se trabajan a cielo abierto con una pureza variable entre el 97 y 98%, siendo destinadas a la fabricación de fertilizantes, cal, alimento de ganado, pinturas, perforaciones petrolíferas, plásticos, cauchos, cemento, papel e industria química.

Los Andes Venezolanos son proveedores de materiales con un alto contenido de P, Ca, Mg, S y K los que son usados directamente como fertilizantes.

Potencial Geológico Minero de Calizas

En Venezuela existen yacimientos de calizas primordialmente en las zonas de alto relieve o de cordilleras, las cuales por su constitución geológica poseen numerosas formaciones de calizas y, por consiguiente, las mayores posibilidades de reservas.

Las calizas en las cordilleras ocurren en formaciones sedimentarias del Mesozoico.

Cordillera del Norte o de la Costa

La existencia de calizas en Falcón está relacionada principalmente al desarrollo de arrecifes durante la evolución geológica de la cuenca. Así, existen dos desarrollos importantes: uno al Norte, que corresponde a lo que es hoy en día la Sierra de San Luis y el área de Cumarebo, y otro al Sur, paralelo al primero, que es la franja calcárea de Churuguara y que se extiende hacia el este, hasta las inmediaciones de Turacas.

De todas las calizas de Falcón, las de mejor calidad y mayor volumen son las pertenecientes a las formaciones San Luis y Churuguara. Son calizas arrecifales, densas, con altos porcentajes de carbonato de calcio.

Las calizas de la Formación Capadare, en la parte oriental de Falcón, desarrollan grandes espesores, pero su alto contenido de fósforo y magnesio las hacen indeseables para la industria del cemento. En el clínker, el límite permisible de P_2O_5 y el producto final el valor máximo permisible para el MgO es de 5,2%. En el Cuadro V-31 se señala el resultado de los análisis químicos de muestras de rocas de ésta unidad litológica; se destaca que los valores de esos dos elementos están muy por encima de los límites permitidos. Sin embargo, por esta misma razón, estas calizas son altamente deseables para la producción de cal agrícola fosfatada.

Las formaciones que se reconocen pertenecen al Mesozoico inferior y medio, encontrándose:

• **Formación Antímano.** Constituida por calizas cristalinas en capas gruesas, que alternan con

	CaO	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	PF
Estado Táchira	54,46		0,22	0,22	trazas	43,48
Estado Táchira	51,62		0,99	0,12	trazas	41,08
Estado Mérida	53,45	1,82			0,96	43,14
Estado Trujillo	51,59	3,42	2,14		0,8	41,5

Cuadro V-31 Composición de las calizas de la Cordillera de los Andes- Formación Capacho

capas delgadas de esquistos micáceos. Localidad: Zona Norte de Antímano, Distrito Federal, al Sur de San Pedro, estado Miranda.

• **Formación Las Brisas.** Consiste principalmente de capas de esquistos cuarzo feldespático micáceos-sericíticos y gneises, con lentes de mármoles. Localidad: Caracas, Distrito Federal.

• **Formación Las Mercedes.** Esquistos principalmente calcáreos, con filones de calizas intercaladas. Localidad: Distrito Federal.

• **Formación Nirgua.** Esquistos cuarzo-micáceos con capas de calizas masivas intercaladas. Localidad: La unidad aflora extensamente en los estados Lara, Cojedes y Carabobo.

• **Formación Capadare.** Capas de calizas arrecifales blandas, que forman abruptos filones. Localidad: Chichiriviche, Sanare, Riecito y Capadare, estado Falcón.

Cordillera de los Andes

Las calizas de esta región están relacionadas genéticamente a las de la Sierra de Perijá. Dentro de esta zona se pueden diferenciar dos subzonas: la de Táchira y la de Lara-Trujillo. La diferencia entre las dos subzonas, radica fundamentalmente en que mientras en la subzona de Táchira es posible separar las unidades areniscas-calizas, lutita-caliza y las calizas masivas dentro del Grupo Cogollo, en la subzona Trujillo-Lara esta separación es más difícil y por ello en el mapa de áreas calcáreas en esta subzona mucho de lo señalado como caliza masiva puede incluir espesores arenosos y lutíticos intercalados. De cualquier manera, en esta subzona es posible reconocer grandes áreas de afloramientos de caliza de excelente calidad, en el espacio comprendido por las ciudades de Trujillo, El Tocuyo y Carora. En el Cuadro V-31 se presentan los resultados analíticos de muestras superficiales de caliza y núcleos de perforación. Se nota un aumento de los valores de sílice a profundidad.

Las calizas de la Formación Capacho (Cretáceo) tienen altos contenidos carbónicos y afloran en grandes volúmenes. Existen igualmente áreas más pequeñas, donde afloran calizas más antiguas (Formación Palmarito) en diferentes zonas de los Andes (Sur de Trujillo y limites de Mérida y Táchira), que por su aspecto masivo y pureza pueden ser buena materia prima.

Además de las áreas de predominio de caliza de buena calidad para las industrias de cemento,

Figura V-21 Ubicación de los depósitos de rocas carbonáticas

cal y cal agrícola existen rocas calcáreas en los estados Táchira y Mérida con concentraciones fosfáticas que las hacen atractivas para la producción de cal agrícola fosfática. En la zona de los

Formación	Localidad	CaO	MgO	Fe_2O_3	SiO_2	PAF
Región Capital Las Mercedes	Dto. Federal	43,46	9,15	1,37	---	45,56
Región Central Valencia	Carabobo	45,47	0,38	5,11	10,76	38,26
El Pao	Cojedes	54	---	*	3,24	42,7
Tinaquillo	Cojedes	44,48	*	0,82	18,01	35,67
Región Los Llanos Guárico	Guárico	49,9	*	3,45	4,71	40,83
Región Centro Occidental Capadare	Falcón	53,8	*	1,04	1,94	40,83
Sanare	Lara	50,92	*	2,13	9,55	39,2
Región Zuliana Cogollo	Zulia	55,4	*	0,4	0,6	43,5
Región Los Andes Capacho	Táchira	54,46	*	0,22	0,22	43,84
Región Nororiental El Cantil	Sucre	55,91	0,49	0,19	0,27	43,4

Cuadro V-32. Composición química de las calizas según su ubicación

CORDILLERA DEL NORTE	
Región Administrativa	**RESERVAS**
Capital	100.000.000
Central	19.900.000
Centro Oriental	2.482.000
Centro-Occidental	703.000.000
SUBTOTAL	3.305.600.000
CORDILLERA DE LOS ANDES	
Región Administrativa	**RESERVAS**
Los Andes	80.500.000
Los Llanos	27.500.000
Zuliana	113.500.000
SUBTOTAL	221.500.000
TOTAL	3.419.000.000

Cuadro V-33. Reservas probadas y probables de calizas

ESTADO	1999 (m^3)	2000 m^3
Anzoátegui	2.529.192,34	1.719.430,62
Aragua	1.123.534,50	661.846,00
Carabobo	340.127,22	88.074,38
Lara	220.513,64	106.327,58
Monagas	219.228,65	136.356,34
Nueva Esparta	153.309,25	139.896,95
Portuguesa	7.000,00	
Sucre	114.061,20	117.359,20
Táchira	129.857,50	162.000,00
Trujillo	621.985,00	655.292,00
Yaracuy	17.617,23	
TOTAL	4.659.355,38	3.131.291,07

Cuadro V-34. Producción de calizas.

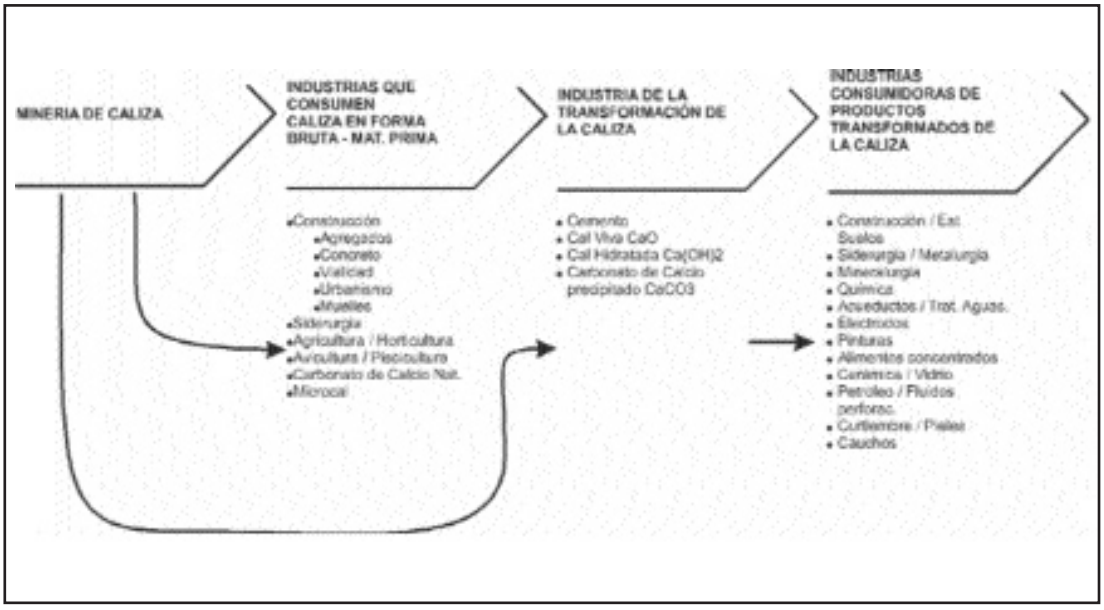


Figura V-22. Uso de calizas y dolomías.

Andes existen actualmente en producción dos plantas de cemento.

En resumen las características de las formaciones de esta región son:

• **Formación Capacho.** Constituida de lutitas con capas de caliza dura. Localidad: Capacho, Palmira y Lobatera, estado Táchira.

• **Formación La Luna.** Consiste en calizas laminares delgadas, arcillas calcáreas y concreciones

Componente	Porcentaje (%)
H_2O	0,34
SiO_2	0,3
R_2O_3	0,7
MgO	0,53k
Na_2O	0,014
K_2O	0,081
Cl	0,17
SO_3	0,02
Pérdida al rojo	43,17

de calizas. Localidad: Lobatera, estado Táchira y estado Zulia.

•

Malla	Porcentaje de retención (%)
20	10
40	11,8
80	18,4
120	8
170	9
200	7
Lama	45,8

Formación Cogollo. En la región del Zulia las calizas ocurren en el Grupo Cogollo en capas macizas infrayacentes a la Formación La Luna. Localidad: Isla de Toas y El Rosario, estado Zulia.

• **Formación Colón.** Consiste de capas de lutitas con capas de calizas. La Formación Colón se extiende por todo el occidente de Venezuela, constituyendo un horizonte de carácter regional. Localidad: Colón, estado Táchira.

Cordillera de la Costa

En la Cordillera de la Costa y en el piedemonte, las calizas cretácicas ocurren en las siguientes formaciones del Mesozoico Superior-Cretáceo:
• Formación Barranquín. El miembro Venado de esta formación se caracteriza por calizas estratificadas potentes. Localidad: Cubre extensas áreas en las Serranías del Interior de Anzoátegui, Monagas y Sucre.

• Formación El Cantil. Consiste en calizas, que constituyen el mayor volumen de la formación. Ésta tiene un espesor que oscila entre 300 y 800 metros. Localidad: sección nororiental de la Serranía del Interior.

• Formación Chimana. Consiste en calizas, lutitas y areniscas. Localidad: sección nororiental de la Serranía del Interior.

• Formación Cariaquito. (Grupo Patao) Esquistos grafitosos, cuarzosos, micáceos. Posibles grandes reservas de calizas y yeso en el miembro Patao. Localidad: ensenada de Cariaquito, Macuro, Península de Paria.

Secciones Central y Occidental

En las secciones Central y Occidental, las calizas ocurren en las siguientes formaciones del Mesozoico Superior-Cretáceo:

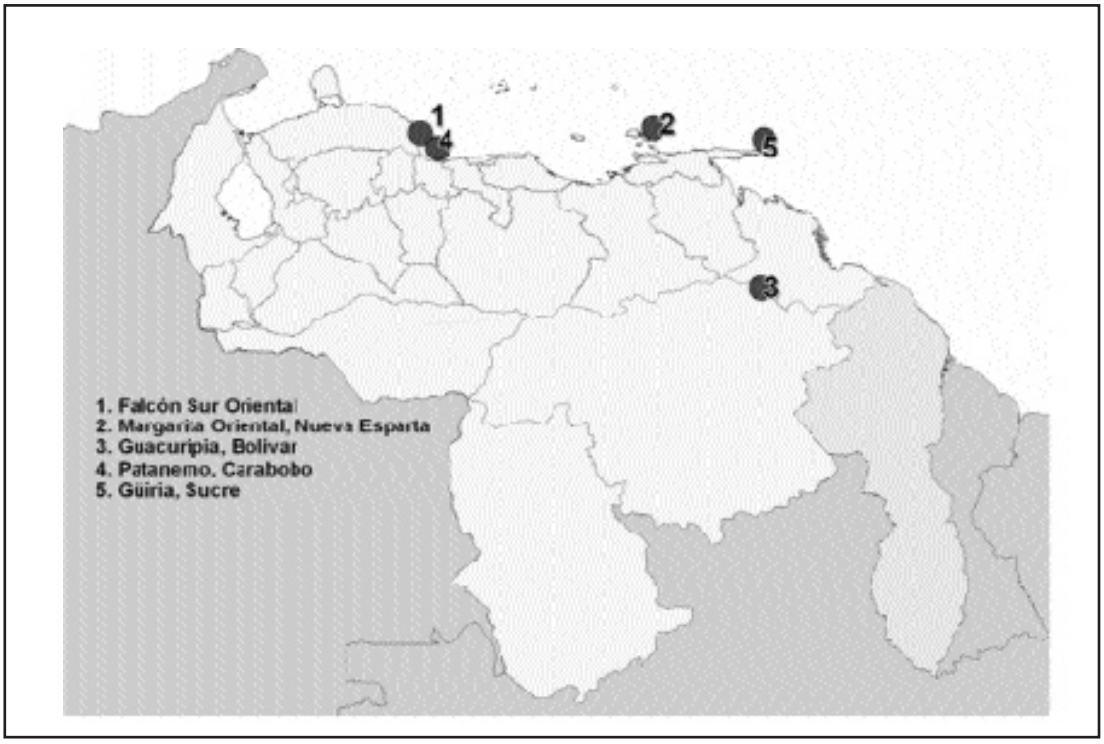


Figura V-23. Depósitos de Dolomías en Venezuela

• **Formación Carorita.** La parte superior de la formación está compuesta de calizas lenticulares que pasan lateralmente a areniscas calcáreas y silíceas. Las calizas tienen hasta dos metros de espesor. Localidad: Norte de Barquisimeto a Carorita, estado Lara.

• **Formación Mamey.** Consiste esencialmente de esquistos sericíticos con calizas arenáceas intercaladas. Localidad: Sanare, estado Lara.

• **Formación Aguas Blancas.** La unidad de una sección basal de 20 metros de espesor de calizas, a continuación siguen filitas intercaladas con calizas y cuarcitas. Localidad: flanco meridional de la Serranía del Interior desde Aguas Blancas hasta San Rafael de Onoto, estado Portuguesa.

• **Formación Guárico.** Es esta formación la unidad de calizas arrecifales ocurren topográficamente en forma de morros elevados. Localidad: en la región entre San Juan de los Morros y San Sebastián, estado Guárico y en San Casimiro, estado Aragua.

En la Figura V-21 se muestra un mapa con la ubicación de los depósitos de rocas carbonáticas.

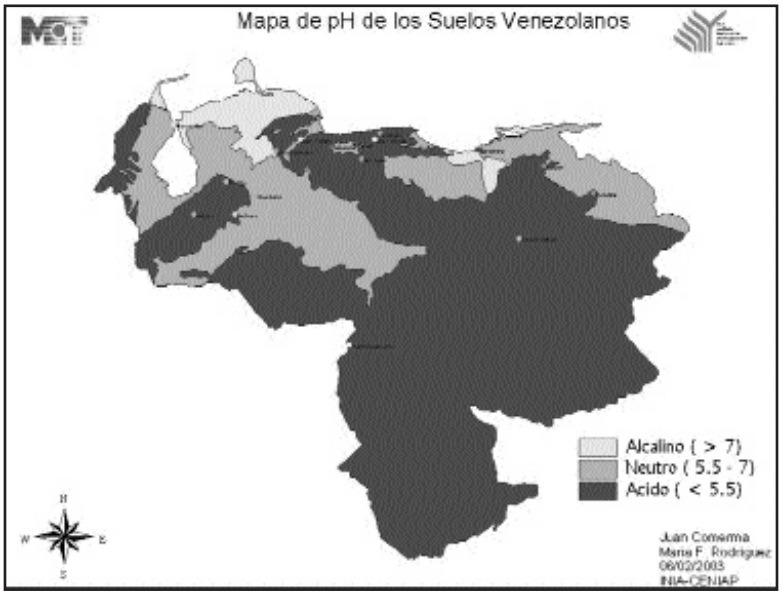
Composición Química de las Calizas

La calidad de las calizas varía según los diferentes yacimientos. La localidad de un yacimiento de caliza está en relación directa con la concentración (%) de calcio (CaO3) que posea y al grado de cristalización presente en el yacimiento. En el Cuadro V-32 se muestran los análisis de las calizas provenientes de diferentes regiones y formaciones del país. Estos análisis denotan que las calizas de donde provienen las muestras dan un promedio aceptable para los usos industriales.
Las reservas probadas y probables de calizas según la Compañía Nacional de Cal (CONACAL) es de 3.419.100.000 toneladas, las que distribuyen de la siguiente forma (Cuadro V-33).

Con relación al uso de las calizas y dolomías, el mismo es amplio. Un esquema se muestra en la Figura V-22

Cal Agrícola

Composición Química
Granulometría



Potencial Geológico Minero - Dolomías

Los yacimientos de dolomitas, que se conocen en Venezuela se encuentran en los estados Bolívar, Falcón, Sucre y Nueva Esparta.

Estado Bolívar

Las rocas dolomíticas ocurren en la Sierra de

Imataca, en el Distrito Piar del estado Bolívar, asociadas al complejo metamórfico de Imataca. Los yacimientos están ubicados al Este del Pueblo de Upata, en las serranías de Guacuripia, donde alcanzan los mayores espesores a lo largo de más de veinte kilómetros en las siguientes localidades: Cerro Paja, Cerro Hacha, Cerro Abanico, y San Rafael. Estos yacimientos son explotados por la Corporación Venezolana de Guayana (CVG).

Los análisis de la dolomita de la región indican que están constituidas de la manera siguiente: 20 por ciento de MgO y 80 por ciento de CaO, SiO_2 y Al_2O_3.

Las reservas probables de la región se estiman por encima de los 50 millones de toneladas métricas y las reservas posibles en más de 100 millones de toneladas métricas.

Estado Falcón

En el estado Falcón las dolomitas se encuentran en la Formación Capadare, la cual consiste en calizas, lutitas calcáreas, lentes de arenisca y dolomitas. Las grandes reservas de dolomitas se encuentran en una faja o capa que se extiende por más de 40 kilómetros desde Morrocoy hasta el Cerro Misión, en la vecindad de Riecito. Los espesores de las capas de dolimitas oscilan entre 30 y 100 metros. La dolomita es de color amarillento y bien estratificada. En su mayor extensión, las capas estructuralmente se encuentran en posición horizontal. Según el análisis químico, esta dolomita es muy magnesiana, siendo el contenido de magnesio ($MgCO_3$) mayor de 30 por ciento.

Estado Sucre

En la sección central de la Península de Paria, en la vecindad de Puerto Macuro, aflora la Formación Patao del Grupo Cariaquito, el cual en esta región consiste en calizas marmóreas y calizas magnesianas o dolomitas. En los niveles de mármoles de la Miembro Patao, la capa

Característica	Calcita del Estado Aragua	Dolomita del Estado Anzoátegui
Equivalente Químico (EQ, %)	93	108
Eficiencia Granulométrica (EG, %)	80	100
Poder Relativo de Neutralización Total	75	108

inferior es la más dolomitizada. El volumen de estas capas ha sido estimado en 20 millones de toneladas métricas. Las grandes calizas del Miembro Patao presentan mejores condiciones de explotación. Sus afloramientos se extienden en forma interrumpida desde Patao, al Este, hasta más al Oeste del meridiano de Güiria, con una longitud de 25 kilómetros y un espesor variable entre 150 metros y 200 metros.

Los afloramientos de los Morros de Patao presentan reservas superiores a los 20 millones de metros cúbicos. La caliza tiene el siguiente análisis químico promedio: SiO_2 (5,5%), R_2O_3 (3,0%), $CaCO_3$ (66,5%), $MgCO_3$ (25,0%) y P (0,2%).

Los afloramientos de Puerto de Hierro (Cerro de la Antena) muestran reservas de calizas superio-

	pH del suelo						
Textura del suelo	*< 4,5*	*4,5 – 5,0*			*5,0 – 5,4*		
Gruesa (kg/ha a agregar)	1.000	500			300		
	< 4,5	*4,5 – 5,0*			*5,0 – 5,4*		
		Contenido de calcio en el suelo					
Textura del suelo		*Bajo*	*Medio*	*Alto*	*Bajo*	*Medio*	*Alto*
Media (kg/ha a agregar)	2.500	1.500	500	0	1.000	330	0
Fina (kg/ha a agregar)	4.500	3.000	1.000	0	1.250	830	0

res a los 10 millones de metros cúbicos, con el siguiente análisis promedio: SiO_2 (0,8%), R_2O_3 (2,7%), $CaCO_3$ (83,0%) y $MgCO_3$ (12,5%).

Hacia el oeste disminuye la proporción de magnesio, hasta un promedio de 7% de $MgCO_3$, pero la sílice permanece alta (± 65)

Estado Nueva Esparta

Región	*Superficie (ha)*	*Requerimientos de CO_3Ca (tm)*
Central	67.281	106.813
Oriental	290.145	275.045
Llanos Centrales	293.771	384.865
Llanos Occidentales	125.016	108.280
Centro Occidental	78.397	105.249
Andina	86.036	120.665
Zuliana	51.439	38.155
Territorios Federales	9.981	8.976
Total Nacional	***1.002.066***	***1.148.049***

Las dolomitas se encuentran en el Grupo Los Robles, el cual aflora en la Isla de Margarita a unos 20 kilómetros al Oeste de los puertos de Porlamar y Pampatar, ocupando una estrecha faja en dirección Norte-Sur desde el Cerro El Pilar hasta las faldas del Cerro Matasiete. La dolomita se presenta como mármoles uniformes en la parte inferior de la Formación Los Robles. La dolomita se presenta en capas uniformes, masivas blancas y verdes claros, en espesores que sobrepasan los 40 metros.

Carbonatos. Su uso en la agricultura de Venezuela

El 80% de los suelos de Venezuela de acuerdo a su pH corresponden a suelos ácidos, el 16% a suelos neutros y 4% a suelos alcalinos (Figura 9). En general, se puede decir que en el país predominan claramente los suelos de mediana a alta evolución, lavados o con bajas saturaciones de bases, pocos minerales meteorizables, bajas capacidades de retención de cationes, ácidos y con moderadas a altas saturaciones con aluminio, pero bajos en materia orgánica (Casanova, 2005). Los órdenes de suelos que predominan corresponden a Ultisoles, Oxisoles, Alfisoles e Inceptisoles de alta evolución. En dichos suelos se evidencia el gran potencial de la calcita y la dolomita como práctica de manejo para neutralizar la acidez y el yeso, tanto en suelos ácidos como alcalinos, como fuente de calcio.

Figura V-24. Mapa de suelos alcalinos, neutros y ácidos de Venezuela (Fuente: INIA-CENIAP).

En el caso de la calcita y dolomita, fundamentalmente se usan en el proceso de encalado de los suelos ácidos combinado con otras prácticas de manejo como el uso de cultivos tolerantes a condiciones moderadas de acidez, la incorporación de residuos vegetales y el manejo integrado de los nutrimentos.

En Venezuela existen aproximadamente 86 yacimientos de cales agrícolas, de las cuales sólo 18 son de naturaleza dolomítica y 68 de tipo calcítico. Una de las características que se mide en estas enmiendas es el Equivalente Químico (EQ) o Poder Neutralizador. Se considera que los materiales con menos de 80 % de EQ son de baja calidad. La calcita del yacimiento del Estado Aragua presenta un EQ 93 %, mientras que la dolomita del Estado Anzoátegui presenta un valor de 108 % y una relación Ca:Mg de 10:1 considerada como ideal.

Otro aspecto tenido en cuenta es el tamaño de partícula o la fineza de la cal que, por aumento de la superficie de contacto, determina su velocidad de reacción. Para estimar la fineza o Eficiencia Granulométrica (EG), se cierne el material en una serie de mallas de diferente tamaño. Los ma-

[1] *Centro de Estudios para la Sustentabilidad - Universidad Nacional de San Martín - nizquier@unsam.edu*

teriales que pasan completamente la malla 60 tienen 100% de efectividad y reaccionan entre 15 días a 6 meses, dependiendo de la humedad, textura, etc. La condición ideal es que el 100% del material pase por la malla 8 y entre el 70 - 80 % pase por una malla de 60. En el caso de la calcita y dolomíta mencionadas anteriormente, poseen una EG de 80 y 100 %, respectivamente, lo cual muestra a la calcita con gránulos más grandes en su composición y a la dolomíta con un tamaño ideal para reaccionar con el suelo.

Con estas dos características, al igual que en otros países, se determina el Poder Relativo de Neutralización (PRNT), el cual permite evaluar de manera conjunta el EQ y EG. El Poder Relativo de Neutralización se obtiene multiplicando la EG por EQ y dividiendo por 100. El PRNT expresa el porcentaje de la cal que es capaz de reaccionar en un período entre 15 días a 3 meses. Mientras mayor es el PRNT, más reactiva es la cal. Para el ejemplo anterior, la calcita tiene un PRNT de 75 mientras que la dolomita es de 108, por lo tanto en la calcita el 75% del producto reaccionará entre 15 días a 3 meses, mientras que el resto (25%) reaccionará posteriormente. En el Cuadro V-37 se presentan las características de la calcita y dolomita del país.

Cuadro V-37. Características de calcita y dolomita comercializadas en Venezuela para uso agrícola.

Las recomendaciones de los servicios de asistencia técnica incluyen la incorporación de la enmienda en los primeros 15 a 20 cm de suelo; en los cultivos perennes como árboles y frutales debe distribuirse en el círculo donde se concentran las raíces. Se debe evaluar el efecto residual tomando muestras de suelos en forma periódica antes de la siembra del cultivo, para verificar el nivel de pH, porcentaje de saturación con aluminio, calcio y magnesio intercambiable.

Si bien se conocen varias metodologías para calcular la dosis a utilizar, que consideran el aluminio intercambiable, el porcentaje de saturación del mismo hasta un nivel crítico, o el porcentaje de saturación de base deseado, el más utilizado se basa en la textura del suelo (Cuadro V-38).

Cuadro V-38. Recomendación de carbonato de calcio a utilizar para suelos de texturas gruesa y medias a finas en Venezuela.

De acuerdo a López de Rojas et al. (1989) el 25,4% de los suelos de Venezuela posee un pH por debajo de 4,5, los cuales requerirían entre 1000 y 4500 kg/ha de CO_3Ca; el 34,7% con pH entre 4,5 - 5,0 cuyos requerimientos están entre 500 - 3000 kg/ha de CO_3Ca; el 39,9% con pH entre 5,1 - 5,4 con requerimientos entre 300 y 1250 kg/ha de CO_3Ca y sólo se considera que el 15,5% de los suelos se encuentra bien provisto de calcio. Los autores estiman que la superficie total por regiones con pH menor a 5,5 es la que se presenta en el Cuadro V-39.

Cuadro V-39. Estimación de la superficie total por regiones de Venezuela con pH menor que 5,5.

Algunos resultados que se obtuvieron al corregir la acidez edáfica son sorprendentes, en el Estado de Guárico el rendimiento del maíz se incrementó en un 69% con el agregado de 1000 kg/ha de dolomita; en el Estado de Monagas los rendimientos del frijol aumentaron de 480 a 2300 kg/ha al disminuir la saturación con aluminio de 65 a 10%. La producción de caña de azúcar en el Estado Táchira alcanzó las 100 Tm/ha con similar reducción en la concentración del aluminio.

Panorama de mercado de carbonatos

Natacha Izquierdo González [1]

La oferta mundial de cal en el 2003 comparada con el 2002, experimentó una leve caída del 0.8%, invirtiendo la tendencia observada en el 2002 respecto al 2001. El volumen producido fue de 117.350 millones de toneladas. China y Estados Unidos son los principales productores siendo responsables del 35.5% de la producción mundial.

En general la oferta esta compuesta por numerosas pequeñas y medianas empresas que conforman una estructura muy atomizada.

Debido a su bajo valor, el alto impacto del costo de transporte y la disponibilidad del producto en la mayoría de los países, la tendencia es que sea consumido en el mercado local del país donde se produce.

Argentina

En el 2003, la producción de caliza, se localizó en las regiones de Centro (45%), Nuevo Cuyo (33%), NOA (15%) y Patagonia (7%). El volumen producido fue de aproximadamente 8.120.000 toneladas. Dicha producción se ha ido recuperando en los últimos años, luego de la caída experimentada en los años 2000 - 2001 aunque sin llegar a los volúmenes de la década del ´90.

La oferta local de caliza es sumamente amplia y cuenta con numerosa cantidad de empresas. Dado que la producción de caliza está íntimamente relacionada con la obtención de cal y cemento, la mayoría de los productores concluyen la cadena de valor como fabricantes de estos productos finales. La oferta es absorbida principalmente por la industria de la construcción para cemento, cal o agregado. Es difícil determinar el volumen que se aplica como cal agrícola, ya que muchas de las ventas se realizan en forma directa y no llegan a registrarse. Aproximadamente, el 1% se destina a la fabricación de cal (82.000 t), de las cuales el sector agrícola consumiría alrededor de 25.000 toneladas en forma directa.

Prácticamente, el comercio exterior para este uso es nulo, debido al bajo valor del producto que no soporta altos costos de fletes.

Brasil

En 2003, de acuerdo con la Associação Brasileira de Produtores de Calcário Agrícola - ABRACAL, la producción de calizas agrícolas, en la cual esta incluida la dolomita agrícola e los productos derivados, fue de aproximadamente 27,4 millones de toneladas presentando un aumento de 21,9% en relación al año anterior. Los estados principales productores son, Paraná donde se concentra 24.0% de la producción nacional, seguida por Mato Grosso (19,2%), Minas Gerais (14,0%), Goiás (11,0%), São Paulo (10,6%) y Rio Grande do Sul (8,9%). Las reservas de caliza son abundantes, a pesar de los altos niveles de consumo de las mismas en sus principales usos como cemento, cal, correctivos de suelos, etc.

La producción de cal estuvo en el orden de las 6.6 millones de toneladas. Dicha producción se lo-

caliza principalmente en la región Sudeste, tradicional productora, responsable del 85%, seguida por el Noroeste con 6.7%, Sur con 4.7%, Centro Oeste con 2.2% y Norte con 0.3%.

El comercio exterior es poco significativo no superando las 5.000 toneladas. La producción local destina el 99% al mercado doméstico.

El consumo nacional aparente fue de aproximadamente 26,5 millones de toneladas presentando un aumento de 18,7% en relación al año anterior. De acuerdo a la ABRACAL las necesidades Brasileñas relativas a las calizas agrícolas es superior a 70 millones de toneladas/año, debido a la acidez de grande parte de sus suelos.

Chile

Los depósitos de caliza se encuentran distribuidos en las regiones I - XIII, de acuerdo a sus relaciones genéticas. De acuerdo al desarrollo de las deposiciones e historia geológica de diferentes años presentan características determinadas en términos de contenido de $CaCO_3$, reservas y explotabilidad y poseen rangos desde calizas blancas recristalizadas hasta calizas grises y más suaves.

Se encuentran en Chile, alrededor de 29 depósitos de calizas, de los cuales 21 están en explotación. El 53% de estos se destinan a la producción de cal y los restantes a la manufactura de cemento.

La producción esta en el orden de los 5.9 millones de toneladas distribuidos de la siguiente manera; Región Metropolitana (36.9%), II Región (16.1%), V Región (14.91%), XII Región (12.12%), III región (10.06%), IV Región (7.91%) y VI Región (2.01%). El 69% se usa en la manufactura de cemento, el 30 % se destina a la producción de cal para actividades mineras y calcinación, y en la producción de pulpa y papel y solo un 1% se destina a la agricultura.

En Chile la producción de calizas se desarrolla en siete de las trece regiones en manos de pequeñas a medianas empresas, que producen caliza y cal y grandes compañías productoras de cemento y cal.

No se registran exportaciones pero si se realizan importaciones de cal viva, apagada e hidráulica y de carbonato de calcio por un volumen de 182.500 toneladas. El consumo aparente interno esta en el orden de las 6 millones de toneladas de las cuales solo se destinan a la agricultura cerca de 60 mil toneladas.

Latinoamérica

En Venezuela, la potencialidad para el uso de calcita y dolomita esta dada por las condiciones de sus suelos y por los cultivos anuales y permanentes que se siembran o están establecidos en las diferentes regiones del país. En el caso de la calcita y dolomita fundamentalmente se usan en el proceso de encalado de los suelos ácidos combinado con otras prácticas de manejo como

el uso de cultivos tolerantes a condiciones moderadas de acidez, la incorporación de residuos vegetales y el manejo integrado de los nutrimentos. De acuerdo a su pH se evidencia que el 80% corresponden a suelos ácidos, 16% a suelos neutros y 4% a suelos alcalinos.

Las reservas de los yacimientos de calcita y dolomita en Venezuela son de 741 MMT, la producción en el 204 fue de 480.000 ton, consumidas en su totalidad en el mercado local. La importación nacional es prácticamente cero. Los requerimientos de cal agrícola para el plan de siembra 2005 de acuerdo a la superficie estimada de siembra por el Ministerio de Agricultura y Tierras se estimó en 1.381.171 ton.

De acuerdo a Rojas et al. (1989) en Venezuela existen 1.002.066 ha de suelos ácidos con pH inferiores a 5.5 y que requerirían de aplicaciones de cal agrícola en el orden de 1. 381.171 TM. Se observa la diferencia notable entre el actual consumo y los requerimientos de los suelos con pH inferiores a 5.5. La caliza en Venezuela además del consumo agrícola tiene usos en la Siderúrgica, en construcción y en la cría de camarones.

En México, la calcita es un mineral muy abundante, su acumulación en el suelo es propiciada bajo climas árido y semiárido, los cuales cubren el 82% de la superficie del país, especialmente en el Norte.

Por lo anterior, las necesidades de encalado se circunscriben a los suelos ácidos con clima cálido húmedo del Sureste del país, que en total representan el 6.7% del territorio nacional. En esta zona dominan los suelos dedicados a la ganadería y los cubiertos de vegetación natural, por lo que la práctica de encalado no está muy extendida. El consumo de cal agrícola en el país no está bien determinado debido entre otras razones, a que parte de la cal que se aplica al campo es adquirida como cal hidratada para construcción; sin embargo es muy probable que no supere 20,000 ton año (Aguilar et al., 1994).

Respecto a Colombia, existen suficientes fuentes naturales de carbonatos, especialmente a lo largo de la Cordillera Oriental cuya explotación se realiza para usos industriales o agrícolas, dependiendo de la demanda. La producción nacional se estima en 45.000 toneladas / año. Colombia importa algún volumen de este material, pero los registros de comercio exterior muestran que en los últimos años se han reducido significativamente). La mayor parte de estas importaciones provienen de USA y las exportaciones tienen como destino el Ecuador. En lo relacionado con las enmiendas o acondicionadores inorgánicos, el mercado ha venido fluctuando entre las 63000 y las 89000 toneladas, siendo el mayor consumo el de las dolomitas (35%), seguido por el yeso (21%), las calizas (15%), las cales magnesianas (mezclas de silicatos de magnesio con yesos y/o carbonatos de calcio, 11%), las serpentinas (silicatos de magnesio, 5%) y en menor proporción el azufre (6%), las magnesitas (5%) y la cal apagada (1%). Cabe destacar que además del anterior, existe un mercado informal no cuantificado de calizas, cal viva, cal apagada y yeso que, salen directamente de las minas o los molinos a las fincas y no cuentan con seguimiento del ICA (mercado informal).

BIBLIOGRAFIA

Cochrane, T.; J. Salinas. Y P. Sánchez. 1980. An equation for liming acid mineral soils to compensate crops aluminium tolerance. Tropical Agriculture 57 (2): 133-140.

OYHANTÇABAL, P; SPORTURNO, J y HEIMAN, A. 2000: Rocas y minerales industriales de Uruguay en Rocas y Minerales Industriales de Iberoamerica, CYTED.

PONCE DE DE MAIO, M.B. 2000: Rocas y minerales industriales de Argentina en Rocas y Minerales Industriales de Iberoamerica, CYTED.

ARGENTINA

AENOR - Asociación Española de Normalización y Certificación

UNE 142-102 : 94 Fertilizantes y acondicionadores del suelo - Etiquetado.

UNE 142-401 : 94 Fertilizantes y acondicionadores del suelo - Fertilizantes sólidos

UNE 142-402 : 94 Fertilizantes y acondicionadores del suelo - Presentación de los protocolos de las tomas de muestras.

UNE 142-403 : 94 Fertilizantes y acondicionadores del suelo - Muestras finales - Disposiciones prácticas.

ANGELELLI, V.; SCHALAMUK, I. Y ARROSPIDE, A. 1976: Los yacimientos no metalíferos y rocas de aplicación de la Región Patagonia-Comahue. Ministerio de Economía, Secretaría de Minería, Anales XVII, Buenos Aires, Argentina.

ASTM - American Society for Testing and Materials
C 602: 90- Standard Specification for Agricultural Liming Materials.
C 50-86: 91 - Standard Methods of Sampling, Inspection, Packing and Marking of Lime and Limestone Products.
C 25 : 92 - Standard Test Methods for Chemicals Analysis of Limestone, Quicklime and Hydrated Lime.

ATLAS DE SUELOS DE LA REPÚBLICA ARGENTINA. Escala 1:500.000 y 1:1.000.000. Secretaría de Agricultura Ganadería y Pesca. INTA, CNIA. Tomos 1y 2.

CRUZATE, G. Y CASAS, R. 2003. Necesidades de Nutrientes en la Agricultura Argentina. Presentación en la Jornada Internacional Uso de minerales para una Agricultura Sustentable. CYTED-Cámara Argentina de Productores Mineros. Pergamino, 11 - 12/09/03.

DOMINGUEZ, E y SCHALAMUK, I. 1999: Recursos minerales de las sierras septentrionales, Buenos Aires en Recursos Minerales de la República Argentina, IGRM, SEGEMAR, ales35:183-190.

ESPEJO, P. 1999: Calizas y dolomías del departamento Valcheta, IGRM, SEGEMAR, Delegación Gral. Roca

GAMBAUDO, S. 2003. La Acidez del Suelo en la Región Pampeana. pp: 193-216. EN: Nielson, H y R. Sarudiansky (Ed.). Fertilizantes y Enmiendas de Origen Mineral. Ediciones Panorama Minero. 283p

GIORGI, R. Cálculos realizados en base al Atlas de Suelos de la Rep. Argentina. (Comunicación personal).

HARBEN, P. 1995: The industrial Minerals HandyBook II, 2° Ed.

HERRMANN, C y MENOYO, E. 1999: Yacimientos de calizas y dolomías de la precordilla, San J y Mendoza. Recursos Minerales de la República Argentina, SEGEMAR, Anales 35: 697-712, Buenos Aires.

IRAM. 1997. Instituto Argentino de Normalización. Norma 22451. Materiales Calcáreos para Uso Agropecuario. Requisitos y Métodos de Ensayo.Buenos Aires, Argentina. 18p.

LORENZ, W. 1999: Mineral Raw Materials, Part II, BGR, Tübingen, German.

MICHELENA, C; R. MON Y R. IRURTIA. 1997. Los suelos ácidos de la Argentina. Presentación en las Segundas Jornadas Nacionales de Encalado. Universidad Nacional de Córdoba-Universidad Tecnológica Nacional. Vaquerías (Córdoba), 13-14/11/97.

PONCE DE DE MAIO, M. B. 2000: Rocas y Minerales Industriales de Argentina en Rocas y Minerales Industriales de Iberoamérica, CYTED, Ministerio de Ciencia y Tecnología, Instituto Tecnológico Geominero de España, Madrid.

RAMOS, V. 1999: Las provincias geológicas del territorio argentino en Geología Argentina, IGRM, SEGEMAR, Anales 29 (3): 41-96, Bs. As.

SCHALAMUK, I, FERNANDEZ, R. Y ETCHEVERRY, R. 1983: Los yacimientos minerales no metalíferos y rocas de aplicación de la Región NOA. Ministerio de Economía, Subsecretaría de Minería, Anales XX, Buenos Aires, Argentina.

SFRAGULLA, J.; JEREZ, D. Y BONALUMIN, A. 1999: Mármoles y otras rocas carbonáticas de Córdoba. En Recursos Minerales de la República Argentina, IGRM, SEGEMAR, Anales 35:271-295, Buenos Aires.

SUAYTER, L. Y URDANETA, A. 1974: Estudio y evaluación de los depósitos calcáreos y yeso de la sierra de La

Ramadita y zonas adyacentes. Bol. Minero de la Dirección Prov. De Tucumán, Año I, N° 1.

SUAYTER, L. Y URDANETA, A. 1979: Peñas Azules. Estudio geológico del yacimiento. Dir. Prov. Min. De Tucumán. Bol. Minero N° 2, p. 6-15, Tucumán.

BOLIVIA

COQUEUGNIOT, A. Y JUNCO, J. (A). 2003 Mapas de suelos del Trópico de Cochabamba e identificación de restricciones edáficas para cultivos de banano, palmito, piña y pastos. www.inpofos.org.

COQUEUGNIOT Y JUNCO (B). 2003 Los suelos del Trópico de Cochabamba (Bolivia): Identificación de restricciones edáficas para cultivos de banano, palmito, piña y pastos.EN: www.inpofos.org. julio 2005.

http://www.bolivianet.com/mineria/

MAMANI ALIZARES, E y BEJARANO, E 2000: Rocas y minerales industriales de Bolivia en Rocas y Minerales Industriales de Iberoamerica, CYTED.

BRASIL

ABRACAL - Associação Brasileira dos Produtores de Calcário Agrícola, 2001. Consumo Aparente de Calcário Agrícola no Brasil, 2000.

ABRACAL - Associação Brasileira dos Produtores de Calcário Agrícola, 2000. Comercialização de Calcário Agrícola - Brasil 2000.

AGNELLO, V. N., 2002. Limestone and dolomite in South África, Notas pessoais

AGRONELLI - AGRICULTURA AVANÇADA, 2002. Gesso Agrícola.

(http://www.agronelli.com.br)

ALBUQUERQUE, G. S., 2001. Fertilizantes na Iberoamérica, Palestra proferida durante a reunião da Rede Temática sobre Fertilizantes em Iberoamérica, 2001

BECKER, F. C., 1996. Calcários Agrícolas, Palestra proferida durante o I Workshop do Programa de Avaliação Geológica-Econômica de Insumos Minerais para Agricultura no Brasil - PIMA, Relatório Final, CPRM - Serviço Geológico do Brasil, Rio de Janeiro, 1996

BRUVEL, F. 1999. Limestone, Department of Mines and Energy of Australia (http://www.nrm.qld.gov.au/resourcenet/mines/commodities/pdf/lime.pdf)

CALCAREOUS SOILS. Land and Plant Nutrition Management Service, ProSoil - Problem Soils Database, FAO (http://www.fao.org)

CEPA/SC - Instituto de Planejamento e Economia Agrícola de Santa Catarina,1997

CHRISTIE, T. et al. 2000. Limestone, marble and dolomite, Mineral Commodity Report 21, Institute of Geological and Nuclear Sciences Ltd., Nova Zelândia,

(www.med.govt.nz/crown_minerals/minerals/ docs/comreports/report21_limestone.pdf)

COELHO, F. S. & VERLENGRA, F. 1973. Fertilidade do Solo, Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1973. 384 p

CORRÊA, P. R. S. & FILHO, O. M., 2001. Síntese das necessidade de Calcário para Solos dos Estados da Bahia e Sergipe, Superintendência Regional de Salvador, CPRM - Serviço Geológico do Brasil, Salvador - 2001

COSTA, B. M. da, 2000. Uso do Calcário em Pastagens, Departamento de Zootecnia, Escola de Agronomia, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Bahia, 2000

DEPARTMENT OF MINERALS AND ENERGY, 2001. Environmental Management Plan, Republic of South Africa, 2001 (Compiled in terms of section 11(2) of the National Environmental Management Act, 1998 - Act nr. 107 of 1998)

DRAHOVZAL, J. A., 2001. Limestone. KGS - Kentuchy Geological Survey, University of Kentucky, Lexington, USA, 2001.

DUVAL, J. 2000. 149 Limestone and Dolomite, Department of Minerals and Energy, Republic of South Africa (http://www.dme.gov.za)

DUVAL, J. et al. 2000. 125 Industrial Minerals - Overview, Department of Minerals and Energy , Republic of South Africa (http://www.dme.gov.za)

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1999. Recomendações Técnicas para a Cultura de Soja no Paraná - Safra 2000/2001

EBDA/CBPM - Empresa Baiana de Desenvolvimento Agrícola S.A./Companhia Baiana de Pesquisa Mineral - Calcário agrícola: diagnóstico da oferta e da demanda no Estado da Bahia. Salvador: 1998 - 73p.il. (EBDA. Documentos, 8).

FAVERET, P. et al. 1997. AGROINDUSTRIA - Calcário, (Informe Setorial no 12, novembro/97 - BNDES/FINAME - BNDESPAR

FEALQ - Fundação de Estudos Agrários "Luiz de Queiroz", Estudo Nacional do Calcário Agrícola, Universidade de São Paulo - USP, 1983

FERREIRA, C.R.R.P.T. & VEGRO, C.L.R. 2001. CALCÁRIO AGRÍCOLA: consumo nacional em alta. Instituto de Economia Agrícola do Estado de São Paulo

FERREIRA, C.R.R.P.T. & VEGRO, C.L.R. 2001. CALCÁRIO AGRÍCOLA: perspectivas de aumento nas vendas à citricultura em 2001. Instituto de Economia Agrícola do Estado de São Paulo

FONSECA, M. R. C. B. da, 2002. Tecnologia Ambiental para o Desenvolvimento Sustentável em Polo Produtor da Cal. Municípios de Santa Maria do Cambucá (PE), Vertente do Lério (PE), Santa Cecília (PB) e Umbuzeiro (PB) - Projeto Básico, Paraíba - 2002

FRANCO, B. de A. & SOUZA JÚNIOR, L. C. de, 2000. Estudo do Mercado de Calcário para Fins Agrícolas no Estado de Pernambuco, Superintendência Regional de Recife, CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2000

GOEDERT, W.J. & LOBATO, E., 1988. In: XXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Campinas-SP, pg. 101-108, 1988

GOMES, A. P. 1996. Programa de Avaliação Geológica-Econômica de Insumos Minerais para Agricultura no Brasil - PIMA, I Workshop, Relatório Final, CPRM - Serviço Geológico do Brasil, Rio de Janeiro, 1996

GUIMARÃES, J. E. P. 1978. Calcários e Dolomitos no Brasil - Usos e Mercados. Associação Brasileira dos Produtores de Cal.

INDUSTRIAL MINERALS OF VICTORIA, Limestone

JUNIOR, L. C. de S., 2001. Estudo dos Níveis de Necessidade de Calcário nos Estados de Pernambuco, Alagoas, Paraná e Rio Grande do Norte, Superintendência Regional de Recife, CPRM - Serviço Geológico do Brasil, Recife - 2001

JUSTO, L. J. E. C. 1996. Programa de Avaliação Geológica-Econômica de Insumos Minerais para Agricultura no Brasil - PIMA, I Workshop, Relatório Final, CPRM - Serviço Geológico do Brasil, Rio de Janeiro, 1996

LAZCANO-FERRAT, I., 2000. Calagricola:Conceptos Basicos para la Produccion de Cultivos, 2000

MALAVOLTA, E. 1989. ABC da Adubação, São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 1989. 292p

MILLER, M. M. 2000. Lime, U.S. Geological Survey Minerals Yearbook - 2000

MONT´ALVERNE, A. A, F. 1981. Calcários: Considerações Gerais e Aplicações Tecnológicas, Recife, Universidade Federal de Pernambuco.

NEWMAN, H. R., 2000. The Mineral Industry of France, United States Geological Survey - USGS

(http://www.minerals.usgs.gov/minerals/pubs/country/9414097.pdf)

NOGUEIRA, L. 2002 . Acidez do Solo: saiba como corrigir.

(http://www.garden.com.br/jardim)

PEREIRA, C. de M. & CAVALCANTI, R. N., 2003 . Calcário Agrícola - Caracterização da produção e consumo em São Paulo, Revista Brasil Mineral, Ano XIX - No 212, Dezembro/Janeiro 2003.

RESENDE, N. das G. de A. da M., 2001. Insumos Minerais para Agricultura e Áreas Potenciais nos Estados do Pará e Amapá, Superintendência Regional de Belém, CPRM - Serviço Geológico do Brasil, Belém - 2001

ROCHES CARBONATES , MINÉRAUX INDÚSTRIELS. Ministère de la Agriculture, France,

(http://www.drire-lr.org/publications/ressources/roche.html- 10k)

RURAL Business - Correção e Manutenção da Fertilidade do Solo

(http://www.ruralbusiness.com.Br)

SÁ, C. M. G. de, & MARCONDES, A. 1985. Calcário para Corretivo de Solo em Goiás - Diagnóstico e Alternativas

para Abastecimento. Goiânia, METAGO.

Souza, D.M.G de y E. Lobato. 2002. En: Correcao de acidez do solo. Ed: Souza, D.de y E. Lobato. Correcao do Solo e Adubacao. Planaltina-DF. pp. 81-96

TEPORDEI, V. V. et al. 2000. Stone, Crushed. United States Mineral Resources, Professional Paper, U. S. Geological Survey Minerals Yearbook - 2000

TOWNER, R. 2002. Notas pessoais, Minerals Division, Geoscience Australia

USGS - UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY, 2000. Crushed Stone Statistics and Information, USGS Minerals Information (http://minerals.usgs.gov)

VAGT, V. 1997. Lime. Minerals and Metals Sector, Natural Resources Canada, Canadian Minerals Yearbook, 1997

VAN RAIJ, B. 1991. Fertilidade do Solo e Adubacao. Edit. Agronómica Ceres. Asociación Brasileña para la Investigación del Potasio y del Fósforo. San Pablo. 343 p.

YAMADA, T. 2004. The Cerrado of Brasil: a succes story of production on acid soils. Conferencia y Exibición de Fertilizantes Cono Sur, British Sulphur 2004. Punta del Este, Uruguay. Mimeo, 5p.

YUNCONG, L., 2000. Calcareous Soils In Miami-Dade County, University of Florida, Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences

(http://edis.ifas.ufl.edu)

COLOMBIA

CASTRO, D. 2005. Los suelos de Colombia. EN:

http://www..sogeocol.com.co/documentos/05loss.pdf. - julio 2005

http://web.minambiente.gov.co/biogeo/menu/biodiversidad/ecosistemas/geomapa.GIF

http://minerals.er.usgs.gov/minerals/pubs/commodity

JARAMILLO, D. 2004. El recurso suelo y la competitividad del sector agrario colombiano. Cátedra Pedro Gómez, Universidad Nacional de Colombia. EN: http//eris.unalmed.edu.co/jiagudel. Agosto 2005.

MAYA SANCHEZ, M; CARDENAS,C y FORERO, C 2000: Las rocas y minerales industriales de Colombia en Rocas y Minerales Industriales en Iberoamerica, CYTED.

SICARD, T. Y L. RODRÍGUEZ SÁNCHEZ. 2001. Ciencia, Tecnología y ambiente en la agricultura colombiana - Diagnóstico. Seminario Permanente sobre Problemas Agrarios y Rurales. Bogotá. En: http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/IDEA/2007223/lecciones/lect10_1.htlm agosto 2005

UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICO. 2003. Mercado de los Insumos Minerales para la Producción de Fertilizantes. Subdirección de Planeación Minera. Bogotá. Informe Preliminar. 17p.

COSTA RICA

CARBALLO, L. Y E. MOLINA 1993. Caracterización física y química de materiales de encalado en Costa Rica. Agronomía Costarricense 17(2): 105-110.

DIRECCIÓN GENERAL DE INVESTIGACIÓN Y EXTENSIÓN AGRÍCOLA DE COSTA RICA. 1991. Aspectos técnicos sobre 45 cultivos agrícolas de Costa Rica. Caña de Azucar. Ministerio de Agricultura y Ganadería. San José. En: http://www.mag.go.cr/bibioteca_virtual_ciencia/tec_Ca%C3%B1a.pdf. julio 2005.

MAINO ROJAS, B. 2003. Manejo de la acidez del suelo. Instituto del Café de Costa Rica. Oficina Regional Pérez Zeledón. Boletín Informativo. Año 3, Nº 1: 4-7.

RODRÍGUEZ, A. Y A. PANIAGUA. 2005. La reforestación de Tectona grandis (Teca): necesidades nutricionales en los suelos de la Región de Huetar Norte de Costa Rica. En: http://www.una.ac.cr/inis/teca/articulos/factores/Amelia1.pdf. Agosto 2005.

CUBA

CITMA. 2003 Programa Nacional de lucha contra la desertificación y la sequía en la República de Cuba. Ministerio de Ciencia y Tecnología y Medio Ambiente. Agencia Medio Ambiente. La Habana, pp 38- 57.

COMISIÓN NACIONAL DE MEDIO AMBIENTE. Plan Nacional de Conservación de Suelos. Comisión Nacional del Medio Ambiente y Ministerio de Agriculotura de Chile. Mimeo, 243p.

CHILE

CAMPILLO, R. Y SADZAWKA, A. 1993. Problemática de la acidez de lo suelos de la IX Región. II Manejo del encalado y sus implicancias. IPA Carillanca 12 (3): 8-12.

SANTIBAÑEZ, F.; ACEVEDO,E.; PERALTA,M.; DE LA FUENTE, A.; ARIAS, J.; MANTEROLA, H.; CHATEAUNEUF, R.; HERMOSILLA, W.; DE LA MAZA, C. Y RODRIGUEZ, M. 1996. Escenarios de crecimiento del sector agrario y posibles cambios en el uso del suelo. En: Sustenabilidad Ambiental del Crecimiento Económico Chileno. Ed: O. Sunkel. Santiafo, Chile.

SANTIBAÑEZ, F. Y URIBE, C. 1999. Origen, viabilidad y aspectos agroclimáticos de las sequías en Chile. En: Las Sequías en Chile. Causas, consecuencias y mitigación. Ed: A. Norero y C. Bonilla. Facultad de Agronomía. Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago.

SUÁREZ, D. 1996. La acidez de los suelos en Chile. Presentación en las Segundas Jornadas Nacionales de Corrección y Mejoramiento de Suelos con Encalado. Universidad Nacional de Córdoba -Universidad Tecnológica Nacional. Vaquerías, Córdoba 10 -12/09/1996.

MÉXICO

AGUILAR, S.A.; G. ALCÁNTAR Y J.D. ETCHEVERS. 1994. Acidez del suelo y encalado en México. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. 56 p.

ANÓNIMO. 2002. Panorama de materias primas e intermedios para fertilizantes en México. Fertilizantes América Latina 7(1): 21-27.

ARAIZA M.S. 2004. La industria y el mercado de fertilizantes en México a diez años de la privatización y globalización. XV Conferencia Fertilizantes América Latina. San José, Costa Rica.

DIRECCIÓN GENERAL DE AGROLOGÍA. 1973. Unidades de suelos de la República Mexicana de acuerdo al sistema FAO-UNESCO. Tercer intento. S.A.R.H.

Páginas Web de consulta sobre minerales en México

www.economia.gob.mx/min. Secretaría de Economía. Agosto 2005.

www.coremisgm.gob.mx. Servicio Geológico Mexicano (antes Consejo de Recursos Minerales). Agosto 2005.

VICTORIA MORALES, A y BAEZ LOPEZ, J.A. 2000:Rocas y minerales industriales de México en Rocas y Minerales Industriales de Iberoamerica, CYTED

PERÚ

http://www.ingemmet.gob.pe

http://www.minem.gob.pe

MINISTERIO DE AGRICULTURA DE PERÚ. 2003. Formulación de una metodología para la recuperación de suelos degradados en zonas de cultivo de coca. Informe Final. Programa para el desarrollo de la Amazonía. 95p.

PERALES CALDERON,f.; GAGLUIFFI, P y QUIÑÓNEZ, J.2000: Rocas y minerales industriales de Perú en Rocas y Minerales Industriales de Iberoamerica, CYTED.

URUGUAY

DE SANTA ANA, H; VEROSLAVSKY, G; SÁNCHEZ, L; ROSSINI, C; AUBET, N; LOUREIRO, J. 2000. Caracterización Geológica y Minera de los Recursos Calcáreos para la Industria del Cemento en el Uruguay. Informe Final Proyecto CONICYT 3011 - Fondo Clemente Estable. 304 pp.-

DIRECCIÓN NACIONAL DE MINERÍA Y GEOLOGÍA 1980. Código de minería.

DIRECCIÓN NACIONAL DE MINERÍA Y GEOLOGÍA. Estadísticas Año 1979 a 2004: Información de Producción Minera, Volúmenes y Valores. Ministerio de Industria, Energía y Minería. Uruguay.

Capítulo VI

Yeso

Coordinadores: María Beatriz Ponce y Martín Torres Duggan

Yeso

María Beatriz Ponce [1] y Martín Torres Duggan[2] (Ex aequo)

Introducción

El mineral yeso que se emplea en agricultura posee por objetivo la neutralización de los suelos alcalinos y salinos, como también mejorar la permeabilidad de los materiales arcillosos además de aportar azufre. Todo ello conduce a incrementar la productividad de los cultivos.
También contribuye a mejorar la estructura del suelo y las condiciones de irrigación, a la vez que modifica la acidez de los mismos. Otro efecto benéfico es la estabilización de la materia orgánica la disminución de la toxicidad de los metales pesados.

El sulfato de calcio en sus formas minerales de yeso y anhidrita, tradicionalmente ha tenido un uso esencialmente destinado a la fabricación de cemento u otros productos de la industria de la construcción. En los últimos años la aplicación de estos minerales a los fines agrícolas está desarrollando un interés creciente por su acción en el rendimiento de los cultivos.
Por su parte, el azufre es un elemento importante en la industria de los fertilizantes donde es destinado a la elaboración de fosfatos.

Aún cuando es conocida la importancia sobre las necesidades de los suelos de disponer de azufre y calcio como elementos nutrientes para las plantas, en Latinoamérica es relativamente reciente el empleo del yeso agrícola.

Considerando la superficie mundial de suelos con problemas de salinización en distintos grados (Cuadro VI-1), se estima que el empleo de enmiendas minerales posibilitará ampliar la superficie de las zonas cultivables.

Cuadro VI-1. Desarrollo de la salinidad en el mundo - Millones de hectáreas

	SALINIDAD					
Continente	Débil	Moderada	Fuerte	Extrema	Total	% Cultivable
África	4.7	7.7	2.4		14.8	8.0
Asia	26.8	8.5	17	0.4	52.7	11.7
América N	0.3	1.5	0.5		2.3	0.8
América S	1.8	0.3			2.1	1.5
Europa	1.0	2.3	0.5		3.8	2.7
Australasia		0.5		0.4	0.9	0.3
Total	34.6	20.8	20.4	0.8	76.6	5.2

Fuente: http://www.unex.es/eweb/edafo/

Del análisis del cuadro VI-1 se evidencia la urgente necesidad de recuperar áreas cultivables en los países en vías de desarrollo.. Es importante entonces contribuir desde la minería y, conocer

[1] *Instituto de Tecnología Minera - SEGEMAR - bea@inti.gov.ar*
[2] *AgreFert Argentina, Consultor privado- mtorresduggan@agrefert.com*

los recursos naturales existentes de yeso así como su calidad y cantidad.

Según la información producida por el Servicio Geológico Americano (http://minerals.er.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/gypsum/gypsumcs05.pdf) la producción mundial de yeso alcanzó en el año 2004 los 106 Mt. , los que se distribuyeron según se muestra en el Cuadro VI-2.

Cuadro VI-2 . Producción Mundial de yeso en millones de toneladas

	2003	2004
Estados Unidos	16.700.000	18.000.000
Australia	4.000.000	4.000.000
Austria	1.000.000	1.000.000
Brasil	1.650.000	1.650.000
Canadá	9.000.000	9.000.000
China	6.900.000	6.900.000
Egipto	2.000.000	2.000.000
Francia	3.500.000	3.500.000
India	2.300.000	2.300.000
Irán	11.500.000	11.500.000
Italia	1.200.000	1.200.000
Japón	5.700.000	5.700.000
México	6.800.000	6.800.000
Polonia	1.100.000	1.100.000
España	7.500.000	7.500.000
Rusia	1.000.000	1.000.000
Tailandia	6.500.000	6.500.000
Gran Bretaña	1.500.000	1.500.000
Uruguay	1.130.000	1.130.000
Otros paises	12.500.000	12.500.000
TOTAL MUNDIAL	**104.000.000**	**106.000.000**

Del cuadro VI-2 es posible apreciar que entre los países latinoamericanos donde la producción de yeso es importante, se concentra en Brasil, México y Uruguay. Argentina, si bien posee depósitos con grandes reservas, los volúmenes de producción para el año 2003, han sido estimados en alrededor de 500.000 t, muy inferior a la de los países mencionados.

El principal destino del yeso es la industria de la construcción, destinándose a enmiendas de suelos para cultivos, un porcentaje relativamente bajo.

Geología

Los depósitos de yeso en el ámbito mundial se extienden por casi todas las eras geológicas, presentándose tanto en grandes superficies como en cuerpos estratificados y lenticulares a partir de procesos evaporíticos.

Los yacimientos donde se encuentra azufre y/o los minerales de sulfato de calcio, responden

genéticamente a:

• Depósitos de sublimación
• Depósitos sedimentarios biogénicos o bioquímicos
• Depósitos evaporíticos

En el ámbito de América Latina desde México hasta el sur (Argentina), los depósitos yesíferos se encuentran como depósitos sedimentarios evaporíticos, en tanto los de azufre se vinculan con las áreas de volcanes.

Entre la amplia diversidad geológica que presenta México, el azufre del cual es importante productor se encuentra en la Cuenca Salina del Istmo en la Provincia Fisiográfica de la Llanura Costera del Golfo de México. La secuencia estratigráfica en este distrito se extiende desde el Triásico hasta el Reciente con predominio de las Formaciones Terciarias. Se encuentra aquí la Formación Capas Rojas que contiene a la secuencia evaporítica que da lugar a la generación de los domos (Salas, 1988). También aparece en el suroeste y este del país "caps rocks" que contienen azufre los cuales se formaron como resultado de procesos físico-químicos y bioquímicos combinados, cuando la secuencia evaporítica intruyó a la roca suprayecente (caliza Chinameca y Formación Filosola). Los depósitos de yeso se encuentran al oeste de la Sierra Madre Occidental en terrenos paleozoicos y triásicos que forman la península de California cuyo desarrollo se inició en el Mesozoico. Hacia el sector que se ubica paralelo a la costa del Golfo de México de edades mesozoica, eoceno y más recientes conocida como Provincia Oriental Alcalina se corresponde de alguna manera con la Sierra Madre Oriental. Entre ésta y la Sierra Madre Occidental se ubican los depósitos sedimentarios evaporíticos lacustres proveedores de yeso.

A partir de México y con extensión a Guatemala, Honduras, Nicaragua y Belice se ubica el Istmo Centroamericano el cual abarcó diferentes etapas que dieron lugar al arco de islas, alzamientos corticales y formaciones de pie de monte de edad Cretácico superior-Pleistoceno Reciente. Esto dio lugar a la formación de depósitos de azufre y caolín asociados al vulcanismo de arco.

Hacia el sur del desarrollo del arco volcánico de las Grandes Antillas sobre la placa del Caribe limita con Sudamérica. Esta última, está integrada por dos dominios geotectónicos: al oeste con Venezuela, las Guyanas, Brasil, Paraguay, Uruguay y sector oriental de Argentina correspondiente a cratones precámbricos con sus áreas intercratónicas y el macizo cordillerano (Precámbrico-Paleozoico). De este modo se forma un sector occidental que bordea toda la faja oeste extendiéndose por Colombia, Ecuador, Perú, Chile, sur de Bolivia y occidente de Argentina que contiene a la Cordillera de los Andes. De este modo, se distribuyen cuencas marginales Orientales entre los Andes Venezolanos hasta el Estrecho de Magallanes (Argentina) que contienen secuencias sedimentarias jurásico-cuaternarias de tipo marina y continental con facies lacustre-continental y continental-carbonífera. En estas entidades se ubican los yacimientos evaporíticos proveedores de yeso.

En el ámbito de Sudamérica, las denominadas cuencas intermontanas que se extienden desde la de Magdalena en Colombia, pasando por el graben de Cauca-Patía-Quito (sur Colombia-norte de Ecuador) de edad Paleoceno-Neoceno, el graben de Quito, mas las cuencas lacustres desde los 2°30´ a los 4° S existen cuencas lacustres mayormente del Mioceno que contienen facies evaporíticas. También al sur de Perú a través de Bolivia, norte de Chile y noroeste de Argentina contienen depósitos de yeso evaporítico junto a yacimientos de arcillas y travertinos. En asocia-

ción al vulcanismo de la zona se han formado depósitos exhalativos de azufre.

Otros hallazgos de evaporitas se encuentran en la Cordillera Occidental desde Nicaragua hasta la Patagonia argentina.

En la Figura VI-1 se muestran los principales ambientes geológicos en México y Centroamérica.

Mineralogía

En la mayor parte de los depósitos del mundo los minerales de sulfato de calcio que aparecen, se identifican como yeso y anhidrita. Debido a que su formación se corresponden con ambientes evaporíticos, el proceso implica la asociación a impurezas variadas. Estas últimas pueden presentar fina granulometría o aparecer vinculados a otros minerales de similar formación y relativa solubilidad tal como celestita, algunos boratos, ciertos carbonatos y sílice.
También los minerales evaporíticos como halita, silvita, mirabilita, epsomita es factible de ser encontrados junto al sulfato de calcio.

No obstante, debe señalarse que la impureza más frecuente en un depósito de yeso es anhidrita (y viceversa) como consecuencia de la interrelación metaestable de ambos minerales.
Generalmente los depósitos de yeso contienen entre un 10 a 15% de impureza, aún cuando se hallan yacimientos con un contenido superior al 95 % de sulfato de calcio.

Si se toma en cuenta la presencia de impurezas con su consecuente efecto en los procesos de elaboración y productos finales de yeso, las mismas son agrupadas en tres categorías:

1. Insolubles o relativamente solubles. Representadas por calizas, dolomita, anhidrita, arcillas anhidras, minerales silíceos, etc.

2. Minerales evaporíticos solubles incluyendo cloruros, tales como halita, silvita, etc. y sulfatos como mirabilita, epsomita, etc.

3. Hidratados aunque insolubles, como el grupo de arcillas montmorilloníticas.

Con relación a las especies minerales formadas a partir del sulfato de calcio, se mencionan:
Anhidrita: Compuesta por sulfato de calcio anhidro. Puede convertirse rápidamente en yeso incorporando agua, debido a una relativamente alta solubilidad (aproximadamente 0,2g/100g H_2O). La anhidrita se presenta en color claro a gris azulado, observándose al microscopio una textura granoblástica a afieltrada.

Bassanita: Formada por sulfato de calcio con media molécula de agua, constituyendo una fase intermedia entre anhidrita y yeso. Esta variedad sólo es reconocible por difracción de rayos X o mediante técnicas petrográficas con una cuidadosa preparación. En condiciones ordinarias es un mineral metaestable, razón por la que es poco frecuente encontrarlo. Es posible producirlo artificialmente mediante proceso de calentamiento y el producto obtenido se destina a la fabricación de revoque.

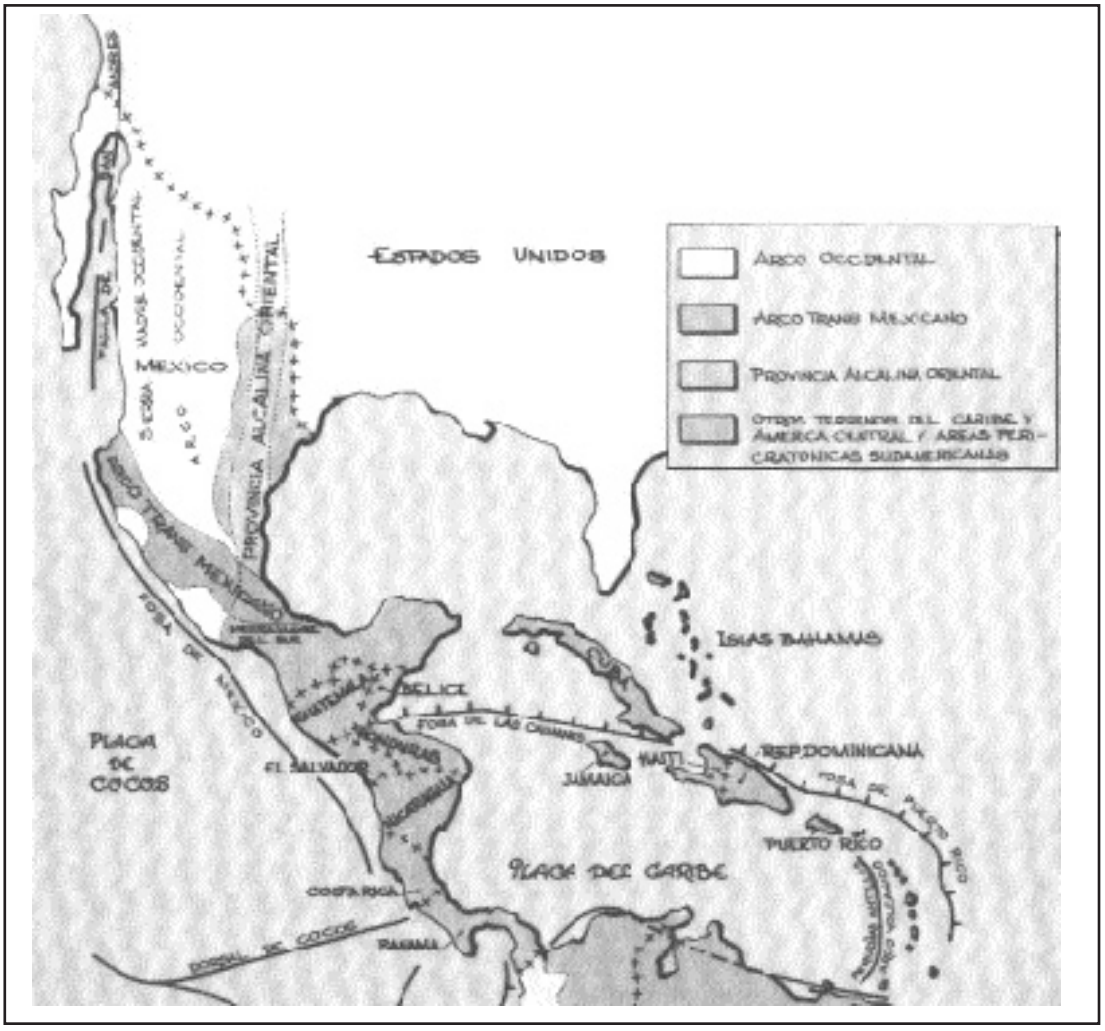


Figura VI-1 Ambientes geológicos México y Centro América

Yeso: Mineral de sulfato de calcio con dos moléculas de agua, con diverso origen. Al microscopio petrográfico se ve mayormente de tipo granoblástico, presentado los depósitos de valor comercial una amplia variedad en el tamaño de los cristales y las texturas. En los depósitos que no han sufrido prácticamente acciones disturbantes, las texturas son consistentes con las unidades estratigráficas, a diferencia de aquellos que han sido deformados y recristalizados, que presentan texturas porfiroblásticas con la combinación de capas de yeso fibroso y afieltrado.

Alabastro: Corresponde al sulfato de calcio formado por finos cristales. Esta variedad es muy buscada por los escultores debido a su trabajabilidad uniforme. Ocasionalmente, puede ser encontrado en los depósitos de valor comercial.

Espato satinado: Es el nombre con el cual se diferencia el yeso donde los cristales se encuentran dispuestos como agujas y orientados según el eje C. Se produce como consecuencia de la acción de las tensiones y deformaciones. Aparece como mineral secundario rellenando fracturas, donde las agujas alargadas se disponen perpendicularmente a las paredes de la falla y menos comúnmente en zonas de corte donde las agujas son paralelas a la dirección del movimiento.

Selenita: Se denomina al yeso formado por grandes cristales euedrales con clivaje desarrollado. Generalmente aparece rellenando espacios. Junto al espato satinado se consideran como minerales accesorios en los depósitos de yeso de roca.

Yeso sacaroide: Yeso macrocristalino formado por una acumulación desordenada de pequeños cristales (grano fino-medio), similares a granos de azúcar (aspecto sacaroideo). Típico de ambientes continentales con lagunas en climas áridos.

Gypsita: Corresponde a zonas semiáridas, donde el ascenso por capilaridad de aguas subterráneas producen por evaporación, depósitos porosos con cristales de tamaño pequeño. Se desarrollan especialmente, en depósitos arcillo limosos formando aglomeraciones con textura radiada o capas estratiformes.

Considerando que las variedades minerales de sulfato de calcio más importantes son yeso y anhidrita, es conveniente señalar algunas características diferenciales entre los mismos (Cuadro VI-3).

PROPIEDAD	YESO	ANHIDRITA
CaO	32,6 %	41,2
SO_3	46,5 %	58,8
H_2O	20,9 %	--
Dureza Mohs	1,5 – 2	3 – 3,5
Impurezas habituales	Anhidrita, arcilla, carbonato	Yeso, arcillas, carbonatos, sales solubles
Peso específico	2300 – 2400 kg/cm^3	2900 – 3000 kg/cm^3

Cuadro VI-3. Características comparativas entre yeso y anhidrita.

Potencial geológico minero

Los países iberoamericanos poseen en general importantes depósitos de yeso y azufre los que son comercializados con diferentes fines. Países como México, Brasil, Uruguay y Argentina poseen grandes niveles de producción. Le siguen en importancia Colombia y Chile. Con relación al azufre elemental, México es el mayor productor siendo destinado a la fabricación de ácido sulfúrico para la elaboración de fertilizantes fosfatados.

La potencialidad de los países iberoamericanos con relación a los depósitos yesíferos, se resume a continuación:

México: Es un importante productor de azufre elemental, el cual se obtiene a partir del proceso

	Producción mundial		Reservas	Reservas Base
	2003	2004e		
Alemania	600	3.670	710.000	850.000
Bielorrusia -	4.200	4.650	750.000	1000000
Brasil	340	360	300.000	600.000
Canada	9.200	9.500	4.400.000	9.700.000
Chile	360	400	10.000	50.000
China	500	550	8.000	450.000
España	510	600	20.000	35.000
Estados Unidos	1.100	11.200	90.000	300.000
Israel	1.960	1.940	40.000	580.000
Jordania	1.200	1.130	40.000	580.000
Reino Unido	620	580	22.000	30.000
Rusia	4.700	5.400	1.800.000	2.200.000
Ucrania	60	60	25.000	30.000
Otros paises			50.000	140.000
Producción mundial	28.400	30.000	8.300.000	17.000.000

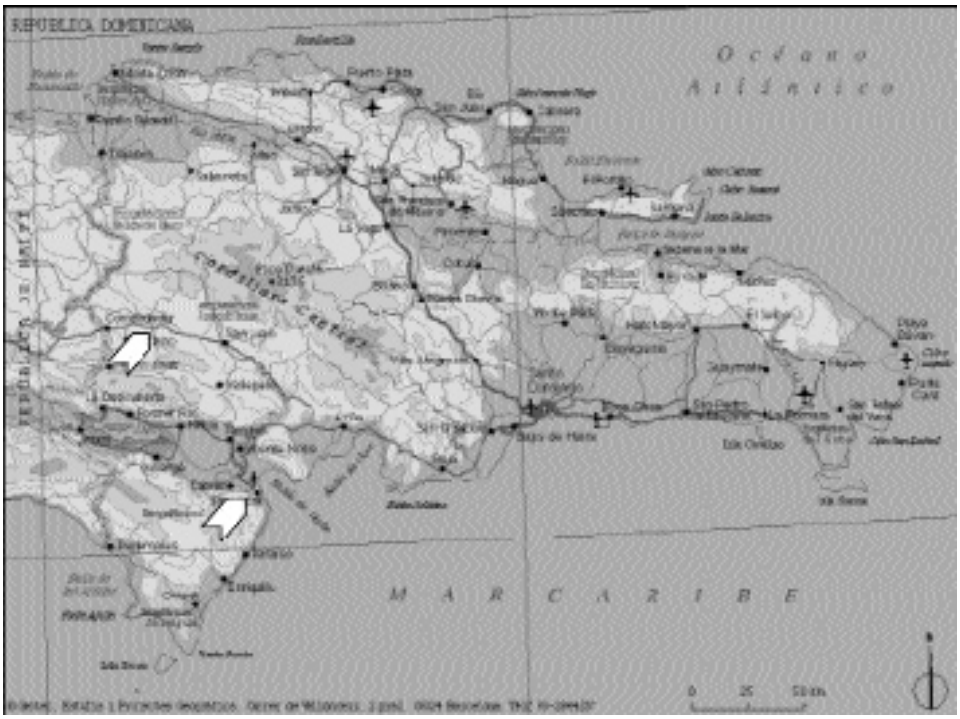
de refinación del petróleo y gas natural, como subproducto de las plantas de fundición de las compañías mineras productoras de metales base y preciosos o de los domos salinos ubicados en la Cuenca Salina del Istmo. También posee importantes yacimientos de yeso. (El detalle de este tema se desarrolla en el subcapítulo correspondiente a este país).

Nicaragua: El yeso posee origen sedimentario y es de edad terciaria ubicándose en la Provincia Central. Se presenta con intercalaciones entre rocas volcánicas. Lo producido se destina al mercado interno (Fernández Arce y Conejo Solís, 2000).

Costa Rica: Posee una importante mineralización de azufre elemental en el norte del país al pie de la Cordillera Volcánica Central, con una ley aproximada de 20% a casi 10 Km al este de Ciudad Quesada, Cantón de San Carlos en la provincia de Alajuela . Las reservas geológicas estimadas ascienden a 25 Mt de azufre elemental. El mineral de yeso por su parte, es importado; no obstante opera la industria FERTICA SA (Fertilizantes de Centro América S.A.) que posee una producción de 400.000 t/año de fertilizantes de diferente tipo. La mayoría de sus materias primas las importa de Estados Unidos (Conejo Solís et al, 2000).

El Salvador: El sector minero salvadoreño no representa una actividad importante en el país. Se menciona únicamente el yacimiento de azufre ubicado en la laguna de la Alegría del volcán Tecapa. El contenido de azufre elemental alcanza el 18,6 % encontrándose en sedimentos finamente granulados con espesores medios de 8 metros. El área investigada (Puente et al 2000) posee aproximadamente 43.400 m2 donde se concentra casi 380.000 m3 de sedimentos azufrosos. La estimación de las reservas de azufre elemental es de aproximadamente 55.000 t y las ubicadas en la laguna de Alegría no superan 150.000 t.

República Dominicana: Los yacimientos se encuentran en las provincias de Barahona e Independencia, en el lugar de Las Salinas. La extracción se efectúa mediante explosivos usando para su transporte equipos pesados. Los estratos de yeso se superponen a los depósitos de sal. El destino del yeso en el mercado nacional está dirigido a la fabricación de cemento, materiales de construcción y uso agrícola. Una parte de la producción se destina a la exportación. En la Fig.



VI-2 se muestra un mapa geológico del país con señalización de los yacimientos de yeso.
Figura VI-2. Mapa geológico de República Dominicana y ubicación de los yacimientos de yeso

Cuba: Los depósitos pertenecen al Jurásico superior constituyendo una secuencia diapírica policomponente, ya que la matriz de yeso suprayace a brechas salinas. En algunos sectores las formaciones se presentan tectonizadas y meteorizadas; en otras el yeso es de tipo lenticular emplazado en brechas jurasicas vinculadas a serpentinitas y areniscas. La industria yesera en Cuba se refiere principalmente a tres yacimientos: Canasí, Punta Alegre y Baitiquirí. Las leyes de los yacimientos de valor comercial fluctúan entre 70 y 86% destinándose principalmente a la construcción, cerámica blanca y fabricación de cemento. Los yesos cubanos presentan diferentes calidades y colores variables entre gris, gris claro y blanco, razón por la cual son objeto de una explotación selectiva, según la demanda. Los yacimientos cuentan con plantas de procesado donde se efectúa la trituración, molienda, cribado, clasificación, calcinación y embolsado.

Brasil: Posee una de las mayores reservas mundiales de yeso considerando las medidas, indicadas e inferidas, la que ha sido estimada en 1,7 billones de toneladas según el Departamento

Nacional de Producción Mineral del año 2001. Los principales depósitos aparecen en las cuencas sedimentarias Amazónica (Amazonas y Pará), Norte Medio (Maranhao y Tocantins), Potiguar (Rio Grande do Norte), Araripe (Piauí, Ceará y Pernambuco) y Recôncavo (Bahia). Las edades de estos depósitos se distribuyen desde el Paleozoico al Mesozoico, distinguiéndose por la alta pureza la que llega al 98% (Más detalles en el subcapítulo correspondiente a Brasil).

Básicamente las reservas brasileñas se concentran en los estados de Bahía (44%), Pará (31%) y Pernambuco (18%). De ellas la porción con mejores condiciones de aprovechamiento económico se sitúa en la cuenca sedimentaria de Araripe en la región fronteriza de los estados de Piauí, Ceará y Pernambuco.

Venezuela: En Venezuela los principales usos del yeso se distribuyen aproximadamente entre plantas de cemento (42%), ferreterías (24%), industria de la construcción (14%), industria cerámica (11%), industrias de maniquíes (5%) y artistas y escultores (4%).

Posee yacimientos de yeso y azufre depositados en la Cordillera de la Costa formando el principal distrito yesífero del país, ubicado en la Península de Paira (Mayor información en el subcapítulo correspondiente a Venezuela) con capas que superan los 30 m de espesor e intercalados con calizas. También en las Formaciones Sedimentarias Septentrionales contienen depósitos de yeso; en tanto el azufre empleado como fertilizante se extrae del Estado de Táchira.

Los valores de tonelaje estimados como reservas muestran un total aproximado de 40Mt , que se distribuyen en los estados de Uriquito, Tacua, Morrocoy, Morrocoycito y Macuro.

Los estados de Guárico y Yaracuy poseen yacimientos de menor importancia, habiéndose estimado sus reservas en 3 Mt.

Colombia: El yeso es empleado en pequeña cantidad en la elaboración de fertilizantes, siendo el principal destino la industria de la construcción. Los más importantes depósitos se encuentran en la Cordillera Oriental en la costa de la Península de la Guajira y en algunos sectores de la Cordillera Central. Existen mineralizaciones de azufre asociadas a la actividad volcánica del Plio-Pleistoceno en las Cordilleras Central y Occidental, otras mineralizaciones se encuentran en el Complejo volcánico Ruiz-Tolima. La aplicación directa del azufre en la agricultura es muy baja, empleándose principalmente en la fabricación de ácido sulfúrico para preparación de fertilizantes. (Mayores detalles en el subcapítulo correspondiente a este país).

Ecuador: La riqueza del suelo ecuatoriano, es suficientemente grande y diversificado, tanto en minerales metálicos como no-metálicos presentando muy interesantes perspectivas para la explotación minera intensiva permitiendo la implementación de significativos proyectos mineros. Entre los no metálicos existen importantes depósitos de calizas, arcillas, yeso, baritina, feldespato, sílice, fosfatos, bentonita, piedra pómez, entre otros.

La geología del Ecuador está definida por las cadenas montañosas de Los Andes que limitan sus principales regiones geomorfológicas, las cuales de este a oeste comprenden: la Región Amazónica, la Cordillera Real, la Región Interandina, la Cordillera Occidental y la Costa. Los Andes en el Ecuador comprenden dos cordilleras distintas y forman el segmento sur de los Andes norteños que tienen un rumbo general nor-noreste.

La explotación de yeso está concentrada en la zona sur del país en la Provincia de Loja (Malacatos y Bramaderos) y satisface parcialmente, los requerimientos de la industria del cemento y parte de la construcción (Proaño y Jarrín 2000).

Perú: Los depósitos de yeso son producto de la precipitación de aguas cargadas de sales en ambiente árido. Excepcionalmente, es producto de soluciones de tipo hidrotermal. Los yacimientos de mayor importancia se presentan como mantos horizontales con gran extensión y escasa potencia; éstos se encuentran en los departamentos de Piura, Lambayeque y La Libertad. El marco geológico y climático de la formación de los depósitos de yeso, es similar a la de la sal común con la diferencia que el sulfato de calcio precipita en salmueras menos concentradas que el cloruro de sodio. Existen varios depósitos de yeso que no están vinculados con los de sal. Contrariamente, todos los depósitos de sal común de origen marino forzosamente están relacionados con los de precipitados de yeso. El yeso de origen marino no vinculado con los depósitos de halita está frecuentemente asociado a calizas (Perales Calderón et.al, 2000). Una parte del yeso producido es usado crudo en la agricultura como estabilizador de suelos alcalinos y salinos; aunque el destino principal es la industria del cemento Pórtland. El azufre por su parte se presenta en forma amplia en sentido norte sur.

La producción de azufre se dirige principalmente a la industria química, no llegando a satisfacer la demanda interna, razón por cual debe ser importado.

Bolivia: Posee importantes yacimientos de azufre nativo en la cordillera occidental como consecuencia de la sublimación de los gases de fumarolas y solfataras relacionados con los volcanes activos de la región. Los yacimientos se ubican en las laderas de los volcanes en vetas manteadas con espesores variables de 30 cm a 1,2 m. El yeso es de edad Cretácico-Terciario en forma de horizontes que no superan los 50 cm de espesor. Existen intercalaciones con arcillas rojas en la formación Tarapaya del Cretácico y con arcillas rojas y margas verdes en la formación Pando, del Terciario (Mamani Alizares y Bejarano, 2000).

Chile: La producción de yeso se realiza ligada a la producción de carbonato de calcio y a la industria del cemento.

Los depósitos de yeso poseen su génesis en sedimentos evaporíticos de edad Jurásica ubicados entre las Regiones II y VII con leyes entre 80 y 92% (Gajardo 1998ª); otras manifestaciones se han desarrollado durante el Cretácico Inferior, ubicándose geográficamente en la Cordillera de la Costa y Precordillera de las Regiones II y IV (leyes entre 65 y 88%) y finalmente los de edad Terciario Superior-Cuaternario, correspondiendo a las Regiones I a III en secuencias marinas y continentales. Los yacimientos más importantes corresponden a los de la Región Metropolitana al sureste de Santiago, en las Regiones IV y II, destinado principalmente a la fabricación de cemento y cerámica, en menor proporción a la agricultura. La mina El Volcán es quien suministra la producción más importante, siguiéndole la de la Compañía Minera Romeral. Cierta relevancia posee también la producción proveniente de los yacimientos de Mantos Verdes (Antofagasta) y Pinti (IV Región). En términos generales se considera que la producción del yeso se encuentra ligada a los ciclos económicos, es decir cuando la actividad de la construcción crece la producción de este mineral la acompaña.

Paraguay: La aparición de yeso en este país se corresponde con depósitos de tipo secundario como vetas, nódulos o cristales distribuidos irregularmente hasta en un 80% en sedimentos arci-

llosos/limosos y asociados a nódulos carbonáticos. Son productos de precipitación química posdiagenética, presentándose como lentes de arcillas yesíferas de diferentes espesores y tamaños. Morfológicamente las arcillas ricas en yeso constituyen extensas planicies cuaternarias o pequeñas cuencas cerradas de profundidades someras. Las más conocidas son las manifestaciones de Lagerenza en la Región Occidental, Vallemi y Alberdi (González 2000).

Uruguay: De acuerdo con datos publicados por el Instituto Geominero de España, en el año 2000 este país produjo alrededor de 1 Mt de yeso. No obstante, no se encuentran referencias sobre yacimientos de este mineral. Aparentemente, los depósitos conocidos estarían asociados a las Cuencas del Santa Lucía y de la Laguna Merín en terrenos de edad cretácica.

Argentina: Posee depósitos de yeso de grandes volúmenes, aunque la producción no se realiza en igual proporción. Las principales regiones se ubican en la cuenca neuquina, oeste y centro oeste del país, en la región Buenos Aires-La Pampa y suroeste de la Mesopotamia. (Mayores detalles en el subcapítulo correspondiente a este país).

Proceso de Industrialización

El procesamiento del yeso crudo depende del uso final. El que tiene por destino a los suelos agrícolas, esencialmente se modifica la granulometría y es usado crudo.

Se suele producir un granulado a partir de la molienda simple o bajo la forma de pellets producto obtenido por molienda primero llevándolo a una granulometría muy fina y luego aglutinado en forma individual o asociado a otros fertilizantes. Para su aplicación normalmente cuando se trata de polvo se usan máquinas encaladoras, en tanto para el pellet se emplean las sembradoras o fertilizadoras comunes.

Cualquier otro tratamiento en el que se incluya la temperatura, indica la aplicación de yesos en la fabricación de cemento, revoques y yesos especiales para las industrias medicinales y odontológicas, eventualmente en moldes y como carga mineral.

Básicamente la tecnología de procesado implica etapas de trituración (primaria y secundaria), molienda fina, clasificación, purificación, secado (si es necesario) y calcinación (Fig. VI-3).

Los procesos de beneficio como flotación, separación gravitacional, etc. se aplican solamente para casos especiales que justifiquen el mayor costo que los mismos producen.

En la actualidad las empresas industrializadoras ponen énfasis en mejorar el control de los procesos y uso de equipos que permitan el logro de productos de mejor calidad.

Utilización agrícola del Yeso

Mercado actual y pontencial del azufre en la agricultura

Los fertilizantes y enmiendas representan agro-insumos fundamentales de los esquemas moder-

nos de producción y constituyen tecnologías cada vez más necesarias y utilizadas para sostener e incrementar el rendimiento de los cultivos y la producción de alimentos. Bajo esta perspectiva, los fertilizantes y enmiendas forman parte vital del desarrollo sustentable de la agricultura ya que permiten hacer frente a la creciente demanda de alimentos de una población en progresiva expansión.

El mercado actual del azufre (S) como nutriente agrícola en Latinoamérica sería del orden de las 600.000 Ton y podría alcanzar las 900.000 Ton a finales de la década actual (Fertilizantes América Latina 2004). La mayor demanda de S en términos de volumen provendría de Brasil, Argentina y México, países en donde en los últimos años se han reportado numerosas situaciones de respuestas a la fertilización azufrada y es progresiva la incorporación del S en los programas de fertilización balanceada.

La intensificación de la agricultura y el progresivo deterioro de los suelos, determinó en las últimas décadas la aparición de situaciones de deficiencia a otros nutrientes diferentes de los macroelementos primarios (nitrógeno, fósforo, potasio). Así, comenzaron a evidenciarse situaciones de deficiencia y respuestas favorables al agregado de nutrientes como azufre (S), calcio (Ca), magnesio (Mg) y microelementos.

El yeso agrícola ($CaSO_4.2H_2O$) es un mineral muy importante debido a que es posible utilizarlo tanto como fertilizante azufrado y también como corrector de suelos sódicos. Una de las propiedades más destacables del yeso es su relativamente alta solubilidad en agua pura (2.6 g/L a 25°C), considerablemente mayor que la de la calcita, pero mucho menor que las sales solubles (Porta et. al.; 2003). Además de proveer calcio soluble (Ca_2+), aporta sulfatos disponibles para las plantas (Harris, 2001). El yeso agrícola en su forma mineralógica pura (sulfato de calcio dihidratado) contiene 18.6% y 23% de Ca. Sin embargo, los yesos comercializados para agricultura normalmente contienen una riqueza menor de nutrientes debido a la presencia de impurezas. Las impurezas más comunes en muestras de yeso son minerales silicatados, calcita, dolomita, etc. También es común la presencia de sales solubles. Así, el contenido real de nutrientes estaría en el rango de 15-17% de S-SO_4 y entre 19-21% de Calcio. Muchas veces en los análisis químicos de muestras de yesos se determinan niveles, por ejemplo de 17% de S-SO_4 y más del 23% de Ca. Esto se debería a la presencia de otros compuestos de calcio mezclados junto con el sulfato de calcio, como carbonatos de calcio.

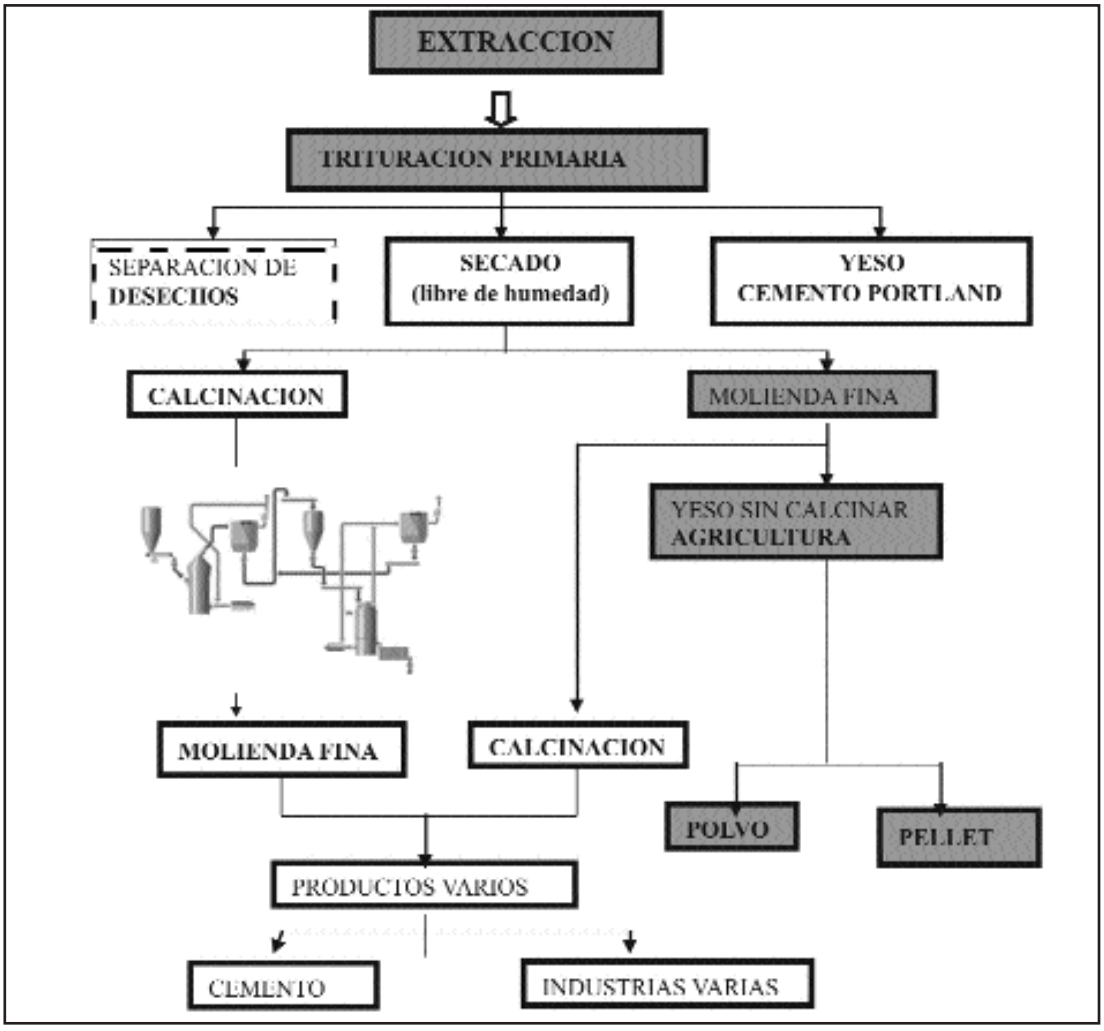


Figura VI-3 Esquema de procesamiento del yeso según su destino.

La demanda de S para la Agricultura Latinoamericana experimentó una expansión considerable en los últimos años, siendo las principales causas:

• Aumento de la productividad de los cultivos y necesidad de una fertilización balanceada.

• Reducción en la utilización del sulfato de amonio (SA) como fuente nitrogenada, que además aportaba azufre.

• Reducción progresiva de la aplicación de superfosfato simple de calcio (SPS) como fuente fosfatada a favor de los fosfatos de amonio (sin azufre) y del superfosfato triple de calcio (con muy poco azufre).

• Controles de emisiones de gases de efecto invernadero, entre ellos del dióxido de azufre, en Europa occidental y Estados Unidos determinaron la aparición de áreas con deficiencias de S e incrementaron la fertilización azufrada.

El azufre en agro-sistemas

El azufre en el suelo

El S en los suelos agrícolas se encuentra principalmente en forma orgánica. Esta fracción representa más del 95 % del S total. En las formas inorgánicas, el S predomina como sulfato (en la solución del suelo) y en menor media puede formar parte de otros minerales como pirita (FeS_2) (Haneklaus et. al., 2000). Sin embargo, los minerales reducidos de S son más comunes en suelos con bajos potenciales de óxido-reducción (como suelos anegados o pantanosos) y no forman reservas considerables de S mineral en suelos agrícolas. A continuación se esquematiza el ciclo agrícola del S en el sistema suelo-cultivo: (ver esquema).

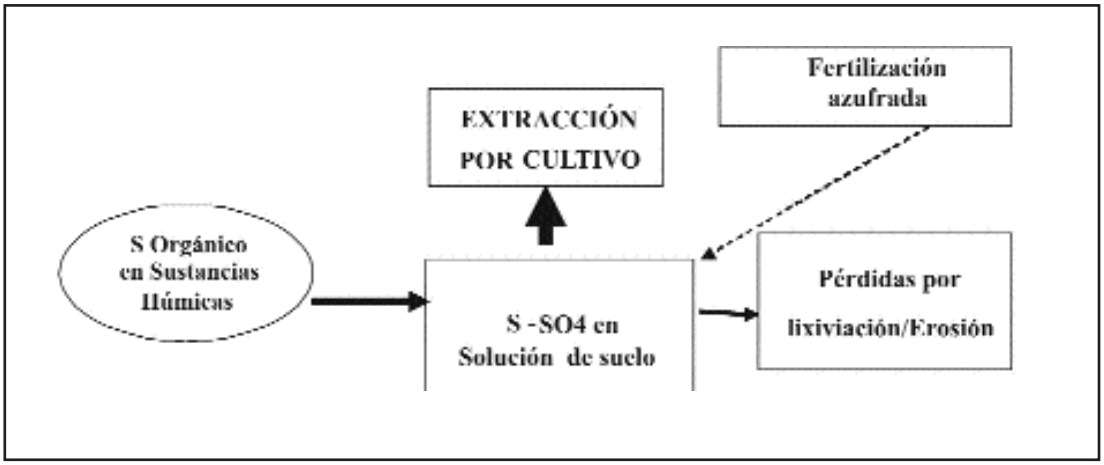
El azufre disponible para las plantas se encuentra como sulfatos en la solución edáfica que provienen de la mineralización del S orgánico presente en la materia orgánica. Las entradas al sistema suelo-planta son la fertilización (ya sea mediante minerales, fertilizantes químicos o enmiendas orgánicas) y en zonas industriales, también los aportes atmosféricos. La principal salida de S fuera del agro-sistema se produce a través de la extracción de S efectuados por los cultivos y en menor medida por pérdidas por lixiviación y erosión. Las mayores chances de encontrar respuestas en rendimiento al agregado de azufre se presentan en sistemas agrícolas con prolongada e intensa historia agrícola que provocan balances negativos de azufre, es decir en donde las salidas de S del sistema superan considerablemente a los aportes vía fertilización. En suelos y ambientes de zonas templados las pérdidas por lixiviación de sulfatos no resultan muy elevadas. En suelos tropicales sometidos a un régimen hídrico mas intenso y a suelos muy meteorizados, las pérdidas por lixiviación pueden ser elevadas.

El azufre en la nutrición de los cultivos

El S participa en importantes funciones bioquímicas como la síntesis y formación de proteínas, forma parte de la estructura de la biotina, participa del metabolismo lipídico, ente otras (Mengel y Kirkby, 2000). Las deficiencias de S provocan una reducción en la expansión foliar, una menor intercepción de la radiación interceptada, determinando una disminución en la acumulación de biomasa (debido a una menor actividad fotosintética) y en el rendimiento en grano.

La sintomatología de deficiencia del S se evidencia como amarillamiento (clorosis) de las hojas más jóvenes (superiores), indicando la escasa capacidad de retraslocación y movilidad del nutriente en la planta.

El S también forma parte de la enzima nitrogenasa que es la encargada de la fijación biológica de nitrógeno (FBN) en cultivos de leguminosas. Mediante la FBN este tipo de plantas tienen la capacidad de transformar el N molecular presente en la atmósfera en formas asimilables (amonio) para el crecimiento. Este proceso se realiza en los nódulos mediante la simbiosis entre bacterias



(rizobios) y las raíces del cultivo de leguminosas. Además del S, el proceso de FBN es afectado por carencias severas de P, Ca, Mg, Co, Mo y B.

Necesidades de fertilización, residualidad y manejo del azufre en rotaciones agrícolas

En el cuadro VI-4 se muestran niveles orientativos de necesidades de aplicación de S en diferentes grupos de cultivos en suelos con deficiencias de este nutriente. Los valores son orientativos y la dosis específica a aplicar dependerá del rendimiento estimado, el tipo de ambiente edáfico-climático y las condiciones de manejo.

Grupo I (Alto requerimiento de S)	Necesidad de Azufre (kg/ha de S)
Crucíferas	40-80
Alfalfa	30-70
Colza	20-60
Grupo II (Moderado requerimiento de S)	
Cafeto	20-40
Caña de azúcar	20-40
Tréboles y pastos forrajeros	10-40
Algodón	10-30
Grupo III (Bajo requerimiento de S)	
Remolacha azucarera	15-25
Cereales forrajeros	10-20
Cereales para grano	5-20
Maní	5-10

Cuadro VI-4 Requerimientos de azufre para diferentes cultivos (Darwich, 1998).

El diagnóstico de la fertilidad del suelo es la herramienta básica para determinar la necesidad de fertilización azufrada a través de los análisis de suelos, plantas y los principios de las buenas prácticas agrícolas. En términos generales, en el proceso de diagnóstico se consideran diferentes factores como el nivel de sulfatos en suelo, los años de agricultura del lote y su estado de degradación, el contenido de C orgánico del suelo, etc. También en algunos países analizan la concentración de S y la relación entre N y S en tejidos vegetales, o el contenido porcentual del S en granos para definir situaciones de carencia de S y necesidades de fertilización.

El S se caracteriza por tener una movilidad en el suelo intermedia entre los nitratos (muy móviles) y el potasio. La menor movilidad de los sulfatos en el perfil estaría relacionado con procesos de adsorción específica en arcillas y óxidos (común en suelos con minerales criptocristalinos). La menor movilidad del S en el suelo respecto al nitrógeno, determina un fenómeno denominado ¨residualidad¨. Esto significa que los efectos de la fertilización azufrada se puede evidenciar más allá del ciclo de producción de un determinado cultivo. En este sentido, es posible optimizar cuestiones operativas aplicando la dosis de S que permita satisfacer la demanda de varios cultivos en una rotación, evitando aplicar en cada uno de ellos, con las complicaciones operativas que ello implica. Este proceso de la residualidad se presenta también con el fósforo (P) y por ello, la fertilización con P y S puede ser programada para secuencias de 2 o más cultivos, a diferencia del N que prácticamente no se acumula en suelos y es poco común hallar residualidad más allá de un ciclo de cultivo.

La ocurrencia de residualidad azufrada depende en gran medida del tipo de suelo. En suelos que presenten fijación de sulfatos dentro de los compuestos inorgánicos del suelo, la disponibilidad de S para los próximos cultivos de la rotación será menor (baja residualidad). Esto se verificaría, por ejemplo, en suelos que contienen minerales criptocristalinos y/o arcillas del tipo 1:1. Por otro lado, en suelos con minerales de arcillas no fijadoras (arcillas 2:1, como illitas, esmectitas) y con escasa presencia de materiales amorfos, la residualidad sería mayor.

El yeso como fertilizante

La utilización del yeso como fertilizante azufrado en la agricultura latinoamericana es aún muy escasa, siendo el uso más común como corrector de pH en suelos alcalinos o salino-alcalinos. Las fuentes de S más utilizada en los programas de fertilización son los fertilizantes de síntesis química como el sulfato de amonio (SA) y el superfosfato simple de calcio (SPS). En el cuadro VI-5 se presentan los principales fertilizantes azufrados utilizados en agricultura, tanto en cultivos extensivos como en intensivos.

A pesar del escaso consumo actual de yeso como fertilizante en comparación con las fuentes de síntesis química, las perspectivas de difusión de este mineral son favorables debido a la existencia de importantes yacimientos en varios países latinoamericanos (existencia de oferta) y la creciente demanda de S para la agricultura, sobre todo, para el mercado de la soja, extensamente cultivada en países como Brasil y Argentina.

A continuación se resumen las principales características del yeso y del escenario agrícola que explicarían las buenas perspectivas de demanda del CaSO4 2H2O para el mercado de fertilizantes:

Fertilizante	Fórmula química	% de S
Sulfato de amonio	$(NH4)_2SO_4$	24
Tiosulfato de amonio	$(NH_4)_2S_2O_3$	26
Sal de Epsom	$MgSO_4$ $7H_2O$	13
Yeso agrícola puro	$CaSO_4$ $2H_2O$	18.6
Sulpomag	K_2SO_4 2 $MgSO_4$	22
Sulfato de potasio	K_2SO_4	18
Azufre elemental	S	30-100
Acido sulfúrico	H_2SO_4	33
Superfosfato simple	Ca $(H_2PO_4)_2$+$CaSO_4.2H_2O$	12-14
Superfosfato triple	Ca $(H_2PO_4)_2$+$CaSO_4.2H_2O$	1

Fuente: Fertilizer Manual, 1998 (IFDC-UNIDO)

Cuadro VI-5 Principales fuentes azufradas utilizadas en agricultura.

• Disponibilidad de yacimientos

El yeso constituye uno de los minerales más abundantes en varios países de Latinoamérica, existiendo en términos generales bastante información de ubicación y caracterización geológico-minera de los mismos.

• Demanda para mezclas físicas de fertilizantes

En la última década, la necesidad de alcanzar esquemas de fertilización balanceada, determinó una creciente demanda de productos fertilizantes multinutrientes. Por ello, se instalaron y difundieron plantas de elaboración de mezclas físicas (blens) en los principales mercados de fertilizantes latinoamericanos (Brasil, México, Argentina, etc.), aprovechando los menores costos de formulación en comparación a las plantas de fabricación de fertilizantes complejos. En este escenario, el yeso agrícola, además de ser incorporado como “filler”, es una materia prima progresivamente agregada como fuente de S sin nitrógeno, importante para mezclas destinadas a cultivos de leguminosas.

• Buen comportamiento físico-químico

El yeso agrícola ($CaSO_4.2H_2O$) tiene características físico-químicas que le otorgan buen potencial agrícola.

• Como ingrediente de mezclas físicas secas no presenta problemas de compatibilidad química con fertilizantes químicos.

• En aplicaciones en conjunto con semillas (en la línea de siembra) no determina problemas de fitotoxicidad por amoníaco debido a que no contiene nitrógeno y tiene un pH de reacción neutro.

• Aporta S y Ca biodisponibles para los cultivos.

• Permite su procesamiento industrial con otros minerales en elaboración de productos comple-

jos, mejorando el valor agregado del producto final y las posibilidades de colocación en el mercado.

• Competitividad económica

El sulfato de calcio dihidratado es una fuente competitiva de S. El aprovechamiento de este mineral permitiría sustituir total o parcialmente la utilización de fertilizantes de síntesis química, sobre todo, en aquellos países que disponen de depositos o yacimientos de yeso de buen potencial agronómico y que dependen de la importación de fertilizantes químicos azufrados para satisfacer la demanda de S.

Yeso como enmienda

Problemática de los suelos sódicos

La aplicación de yeso como corrector de pH de suelos alcalinos es la forma más generalizada de utilización de este mineral. La presencia de suelos sódicos es una limitante muy importante para la productividad de los cultivos, tanto en zonas áridas y semiáridas como en regiones húmedas. Los suelos sódicos se caracterizan por tener niveles de pH superiores a 8.5 y niveles de CE (conductividad eléctrica) menores a 4 dS/m. También existen los suelos salino-alcalinos, que además de tener un pH superior a 8.5, tienen una CE superior a 4 dS/m.

La degradación de suelos generada por la presencia de sodio es un problema de fertilidad muy relevante que limita la productividad agrícola mediante los siguientes efectos:

• Efectos sobre la fertilidad física

El proceso de sodificación del perfil determina una degradación de la estructura del suelo, expandiendo el sistema coloidal y reduciendo y/o eliminando la macro y meso-porosidad. Esto provoca el encostramiento superficial que altera la dinámica del agua y aireación del suelo. Fundamentalmente el efecto más relevante es la reducción de la infiltración y permeabilidad del suelo que determina muchas veces procesos de anegamiento, erosión por escorrentía en suelos con pendiente, etc.

• Efectos sobre la actividad microbiana y disponibilidad de nutrientes

La alcalinidad de suelos determina una reducción de la actividad biológica, fundamentalmente en lo que respecta a la actividad fúngica y bacteriana. Uno de los efectos negativos más significativos en términos agronómicos es la reducción de la actividad nitrificadora y la alteración consiguiente del ciclo del N en el agro-ecosistema.

El elevado nivel de pH altera los ciclos biogeoquímicos de los principales nutrientes esenciales para las plantas. Así, con pH superiores a 8.5 se reduce considerablemente la biodisponibilidad del P, de los microelementos metálicos como el Fe, Cu, Zn, Mn y del B. También la eficiencia de fertilización nitrogenada con fuentes amoniacales o amídicas (urea) se reduce notablemente en suelos alcalinos por las pérdidas de N por volatilización.

• Toxicidad específica de sodio

Existe gran variación en la capacidad de distintas especies vegetales de tolerar al ión sodio en exceso. La mayoría de las especies arbóreas (frutales y forestales) son particularmente sensibles aún con bajas concentraciones de sodio. Los cultivos anuales son en términos generales mucho más resistentes a la presencia de sodio, si bien muchos de ellos son afectados por altas concentraciones de éste (Niborski, 2000). Los síntomas de toxicidad se manifiestan como un quemado o desecamiento de tejidos en el borde externo de las hojas progresando hacia el centro de las mismas. La toxicidad por sodio se ve disminuida y hasta eliminada por la presencia de adecuadas cantidades de calcio.

En el cuadro VI-6 se presenta el intervalo de PSI (Porcentaje de Sodio Intercambiable) en el que se produce una reducción del 50% del rendimiento y la sensibilidad de algunos cultivos.

PSI menores a 15	PSI entre 15 y 25	PSI superiores a 25
Sensibles	**Intermedias**	**Tolerantes**
Palto	Trébol rojo	Alfalfa
Maíz	Algodón	Cebada
Duraznero	Limonero	
Remolacha/acelga		
Naranjo dulce	Lechuga	Cebolla

Cuadro VI-6. Reducción del 50% del rendimiento según nivel de PSI en el suelo para algunos cultivos. Fuente: Adaptado de FAO, 1963 y citado por Niborski, 2000.

Corrección de pH en suelos alcalinos

La aplicación de yeso permite desplazar el sodio adsorbido en las arcillas del suelo. Una vez que la enmienda entra en contacto con la masa de suelo, comienza a reaccionar y actuar el efecto del yeso como corrector. Lugo de la aplicación se produce una reducción progresiva del pH como consecuencia de un fenómeno de intercambio iónico a nivel de las arcillas. El Ca2+ aportado por el yeso, por tener mayor preferencia de adsortividad y además por un efecto de concentración (incremento de la concentración de iones Ca_2+ provocado por la aplicación de la enmienda), va reemplazando progresivamente a los cationes Na+ . Por ello, para lograr la rehabilitación del suelo, es necesario que el sulfato de sodio generado en la reacción de intercambio sea lavado fuera del sistema suelo, ya sea a través de la acción pluvial (en zonas con balances hídricos positivos) o a través de sistemas de drenaje en el caso de que sea rentable efectuarlos.

La reacción teórica global de intercambio iónico del yeso en el suelo es:

$$\underset{\text{Yeso}}{Ca\,SO_4.2\,H_2O} + \underset{\text{sodio adsorbido}}{X\text{-}Na} \rightleftarrows \underset{\text{calcio adsorbido}}{X\text{-}Ca} + \underset{\text{sulfato de sodio (drenaje)}}{Na_2SO_4}$$

Las dosis de aplicación de la enmienda dependen de varios factores, entre ellos: tipo de suelo (textura y capacidad buffer), origen de alcalinidad (genético, antrópico, etc.), nivel de PSI (Porcentaje de Sodio Intercambiable) y objetivo de reducción del mismo, cultivo a implantar, etc.

La cantidad de enmienda de yeso a aplicar se puede estimar en forma teórica mediante la siguiente expresión:

$$\textbf{Yeso (meq/100 g)} = \frac{\textbf{CIC (PSI inicial-PSI final)}}{\textbf{100}}$$

La CIC es la capacidad de intercambio de cationes del suelo, el PSI inicial es el porcentaje de sodio intercambiable determinado antes de realizar la corrección de pH y el PSI final es el porcentaje de sodio intercambiable objetivo, que dependerá del tipo de agro-sistema (suelo, cultivo, etc.) pero que el valor deseado es habitualmente 10. Para poder obtener la necesidad de yeso en toneladas/ha para una aplicación e incorporación en los primeros 20 cm de suelo se debe realizar el siguiente cálculo:

Requerimiento de yeso (kg//ha)=860 x 10-6 x 2.6 x 106 x Meq. de yeso

Así, por ejemplo, para un suelo con una CIC de 16 meq/100 g de suelo, un PSI inicial de 20 y un PSI objetivo de 10 y tomando como área de incorporación los primeros 20 cm de suelo, la necesidad de yeso sería:

a-Cálculo de Meq de yeso

$$\text{Yeso (meq/100 g)} = \frac{16\ (20-10)}{100} = 1.6 \text{ Meq/100 g de suelo.}$$

b-Estimación de Necesidad de Yeso

Yeso (kg./ha)= 860 x 10-6 x 2.6 x 106 x 1.6

Yeso (kg./ha)=3577 kg

Es relevante resaltar que este requerimiento es teórico y se debería considerar una eficiencia del 60-75% de reemplazo del sodio intercambiable y además es necesario ajustar según la pureza del producto ya que las fórmulas presentadas consideran a un yeso puro. Por ello, la dosis real de aplicación es superior a la estimada por las fórmulas consignadas (necesidad teórica).

En términos orientativos podríamos establecer como rango más usual de dosis de aplicación entre 2-10 toneladas/ha en corrección de pH de suelos alcalinos. Las oportunidades y formas de aplicación varían notablemente, pero en términos generales se procura realizar anticipadamente a la implantación del cultivo (por lo menos 3-4 meses según ambiente) y se debe lograr una cierta incorporación del yeso con el suelo mediante algún tipo de laboreo superficial.

Para optimizar la reactividad de la enmienda con el suelo es deseable un tamaño de partícula más bien fina. También es imprescindible lograr una buena distribución del producto en el lote. La frecuencia de aplicación dependerá fundamentalmente del tipo de suelo y del origen del sodio dentro del sistema.

Fosfoyeso y su Potencialidad de Uso Agrícola

La industria del ácido fosfórico realizada mediante el proceso húmedo (wet-process) produce alrededor de 4.5-5 toneladas de yeso residual por tonelada de P2O5 recuperado como ácido fosfórico (Fertilizer Manual, 1998). La reacción básica de este proceso se puede expresar en forma simplificada de la siguiente manera (Adaptado de Davsiter, 1998):

$3\ CaO\ P_2O_5 + 3\ H_2SO_4 + 6\ H_2O \rightarrow 3\ CaSO_4\ 2\ H_2O + 2\ H_3PO_4$

Apatita Ac. Sulfúrico Agua Yeso Ac.Fosfórico

La reacción se produce en un medio heterogéneo en donde el ácido sulfúrico (líquido) reacciona con la roca fosfórica (sólido) en medio acuoso generando como productos de la reacción el ácido fosfórico (líquido) y el yeso (sólido).

La producción global de 40 millones de toneladas de P_2O_5 por año en la forma de ácido fosfórico equivale a una producción estimada de 150 millones de toneladas de fosfoyeso, del cual solo el 15% es reutilizado.

La composición química del fosfoyeso varía dependiendo del tipo de roca fosfórica utilizada en la fabricación del ácido fosfórico. Por ello, también el riesgo potencial de contaminación fluctuará según el tipo de roca fosfórica usada como materia prima, teniendo en cuenta las diferencias significativas en contenidos de metales pesados, compuestos radioactivos y demás componentes químicos y mineralógicos entre fosforitas provenientes de diferentes orígenes e inclusive, entre rocas de yacimientos de una misma cuenca sedimentaria. En el cuadro VI-7 se presenta la composición química típica del fosfoyeso obtenido de la fabricación de ácido fosfórico a partir de roca fosfórica de la Florida (USA).

Componentes	Peso (%)	Desvío (%)
$CaSO_4\ 2\ H_2O$	96	
P_2O_5 (Total)	1	0.2
P_2O_5 Soluble	0.2	0.02
F Total	1.2	0.1
F Soluble	0.1	0.01
SiO_2	1.0	0.1
Al_2O_3	0.2	0.02
Fe_2O_3	0.1	0.02
Na_2O	0.2	0.02
.....Radionuclidos en µg/t.....		
Radon-226	23	5

Cuadro VI-7. Composición química del fosfoyeso
Fuente: Fertilizer Manual, 1998

Según investigaciones de la Economic Commission for Europe, alrededor del 90% del fosfoyeso

se deposita en pilas o parvas, 8% es eliminado en el mar y solamente el 2% es utilizado para un propósito determinado. Dentro de estos usos se mencionan:

• Producción de cemento (0.74%)
• Acido Sulfúrico/Cemento/enmienda (0.22%)
• Otros materiales de construcción (0.52%)
• Pigmentos (0.01%)
• Uso agrícola (0.50%)

El fosfoyeso puede ser utilizado como fertilizante, como filler o aditivo en fertilizantes compuestos y como enmienda para corrección de suelos alcalinos. El fosfoyeso húmedo (tal como es producido en la fabricación del ácido fosfórico) es difícil de manipular y aplicar. El costo del secado representa una gran desventaja y limitante para la utilización agrícola de este tipo de producto determinado que el yeso natural constituya una alternativa mas económica. Sin embargo, en regiones en donde las fábricas se encuentren en zonas áridas o semiáridas es posible secar el fosfoyeso al sol. Con una humedad del 6% o inferior se logran buenas condiciones físicas para el manipuleo y aplicación. En países con demandas de fertilizantes considerables como Brasil, Argentina, México, etc., la posibilidad de la granulación del yeso representa una tecnología que permite mejorar la presentación del producto y su comportamiento en su utilización en blends y en la aplicación mediante sembradoras y/o máquinas fertilizadoras. También es posible aprovechar el proceso de granulación para incorporar otros elementos como microelementos que incrementan el valor agregado del producto y las posibilidades de segmentación y posicionamiento del mismo.

Conclusiones y perspectivas

• El mercado actual del S como nutriente agrícola en Latinoamérica sería del orden de las 600.000 Ton anuales y podría alcanzar las 900.000 Ton hacia finales de la década presente.

• La mayor demanda de S y de yeso en términos de volumen provendría de Brasil, Argentina y México en donde en los últimos años se han reportado situaciones de deficiencia de S y importantes respuestas a la fertilización azufrada sobre todo en cultivos como soja, maíz, trigo, pasturas, etc.

• El yeso agrícola ($CaSO_4$. 2H2O) es un mineral muy interesante debido a que es posible utilizarlo tanto como fertilizante en la provisión de S como corrector de suelos alcalinos y salino-alcalinos. Dispone de características físico-químicas muy apropiadas para su utilización en mezclas físicas de fertilizantes y para su aplicación directa en suelos, además de un costo competitivo respecto de los fertilizantes azufrados de síntesis química.

• La demanda de S y yeso para la agricultura Latinoamericana experimentó una notable expansión en los últimos años debido fundamentalmente al aumento de la productividad de los cultivos, la menor utilización del SA como fuente nitrogenada y del SPS como fuente fosfatada y progresiva aplicación de los fosfatos de amonio y del SPT para el agregado de P.

• Si bien el consumo actual del yeso en fertilización de cultivos es muy escasa en comparación

con las fuentes de origen químico (SA, SPS, etc.), existen condiciones favorables para el desarrollo del mercado debido a diferentes factores: disponibilidad de yacimientos, demanda creciente de S en agricultura, necesidad de aplicación de yeso en áreas de suelos degradados por sodio (suelos alcalinos), entre otros factores.

• El fosfoyeso generado como co-producto en la fabricación de ácido fosfórico constituye un tema de preocupación por su eventual impacto ambiental. Las características fisico-químicas del mismo le otorgan buen potencial agrícola, sobre todo en países en donde las fábricas se encuentren en zonas áridas y semiáridas, donde el producto se pueda secar al sol, evitando los costos de secado que harían económicamente inviable su reutilización. Asimismo, en áreas donde las fábricas de ácido fosfórico se encuentren en zonas húmedas, la posibilidad de aprovechamiento del fosfoyeso podía ser viable si se incorpora un módulo de procesamiento que permita obtener un producto con mayor valor agregado como la pelletización e incorporación de otros nutrientes.

• Los principales aspectos que determinarán el éxito en el desarrollo del mercado de yesos agrícola son:

• Nivel de actividad económica del país y del sector de la construcción (que origina la demanda global del yeso).

• Disponibilidad de yacimientos de buen potencial agronómico.

• Existencia de demanda agrícola de S en área cercana a los yacimientos (baja incidencia del flete).

• Estrategias de comercialización de empresas proveedoras acordes a las necesidades del sector agropecuario, muy diferentes a las del sector de la industria.

• Creación de estándares de calidad de productos (como normas IRAM, ISO u otras) que permitan optimizar la selección de productos por parte del productor agropecuario.

• Disponibilidad de mayor información científica y divulgación en temas relacionados con la dinámica del S y del yeso en agro-sistemas tanto en esquemas de fertilización como en corrección de pH en suelos sódicos.

• Desarrollo de alianzas estratégicas entre empresas proveedoras de fertilizantes y mineras en el desarrollo conjunto de productos que permitan optimizar la originación de materia prima y el posicionamiento de productos.

• Integración y desarrollo de redes entre Universidades, Institutos y empresas (mineras y de fertilizantes) en acciones de Investigación y Desarrollo.

Argentina

María Beatriz Ponce [1] y Martín Torres Duggan[2] (Ex aequo)

Recursos mineros y actividad extractiva

Introducción

Tradicionalmente, el yeso explotado en Argentina se ha destinado principalmente a la industria de la construcción. No obstante, el aumento de áreas dedicadas a los cultivos, como consecuencia de la demanda incremental de alimentos en el ámbito mundial, ha puesto de manifiesto la importancia de la aplicación del yeso como enmienda en suelos. Como consecuencia de esta última situación, se ha intensificado el uso de este mineral en algunos suelos para mejora de los mismos en pos de una mayor y mejor productividad agrícola.

El interés por el yeso agrícola, lleva a identificar las características y especificaciones a cumplir por el mineral existente en los yacimientos explotados o no, para conocer su potencial aplicación.

Aplicar una enmienda mineral, sea ésta de tipo yesífera o de otra naturaleza, implica que el suelo posee algún nivel de degradación. Esta última puede ser producto de la explotación agrícola intensiva o por los procesos naturales erosivos, que demandan de la aplicación de determinadas técnicas, con la finalidad de devolverles sus propiedades físicas y químicas en pos de lograr una mayor productividad. Tales técnicas constituyen las enmiendas minerales y/o el empleo de fertilizantes.

Formación del Yeso

El yeso y la anhidrita son formas minerales que responden genéticamente a depósitos de tipo evaporítico, encontrándose ampliamente distribuidos en la Argentina. Frecuentemente, se presentan asociados a impurezas como carbonatos de calcio y magnesio, cloruros, otros sulfatos minerales, arcillas o sílice. Mayormente el rango de pureza se encuentra entre 60 y 98 %.

La formación de los minerales de sulfato de calcio es consecuencia de la precipitación de sales a partir de soluciones acuosas, en condiciones físicas adecuadas y determinados componentes presentes.

En Argentina el modelo de depósito donde se forma el sulfato de calcio corresponde a evaporí-

1 Instituto de Tecnología Minera - SEGEMAR - bea@inti.gov.ar
2 AgreFert Argentina, Consultor privado- mtorresduggan@agrefert.com

ticos lacustres y marinos, identificándose depósitos salinos tanto fósiles como actuales ubicados en sedimentos continentales. El ambiente geotectónico corresponde a zonas de convergencia de placas y zonas con vulcanismo asociado. Las cuencas son cerradas y el clima es de características áridas. El sulfato de calcio en estas zonas posee una pureza variable entre 74 y 96% con amplios desarrollos en volúmenes que contabilizan entre 0,78 y 247 Mt.

La formación de las evaporitas de composición yesíferas tiene su etapa de inicio en la presencia de anhidrita y yeso como formas minerales principales. Según las interpretaciones de diferentes investigadores, la aparición de uno u otro mineral dependerá de las condiciones de saturación del agua de mar y de la temperatura existente. Atendiendo a esta explicación el yeso se formaría cuando las condiciones de saturación son superiores a 3,35 veces a las normales con una temperatura de 30 °C. En tanto la anhidrita demanda una solución con un contenido salino mayor a 4,8 veces la normal y una temperatura de 42 °C (Posnjak 1938,1940). No obstante esta interpretación, ha sido modificada por Mac Donald (1953) quien toma el agua de mar como una solución compleja y mediante cálculos termodinámicos concluye que la formación de anhidrita se producirá por encima de los 34 °C.

Desde el análisis de las manifestaciones geológicas se supone que el mineral original de muchos estratos de yeso ha sido anhidrita. Es decir, este mineral sería el primigenio y luego pasaría a yeso aunque esta teoría no ha podido ser absolutamente demostrada, puesto que existen depósitos con seudomorfos de anhidrita según yeso. Para concluir se acepta como proceso general la presencia de anhidrita como la forma en que el sulfato precipita en primer término y posteriormente puede suceder que mantenga esas características o que se hidrate para transformarse en yeso.

Eventualmente, se ha encontrado yeso como mineral primigenio el que debido a la acción de la presión o por reacciones químicas se ha transformado en anhidrita.

La formación de las sales de sulfato se halla favorecida por la mayor movilidad de sus iones y la facilidad de vinculación al Ca, Mg y Na, dando lugar a las acumulaciones salinas.

De este modo, se han agrupado cinco categorías según la capacidad de migración y movilidad, estableciéndose que el calcio se encuentra entre los considerados fuertemente lavables.

El sulfato de calcio como sal, posee una baja solubilidad (2,40 gramos/litro a 20 °C) razón por la cual su presencia no se considera tóxica para las plantas. De allí su importancia en su empleo en suelos destinados a la agricultura.

Geología

Según Ruckmick et al (1979) las principales fuentes de azufre tanto en estado libre como combinado con otros elementos, son los sulfuros metálicos en el carbón y menas minerales, sulfatos, ácido sulfhídrico en el gas natural y complejos orgánicos sulfurados en el petróleo crudo y el carbón.
Argentina posee una amplia distribución de yacimientos yesíferos. Los mismos, se encuentran en formas variadas, desde el estado cristalino grueso hasta granular fino, como también desde la disposición en planos estratificados hasta nódulos compactos sin diferenciación estructural.

Básicamente el origen de los yacimientos de yeso en Argentina responden a dos modelos de depósitos: los evaporíticos marinos y evaporíticos lacustres.

Los primeros se han formado en cuencas marinas marginales por precipitación de sales a partir del agua de mar. Se desarrollan en grandes zonas con importantes espesores, alcanzando una media de 90,7 % de sulfato de calcio.

Los depósitos de origen lacustre se encuentran más restringidos en su extensión alcanzando una ley de 85 % de yeso.

Los depósitos de yeso en la Argentina se ubican en cuatro regiones principales:

1. Cuenca neuquina
2. Oeste y centro-oeste del país
3. Región Buenos Aires - La Pampa
4. Suroeste de la región mesopotámica.

Los señalados en primer término son los depósitos que presentan las mayores concentraciones correspondiendo a edad Jurásico-Cretácico, con las formaciones Auquilco, Huitrín, Allen y Roca extendiéndose desde la zona central de la provincia de Neuquén hasta el sur de la provincia de San Juan. El origen de este yeso se corresponde con las fajas litogenéticas de depósitos marinos y litorales. Están formados por masas de yeso y anhidrita con gran extensión y espesores que superan los 200m.

En Mendoza en los alrededores de Malargüe el yeso de tipo mantiforme forma un mineral blanco con interdigitaciones de anhidrita gris azulada constituyendo la Formación Auquilco.
Específicamente en la provincia de Neuquén forma la unidad denominada Yeso de Transición, presentándose como masas lenticulares con potencias que no superan las decenas de metros. Corresponden a depósitos de génesis evaporítica marina, razón por la que se encuentran asociados a sal de roca. Su disposición es estratificada con granulometría variable de gruesa a fina.

Los yacimientos que se encuentran en el valle del río Negro forman parte de la Formación Allen (Cretácico superior), presentándose como un horizonte subhorizontal. El mineral forma masas compactas o grandes bochas, con textura sacaroide (variedad alabastro).

Por su parte, la provincia de Chubut posee depósitos asignados a la Formación Salamanca, los que forman un extenso afloramiento horizontal, presentándose en color gris oscuro a negro y con grano fino. Otros bancos de yeso en la misma provincia presentan disposición horizontal, ubicándose al sur del lago Cohué Huapí.

Otras áreas con yacimientos de yeso se encuentran en el NO argentino en las provincias de Salta, correspondiendo a depósitos lacustres de tipo continental; Tucumán como evaporitas de cuencas continentales endorreicas y Catamarca con depósitos típicos de climas áridos formados en lagos y lagunas.

El Centro Oeste del país presenta yacimientos en las provincias de La Rioja originados en lagos (evaporíticos lacustres) con intercalaciones de areniscas y limolitas; San Juan del mismo depósito que en La Rioja con niveles de arcillas, limolitas y areniscas de grano fino. San Luis por su parte, posee canteras donde el yeso se presenta en bancos o bochas.

Santiago del Estero posee varios yacimientos aunque en algunos, la calidad del yeso se encuentra comprometida por su calidad química; la litología está formada por evaporitas lacustres constituyendo las Formaciones Las cañas y Río Salí.

Otros recursos yesíferos se encuentran en Buenos Aires en la cuenca del Río Quequén y en La Pampa en la Formaciones Luján y Lobos. En ambas provincias se corresponden con depósitos de evaporitas formados en lagos. También la calidad para su empleo agronómico se encuentra limitada en parte por las características químicas.

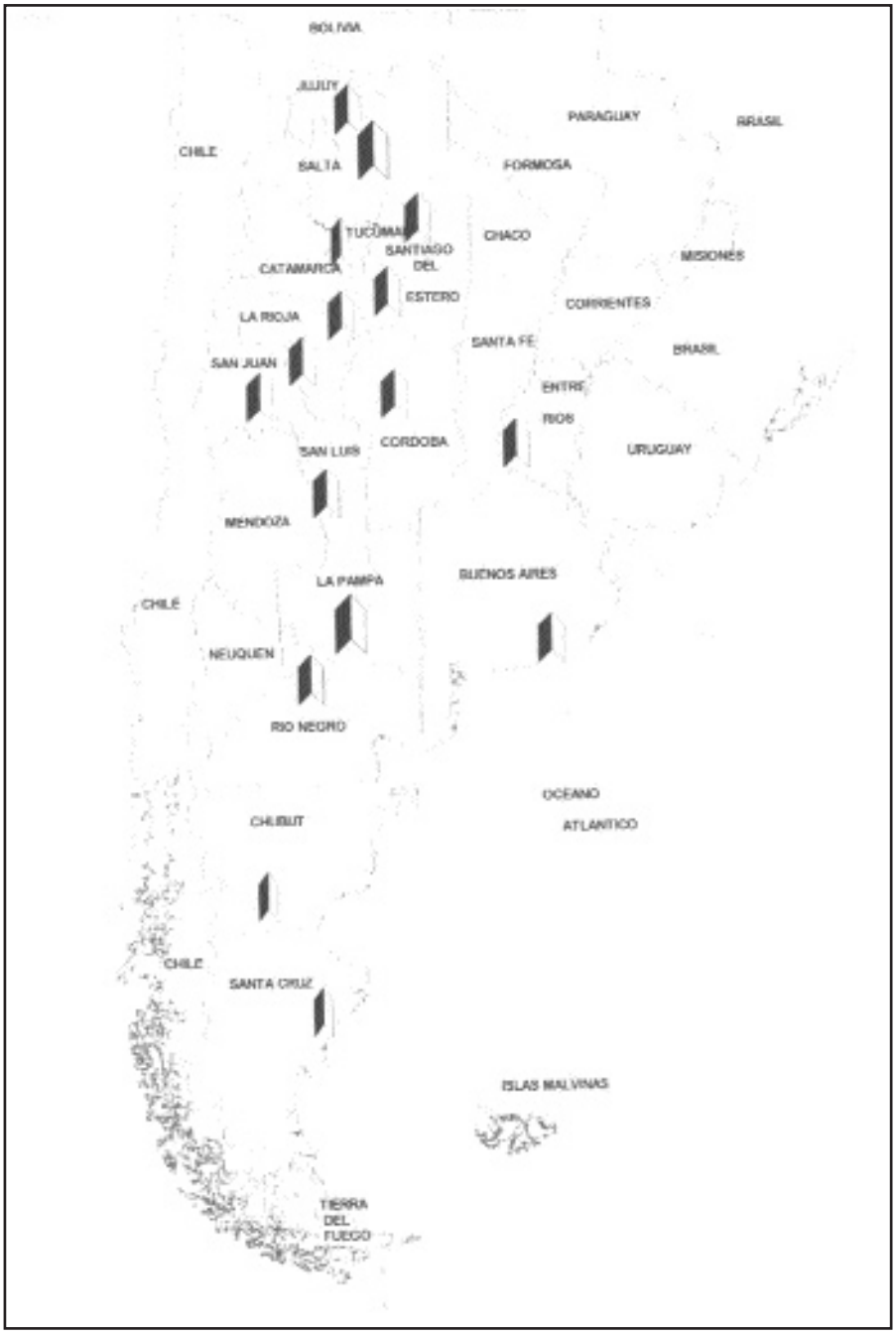
Entre Ríos posee depósitos de yeso cuyo origen lacustre-palustre dentro de materiales arcillosos y/o arcillo-limosos de ambiente semiárido. Los yacimientos pertenecen probablemente al Cuaternario presentando formas lenticulares con concentraciones epigénicas casi esféricas de distribución diseminada. Los depósitos se desarrollan en el oeste de la provincia entre las localidades de Paraná y La Paz con los yacimientos de Piedras Blancas y Santa Elena (Puerto Buey). Del yacimientos de Piedras Blancas una empresa produce yeso agrícola.
En la Fig. VI-4 se muestra el mapa de Argentina con la ubicación de los depósitos de yeso.

Formación/ Yac./cantera	Provincia	Características	Usos y Potencial Agrícola.
	MENDOZA		
Fm Auquilco			
* Cañada Ancha		Mantiforme Potencia de 200m.	Construcción con yeso Betalfa, de molideo o "yeso París"
* Puente de Inca		Yeso blanco grisáceo con textura sacaroide. Puede asociarse con anhidrita zonada.	
* Las Tortecillas			Paneles
* Cerro Alto		Pureza 98,5%	Yesos especiales
Fm Huitrin			
* La Negra		Bancos de yeso sacaroide de grano fino a medio, de color gris blanquecino.	
*Cantera La Estrella			
*Campo de los Militares		En forma de lentes hasta 30 m de espesor interestratificados con lutitas y arcilitas.	**Excelente Potencial Agr.**
Origen evaporítico marino			

	NEUQUEN		
Fm Ibitrín * Miembro Troncoso		Formado por bancos de anhidrita y yeso con espesores entre 15 y 30 m. Interdigitado con facies carbonáticas y pelíticas. Generalmente laminar, a veces compacto de grano fino a medio con bandeado de apariencia de estructura algal.	Construcción Paneles Bloques
* Cantera Curymil		Pureza del 87%.	Yeso de obra y moldeo
* Troncoso (Lozada, 1973)		Bancos de anhidrita y yeso de 15 y 20 m de espesor. Yeso laminar a veces rellena grietas con textura fibrosa por recristalización.	
* Yac. Auquilco		Potencias que alcanzan más de 100 m. Pureza entre 90y 98%	
* Vaca Muerta		Mantiforme con potencias hasta 100 m. Pureza 90-98%	
Origen evaporítico marino		Banco de yeso compacto, de color blanco y grano fino a medio Pureza 80 a 98%	**Excelente Potencial Agr.**
Fm Allen	**RIO NEGRO**		
*Zona de Gral. Roca *Norte Estación Gómez		Estratos de yeso blanco a verdoso, grano fino y	
	CHUBUT		
Fm Salamanca		0	
* Cerro Tacho		En forma de banco alcanza potencias que no superan los 3 m, de textura sacaroide y color gris. También en finas venillas de cristales fibrosos. Pureza > 85 %	Fabricación de cemento
* Ramos		Mantiforme con espesor inferior al metro. Puede contener sílice amorfa. Pureza 93 %	
Origen evaporítico marino			**Buen Potencial Agr.**
	SAN LUIS		
Fm Lagarcito * Cant. Retomar		Mantiforme con espesores que no superan el metro. Pureza 93 %	
Fm Las Mulitas		Mantiforme con espesores	

* Cant. Lucho Origen evaporitico lacustre		que no superan el metro. Macizo y en bochones. Pureza 83 – 98 %	**Excelente Potencial Agr.**
Estratos Calchaquenses * Yac. Las Aguaditas Origen evaporitico lacustre	**SAN JUAN**	Mantos de yeso laminar con intercalaciones de arcilitas. También en bochones. Pureza Sin datos.	**Sin datos sobre Potencial Agricola**
Estrato de Los Llanos Los Coloraditos Yeso I,II y III La Reforma-Cielito * La Salvadora * Paz * Progreso Patquía Viejo I y II Origen evaporitico lacustre	**LA RIOJA**	Mantos con yeso granular, fibroso y nodular. Intercalaciones con arcilitas, tobas y bentonitas. Pureza 92 % Mantos que no superan el metro con yeso masivo y bochones. Pureza 94 – 99,5 % Mantos con yeso fibroso, nodular y granular con intercalaciones de arcilitas, tobas y bentonitas. Pureza 95 %	**Excelente Potencial Agricola**
Fm Portillo * Cant. Rossana	**CATAMARCA**	Bancos hasta 1,5 m de espesor con nódulos de 0,3 m en matriz limo arcillosa. Pureza 90 %	
Fm Las Cañas * Cant. El Tabladito * Cant. Tres Pocitos **Fm Rio Salí** * Cant. El Jumial * Cant. La Melita * Cant. El Galpón Origen evaporitico lacustre	**SANTIAGO DEL ESTERO**	Bancos lenticulares. Espesores que no superan el metro. Intercalación con arcilitas.Pureza 80-98 % Bancos lenticulares con intercalaciones de arcilitas, yeso y areniscas	**Buen Potencial Agricola con limitaciones quimicas**
Fm Rio Salí * Cantera Area Tarnica-Pampa	**TUCUMAN**	Yeso masivo con contenidos de gypsita y alabastro. Pureza 75 a 90%	Fabricación de yeso cocido para construcción

* Calera Aconquija * Cantera 1 a 62 * El Cajón Origen evaporítico de cuenca endorreica		Yeso de regular calidad y escasa producción Bancos de escaso espesor con alabastro, yeso sacaroide y conglomerádico. Bancos superpuestos de yeso fibroso y masivo; intercalaciones arcillíticas. Pureza 85 a 94 %	Yeso cocido **Excelente Potencial Agr.**
Fm Arita *Cant.Puente de Plata **Fm Pozuelos** * Yacimiento Punta Negra Origen lacustre continental	**SALTA**	Bancos que no superan el metro. Pureza 84% Mantos con un espesor promedio de 0,6 m.	Fabricación de cemento **Apto para uso agrícola con limitación química** **Sin datos sobre potencial agrícola**
Depósitos Pospampeanos * Cuenca río Quequén-Salado * El Sinsgo * La Cañada Origen evaporítico lacustre	**BUENOS AIRES**	Capas con yeso masivo y pulverulento, con cristales y rosetas de yeso. Pureza variable entre 47 y 90% Pureza 70 % Pureza 41 %	**Buen Potencial Agrícola con limitaciones químicas**
Fm Luján Yac. Pueblos Origen evaporítico lacustre	**LA PAMPA**	Yeso con intercalaciones de limos, arenas y yelitas. Pureza 70 a 90 %	**Buen Potencial Agrícola con limitaciones químicas**
Fm Hernandarias * Yacimientos Tuyango, Cabral, Aebi Origen evaporítico lacustre	**ENTRE RIOS**	En forma de nódulos de 10 a 15 cm de diámetro en arcillas no aflorantes. Pureza 92 94%	**Excelente Potencial Agr.**



A continuación se mencionan las principales características de los depósitos identificados en la Argentina.

Figura VI-4. Ubicación de los depósitos de yeso en Argentina

Explotación, procesamiento y uso

La explotación se realiza en canteras a cielo abierto con explosivos de bajo poder expansivo, máquina cargadora frontal, topadora y/o martillo neumático; a continuación se pasa a un camión y se traslada al lugar donde continúa con la partición del material en forma manual (con masas) y posteriormente pasa a trituración y molienda. Cuando su uso hace necesaria la calcinación pasa al horno. Finalmente, el material es embolsado para su comercialización.

En Argentina la mayor parte de la producción posee como destino, la industria de la construcción. A partir del yeso calcinado se obtienen los productos:

- Yeso de obra. Con una molécula de agua (hemihidrato beta)
- Panelería. También como hemihidrato beta
- Moldes para cerámica. Como hemihidrato alfa, beta o ambos
- Con función de secante. Bajo la forma de anhidrita soluble

En la forma de yeso crudo o natural, los usos son:
- Retardador en cemento Pórtland
- Acondicionador de suelos
- Carga mineral
- Material en filtros
- Otras aplicaciones industriales.

El empleo con fines agrícolas exige una determinada pureza, con un mínimo de 85% de sulfato de calcio y tamaño de partícula, razón por la cual se somete a trituración y posterior molienda. La forma de comercialización para su empleo en suelos es simplemente molido, granulado o pelleteado. Este último caso se diferencia del granulado en que el mineral es molido finamente y luego aglutinado para obtener los pellets.

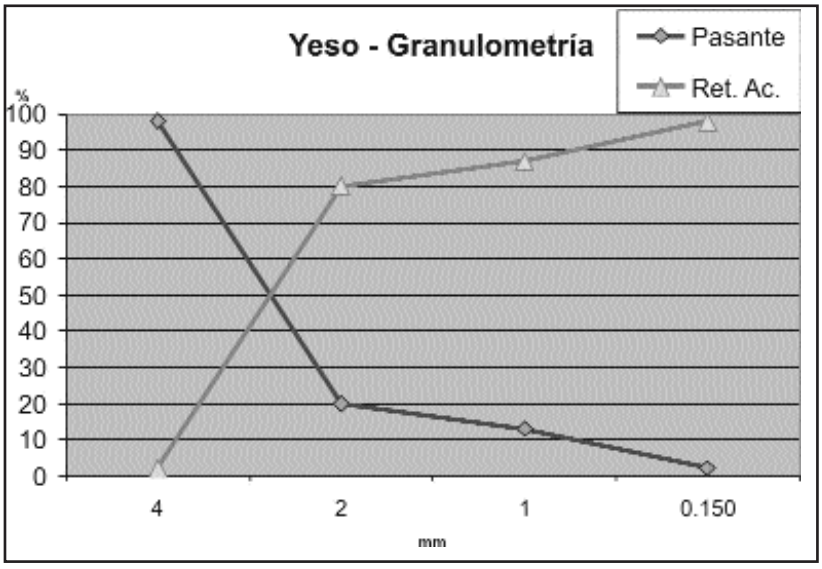


Figura VI-5. Curvas de granulometría para yeso usado como sólido granulado y pelletizado.

Para el uso en forma de polvo se especifica que debe pasar al menos el 98% de partículas por el tamiz de abertura de 1mm.

El yeso destinado a fines agrícolas no supera el 2% de la producción total.

Necesidades agrícolas del Yeso

Mercado de fertilizantes y necesidades de nutrientes

La importancia económica del sector Fertilizantes en la Argentina es considerable. Existen en la actualidad más de 35 empresas proveedoras de fertilizantes que generan una facturación de más de 500 millones de dólares, sin considerar las numerosas actividades desarrolladas a partir del comercio de productos fertilizantes: transporte, procesamiento, aplicación, etc. Durante los últimos 15 años, a partir del proceso de modernización de la agricultura argentina, el uso de fertilizantes se incrementó considerablemente. Así se pasó de un consumo aparente de fertilizantes de 300.000 toneladas en 1990 a un consumo global de 2.5 millones de toneladas en 2004. Sin dudas una gran parte de los incrementos en la productividad verificados en los cultivos de grano durante este período, se debieron a la aplicación de nutrientes que permitieron potenciar y optimizar los demás adelantos tecnológicos verificados en el mismo. En el Cuadro VI-8 se presenta el consumo global de fertilizantes en los últimos años.

Año	Consumo aparente
	…..x 000 TM…
2000	1.722
2001	1.732
2002	1.897
2003	2.311
2004	2.4

Cuadro VI-8 Consumo de fertilizantes en los últimos años en Argentina
Fuente: SENASA y Fertilizar.

El proceso de modernización mencionado también se evidenció en la logística y abastecimiento de fertilizantes. Las inversiones efectuadas en instalaciones portuarias para las importaciones de grandes volúmenes de productos fueron indispensables para poder hacer frente a las crecientes importaciones. En los últimos años, la industria local de fertilizantes se expandió notablemente. A la fábrica de urea granulada de Bahía Blanca (Provincia de Buenos Aires) puesta en funcionamiento en 2001 (1.2 millones de toneladas/año), se suman nuevas inversiones en fabricación de fertilizantes líquidos (Petrobras, Complex, etc.) y proyectos de instalación de fábricas de fertilizantes fosfatados sólidos como el de Mosaic (Cargill-IMC Global) y otros actualmente en evaluación.

Más del 80% de la demanda de fertilizantes proviene de los cultivos de grano efectuados en la Región Pampeana: trigo, maíz, soja, girasol. Los nutrientes normalmente deficientes en esta re-

gión son el nitrógeno (N), fósforo (P) y en los últimos años, azufre (S). También se han reportado deficiencias y situaciones de respuesta a otros nutrientes como potasio (K), magnesio (Mg) y micronutrientes para cultivos y regiones específicas (García, 2004). El resto de la demanda proviene de las economías regionales, en donde existe un interesante mercado de fertilizantes en cultivos intensivos y semiextensivos, que en términos de volumen tienen menor peso relativo, pero que en términos de diferenciación de productos y desarrollo de especialidades es más avanzado.

Balance de nutrientes y necesidades de aplicación de fertilizantes

A pesar del notable crecimiento de la aplicación de nutrientes registrado en los últimos 15 años, la exportación de nutrientes en los granos de los principales cultivos supera marcadamente al aporte de los mismos vía fertilización. Estimaciones efectuadas por García (2005) para la campaña 2003/04, indican niveles de reposición de nutrientes de alrededor del 30%, 50%, 2% y 15% del N, P, K y S exportados en granos para los cuatro cultivos principales (trigo, maíz, soja y girasol) realizados en la región pampeana.

Es evidente entonces que para sostener los crecientes y progresivos aumentos en la producción de granos de la región pampeana argentina, es necesario mejorar los balances de nutrientes. En este sentido, un trabajo reciente de la Fundación Producir Conservando, realizó una proyección de consumo de fertilizantes tomando el patrón de aumento de la productividad de los cultivos en los últimos años y considerando como horizonte de proyección el año 2010/11, en donde se estima una producción de granos de 100 millones de toneladas. Para garantizar estos niveles de producción, el estudio reporta que se debería duplicar el consumo actual de fertilizantes, es decir debería ser del orden de los 5 millones de toneladas para finales de la década presente. Con este incremento en el uso de fertilizantes, se lograría una mejora en la reposición de nutrientes desde 30 a 47% para N, 40 a 87% P y 15 a 24% para S.

En el cuadro VI-9 se resumen las diferentes etapas por las que evolucionó el mercado argentino de fertilizantes y su relación con el escenario agronómico y de aplicación de nutrientes.

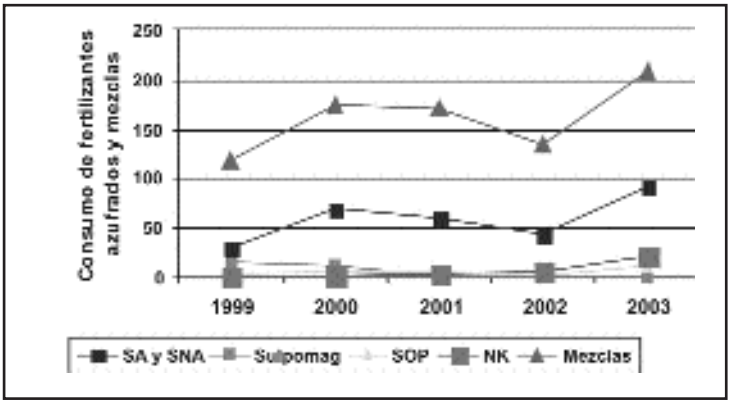
Período	Escenario Agronómico	Desarrollo del Mercado
60-70	Sin respuesta a la fertilización	Sin uso de fertilizantes. Solo en NEA (citrus) y NOA en caña de azúcar.
70-80	Respuesta a nitrógeno	Comienza la experimentación y uso de fertilizantes fosfatados en SE de Bs. As
80-90	Respuesta a fósforo	Plan Canje (1984). Difusión de urea y DAP.
90-2000	Respuesta a azufre	Convertibilidad. Fin de retenciones Importación acelerada de fertilizantes. Servicios
2000/05	Respuesta sitio específica	Profesionalización de traders.

Uso de fertilizantes líquidos N y NS
Mezclas físicas

Cuadro VI-9 Evolución del escenario agronómico y desarrollo del mercado de fertilizantes en Argentina. Fuente: Adaptado de Melgar y Torres Duggan, 2005.

Mercado del azufre y resultados agronómicos del uso de Yeso en fertilización

En los últimos años, la demanda de S se incrementó notablemente, en gran medida como consecuencia de la aparición de situaciones de deficiencias y respuestas significativas a la fertilización en diferentes cultivos: trigo, maíz, soja, girasol, pasturas, etc. Este creciente incremento en la demanda de azufre se verifica en el aumento en el consumo de fertilizantes azufrados como el SA y sulfonitrato de amonio (SNA) en los últimos años (figura VI-6). La mayoría de estas fuentes son utilizadas en la elaboración de mezclas físicas (blends). También se registró en los últimos años un aumento del consumo de SPS (Figura VI-7).



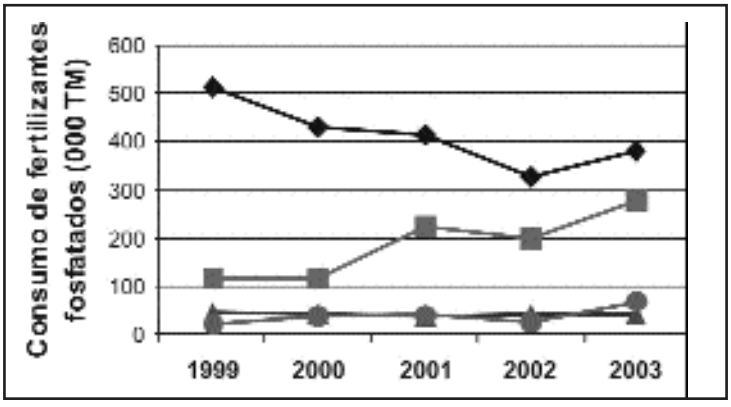


Figura VI-6 . Evolución del consumo global de fertilizantes (SA), sulfato de amonio nitrato de amonio (SNA), sulpomag (sulfato de potasio y magnesio), sulfato de potasio (SOP), nitrato de potasio (NK) y mezclas físicas (Fuente: Fundación Producir Conservando en base a información de Fertilizar).

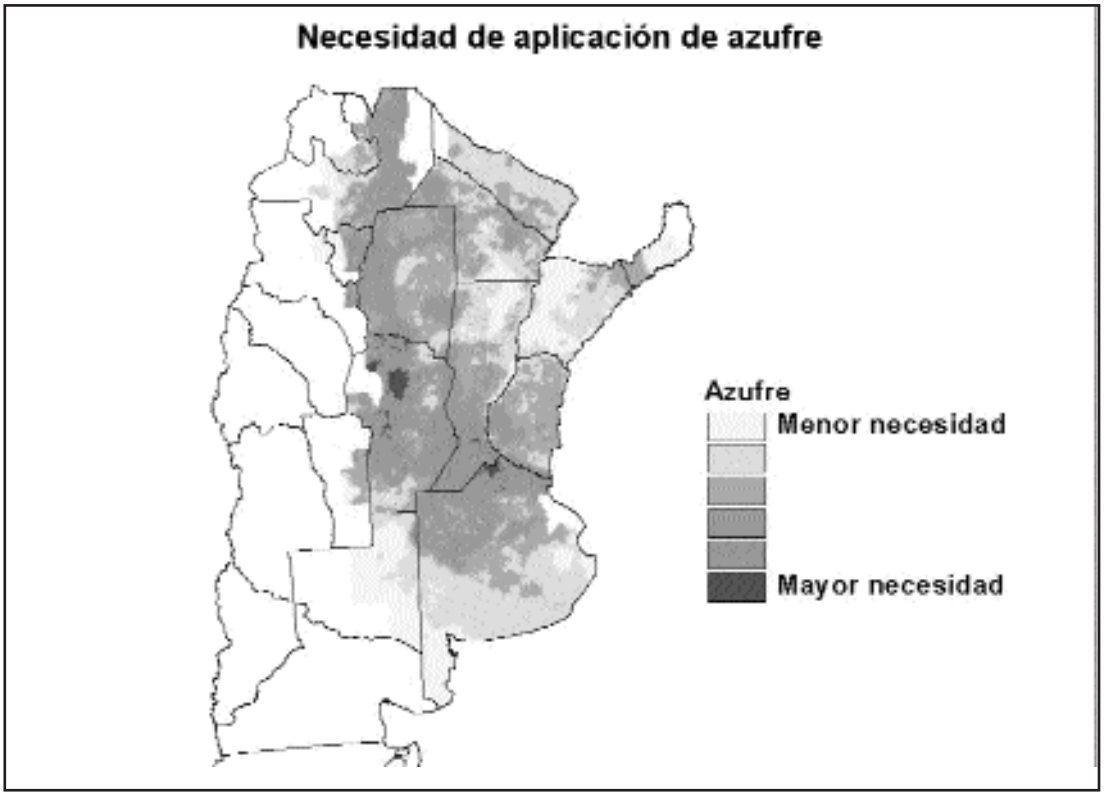
Figura VI-7. Evolución del consumo global de los fosfatos de amonio (MAP y DAP) y de los superfosfatos de calcio simple (SPS) y triple (SPT) (Fuente: Fundación Producir Conservando en base a información de Fertilizar).

En Argentina, si bien la experimentación y evaluación agronómica del yeso como fertilizante azufrado es relativamente incipiente, investigaciones recientes reportan resultados similares en respuesta a la fertilización entre fertilizantes solubles y sulfatos de calcio en trigo, soja y/o secuencias trigo/soja de segunda, cuando se consideran las mismas dosis de S aplicadas (Keller y Fontanetto, 2002; Gentiletti y Gutierrez Boem, 2004; Gutiérrez Boem et al.; 2004). Estos ensayos indicarían que los sulfatos de calcio bihidratados, a pesar de tener una solubilidad en agua significativamente más baja que los principales fertilizantes químicos azufrados (sulfato de amonio, superfosfato simple de calcio, etc.), desde una perspectiva agronómica y de biodisponibilidad del S liberado, tendrían un impacto nutricional similar que las fuentes azufradas convencionales y mucho más solubles en agua (SA, SNA, SPS, etc.). A pesar de los resultados promisorios del yeso como fuente azufrada, el consumo de este mineral en términos de volumen es muy inferior respecto al SA y SPS, que son los productos más utilizados, el primero fundamentalmente en mezclas físicas, mientras que el segundo fundamentalmente, en aplicación directa.

Las situaciones ambientales donde se registran las mayores respuestas a la fertilización azufrada son:

- Suelos arenosos o con bajos contenidos de MO.
- Suelos con una baja relación MO/arcillas.
- Nivel de sulfatos en suelos menor a 10-12 ppm de S como sulfatos (0-20 cm).
- Balances de S negativos en el sistema.
- Lotes con elevada respuesta a N y P.
- Suelos compactados.

En general, las respuestas a la fertilización azufrada varían entre 200 y 500 Kg /ha de grano para trigo y soja y entre 400 y 700 en maíz, considerando dosis aplicación de S como sulfato de entre 5 y 20 Kg./ha. (Melgar, 2004).



En la figura VI-8 se presentan las necesidades de S según región geográfica en la Argentina. Los ambientes edáficos con mayores respuestas a la fertilización azufrada y en donde el mercado de yesos agrícolas se expandió notablemente en los últimos años, coincide con la zona centro y sur de Santa Fe y con el norte de Buenos Aires. En esta zona se presentan lotes con prolongada e intensa historia agrícola, y en muchos casos situaciones de degradación físico-biológica y química de los suelos.

Las mayores respuestas a la fertilización azufrada como sulfato de calcio bihidratado se presentan en esquemas de fertilización balanceada, en donde el N y el P son aportados en forma conjunta con el S. En este sentido, las mezclas físicas del yeso agrícola con otros fertilizantes convencionales es una práctica corriente y en expansión, a pesar de que no se dispone de indicadores y estándares de calidad que permitan a las empresas proveedoras optimizar la calidad granulométrica de las mezclas comercializadas. En general, las empresas que elaboran mezclas físicas, priorizan la pureza y uniformidad química de las partidas de yeso utilizadas como materias primas y procuran seleccionar proveedores que garanticen un rango de granulometría compatible con los fertilizantes granulados utilizados en el proceso de blending.

Figura VI-8. Necesidades de aplicación de S en Argentina (Fuente: Cruzate y Casas, 2003).

Demanda actual y perspectivas para el consumo de Yeso

Con la devaluación verificada a partir de 2001, y una vez superada la profunda crisis socio-económica previa, la actividad económica argentina retomó el sendero del crecimiento fundamentalmente a partir del 2003, debido entre otros factores a una favorable coyuntura macroeconómica internacional y regional en el Como Sur. Así, el sector agroindustrial de exportación y el minero evidenciaron una notable reactivación. Con la reactivación de la minería estimulada por el crecimiento de la construcción, a partir de 2003 se incrementó considerablemente la demanda de yesos industriales, como también las empresas proveedoras comenzaron a ofrecer parte de sus yesos para el mercado agrícola. La mayor competitividad del sector minero de los últimos años, sumado a una demanda creciente de nutrientes para la agricultura, determinó que varias empresas productoras y/o distribuidoras de minerales, comenzaran a posicionar y comercializar minerales para el sector agropecuario.

Estimaciones recientes indicarían un consumo de yesos en el rango de 70 a 100.000 ton anuales como fertilizantes. El 80% de este volumen es provisto por alrededor de 10 empresas proveedoras, mientras que hay numerosas empresas pequeñas y medianas que también ofrecen yesos y otros minerales e intentan colocar sus productos en el agro, básicamente para el mercado de soja. Por otra parte, existen empresas mineras que lograron segmentar y posicionar sulfatos de calcio de excelente calidad y probada respuesta agronómica, mientras que otras solamente proveen productos con pureza y calidad incierta, tomando la venta de este mineral como una actividad secundaria y como negocio de oportunidad.

Con respecto al consumo de yesos como enmienda (corrección de suelos sódicos y salino-alcalinos) no se disponen de estadísticas confiables para estimar la demanda actual. Sin embargo, la Argentina presenta una extensa superficie con suelos afectados tanto por salinidad como salino-alcalinos en diferentes provincias. Según información del Instituto de Suelos del INTA de Castelar (www.insuelos.org.ar) para el año 2000, el conjunto de los territorios de las provincias de Buenos Aires, Santa Fé, Córdoba, Entre Ríos, La Pampa y San Luis, (que ocupan una superficie de 90.850.000 hectáreas), poseen 11.6 millones de hectáreas afectadas por algún grado de alcalinidad distribuidos en los siguientes subgrupos de suelos:

Superficie (ha)	**Subgrupos de suelos**
3.241.497	Natracualf típico
350.132	Natracualf mólico
203.162	Natrargid típico
122.900	Salortid típico
19.107	Ustifluvent mólico
138.176	Halacuep típico
533.548	Natralbol típico
22.865	Duracuol nátrico
2.556.061	Natracuol típico
30.695	Natrustol típico
1.188.048	Hapludol tapto-nátrico
542.506	Peludert típico
2.637.833	Complejos alcalino-salinos

Presentación comercial y calidad de yesos agrícolas

El organismo que establece la obligatoriedad de registro de productos fertilizantes y enmiendas y el marco legal para la fiscalización de la comercialización en la Argentina es el SENASA (Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria).

El yeso agrícola actualmente se lo ofrece en las siguientes presentaciones:

- Sólido-Granulado
- Pelleteado o Granulado
- Polvo

La presentación de ¨sólido-granulado¨ es la denominación que el SENASA aplica a los yesos que luego de la extracción del yacimiento son triturados, zarandeados y tamañados (clasificados en diferentes tamaños de partículas). Esta es la forma de comercialización más generalizada, existiendo una elevada heterogeneidad en la calidad de productos (granulometría, contenido de humedad, pureza, etc.).
El yeso granulado o pelleteado es aquel que luego de la extracción del yacimiento es molido a un tamaño de partícula de polvo fino o entrefino y luego granulado mediante equipamiento específico (disco pelletizador, tambor aglomerador, etc.) a un tamaño de partícula similar a los fertilizantes químicos granulados (entre 2-4 mm). En el proceso se utiliza compuestos aglomerantes como el lignosulfonato de sodio, carboximetilcelulosa, entre otros. Actualmente existen 2 empresas que realizan el proceso de granulación de yesos y hay algunos proyectos en evaluación. Es probable que en el corto y mediano plazo se difundan proyecto de granulación y procesamiento de yesos en conjunto con otros minerales de uso agrícola.

El yeso en polvo, normalmente representa un subproducto de la molienda del yeso sólido-granulado y en general se vende para su utilización en corrección de suelos sódicos (enyesado). El precio por tonelada es más bajo que el mismo producto granulado.

Todas las presentaciones mencionadas previamente se ofrecen en bolsas (la mayoría) pero el uso del granel también es relevante y creciente, fundamentalmente en yesos granulados y en polvo.

Análisis químicos y mineralógicos de muestras de yeso agrícola realizados por AgreFert Argentina S.A en 2003 y 2004 en los laboratorios del INTEMIN-SEGEMAR (Instituto de Tecnología Minera -Servicio Geológico Minero Argentino) reportan una gran variabilidad en los contenidos de $CaSO_4.2\ H_2O$ y pureza de las muestras ofrecidas en el mercado (cuadro VI-10).

Origen	% Ca $SO_4.2\ H_2O$	% S resultante	% SiO_2
Catamarca	85.33	15.8	8.6
E. Ríos	73.92	13.7	17.45
Mendoza	91.31	16.9	1.53

Cuadro VI-10. Contenido de Ca $SO_4.2\ H_2O$ (mineral de yeso) y de sílice (expresado como SiO_2) en muestras de yeso agrícola de diversos orígenes (técnica analítica utilizada: Norma ASTM C-471-91) en Argentina.

Como se desprende de la información presentada, los yesos provenientes de regiones áridas y semiáridas, presentan mayores niveles de pureza en Ca SO_4.2 H_2O, mientras que en las muestras de Entre Ríos, los contenidos son menores. Asimismo, las altas proporciones relativas de sílice indicarían presencia de impurezas, probablemente arcillas. Es común observar bolsas de yeso ofrecidas en el mercado que consignan un 17% de S, pero por la variabilidad en la pureza mencionada previamente es fundamental verificar mediante análisis físico-químicos la composición mineralógica del producto (cuánto yeso realmente tiene la muestra), además de las características físicas del mismo, como granulometría, dureza, etc.

Debido a la creciente difusión y provisión en el mercado de numerosos minerales, muchas veces con escasa información sobre sus características químicas y granulométricas, es necesario incrementar los esfuerzos para definir las condiciones de calidad que permitan diferenciar aquellos productos que son aptos para su uso como fertilizantes y enmiendas de los que no alcanzan un nivel de calidad suficiente.

Es necesario disponer de minerales con una adecuada presentación, por ejemplo productos granulados para poder utilizarlos con éxito en las sembradoras y máquinas fertilizadoras actuales, sin generar segregación y heterogeneidad de aplicación. El desarrollo de minerales pelletizados o pelleteados resulta una buena alternativa para optimizar el procesamiento y aplicación de este tipo de minerales. En este sentido Albert y Langford de Mars Mineral destacan las ventajas de la pelletización de los carbonatos previamente molidos, que serían las mismas que se podría lograr en los yesos. Entre ellas, se menciona el mayor ritmo de disolución de las partículas finamente aglomeradas en el pellet (gránulo) que son rápidamente disueltas en el suelo, la posibilidad de optimizar el manipuleo del producto y permitir la aplicación a campo con máquinas sembradoras-fertilizadoras o equipamiento específico para fertilizar.

Para materiales calcáreos se dispone de una norma IRAM (N°22451 del año 1997) en la que se definen y establecen las diferentes categorías de calidad y su aptitud agronómica. En los últimos años se viene avanzando considerablemente para terminar de establecer una norma IRAM que permita evaluar la calidad y aptitud agrícola del yeso de origen natural. Es factible que en el transcurso del año 2005 se publique la norma definitiva. Los principales temas a especificar están relacionados con la pureza, granulometría y los contenidos de impurezas que debe ser tolerados. Si bien la normalización del yeso agrícola esta aún en proceso de elaboración, es posible mencionar algunos de los criterios de calidad sobre los que existe mayor consenso:

• Pureza:

La pureza mínima requerida para considerar el yeso como de aptitud agrícola sería del 85% de $CaSO_4$ 2 H_2O y se estaría definiendo una categoría de calidad superior en yesos que tengan más de 90% de CaSO4 2 H_2O.

• Humedad:

El contenido de humedad debería ser menor al 1% en peso.

• Granulometría:

La norma diferenciará la granulometría para los materiales sólidos-granulados, pelleteado y polvo:

a-Sólido granulado y pelleteado

Abertura de tamiz	Pasante	Retenido acumulado
	……g/100 g…….	
4 mm	98	2
2 mm	20	80
1 mm	13	87
150µ m	2	98

b-Polvo

Abertura de tamiz	Pasante	Retenido acumulado
	….……g/100g……..	
1 mm	98	2

• Impurezas y contaminantes:

Se están definiendo los contenidos máximos de determinados elementos (sodio, aluminio, hierro, etc.) que pudieran generar algún problema de toxicidad en suelos y plantas.

Conclusiones y perspectivas

• El mercado de fertilizantes en Argentina representa una facturación de más de 500 millones de dólares, y un consumo actual de 2.4 millones de TM, con perspectivas de duplicarse hacia finales de la década presente.

• Existe un balance de nutrientes negativo en los esquemas de fertilización en N, P, K, S y microelementos. Actualmente se repone solamente el 15% del S exportado en los granos de trigo, maíz, soja y girasol.

• La demanda de S es progresiva y creciente, sobre todo debido a la aparición de situaciones de deficiencia y respuestas significativas a la fertilización en diferentes regiones y cultivos.

• Resultados experimentales recientes reportan muy buenos resultados en aplicación de yeso como fuente de S en cultivos (trigo, soja, etc.), similares a los encontrados con SA o SPS a iguales dosis de aplicación de S, indicando que la menor solubilidad del yeso en agua relativa a los fertilizantes químicos azufrados no sería una limitante agronómica.

• Las situaciones en donde se encuentran las mayores respuestas al agregado de S y yeso son:

• Suelos arenosos o con bajo niveles de materia orgánica (MO)
• Suelos con bajas relaciones MO/arcilla
• Nivel de S de sulfatos menor a 10-12 ppm.

• Balances negativos de S en sistema suelo-planta.
• Lotes con elevada respuesta a N y P en trigo y maíz, y a P en soja.
• Lotes compactados.

• El consumo actual de yeso en fertilización estaría entre 70 y 100.000 toneladas anuales, con

buenas perspectivas de expansión, mientras que no se disponen de estadísticas confiables de demanda de yeso para corrección de suelos alcalinos y salino-alcalinos. Sin embargo, existirían 11.6 millones de hectáreas con algún grado de alcalinidad.

• Se evidencia una gran heterogeneidad en la calidad física, química y mineralógica de yesos ofrecidos en el mercado. Los rangos de pureza son considerables y se esta avanzando en la normalización de la calidad de yesos de origen natural mediante un norma IRAM en desarrollo.

• Las principales oportunidades para el desarrollo comercial del yeso en la Argentina están relacionadas con la disponibilidad de yacimientos de buen potencial agronómico, una demanda creciente de S en agricultura y una reactivación reciente (desde 2003) de la actividad minera y de la construcción.

• Las principales limitantes o amenazas para el desarrollo del mercado del yeso agrícola son la gran heterogeneidad de calidades de productos ofrecidos, la escasa integración o generación de alianzas estratégicas entre empresas proveedoras de fertilizantes y de yesos en el desarrollo conjunto de productos y servicios, la reducida vocación en el armado de redes entre Universidades, Institutos y empresas en áreas de investigación y desarrollo de nuevos productos.

Brasil

Martín Torres Duggan [1] y María Beatriz Ponce [2] (Ex aequo)

Recursos mineros y actividad extractiva

Este país contiene una de las mayores reservas mundiales tanto medidas, indicadas como inferidas de yeso, estimándose las mismas aproximadamente 1,7 billones de toneladas según el Depertamento Nacional de producción Mineral (DNPM) para el año 2001.

Participación en el valor de los minerales industriales	Mineral Industrial
100 %	Amianto, Carbonato de calcio, Fertilizantes Potásicos, Sal gema
99 90 %	Caolín, Magnesita, Minerales de lit io, Roca fosfática
89 – 70 %	Arena industrial, Calcárco, Grafito, Circón
69 50 %	Baritina, Bentonita, Fluorita, Sal marina
49 25 %	Yeso
25 %	Arena de construcción, Arcilla, Roca machacada, Roca ornamental, Talco

[1] *AgreFert Argentina, Consultor privado- mtorresduggan@agrefert.com*
[2] *Instituto de Tecnología Minera - SEGEMAR - bea@inti.gov.ar*

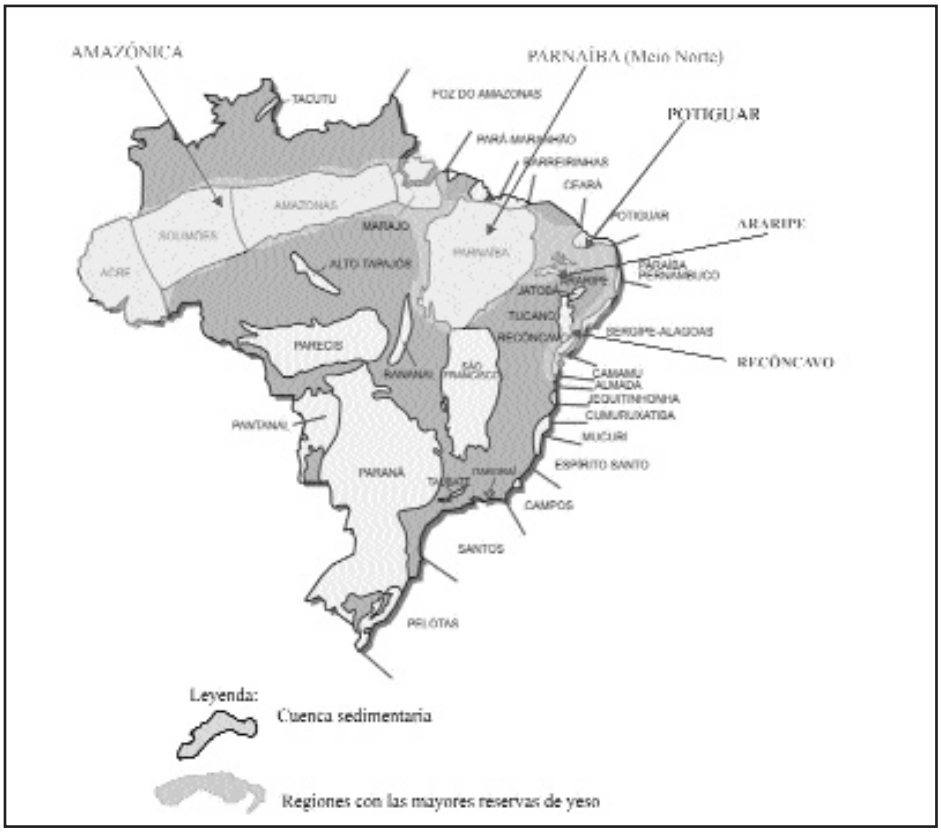
Los depósitos yesíferos se presentan en las cuencas sedimentarias Amazónicas (Amazonas y Pará), Meio Norte (Maranhão y Tocantins), Potiguar (Rio Grande do Norte), Araripe (Piauí, Ceará y Pernambuco) y Recôncavo (Bahia). La característica más relevante del yeso de Brasil radica en su pureza que llega a ser aproximadamente del 98%.

Los Estados donde se ubican los yacimientos de mayores reservas (93%) corresponden a Bahía (44%), Pará (31%) y Pernambuco (18%). La producción restante es aportada por los Estados de Maranhão, Ceará, Piauí, Tocantins y Amazonas. Las edades de los yacimientos las ubican en cuencas del Paleozoico y Mesozoico.

Una de las reservas que posee las mejores condiciones de aprovechamiento económico se sitúa en la cuenca sedimentaria de Araripe, conformando una región fronteriza de los Estados de Piauí, Ceará y Pernambuco. El aprovechamiento de las reservas de Pará posee como un factor limitante, la gran distancia a los centros consumidores junto con el déficit de infraestructura (Sumario Mineral - 2004, DNPM).

En 1999 Ferraz definió un cuadro donde mostró la participación de las más importantes empresas mineras en el valor de la producción total (Cuadro VI-11).

Cuadro VI-11 Participación de las empresas en la producción de minerales industriales.



Esencialmente el yeso es derivado a la industria del cemento, aunque una proporción se usa como yeso crudo (o natural).

En 1975 comienza a producirse en Brasil el yeso sintético purificado el cual constituye una de las materias primas del cemento.

En el año 2004 la producción de Brasil fue de 1.650.000 t.

Necesidades agrícolas del Yeso

Uso actual de las tierras y tecnologías aplicadas

Brasil dispone de casi 50 millones de hectáreas bajo producción de cultivos anuales y perennes, con una extensa superficie adicional de tierras potencialmente agrícolas. Según información provista por la FAO (2004), el país tiene 550 millones de hectáreas potencialmente utilizables para la producción agropecuaria, representando el 64% de la superficie total del país (854.7 millones de ha). Brasil es el productor más grande del mundo de café, caña de azúcar y cítrus y segundo en la producción de soja. También esta en segundo lugar en el ranking de stock ganadero.

Figura VI-9. Mapa de Cuencas en Brasil y depósitos de yeso

Es posible describir dos escenarios muy contrastantes en los agro-sistemas de Brasil. Por un lado, se ha mejorado notablemente en la implementación de tecnologías de insumos y procesos en cultivos ligados a la exportación como café, caña de azúcar, cítricos y soja. Por otro lado, en

cultivos destinados al consumo interno, tienen rendimientos por debajo de los promedios obtenidos en países en donde se utiliza tecnología de avanzada, si bien hay algunos productores que logran rendimientos considerablemente más elevados que el promedio.

Los bajos rendimientos alcanzados en cultivos destinados al mercado interno no se debe a la falta de tecnologías sino a la escasa o nula implementación de las mismas, incluyendo un inapropiado uso de fertilizantes minerales. Una de las causas que determinan una menor aplicación de fertilizantes es el bajo precio de los cultivos destinados al consumo interno.

Brasil se caracteriza por la coexistencia de grandes estados con elevado número de pequeños productores. Prácticamente la mitad de los 4.8 millones de productores disponen de menos de 10 ha, mientras que el 89% posee menos de 100 ha.

Desde 1970 el gobierno promocionó el desarrollo agrícola de la región Centro-Oeste, denominada "Cerrado" cuya superficie asciende a 207 millones de ha. Esta región, si bien era considerada marginal para la producción agrícola, actualmente genera el 43% de la producción de carne vacuna, 23% de la de café, 34% de la de arroz, 59% de la de soja y 29% de la de maíz. Gran parte del éxito alcanzado en la puesta en producción de estas tierras se debe a la investigación en manejo de fertilizantes y enmiendas de suelo.

La tecnología de la siembra directa (SD) es otro de los avances significativos en tecnología de manejo de suelos y cultivos. Alrededor del 40% de la superficie de granos en Brasil se encuentra bajo este sistema de labranza (25 millones de ha).

A-Tierras con utilización económica	**Millones de ha**	**Porcentaje**
Cultivos temporarios	38.5	4.5
Tierras en barbecho	4.0	0.5
Cultivos permanentes	7.5	0.9
Pasturas mejoradas	99.7	11.7
Pasturas naturales	78.0	9.2
Forestales	5.4	0.6
Tierra de regadío	3.0	0.4
Subtotal	236.1	27.8
B-Coberturas naturales		
Bosques húmedos	367.7	43.1
Bosques secos	54.4	6.4
Bosques anegables	14.2	1.7
Bosques de transición	28.2	3.3
Cerrados (sabanas) y praderas.	73.2	8.6
Subtotal	537.7	63.1
C-Tierras con otros usos		
Áreas rocosas o con escasa vegetación	3.5	0.4
Ríos, lagunas naturales y artificiales	11.4	1.4

Regiones urbanas	2.1	0.2
Otros usos	60.7	7.1
Subtotal	77.7	9.1
TOTAL	**851.5**	**100**

Cuadro VI-12. Utilización de tierras en el Brasil
Fuente: Adaptado de adaptado de Manzatto et al., 2002 y EMBRAPA, 2003. Citado en FAO, 2004.

2 Suelos y clima

En Fertilizar use by crop in Brazil, editado por la FAO en 2004, se describe en detalle el tipo de suelos y climas en Brasil. Una de las características mencionadas en este reporte es la elevada diversidad de tipos de suelos de este país, dependiendo de la interacción de diferentes relieves, climas, material parental, vegetación y organismos asociados. En cuanto al clima, el hecho de que el 92% del territorio brasilero se encuentre en el inter-trópico y a bajas altitudes, explica el predominio de climas cálidos, con temperaturas promedio de 20°C. Los principales tipos de clima son: ecuatorial (región norte), tropical (centro oeste, nordeste y sudeste), tropical de altura (plateau atlántico del sudeste), tropical atlántico (banda costera que va desde el estado de Río Grande do Norte en el noreste hasta el estado de Paraná en las regiones del sur), semi-árido (depresiones noreste y en valle de Río Sao Francisco en el estado de Bahía) y subtropical (al sur del trópico de Capricornio, en partes de Sao Pablo, Paraná y Mato Grosso do Sul).

3. Principales limitantes de fertilidad de suelos

Las principales limitantes de fertilidad de suelos en Brasil son:

- Acidez y baja capacidad de intercambio catiónico (CIC).
- Toxicidad por Al_3+
- Deficiencias de macro (N, P, K), meso (Ca, Mg, S) y micronutrientes (Zn y Cu).
- Fijación de P.
- Baja disponibilidad de agua.
- Riesgo de erosión.

Considerando que el 39% y 20% del territorio están ocupados por Latossolos y Argissolos (Taxonomía Brasilera), respectivamente (De Campos Bernardi y Machado, 2003), las principales limitaciones de fertilidad de estos suelos son la desaturación de bases (suelos muy meteorizados), la problemática de las arcillas de tipo 1:1 (caolinita, principalmente, que determinan procesos de fijación de fosfatos), la presencia de óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio. Estas características de suelo determinan que para desarrollar esquemas rentables de explotación, se deben efectuar fertilizaciones completas, corrección de suelos (encalado+enyesado), sobre todo, en regiones con subsuelo ácido.

Uso de Fertilizantes en Brasil

Consumo de fertilizantes. Relaciones de nutrientes

Existe una estrecha relación entre el consumo de fertilizantes y la producción de cultivos en Brasil. Durante el período 1970-2001 la producción de los 16 cultivos mas importantes se incrementó 3.4 veces, mientras que en el mismo período, el consumo de fertilizantes aumento 4.4 veces.

Durante algunos años y hasta los comienzos de los años 80, el consumo promedio de fertilizantes (expresado como $N+P_2O_5+K_2O$) fue de alrededor de 50 kg/ha. Recién durante la década de los 90 se evidencia un incremento considerable en el consumo de fertilizantes alcanzando 132 kg/ha en el período 1999/00-2001/02. Estimaciones preliminares para el período 2002/03 indicaron un consumo aparente de 138 kg/ha de fertilizantes ($N+P_2O_5+K_2O$) para los 16 cultivos más relevantes. En el cuadro VI-13 se muestra el consumo de nutrientes de algunos cultivos destinados al consumo interno y de exportación en Brasil (2002).

Cultivo	**Consumo de nutrientes** Kg de $N+P_2O_5+K_2O$/ha
Arroz	83
Maíz	119
Citrus	122
Soja	138
Caña de azúcar	195
Café	195

Cuadro VI-13. Consumo de macronutrientes primarios en algunos cultivos de Brasil. Fuente: Adaptado de Lopes et. al.; 2003 citado en FAO (2004).

En el cuadro VI-14 se consignan las relaciones de nutrientes de Brasil y su comparación con países con una agricultura de alta tecnología y un esquema de fertilización mas balanceada. Como se observa, cuando se considera la soja en la estimación, la proporción del N se reduce en la relación ya que este cultivo utiliza fertilizantes sin N, mientras que si no se considera el cultivo, la relación se hace mas balanceada por el mayor uso de fertilizantes que aportan N. En los últimos años en Brasil se verificó un proceso de mejora notable en los niveles de reposición del K y del P, sobre todo en la región del Cerrado en donde los suelos presentan marcadas deficiencias de estos nutrientes.

	N	**P_2O_5**	**K**
Con soja	0.7	1	1.1
Sin soja	1.1	1	1.2
Países con alta tecnología agrícola	2.8	1	1

Cuadro VI-14. Relaciones entre nutrientes en Brasil (P_2O_5=1) en 2002. Fuente: Adaptado de Lopes et. al.; 2003 citado en FAO (2004).

Balance de nutrientes

En general, el balance de nutrientes de la agricultura brasileña es negativo. La cantidad de nutrientes extraídos en las cosechas supera considerablemente a la cantidad aplicada vía fertilización. La proporción de utilización del N en relación al P y K es baja, según los estándares

internacionales. En los últimos años se incrementó notablemente la utilización del SPS (superfosfato simple de calcio), fundamentalmente debido a la demanda de S de la soja. A pesar de este escenario, Brasil es uno de los pocos países en donde cerca del 80% de los fertilizantes utilizados son compuestos y por ende más ¨balanceados¨ nutricionalmente.

El déficit promedio de nutrientes fue de -16.2 Kg / ha, -9 Kg / ha y -6.1 Kg./ha para N, P_2O_5 y K_2O, respectivamente, para el año 2002, con una gran variación según la región considerada. En cuanto al N, las regiones con déficit por encima del promedio se localizan en las regiones del norte, sur y sudeste. En P, la región del sur del Brasil posee balances más negativos que el promedio del país para este nutriente, y también en Roraima, Goiás, Mato Grosso do Sul, Pará, Río de Janeiro y Acre. El K es el macronutriente primario que presenta el menor déficit. Cinco estados presentan aparentemente un balance positivo (Roraima, Amapá, Minas Gerais, Distrito Federal, Espíritu Santo y Bahía). Un déficit extremo de K se observa en el estado de Río de Janeiro (-34 kg de K_2O/ha). Deficiencias entre 10 y 20 Kg de K_2O/ha fueron observados en los estados de Pará, Acre, Amazonas, Paraná, Halagaos, Santa Catalina, Sergipe, Sao Paulo y Mato Grosso do Sul (FAO 2004).

Utilización Agrícola del Yeso en Brasil

Necesidades de azufre

Al igual que lo mencionado para Argentina y otros países de Latinoamérica, la inclusión del azufre (S) en los programas de fertilización balanceada es progresiva y creciente. Las fuentes más utilizadas son el sulfato de amonio, el sulfato de potasio, el sulpomag (sulfato de potasio y magnesio), el superfosfato simple y en menor medida, el yeso agrícola. La principal forma de aplicación de estos fertilizantes es a través de las mezclas físicas (blends), mientras que en campos cercanos a fábricas de ácido fosfórico o SPS, el fosfo-yeso es aplicado en cultivos como la caña de azúcar o en cítricos, fundamentalmente en mezclas con material calcáreo.
En el cuadro VI-15 se presenta la respuesta a la fertilización azufrada en los principales cultivos brasileros.

Cultivo	Aumento de producción (%)
Algodón	37
Arroz	16
Café	41
Caña de azúcar	11
Cítricos	18
Colza	51
Poroto	28
Maíz	21
Repollo	9
Soja	24
Sorgo	10
Trigo	26

Cuadro VI-15. Respuesta a la fertilización azufrada en cultivos realizados en Brasil
Fuente: POTAFOS, 1996.

Además de la respuesta a la fertilización en cultivos de cosecha, POTAFOS también menciona aumentos significativos en la productividad y calidad forrajera por afecto de la aplicación de S.

Resultados agronómicos de la utilización del yeso.

Efectos de la aplicación de yeso en suelos y cultivos

En los últimos, años la utilización del yeso en Brasil demostró ser una estrategia interesante para mejorar las propiedades físico-químicas de suelos, fundamentalmente en suelos ácidos, con niveles elevados de saturación de Al_3^+ (20-30% a los 35 cm o más profundo) y bajos niveles de saturación de Ca_2^+ (inferiores a 0.2-04 meq/100 g, según la bibliografía consultada) en estratos subsuperficiales. El agregado del yeso determinaría los siguientes beneficios:

• Mejora en la saturación de Ca_2^+ en estratos subsuperficiales gracias a la movilidad vertical del yeso que progresivamente va desplazando el Al_3^+ soluble en esos estratos, formando pares iónicos con este catión, mas estables y de menor fitotoxicidad.

• Aumento en la disponibilidad de Ca_2^+ en superficie y en capas subsuperficiales que mejoran la estructura del suelo y la saturación con este catión, importante en suelos ácidos o en aquellos de textura muy gruesa y de escaso desarrollo.

• Mejora en la actividad biológica del suelo (fúngica, bacteriana y mesofauna).
• Mejora de la estructura, infiltración y permeabilidad del perfil.

• Aumento en la disponibilidad de S tanto en superficie como en capas subsuperficiales.

• Mejora en profundización radicular

• Incremento en el consumo de agua y nutrientes debido a un mayor volumen de exploración radicular.

• Aumento de productividad y calidad de productos cosechados.

Los principales cultivos en donde se está difundiendo el uso del yeso son la caña de azúcar, el trigo, el maíz, los cítricos, entre otros. Ensayos de campo efectuados en Ponta Grossa por Caires et al., (2002) reportan incrementos en la concentración de Ca y S en hojas y mejoras en el rendimiento del trigo por agregado de dosis crecientes de yeso. Los autores evaluaron tres niveles de aplicación (3, 6 y 9 t /ha), además de un tratamiento testigo. Resultados favorables en producción también fueron hallados en cítricos con dosis entre 2 y 4 toneladas/ha (Yamada, com. pers). Los efectos del yeso sobre las propiedades físico-químicas de los suelos, tanto en aquellos afectados por problemas de salinidad- alcalinidad o en suelos ácidos son temas de interés en investigaciones agronómicas recientes. En algunos casos se reportan efectos inmediatos en el rendimiento

del cultivo implantado luego de la aplicación y en otros casos, si bien no se observan efectos significativos sobre la productividad del cultivo inmediatamente implantado, se mencionan situaciones de residualidad del S en los cultivos siguientes en la rotación. Algunos de estos efectos se reportan en Barros et al., 2004; Nogueira y Melo 2003; Caires et al., 2003, entre otros).

Tecnología de aplicación

Los principales objetivos de la aplicación de yesos en la agricultura brasilera son la corrección de suelos alcalinos y/o salino-alcalinos y en suelos ácidos en aplicaciones conjuntas con calcáreos para mejorar las condiciones físico-químicas del perfil: aumentar saturación cálcica y disponibilidad de sulfatos, incrementar el pH, reducir la fitotoxicidad por aluminio y su actividad en estratos subsuperficiales del perfil. La dosis de aplicación se determina considerando el tipo de objetivo en la aplicación del yeso, el tipo y fertilidad del suelo. A continuación se resumen las principales modalidades de aplicación:

• Corrección de suelos sódicos

La necesidad teórica de aplicación de yeso se puede establecer considerando el porcentaje de sodio intercambiable objetivo (PSI Objetivo), el porcentaje de sodio intercambiable actual (PSI actual) y la capacidad de intercambio de cationes del suelo (CIC). A los fines prácticos podríamos tomar como dosis orientativas las siguientes:

- Suelos arenosos: 2 t /ha
- Suelos de textura media: 4 t /ha
- Suelos muy arcillosos: 6 t /ha

Los productos con granulometría más fina son más efectivas para generar un rápido desplazamiento del sodio por el calcio. Las aplicaciones se realizan 2-3 meses previos a la implantación del cultivo.

• Acondicionamiento en suelos ácidos

El EMBRAPA recomienda aplicar yeso en suelos con elevada concentración de Al3+ y baja saturación de Ca2+ en estratos subsuperficiales. Así, recomiendan la aplicación en suelos con saturación de Al3+ superior al 30% y concentraciones de Ca2+ menores a 0.2 meq/100 g de Ca2+ a los 35 cm o mas de profundidad. La combinación del calcáreo (tanto materiales calcíticos como dolomítico) y el yeso resulta en una mejora de las condiciones químicas en estratos profundos del perfil, permitiendo un mayor desarrollo radicular y un mejor aprovechamiento del agua y nutrientes. Las dosis de aplicación del yeso según tipo de suelo son:

- Suelo arenoso: 500 Kg /ha
- Suelo de textura media: 1000 Kg /ha
- Suelo de textura arcillosa: 1500 Kg /ha.

La recomendación práctica es aplicar 200 Kg /ha de yeso por temporada. La principal limitación para el desarrollo del yeso agrícola es la distancia a las fábricas de ácido fosfórico, principales

oferentes de este tipo de producto (fosfo-yeso).

• Fertilización azufrada

Muchas veces en aplicaciones de yeso en caña de azúcar, cítricos, etc. se producen efectos combinados del mineral sobre las propiedades físico-químicas del suelo (efecto de enmienda o corrector de suelo) y nutricionales a través de la mayor disponibilidad de S y Ca (efecto fertilizante). Como mencionamos previamente la mayor proporción de la fertilización se efectúa a través de fertilizantes químicos, fundamentalmente con mezclas físicas NPK o a través del SPS, por ejemplo en soja. El contenido de humedad del fosfo-yeso limita la utilización del producto en blends, por lo cual muchas veces el yeso se maneja más con equipamiento de aplicación de correctores de suelos (enmiendas) que de fertilizantes, a pesar de existir respuesta al azufre en varios cultivos. Las dosis de yeso como fertilizante se deberían estimar entre 60 y 180 Kg /ha para proveer entre 10 y 30 Kg /ha de S y en cultivos con altas necesidades de S (por ejemplo soja, colza, caña de azúcar, etc.) las dosis podrían ser más altas cercanas a 310 Kg /ha (50 Kg /ha de S) considerando un yeso con 16% de S.

Necesidades de yeso para el Cerrado brasilero

Teniendo en cuenta la gran relevancia que esta adquiriendo esta región en la agricultura brasilera, se resumen las principales características de fertilidad de suelos, tecnologías y las posibilidades de desarrollo del yeso en el Cerrado brasilero. El 50% de la región posee suelos Oxisoles, mientras que el resto de la superficie está integrada por Entisoles, Inceptisoles y Ultisoles. Los suelos arenosos cubren alrededor del 15% del área. La mayoría de los suelos son profundos, bien drenados y con buena microagregación (Yamada 2004). El autor también menciona que la topografía favorable permite realizar una agricultura intensiva y mecanizada. En el cuadro VI-16 se presenta las características químicas de dos Oxisoles representativos de esta región (Yamada, 2004).

Suelo (%)	Horizonte	pH agua	C g kg^{-1}	Ca+Mg …cmol (+) dm-3 …	K	Al	Al Sat
Latosol Pardo-Rojizo,	A	5.0	9	1.8	0.1	0.7	26.9
franco arcilloso	B	5.0	2	0.3	0.04	0.8	66.7
Latosol Amarillo-Rojizo,	A	4.9	8	0.5	0.1	0.9	60.1
franco arcilloso	B	5.1	2	0.3	0.04	0.5	55.6

Cuadro VI-16. Características químicas de dos Oxisoles representativos del Cerrado brasilero.

Como se desprende de la tabla 5, los suelos del Cerrado son muy pobres en C, Ca, Mg, K y contienen una elevada saturación de Al_{3+} tanto en el horizonte A como en el B. En términos generales, el Al_{3+} comienza a ser peligroso por su fitotoxicidad con niveles de pH inferiores a 5.5. Por ello, las mejoras en productividad en cultivos (soja por ejemplo) por agregado de calcáreo en suelos con niveles de pH superiores a 5.5, tendría que ver con la mejora en la biodisponibilidad

de N, S, Ca, Mg y en menor medida de Mo.

La práctica del encalado en suelos del Cerrado es una herramienta fundamental para acondicionar la fertilidad química del suelo e imprescindible para sostener una agricultura rentable. Los niveles de saturación de bases óptimo para la mayoría de los cultivos esta en el rango de 35-50%, mientras que niveles superiores generados por sobre-encalado, podrían determinar deficiencias de microelementos.

El desarrollo de la siembra directa (SD) en los últimos años es una tecnología de manejo muy interesante ya que permite reducir la toxicidad del Al_{3+}. Los compuestos orgánicos generados por los residuos y por el C orgánico acumulado en superficie, formaría complejos con el Al, reduciendo su toxicidad. Esto explicaría la menor respuesta al agregado de enmienda cálcica en suelos orgánicos o bajo siembra directa. La aplicación del yeso en suelos bajo SD presenta una limitación debido a la escaso contacto con la masa de suelo y a la menor reactividad del producto, cuya principal ventaja en estos suelos, es la movilidad vertical del Ca y del S hacia estratos más profundos y el mejoramiento consiguiente de las propiedades químicas del perfil, permitiendo un mayor desarrollo de las raíces de los cultivos que se presentan en sistemas de labranza convencional (laboreo e incorporación superficial del yeso).

Por lo mencionado previamente, la región del Cerrado brasilero representa un mercado potencial muy interesante para la provisión del yeso agrícola, debido al tipo de suelo y a los favorables resultados agronómicos reportados en los últimos años y la sinergia positiva con el calcáreo.
La principal limitante para la utilización del yeso en el Cerrado brasilero está relacionada con la ubicación de las fábricas de ácido fosfórico. La lejanía a los puntos de provisión, reducen la factibilidad económica de uso por la incidencia del flete. La variabilidad en la composición química y de la presentación del fosfo-yeso también podría resultar en una restricción para el desarrollo comercial de este producto.

Conclusiones y perspectivas

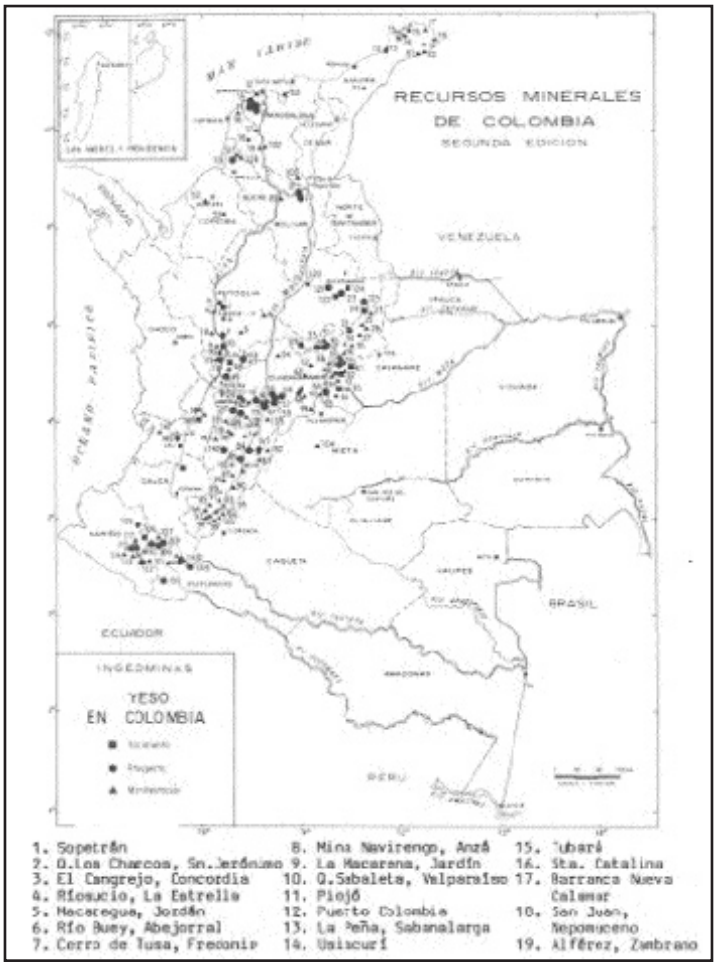
• Brasil dispone de alrededor de 50 millones de ha bajo producción de cultivos anuales y perennes, y una extensa superficie adicional con tierras potencialmente agrícolas, siendo el principal productor mundial de café, caña de azúcar, citrus; el segundo productor de soja y el segundo país en stock ganadero.

• Una de las características del país es la gran heterogeneidad de agro-sistemas, tanto en estructura agraria, suelos, climas, etc.

• Las principales limitantes de fertilidad de los suelos son la acidez, la toxicidad por Al3+, bajos niveles de C orgánico, deficiencias de macro y micronutrientes, fijación del P, baja disponibilidad hídrica en algunas regiones y riesgo de erosión.

• Existe una estrecha relación entre la evolución de los rendimientos de los principales cultivos y el uso de fertilizantes. Así, durante el período 1970-2001 el rendimiento de los 16 cultivos principales se incremento 3.4 veces, mientras que en el mismo período el consumo de fertilizantes aumento 4.4 veces.

• La agricultura brasilera presenta en términos generales balances de nutrientes (diferencia entre la aplicación vía fertilizantes y la extracción de nutrientes en las cosechas) negativos. En los últimos años se mejoró notablemente los niveles de reposición de K y P, sobre todo en la región del Cerrado, existiendo aún una escasa aplicación de N en relación al P y K en comparación con países que disponen de una agricultura de avanzada en lo tecnológico.



• La demanda de S en la agricultura brasilera aumentó en los últimos años, al igual que en otros países de Latinoamérica, debido a la aparición cada vez mas frecuente de situaciones de deficiencia de S y aumentos significativos por aplicación de S en varios cultivos.

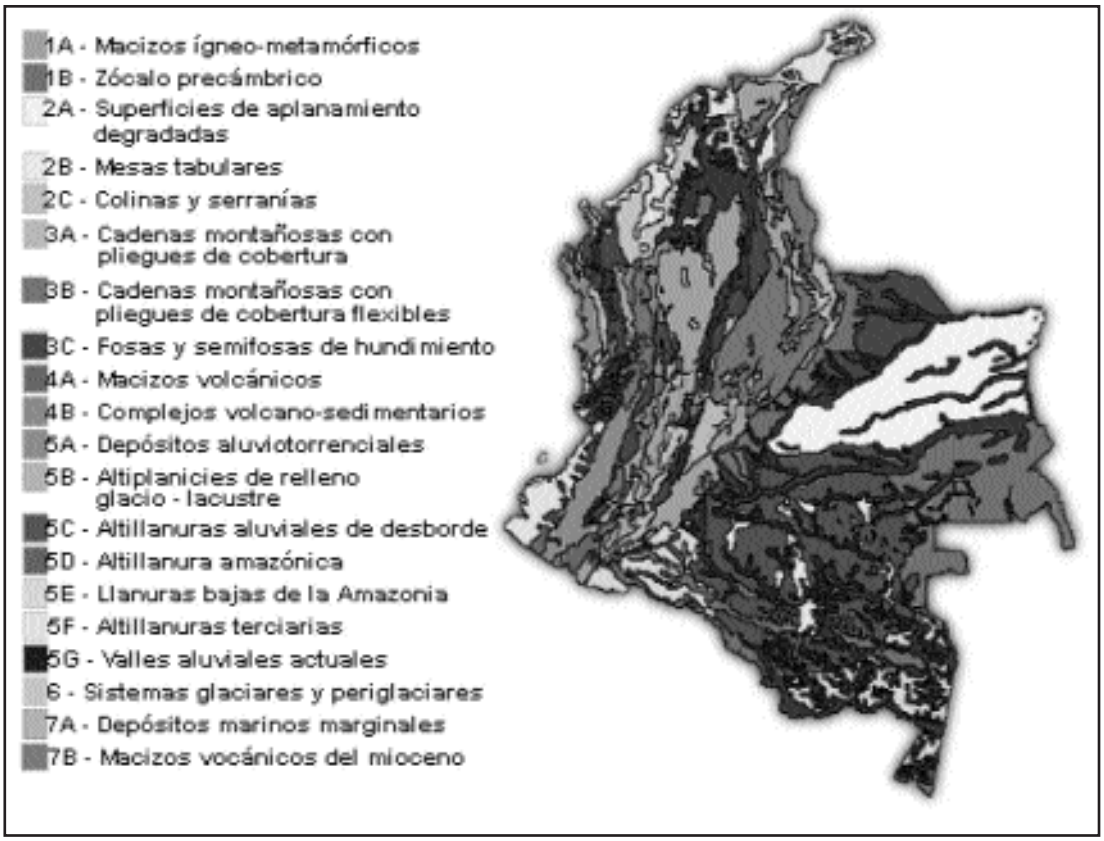
• En los últimos años se reportaron resultados muy interesantes en mejoramiento de la fertilidad de suelos y en la productividad de varios cultivos (caña de azúcar, cítricos, trigo, maíz, soja, etc.) por agregado de yeso agrícola. El yeso tiene múltiples aplicaciones tanto en corrección de suelos sódicos, salino-alcalinos, mejora de fertilidad de suelos ácidos, fertilización azufrada,

[1] *Instituto de Geología y Minería - INGEOMINAS - lalvarado@ingeominas.gov.co*
[2] *Instituto Colombiano Agropecuario - ICA- fertilizantes@ica.gov.co*

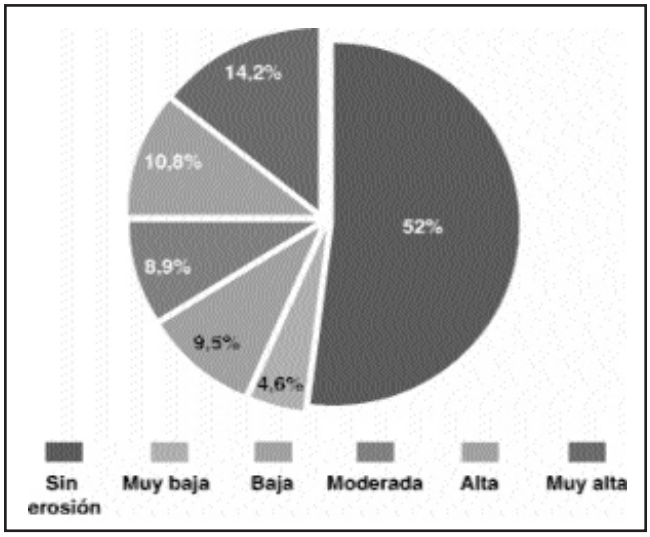
entre otros.

• La aplicación de yeso en suelos con elevada saturación con Al_{3+} y baja concentración de Ca_{2+} en profundidades de 35 cm o más, generan importantes beneficios. Los principales beneficios del agregado de yeso en este tipo de ambientes son la movilidad vertical del Ca_{2+}, incremento de disponibilidad de Ca y S, mejor desarrollo radicular, mayor consumo de agua y nutrientes, mayor rendimiento y calidad de productos cosechados.

• Los resultados favorables de la aplicación conjunta de calcáreo y yeso, constituye una oportunidad favorable para la demanda de yeso en ambientes como el Cerrado que posee el 50% de suelos Oxisoles y en donde existen perspectivas de expansión agrícola crecientes y sostenidas.



• Las principales limitantes para el consumo de yeso agrícola proveniente de la fabricación de ácido fosfórico son la distancia del campo a las fábricas (flete) y la presentación del producto, fundamentalmente la elevada humedad que dificulta la manipulación y aplicación.



• Teniendo en cuenta que más del 80% del consumo de fertilizantes en Brasil son mezclas físicas (blends) promovido por la tendencia hacia una fertilización balanceada, la obtención de yesos con una adecuada presentación física (granulometría, dureza, etc.) permitiría incorporar este producto al mercado de fertilizantes.

Colombia

DEPOSITOS	RESERVAS MEDIDAS	RESERVAS INDICADAS	RESERVAS INFERIDAS
Mesa de los Santos Villanueva (Santander)	20.00	35.00	160.00
Uribia – Carrizal (Guajira)	6.50		
Niverengo – Anzá (Antioquia)	0.07	0.10	0.30
Páez – Miraflores (Boyacá)	3.00	5.00	8.00
TOTAL	29.57	40.1	168.30

Liliana Alvarado Flórez[1] *y Jairo Ricardo Barreto Reyes*[2]

El yeso o sulfato de calcio dihidratado (forma estable) es utilizado comúnmente en la agricultura y en construcción. En la agricultura es utilizado como acondicionador (enmienda) inorgánico de suelos sódicos y salino-sódicos y en menor proporción, como fertilizante de lenta liberación para cultivos de ciclo mediano a largo. Existen en Colombia dos grandes zonas explotadas, correspondientes a Mesa de los Santos (Formaciones Rosa Blanca y Paja), municipio de Los Santos (Santander) y en Barrancas y Uribia, departamento de la Guajira. (Figura VI-10).

Figura VI-10. Yeso en Colombia.

El yeso además de ser empleado en baja cantidad en la fabricación de fertilizantes es destinado principalmente a la industria de la construcción como estuco y regulador de fraguado en la elaboración de cemento. Esta última demanda aproximadamente entre un 35 y 40% de la producción nacional (Maya, 2000).

Los depósitos de yeso se encuentran principalmente en la Cordillera Oriental, en la costa de la Península de la Guajira y en algunos sectores de la Cordillera Central. Según Mendoza (1995 c) las áreas productoras serían:

- Santander en Mesa de los Santos: Alcanza a los municipios de Miraflores, Páez, Almeida.
- Boyacá : Almeida.
- Cundinamarca: Gachalá, Girardot
- Regiones de Tocaima
- Tolima: Rovira
- Antioquia: Area de Anzá
- Caldas: Neira
- Guajira: Región de Carrizales- Uribia

El yeso representa el 0,2% de la producción minera total (1998). El azufre elemental se lo ubica en los depósitos del nevado del Ruiz y del volcán Puracé.
En la Fig. VI-11 se muestra el mapa geológico de Colombia
Figura VI-11 Mapa geológico

1 CRI-La Platina, Santa Rosa 11610, Comuna La Pintana Santiago, Chile crojas@inia.cl
2 AgreFert Argentina, Consultor privado mtorresduggan@agrefert.com
3 Romeral S.A. Santa Rosa 01710-Puente Alto, Chile. ksuez@romeral.cl

Los diferentes tipos de suelos en el país muestran que prácticamente la mitad de la superficie no presenta problemas de erosión, en tanto los sectores con niveles erosionados altos y muy altos alcanzan casi el 25% (Fig. VI-12).

Figura VI-12. Distribución de la erosión en los suelos

Con relación a las reservas totales del país, INGEOMINAS ha informado sobre los depósitos yeso los que se consignan en el cuadro VI-17.

Cuadro VI-17. Reservas de yeso - Millones de toneladas.

Chile

Carlos Rojas Walker[1], Martín Torres Duggan[2] y Karina Suez Concha[3] (Ex aequo)

Panorama de la agricultura en Chile

Chile se divide administrativamente en 12 regiones, encontrándose la primera en el norte limitando con el Perú y la última en el extremo Austral (IVEX, 2003). En el norte comienza con la Región de Tarapacá y termina en la duodécima Región de Magallanes y la Antártica Chilena. La capital , Santiago, en la región central, se encontrará en la denominada Región Metropolitana, que es uno de los ambientes mas productivos del país (ODEPA, 2002).

Chile posee 75.6 millones de hectáreas (MM), de las cuales alrededor de 25.2 millones de hectáreas corresponden a aquellas destinadas a uso agroforestal y pratense con el siguiente esquema de utilización de la tierra (Ponce, 2004).

- Forestales: 11.6 MM de has.
- Ganaderas: 8,5 Mm de has.
- Agrícolas (arables) 5.1 de has.

Dentro de la superficie arables tenemos:

- 2.0 MM de has en secano
- 1.8 MM de has con potencial de riego
- 1.3 MM de has bajo riego

La superficie total dedicada a cultivos es de aproximadamente 844.549 has, fraccionadas de la siguiente forma:

- 49% trigo
- 15% maíz
- 4% remolacha
- 32% otros

La remolacha representa el cultivo con mayor descenso en el área sembrada, con un total de reducción de superficie del orden de un 43% entre el 2002 y 2003. En el mismo período el trigo evidenció un incremento del 26% en la superficie sembrada, mientras que los demás cultivos se mantuvieron estables en los últimos años.
La superficie total dedicada a frutales es de 214.485 has, siendo los principales productos:

• 21% Uva
• 17% Manzana
• 11% Palta (o aguacate)
• 51% Otros

En cuanto a los cultivos hortícolas, la superficie total cultivada es de 123.689 ha, siendo los principales cultivos: el tomate, maíz dulce, lechuga, papas entre un amplio número de especies de importancia nacional (más de 60 especies).

La superficie bajo fertirrigación es de alrededor de 100.000 ha. Los principales cultivos que utilizan este sistema son:

• 33% Uva de mesa
• 23% Viñedo para vino
• 13% Palta
• 9% Fruta de carozo
• 6% Cítricos
• 4% Uva pisquera (Pisco de Chile)
• 14% Otros

Limitaciones de fertilidad de los suelos.

La forma del territorio chileno, prolongado en latitud, sumado a la influencia orográfica de la Codillera de Los Andes, determina una gran variabilidad edafo-climática y de aptitud de las tierras. Las principales limitaciones de suelos para el desarrollo de la actividad agropecuaria y de la silvícultura son :

• Erosión hídrica y cótica
• Salinidad
• Alcalinidad
• Acidez
• Alta fijación de fosfatos (en Andosoles y otros suelos derivados de materiales volcánicos).

A continuación se resumen las principales limitaciones de fertilidad en las principales regiones agrícolas de Chile:

• 1ª Región (I): Limitaciones graves de salinidad y sodicidad de los suelos.
• 2ª Región (II): Con menor importancia agrícola
• 3ª Región (III): Limitaciones de salinidad y elevados contenidos de boro en agua de riego.

• 4ª Región (IV): Más fértil que las anteriores con incorporación de cultivos anuales. La limitación de salinidad en esta región es de menor gravedad que en la tercera Región.
• 5ª Región (V): Muchos la consideran la región más rica, tanto por su extensión, como por la condición de mejor fertilidad de sus suelos comparada con las regiones mencionadas previamente. También hay limtaciones por salinidad.
• Región Metropolitana (RM): Alcalinidad, alta deficiencia de nitrógeno y moderadas de K.
• 6ª Región (VI): Valles muy ricos, comienzan a aparecer suelos ácidos. Moderada deficiencia de fósforo y nitrógeno.
• 7ª Región (VII): Bueno suelos en valles. Se presentan suelos ácidos. Moderada deficiencia de fósforo y nitrógeno, alta deficiencia de nitrógeno y moderadas de potasio.
• 8ª Región (VIII): Predominio de suelos ácidos. Severa deficiencia de fósforo, altas deficiencias de nitrógeno y moderadas de potasio.
• 9ª Región (IX): Suelos ácidos. Severa deficiencia de fósforo, altas deficiencias de nitrógeno y moderadas de potasio.
• 10° Región (X): Suelos ácidos. Severa deficiencia de fósforo, altas deficiencias de nitrógeno y moderadas de potasio y aún micronutrientes.
• 11° Región (XI) De escasa agricultura, dominantemente ganadera y forestal. Severa deficiencia de fósforo, altas deficiencias de nitrógeno y azufre, moderadas de potasio y aún micronutrientes.
• y 12° Región (XII): no agrícola, dominantemente ganadera y forestal. Deficiencias de fósforo y potasio.

Mercado de fertilizantes

Chile posee yacimientos naturales de fertilizantes naturales tanto nitrogenados (nitratos) como potásicos, entre los cuales se destacan: salitre sódico, salitre potásico, depósitos de guano. A su vez existen depósitos de roca fosfórica, pero su baja ley y calidad impiden su explotación comercial a escala significativa (IVEX, 2003).

En el mercado nacional se comercializan principalmente fertilizantes nitrogenados, fosfatados y potásicos, mientras que para agregar macronutrientes secundarios, muchas veces se aplican en conjunto con los macronutrientes primarios. En el cuadro VI-18 se presentan los principales fertilizantes comercializados en Chile y su origen.

Fertilizante	Abastecimiento
Urea	Importado
Salitre sódico	Nacional
Salitre potásico	Nacional
Fosfato diamónico	Importado
Superfosfato Triple	Importado
Superfosfato simple	Importado/nacional
Sulfato de potasio	Importado
Nitrato de potasio	Nacional

Cuadro VI-18. Fertilizantes comercializados en Chile.
Fuente: IVEX, 2003.

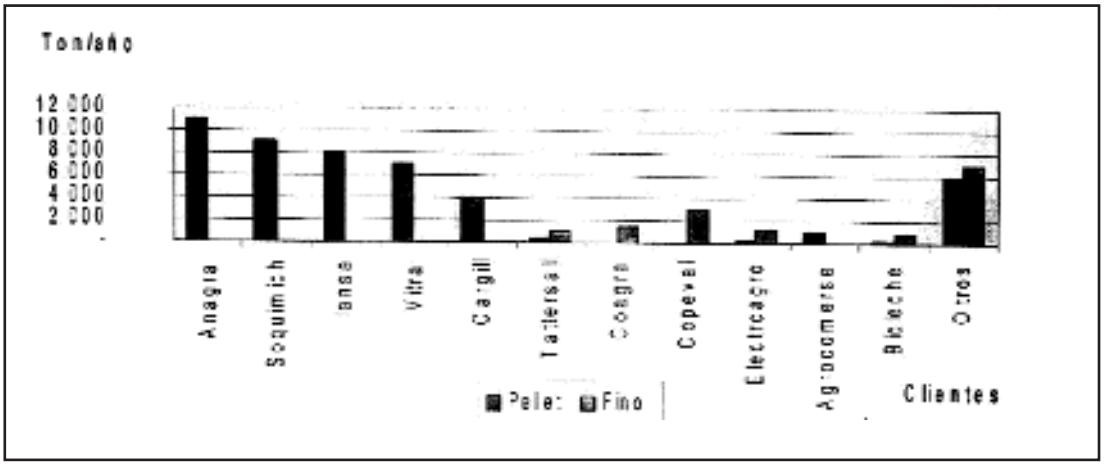
El mercado de nutrientes secundarios es de menor tamaño que el de los macroelementos primarios. Las principales fuentes utilizadas de nutrientes secundarios son:

- **Azufre:** Se aplica en general como sulfato (sulfato de potasio, de magnesio, yeso).
- **Calcio:** calcáreos (calcíticos y dolomíticos), nitrato de calcio, yeso, etc.
- **Magnesio:** dolomita, sulfatos de magnesio, etc.

Los micronutrientes representan un nicho aún menor al de los nutrientes secundarios. Las fuentes utilizadas son variadas, desde sales (sulfatos fundamentalmente), quelatos, etc. En los últimos años se han difundido las mezclas conteniendo multinutrientes, que incluyen microelementos en su composición, en algunos casos a la forma de quelatos, sobre todo en productos destinados al fertirriego ("fertigation grade").

Para la corrección de suelos, se utilizan enmiendas. En suelos ácidos se agrega calcáreo (calcita, dolomita), mientras que en suelos alcalinos, el yeso. El yeso también constituye una fuente de calcio interesante para agregar en suelos ácidos junto con la calcita como se hace en suelos Oxisoles del Cerrado brasilero.

El mercado global de fertilizantes representa 1.1 millones de toneladas (Ponce, 2004). En el cua-



dro VI-19 se resume los principales indicadores del mercado de fertilizantes en Chile.

Ventas de fertilizante según fuentes	Proveedores de fertilizantes	Importaciones
40% Urea	38 % SQM	27% USA
16% SPT	22% Cargill	15% Venezuela
16% MAP-DAP	22% Anagra	13% Argentina
10% MOP	14% Vial	13% FSU
9% CAN	4% Iansa	13% México
9% Otros		19% Otros

100%	100%	100%

Cuadro VI-19. Resumen de indicadores del sector Fertilizantes en Chile (Porcentajes de participación de mercado según fuentes, proveedores de fertilizantes y orígenes de importación de fertilizantes)
Fuente: Adaptado de Ponce, E. 2004

Según IVEX (2003), el consumo de los macronutrientes primarios según región sería la siguiente:

• **Nitrógeno:** el 38% del N se consume en la zona centro-norte del país (Regiones IV a VI), un 30% en la zona centro-sur (Regiones VII y VI) y un 30% en la zona sur (Regiones IX y X). El mayor consumo de urea predomina en la zona centro-norte, mientras que el de salitre en la zona sur. Esto se debe al tipo de reacción de las fuentes y a las características de suelo predominante en esas regiones: la urea por ser acidificante se la utiliza más en suelos alcalinos (hacia el norte), mientras que las salitres en el sur (suelos ácidos).

• **Fósforo:** el 13.8% del P se consume en la zona Centro-Norte, un 25.3% en la zona Centro-Sur y un 60% en la zona Sur. Esto se debe a la mayor concentración de suelos de origen volcánico en esta región, la elevada retención de fosfatos de los mismos y la elevada respuesta al agregado de P.

• **Potasio:** el 34.8% se consume en la zona Centro-Norte del país, el 29% en la zona Centro-Sur y el 33.8% en la zona Sur.

El consumo de nutrientes según cultivo se distribuye de la siguiente manera:

• **Nitrógeno:** 27% trigo, 14% maíz, 10% frutales, 7% praderas, remolacha 6%.
• **Fósforo:** 38.2% trigo, 11.7% remolacha, 10.3% maíz, 8.7% en praderas artificiales, 8.5% en praderas mejoradas.
• **Potasio:** 35.4% frutales, 18.2% remolacha,11.5% papa, 7% hortalizas, 6.5% praderas artificiales.

El yeso en la agricultura chilena

Destinos, consumo actual y potencial del yeso agrícola.

El yeso en Chile es fundamentalmente aplicado en la corrección química en suelos alcalinos (Mendoza et. al., 2002). También puede ser utilizado como fuente de azufre en fertilización, pero su uso es menor respecto de otras fuentes como el SPS, el sulfato de potasio, sulfato de magnesio, etc. La producción de yeso de Chile es de alrededor de 500.000 TM/año (Izquierdo Gonzalez, 2005).

En la figura VI-13 se presenta el consumo de yeso agrícola según empresa proveedora en Chile para el año 2004 tanto de yesos pelleteados como finos.
Figura VI-13. Consumo de yeso agrícola en Chile en 2004 según empresa y forma de presentación física del producto.

En cuanto al mercado potencial podemos encontrar las siguientes situaciones con necesidades agrícolas de yeso:

1-Áreas con suelos alcalinos: Regiones I, II, III, IV, V y Metropolitana. Dentro de estas, en el área Metropolitana es donde se presenta una extensa superficie agrícola con suelos alcalinos. Esta superficie constituiría un interesante mercado potencial para el desarrollo comercial del yeso. Actualmente esta región tiene en producción de alrededor de 92000 ha de cultivos anuales, hortícolas y frutales.
2-Las zonas con suelos ácidos (Región VI a X). Esta región también constituye un mercado potencial relevante para el consumo del yeso, por la capacidad de este mineral de formar pares iónicos con el Al^{3+} , reduciendo la toxicidad sobre los cultivos, fundamentalmente en suelos con pH muy bajos (inferiores a 5.5). También el yeso mejora la movilidad vertical del Ca^{2+} en el perfil, incrementa la disponibilidad del Ca y S para las plantas, reemplaza el Na^{+} por el Ca^{2+} en el complejo de intercambio del suelo (arcillas), mejora el desarrollo y exploración radicular (mayor consumo de agua y nutrientes) y en definitiva incrementa la producción y calidad de los cultivos. También no hay que olvidar los efectos favorables del yeso sobre las propiedades físicas del suelo como estabilidad de agregados (capacidad cementante sobre agregados), infiltración, permeabilidad, etc.

3-Fertilización azufrada y cálcica. En suelos agrícolas sin limitaciones de pH o de salinidad, el yeso también podría ser utilizado en la formulación de mezclas físicas, para el aporte de S y Ca disponible para los cultivos.

Presentación de productos

El yeso agrícola en Chile se comercializa con diferentes presentaciones:

- Yeso agrícola fino
- Yeso agrícola súper fino
- Yeso en pellets

El yeso fino se presenta en una granulometría en donde mas del 99.9% pasa por la malla 80 ASTM (0.173 mm). Este producto es posicionado en aplicación directa en el campo y en suelos de invernadero.

El yeso súper fino permite su utilización en sistemas de riego por goteo. Más del 99.99% pasa por la malla ASTM N°170 (menos a 0.088 mm) permitiendo una rápida disponibilidad de nutrientes. Este producto es posicionado en los siguientes nichos:

- Zonas con aguas de riego de mala calidad
- Para mejorar la infiltración de agua
- Suelos con textura arcillosa

El yeso en pellets se presenta en una granulometría diseñada para lograr una solubilización gradual poniendo a disposición el azufre y calcio en forma constante y homogénea, disminuyendo las pérdidas por lixiviación y escurrimiento. El tamaño de partícula es de 2-4 mm (más del 90% de la masa de producto), similar a la granulometría de la mayoría de los fertilizantes químicos granulados. Las principales características del yeso en pellets son:

• Permite ser mezclado con fertilizantes granulados.
• Mayor valor residual
• Se recomienda en zonas con altas precipitaciones
• Para suelos con textura gruesa.

En el cuadro VI-20 se presenta las principales características físicas del yeso en pellets:

Propiedad	Magnitud
Granulometría	90% entre 2-4 mm
Dureza	2-4 kg/gránulo
Solubilidad	2 g/L
Humedad	‹ 1%

Cuadro VI-20. Principales atributos físicos del yeso agrícola en pellet en Chile

En el cuadro VI-21 se muestran las principales características químicas del yeso agrícola en pellets en Chile

Composición	%
Ca SO4 2H2O	›85
Ca-SO4	16-18
Humedad	‹1
NaCl	‹0.05
CaCO3	‹13
MgCO3	‹0.15
Oxido de hierro y aluminio	‹0.3
Otros	2-3

Cuadro VI-21. Principales atributos químicos del yeso agrícola comercializado en Chile

5- Conclusiones y perspectivas

• La forma del territorio chileno, prolongado en latitud, sumado a la influencia orográfica de la Cordillera de los Andes, determina una gran variabilidad edafo-climática y de aptitud de las tierras. Las principales limitantes de fertilidad en el territorio son: erosión (hídrica y eólica), salinidad, alcalinidad, acidez, fijación de fosfatos y combinaciones de alguna de ellas.

• El territorio chileno esta dividido en 12 regiones administrativas, de las cuales tienen relevancia agrícola la I, III, IV, V, Región Metropolitana, VI, VII, VIII, IX y X. En las primeras regiones, hasta la V se presentan en los suelos problemas de salinidad, alcalinidad, combinaciones de ambos y en algunos casos exceso de boro en aguas de riego. A partir de la VI Región, comienzan a aparecer suelos ácidos, que se hacen mas generalizados hacia las Regiones VIII, IX y X.

• El consumo global de fertilizantes en Chile es de 1.1 millones de toneladas, de los cuales la mayoría corresponden a fertilizantes nitrogenados, fosfatados y potásicos.

1Edafología, Colegio de Postgraduados Montecillo, Texcoco, Edo. De México - ronues@colpos.mx
2 AgreFert Argentina, Consultor privado- mtorresduggan@agrefert.com
3 Instituto de Tecnología Minera - SEGEMAR - bea@inti.gov.ar

• El mercado de los nutrientes secundarios (Ca, Mg, S) constituye un mercado menor en comparación con los de los macroelementos primarios (N, P, K), mientras que los microelementos representan un nicho aún menor, básicamente concentrado en el segmento de cultivos bajo fertirrigación o de elevada rentabilidad (cultivos de exportación).
• El principal uso agrícola del yeso en Chile es para la corrección de suelos alcalinos, y en menor medida para el agregado de Ca y S en suelos ácidos o fertilización azufrada y cálcica.

• Las principales formas de presentación del yeso agrícola en Chile son en polvo fino, super fino y en pellets. Cada uno de ellos tiene un mercado objetivo en donde se posiciona el producto.

México

Roberto Núñez Escobar[1], Martín Torres Duggan [2] y María Beatriz Ponce [3] (Ex aequo)

Es un importante productor de azufre elemental, el cual se obtiene por diferentes procesos entre los que se mencionan: el proceso de refinación del petróleo y gas natural, como subproducto de las plantas de fundición de las compañías mineras productoras de metales base y preciosos o de los domos salinos ubicados en la Cuenca Salina del Istmo.

Actualmente la región con el mayor potencial productor y exportador se ubica en la zona de Baja California Sur, desde donde se obtiene la mayor parte del yeso del país (alrededor del 85%).

La segunda entidad productora es Nuevo León y a continuación le sigue Puebla, Jalisco, Coahuila y Sonora con producciones que no superan individualmente el 5%. Otras manifestaciones de yeso se encuentran en San Luis Potosí, Guerrero y Morelos. Se menciona en este último estado, que la actividad de explotación de yeso se cumple a través de pequeños mineros (Ver Fig. VI-14 Edad y ambientes geológicos) . El listado de los principales centros productores de yeso incluyen:

Baja California Sur
• Mulege Coahuila
• Matamoros
• Ramos Arispe Jalisco
• Tamazula de Gordiano

Nuevo León
• Hidalgo
• Mina Puebla
• Cuautlancingo
• Puebla Sonora
• Alamos

El yeso se extrae de varios centros productores destinándose principalmente a la fabricación de paneles para la construcción.

La exportación de yeso natural está controlada por un oligopolio conformado por dos empresas, de las cuales la principal está ubicada en Baja California Sur, aporta el 71.4% de las exportaciones y toda su producción se dirige a los Estados Unidos, la segunda se localiza en Coahuila y aporta el 28.2% de las exportaciones, su principal mercado es Estados Unidos seguido por Costa Rica, Ecuador y España. En conjunto las dos empresas aportan el 99.6% de las exportaciones de yeso natural y anhidrita.
Debido a que el mercado del yeso es básicamente regional, en particular aquel producto de este mineral cuyo procesamiento no requiere tecnología sofisticada y al gran potencial de México, las exportaciones superan en gran medida a las importaciones. Tanto el yeso como la anhidrita están sujetos a la Ley Minera (Art. 4°) de manera similar a otros minerales de uso industrial. No se consideran otras variedades de yeso en esta disposición, como la selenita, el espato satinado y el alabastro, por lo tanto éstos últimos no son concesibles. También en los mismos minerales existen desgravaciones arancelarias en el marco de los Acuerdos de Libre Comercio establecidos por México con otros países.

Cabe mencionar que la producción de yeso en México está estrechamente relacionada con el comercio exterior, por lo que cualquier alteración que muestren las exportaciones influye en la producción.

La producción anual de yeso en México rebasó los 3.5 millones de t entre los años 2000 a 2003, llegando a 4.8 Mt en 2004.

Posición arancelaria: yeso y anhidrita 252010.

Utilización del Yeso agrícola

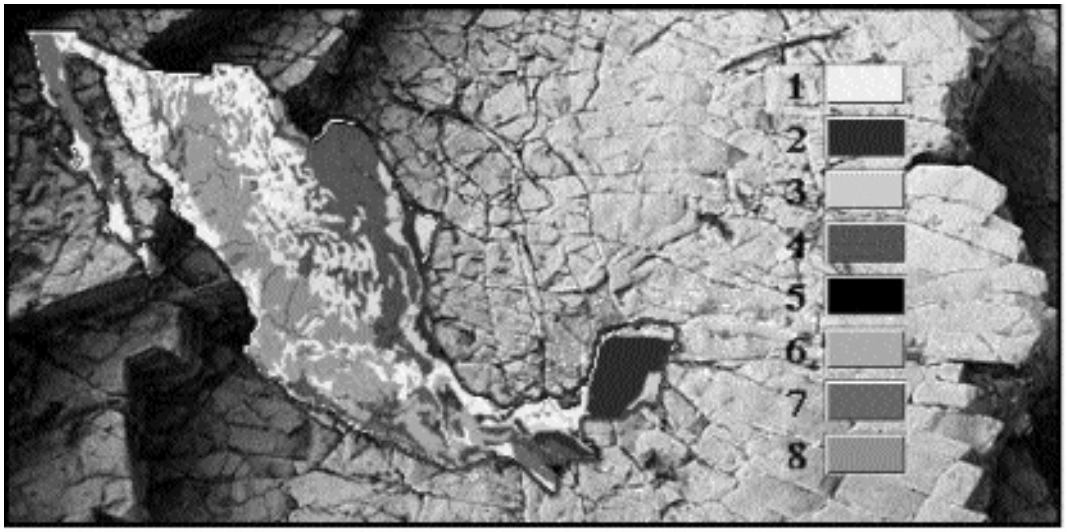
El yeso en México ha sido utilizado para la corrección de suelos sódicos y salino-sódicos, generados en forma natural por drenaje deficiente, o bien de naturaleza antrópica por el mal manejo del agua de riego en los terrenos agrícolas. Se estima que un 20% de los 6 millones de ha de terreno agrícola irrigado en México tiene problemas de salinidad y sodicidad, para cuya corrección se debe aplicar yeso si no hay suficiente calcio que sustituya al sodio en el complejo de intercambio, seguido de lavados que desplacen al sodio del perfil del suelo (Fig. VI-15 Mapa de suelos).

El yeso es un material relativamente abundante en los suelos de las zonas áridas de México. En el Estado de San Luis Potosí existen áreas de Gypsisoles, suelos caracterizados por tener un horizonte gypsico o petrogypsico en sus primeros 125 cm de profundidad.

La información publicada en medios confiables sobre utilización del yeso en agricultura en México es muy escasa. Sin embargo, es posible afirmar que el uso agrícola del yeso es el de menor volumen, siendo los principales usos los siguientes, según datos de la Secretaría de Economía de México (Izquierdo, 2005):

• Construcción (bases de revestimiento, plataformas, planchas acústicas, plaster, etc.)

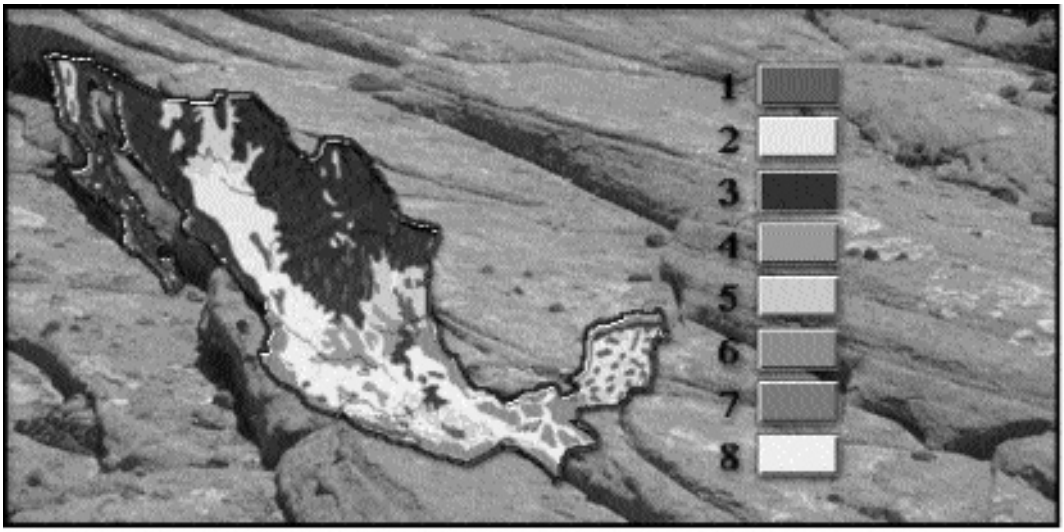
• Industria Química (producción de azufre, dióxido de azufre, ácido sulfúrico, etc.)
• Obras mineras (en la elaboración de polvos que se utilizan en minas para la reducción del riesgo de explosión)
• Pigmentos (en papel, algodón, pintura, etc.).



• Cerámicas (molduras, en arcilla vaciada, litógrafos, etc.).
• Fundición (fundentes de minerales de níquel)
• Ortopedia (moldes).

De lo expresado se deduce que la demanda de yeso se genera fundamentalmente en la construcción, cuyo nivel de actividad se relaciona directamente con el ritmo de crecimiento económico del país.

Con relación al fosfoyeso generado por la industria del ácido fosfórico y de la fabricación del superfosfato triple y fosfatos de amonio, en su mayor parte carece de utilización y constituye una fuente de contaminación terrestre y marina. Teniendo en cuenta el proceso de retracción de la industria local de fertilizantes evidenciada en los últimos años, la producción de fosfoyeso se ha reducido fuertemente. Por otra parte, no hay que olvidar que existe una capacidad instalada de



producción de ácido fosfórico de 900.000 t/a la que se distribuye: 50% en A & W Troy, 44% en Fertinal y 6% en Fertimina y Nitroamonia. A & W Troy cuenta entre sus plantas con una de ácido fosfórico de grado técnico para la producción de fosfatos industriales, y de grado alimenticio.

Con relación a la demanda de yeso, la extensa superficie agrícola con suelos sódicos y/o salino-sódicos en el país, representa un mercado potencial muy relevante. La principal limitante de abastecimiento de yeso sería la distancia del yacimiento o del proveedor local del producto hasta la zona de aplicación (consumo) en el campo.

Ensayos de campo realizados con yeso en México reportan efectos muy interesantes de la aplicación de este mineral sobre la micromorfología del estrato superficial del suelo (Martinez

Gamiño y Walthall, 2000). El yeso o yeso fosfórico (fosfoyeso) actúa como agente cementante en el estrato superficial del suelo, mejorando la estructura y reduciendo el riesgo de encostramiento. La optimización de las propiedades físicas del estrato superficial del perfil mejora la germinación y emergencia de plántulas, aumenta la infiltración del agua, reduce la escorrentía y la erosión hídrica, entre otros beneficios.

En síntesis, los posibles usos agrícolas del yeso en México serían:

* Corrector de suelos sódicos.
* Corrector de suelos salino-sódicos
* Enmienda de suelo (mejorador de la estabilidad estructural)
* Fertilizante azufrado

En términos agronómicos, durante la aplicación del yeso es usual que se presenten más de un efecto, dependiendo de la dosis de aplicación y el tipo de ambiente.

Conclusiones y perspectivas

México dispone de importantes yacimientos de yeso en diferentes regiones del territorio.
Se estima que un 20% de los 6 millones de hectáreas de terreno agrícola irrigado en México tiene problemas de salinidad y sodicidad, para cuya corrección se debe aplicar yeso.
El 64% del territorio continental mexicano tiene algún tipo de degradación (química, física, biológica).

Las estadísticas sobre consumo y utilización agrícola del yeso en México son muy escasas o nulas. El principal uso agrícola del yeso sería como corrector y enmienda de suelos, y se disponen de algunos trabajos agronómicos recientes que reportan efectos favorables del agregado de yeso sobre las propiedades físicas del suelo.

Figura VI-14 Edad y ambientes geológicos

Referencias:
1.- Pleistoceno reciente
2.- Cenozoico cuaternario
3.- Cenozoico terciario
4.- Mesozoico
5.- Paleozoico
6.- Proterozoico y Arqueozoico
7.- Rocas ígneas intrusivas
8.- Rocas ígneas extrusivas

Figura VI-15. Mapa de suelos

[1] *Instituto de Tecnología Minera - SEGEMAR - bea@inti.gov.ar*

DEPOSITOS	RESERVAS MEDIDAS	RESERVAS INDICADAS	RESERVAS INFERIDAS
Mesa de los Santos Villanueva (Santander)	20.00	35.00	160.00
Uribia – Carrizal (Guajira)	6.50		
Niverengo – Anzá (Antioquia)	0.07	0.10	0.30
Páez – Miraflores (Boyacá)	3.00	5.00	8.00
TOTAL	29.57	40.1	168.30

Referencias:
1.- Suelos de rocas intemperizadas o desnudas y suelos profundos poco evolucionados
2.- Suelos derivados de cenizas volcánicas y andesita.
3.- Suelos secos de clima árido y semiárido
4.- Suelos muy arcillosos
5.- Rendzinas negras y rendzinas rojas.
6.- Suelos antiguos con fuerte grado de meteorización
7.- Suelos mal drenados de regiones pantanosas y semipantanosas tropicales.
8.- Suelos muy recientes formados por aluviones fluviales

Perú

María Beatriz Ponce [1]

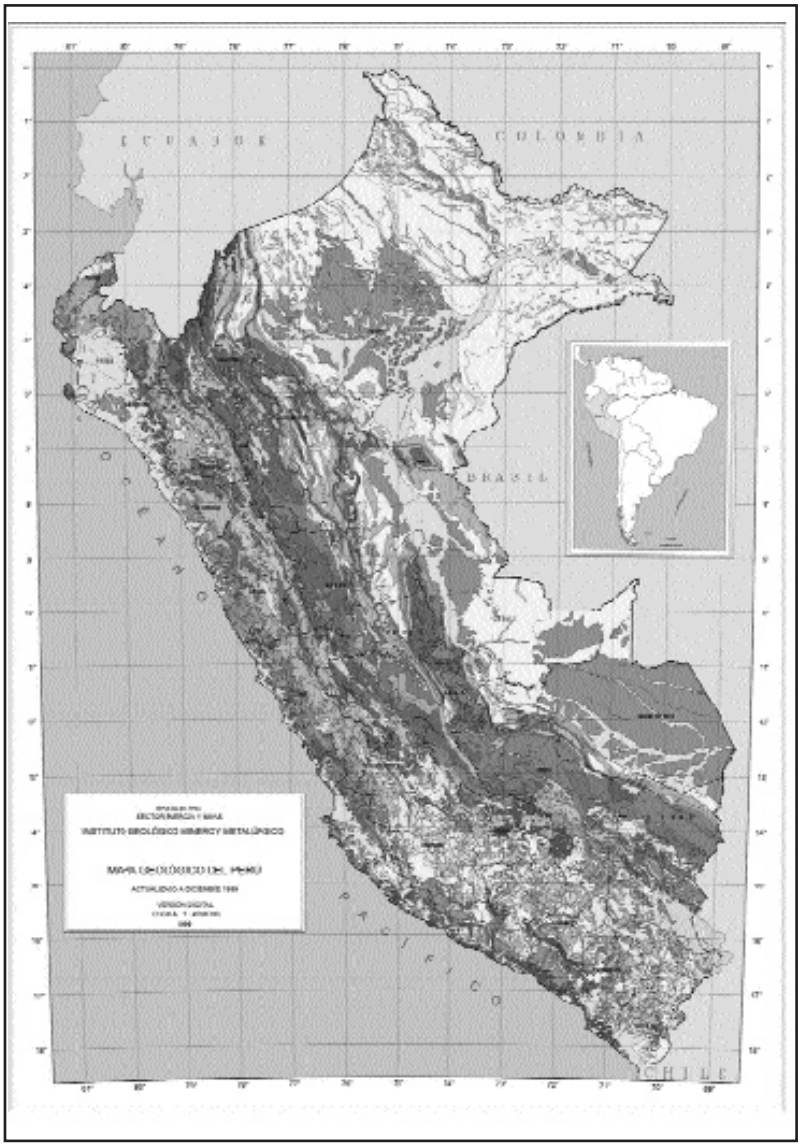
Los depósitos de rocas y minerales no metálicos, entre ellos el yeso, ocupan franjas paralelas a la Costa del Océano Pacífico. En este contexto se divide el territorio en las siguientes franjas subparalelas al borde continental:

• **Cordillera de la Costa:** El basamento de esta unidad es de edad pre- Mesozoico, con cierto grado de matemorfismo y está cubierto en parte por el enrocado eugeosinclinal andino y sedimentos cenozoicos poco consolidados. En esta franja se localizan depósitos de yeso junto a pegmatitas, mármoles dolomíticos, bentonita, diatomita, sal común y coquina.

• **Llanuras preandinas:** Se corresponde con un graben tectónico relleno con sedimentitas y vulcanitas cenozoicas no consolidados. Su basamento forman las rocas predominantemente volcánicas plegadas del eugeosinclinal andino. En este sector que se presenta económicamente muy desarrollado en minerales industriales, los depósitos de yeso constituyen motivo de explotación local. El mineral es destinado esencialmente a la industria de la construcción.

• **Cordillera Occidental:** Corre con alguna interrupción en el departamento de Ancash a lo largo de la división de aguas entre el Pacífico y el Atlántico. Se considera como franja de esta cordillera sólo la parte occidental donde predominan las rocas magmáticas, entre las cuales se desarrollan diferentes minerales industriales aunque no se han identificado depósitos de yeso, pero si de azufre.

• **Franja de Volcanes Activos:** En este sector que se extiende desde el límite con Chile has-



ta el departamento de Ayacucho, se encuentra azufre volcánico en forma abundante, en especial en los departamentos de Moquegua y Tacna.

• **Franja Interandina**: Corresponde a los altiplanos y valles que se ubican entre las cordilleras Occidental y Oriental. Los valles de esta franja son generalmente subparalelos a la dirección de los Andes. Entre las materias primas sedimentarias paleozoicas se encuentra yeso y sal. Las edad mesozoicas también presentan depósitos yesíferos junto a una gran variedad de minerales industriales. En el departamento de Ayacucho se explota piedra de Huamanga o alabastro (variedad de yeso).

• **Cordillera Oriental:** presenta una geomorfología accidentada en parte por la erosión efectuada por los ríos. Los depósitos de yeso y calizas de esta zona son de

edad mesozoica.

• Ubicada al este de la Cordillera Oriental constituye una zona poco explorada en parte debido a la exuberante vegetación que posee. Los yacimientos más importantes están representados por numerosos domos de sal emplazados en rocas mesozoicas. También se han localizado varios depósitos de yeso.

• **Llano Amazónico:** De morfología plana cubierto de sedimentos cenozoicos y densa vegetación. No se han reportado depósitos de yeso.

El yeso presente se ha formado por precipitación de aguas salobres en clima desértico. Excepcionalmente se forma a partir de soluciones hidrotermales. El ambiente geológico y climático de la formación de los depósitos de yeso, es similar al de la sal común con la diferencia que el sulfato de calcio se precipita de salmueras menos concentradas que el cloruro de sodio. Por el contrario, todos los depósitos de sal común de origen marino forzosamente están relacionados con los anteriormente precipitados de yeso. El yeso que no se vincula con halita se encuentra asociado a calizas.

Los yacimientos más importantes se presentan en forma de mantos horizontales a subhorizontales con gran desarrollo areal, aunque reducido espesor. De estas características son los que se presentan en los departamentos de Piura, Lambayeque y La Libertad. Se citan como ejemplo los yacimientos de las Pampas Zapallal, Salinas y Coscobamba-Guadalupito, que son explotados en pequeña escala.

Las reservas probadas del manto de la Pampa de Zapallal han sido estimadas en 2 Mt y el potencial en 5 Mt.

En la Pampa de Salinas (Lambayeque) los espesores de los horizontes de yeso poseen entre 20 y 25 cm aunque una distribución superficial de de al menos 10 Km^2. La pureza es de 98% encontrándose con cierto contenido de arcillas. Esta producción esencialmente se destinado a calcinación usándose internamente y/o exportándola a Ecuador.

El yeso de Pamapa Coscobamba-Guadalupita se encuentra en el distrito de Virú, departamento La Libertad. Sus reservas hansido estimada en 13 Mt y se hallan asociadas a sal. En las Salinas de Guadalupito al sur de la Pampa Coscobamba, posee una pureza de 96% aunque por contaminación se presentan en colores marrones.

En la cordillera Occidental los afloramientos se encuentran en Trujillo y también en las calizas Simbal que incluyen yeso, objeto de explotación.

Básicamente los yacimientos se resumen en el Cuadro siguiente:

[1] *Instituto de Tecnología Minera - SEGEMAR - bea@inti.gov.ar*

Cantera	$CaSO_4$	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	H_2O	Total
Uriquito	69	16,07	0,21	-	13,63	99,21
Yagua	70	14,95	0,21	-	14,25	99,01
Morrocoy	64	16,56	0,21	-	18,43	99

Con relación a los yacimientos de azufre conocidos en Perú se consideran de origen volcánico y sedimentario con edad cenozoica. Su distribución es amplia y se extiende de norte a sur esencialmente ligados a los volcanes Chupiquiña, Yucamani, Tutupaca, Ubinas, Ticsape, Charcani

Cantera	Reservas
Uriquito	9.838.179
Tacua	9.456.803
Morrocoy	9.067.779
Morrocoicito	10.000.000
Macuro	9.000.000
Total aproximado	40.000.000

y Sillana. El azufre en Perú está dirigido totalmente a la industria química no satisfaciendo la demanda interna, razón por la debe importarlo.

Según la estadística emitida por el Ministerio de Energía y Minas de Perú la producción en toneladas de yeso para el año 2004 fue de 149.734.

Figura VI-16. Mapa geológico del Perú

Venezuela

María Beatriz Ponce [1]

Figura VI-17. Ubicación de los yacimientos de yeso

Recursos mineros y actividad extractiva

Es un país con una compleja historia geológica donde las unidades litológicas se extienden desde el Precámbrico hasta el reciente.

La cordillera de la Costa situada en el norte del territorio venezolano, formada por fajas estratigráficas complejas posee importantes yacimientos de yeso junto a otros minerales de interés industrial. En el año 2000 se reportó una producción de 220.000 t de yeso. Los principales destinos señalan a las plantas de cemento (42%), ferreterías (24%), industria de la construcción (14%), industria cerámica (11%), industrias de maniquíes (5%) y artistas y escultores (4%).

Posee yacimientos de yeso y azufre depositados en la Cordillera de la Costa formando el principal distrito yesífero del país, ubicado en la Península de Paira (Fig. VI-17) con capas que superan los 30 m de espesor e intercalados con calizas. También en las Formaciones Sedimentarias Septentrionales contienen depósitos de yeso; en tanto el azufre empleado para fertilizante se extrae del Estado de Táchira.

La capa de yeso ocurre en la unidad intermedia de la Formación Cariaquito. El Miembro Patao es una gruesa capa de caliza con una capa suprayacente de yeso con intercalaciones calizas. La capa de yeso no se ha reconocido al Oeste de la ensenada Cumaná. El espesor de la capa de yeso varía a lo largo de su longitud entre 20 y 120 metros.

La composición química del yeso de esta región es poco variable, como lo señala los análisis de las muestras provenientes de diferentes canteras.

El yeso en la región es explotado en forma de bancos de cantera a cielo abierto. Los yacimientos de yeso de la Península de Paria presentan las mejores condiciones favorables a la explotación por encontrarse en costa de aguas profundas. Sus condiciones geomineras hacen la explotación relativamente fácil. Por consiguiente, las condiciones tanto geográficas como geológicas hacen que estos yacimientos sean los más interesantes del país. En 1999 la producción de yeso en el estado Sucre totalizó 41.503,97 toneladas métricas, registrándose un notable descenso en el año 2000, cuando la producción bajó a 24.629,35 toneladas métricas.
Cuadro VI-22 . Composición química del Yeso de Paria (valores expresados en porcentajes %).

Los valores de tonelaje estimados como reservas muestran un total aproximado de 40 Mt , que se distribuyen en los estados:

• Estado Sucre:

Constituye un cinturón yesífero ubicado en sector suroriental de la Península de Paria, en el Distrito Valdés. La capa de yeso se extiende por 17 Km en dirección oeste-este a lo largo de la costa sur de la península, desde la ensenada de Cumaca al Pueblo de Macuro.

• Estados Guárico y Yaracuy

Los yacimientos de yeso de los estados Guárico y Yaracuy son de menor importancia. Los del estado Yaracuy se encuentran entre las poblaciones de Cocorote y Urachiche en la Formación Nirgua. Las reservas de este yacimiento han sido estimadas en tres millones de toneladas métricas y es explotado por la Compañía Cemento del estado Lara.

[1] *Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía, Instituto de Edafología, Maracay, Estado Aragua, Venezuela - casanovaen@cantv.net*
[2] *AgreFert Argentina, Consultor privado- mtorresduggan@agrefert.com*

Usos

Los usos del yeso en Venezuela se distribuyen de la siguiente manera:

- Fabricación de cemento 42%
- Ferreterías 24%
- Industria de la construcción 14%
- Industria cerámica 11%
- Maniquíes 5%
- Artistas y escultores 4%

Parte del yeso no calcinado es destinado a fines agrícolas.

Venezuela
Necesidades agrícolas del Yeso

Eduardo Casanova [1] y Martín Torres Duggan[2] (Ex aequo)

Agricultura y uso de la tierra

La superficie bajo producción agropecuaria y forestal en la actualidad es de alrededor de 7.315.644 ha. De esta superficie, 1.170.085 ha corresponden a cereales, oleaginosas y hortícolas anuales, mientras que 6.145.559 ha representa el área cultivada con cultivos permanentes, frutales y forestales (Casanova, 2005). En el cuadro VI-23 se presenta el consumo estimado de fertilizantes necesarios para el Plan Nacional de Siembra del 2005.

Cultivos	N TM	P2O5 TM	K2O TM	N-P-K TM
Cereales	143.142	74.878	47.374	265.394
Leg. Grano	4.110	4.110	4.110	12.340
Oleaginosas	28.334	48.279	51.612	128.225
Hortalizas	4.072	2.808	4.459	11.339
Raíces y tubér.	8.842	5.880	6.305	19.771
Frutales	33.049	5.674	41.654	87.634
Café y Cacao	6.682	2.563	2.563	11.808
Textiles	11.450	14.312	14.312	40.074
Pasturas y Forest.	28.356	27.145	3.445	58.946
Total	268.037	192.885	175.834	636.756
Relación N-P-K	1	0.71	0.66	

Cuadro VI-23 . Fertilizantes requeridos para el Plan Nacional de Siembra 2005 en Venezuela.
Fuente: Casanova, 2005.

La mayor diversidad y concentración de cultivos agrícolas se ubican en la región centro-occidental del país, donde además de existir una mayor variedad de condiciones agroecológicas, predominan las tierras de mejor calidad. En la región centro-oriental prevalecen las tierras de baja calidad y es donde existe la mayor superficie de pastos naturales que sustentan una ganadería extensiva (Aguilar y Goitía, 1993).

Suelos y limitaciones de fertilidad

Venezuela tiene, dada la gran variedad de climas, paisajes, materiales geológicos y formaciones vegetales, un mosaico de diferentes tipos de suelos, con representación de los 10 de los 12 órdenes de la Taxonomía de Suelos (Casanova et al., 1993).
Venezuela es un país que presenta una gran diversidad de suelos con diferentes potencialidades agrícolas. Solamente el 2.2% (2.000.000 has) de la superficie nacional posee suelos de buena calidad, esto significa que la mayoría de las tierras presentan de moderadas a severas limitaciones para su uso agrícola (Aguilar y Goitía, 1993). El 60% de las tierras venezolanas están afectadas por problemas de fertilidad y acidez, asociados, en algunas situaciones, con limitaciones de relieve, clima y mal drenaje.

Mercado de fertilizantes y enmiendas

En Casanova (1993) se presente una detallada descripción de la estructura y evolución del escenario agronómico, comercial y de distribución de fertilizantes en Venezuela. En cuanto al consumo actual de nutrientes, el Plan Nacional de Siembra previsto para 2005 estima una necesidad de nutrientes (expresado en TM de N+P2O5+K2O) de 636.756 TM, de la que mas del 60% se destinan a cereales, oleaginosas y legumbres de grano y el resto a cultivos permanentes, frutales, forestales, pasturas, etc. (Casanova, 2005).

En cuanto a las enmiendas, es común el agregado de enmiendas calcíticas y dolomíticas con

	Rendimiento Maní kg/ha
0 aplicación de fosfoyeso	520
2.5 t/ha de fosfoyeso	1.120

respuestas considerables en productividad en suelos ácidos con niveles de pH inferiores a 5, en cultivos como maíz, sorgo, arroz, café, entre otros y también yeso, tema que trataremos a continuación.

Manejo del yeso en suelos de Venezuela

	Rendimiento Soya kg/ha
0 aplicación dc fosfoyeso	1.610
2.5 t/ha de fosfoyeso	2.570

Orígenes y destinos de aplicación

El yeso o sulfato de calcio dihidratado ($CaSO_4$. $2H_2O$) en Venezuela se produce de dos fuentes: de los yacimientos de yeso provenientes de rocas sedimentarias y como subproducto de los procesos industriales de producción de ácido fosfórico en la planta de Pequiven en Morón,

Cultivo-Estado	Dosis de Yeso TM/ha	Rendimientos con Yeso TM/ha	Rendimientos sin Yeso TM/ha	% de aumento en Rendimientos
Maní-Monagas	0.7	1.7	0.7	61
Caña Azúcar Sucre	1.0	70	54	23
Maíz Guárico	1.5	5.0	3.8	24
Maíz – Monagas	0.5	3.7	2.0	46
Soya Anzoátegui	1.0	1.9	0.8	57
Café – Mérida	1.0	7.4	4.5	65

Estado Carabobo, y en este caso se le da el nombre de fosfoyeso. En este proceso la roca fosfórica es atacada con ácido sulfúrico obteniéndose ácido fosfórico y fosfoyeso de acuerdo a la siguiente reacción:

$$Ca_{10}F_2(PO_4)_6 + 10\,H_2SO_4 + 10\,H_2O + 6\,H_3PO_4 \rightarrow 10\,CaSO_4\,2H_2O + 2HF$$

Este proceso genera 5 toneladas de fosfoyeso por cada tonelada de P_2O_5 de ácido fosfórico producido. En Venezuela el fosfoyeso representa un pasivo ambiental debido a la gran cantidad del producto depositado en el complejo petroquímico, pero existen experiencias tecnológicas para ser usado en la producción de sulfato de amonio, fabricación de cemento, producción de ácido sulfúrico, producción de bloques para la construcción, como relleno de fertilizantes y en aplicación directa a suelos ácidos y alcalinos. El consumo anual de roca fosfórica en Venezuela es de 350.000 toneladas de Riecito para la producción de ácido fosfórico y roca parcialmente acidulada. Una característica importante del fosfoyeso es su baja solubilidad en agua por lo que puede reaccionar a mediano plazo en el suelo como fuente de calcio y azufre para los cultivos. También es importante destacar que a diferencia de las cales agrícolas, el yeso no afecta el pH de los suelos ácidos y sus beneficios se refieren al mejoramiento del ambiente radical con énfasis en subsuelos ácidos.

Tal como se ha reportado para Latinoamérica por INPOFOS (1999) los principales usos del fosfoyeso en agricultura son en suelos ácidos y alcalinos. En Venezuela el producto se ha comercializado para usos agrícolas después de un ligero tratamiento de eliminación de humedad y granulación.

El yeso en suelos ácidos de Venezuela

En Venezuela existen alrededor de 80 millones de ha de suelos ácidos en donde es posible realizar aplicación de yeso el cual se disuelve de acuerdo a la siguiente reacción:

$$CaSO_4.\ 2H_2O \qquad Ca\ +\ SO_4\ +\ CaSO_4\ (soluc.)$$

De acuerdo a la reacción el yeso se disocia en Ca^{2} y SO_4^{-2} como iones en la solución del suelo y queda parte del yeso sin disociarse que puede moverse hacia capas de suelo más profundas. De esta manera el Ca^{2+} puede reemplazar cationes en la fase de intercambio y liberar a la solución del suelo Al^{3+}, Mg^{2+}, K^{+} los cuales pasan a formar pares iónicos con el sulfato con el incremento de cationes como Mg^{2+} y K^{+} en capas más profundas y la eliminación de $AlSO_4$ que no es tóxico. Esto conlleva a una mejor formación radical, mayor crecimiento y rendimiento de los cultivos.

La respuesta de cultivos en suelos ácidos

No son muchos los experimentos conducidos con fosfoyeso en Venezuela, sin embargo, en suelos ácidos del Estado Anzoátegui, se aplicó fosfoyeso al maní y a la soya. En el primer caso se logró la eliminación de la presencia de legumbres vanas (sin semillas) y aumentos de rendimientos de 520 kg/ha a 1.120 kg/ha (cuadro VI-24)

Cuadro VI-24. Efecto de la aplicación de fosfoyeso sobre el maní en suelos ácidos del Estado Anzoátegui, Venezuela.

Reservas de Yacimientos (MTM)	Producción Nacional Acumulada TM	Importa-Ción TM	Total Producción / Importación TM	Consumo TM	Requerimientos de yeso para suelos alcalinos TM
*	1.000.000 **	0***	1.000.000	3.057****	10.000.000**** *

En el caso de la soya se obtuvo una respuesta similar a del maní en el sentido de eliminar las legumbres vanas y también se generó una mejor nodulación y se verificó un incremento de rendimiento respecto del tratamiento sin agregado de yeso de 960 kg/ha. (Cuadro VI-25).

Cuadro VI-25. Efecto de la aplicación de fosfoyeso sobre la soya en suelos ácidos del Estado Anzoátegui, Venezuela.

Mogollón (2002) resumió los efectos del yeso en varios cultivos en suelos ácidos de diferentes estados del país, los cuales se muestran en el cuadro VI-26.

Cuadro VI-26. Efecto de la aplicación de fosfoyeso en varios cultivos en suelos ácidos de Venezuela (Fuente:

Mogollón, 2002).

Experiencias con fosfoyeso en suelos alcalinos en Venezuela

Iglesias y Olivares (1993) estudiaron el efecto de fosfoyeso en las propiedades físicas y químicas de un suelo salino sódico y su efecto sobre el desarrollo inicial del cultivo de yuca. Se aplicaron dosis de fosfoyeso para saturar la Relación de Adsorción de Sodio (RAS) en 0, 25, 50, 75 y 100 %. Los principales resultados podemos resumirlos así:

• Aumento de la permeabilidad del suelo

• Conductividad eléctrica del agua de drenaje más alta que la del agua de riego (mayor efectividad en la remoción de sales)

• Predominio de sales de sodio y mayor valor de RAS en el agua de drenaje.

• Reducción de la CE y del RAS del suelo.

• Reducción en los daños en hojas del cultivo de yuca, mayor desarrollo de raíces y menor concentración de sodio en las hojas.

Por otro lado, Espinoza (1996) trabajó con la aplicación de fosfoyeso y sus efectos sobre las propiedades de un suelo franco arenoso del campo experimental de la Facultad de Agronomía de la Universidad Central de Venezuela, con problemas de infiltración y mal drenaje. Se aplicaron 0.5; 1 y 5 t/ha de fosfoyeso y los resultados reflejaron que las mejoras en las propiedades del suelo se lograron en mayor medida con la dosis de 5 t/ha de fosfoyeso, con mayor tasa de infiltración, mayor capacidad de intercambio de cationes y un incremento en la relación Ca:Mg. Por otro lado, Villafañe (1994) también reporta resultados favorables de la aplicación de yeso en las propiedades físicas de un suelo arcilloso del Estado de Aragua. Así, el autor encontró una mejora estadísticamente significativa en la agregación del suelo y del RAS (Relación de Adsorción de Sodio) del agua de percolación (drenaje).

Método para estimar la dosis de fosfoyeso a aplicar en Venezuela

En Venezuela se usa la fórmula desarrollada por Malavolta (1992) para estimar la cantidad de fosfoyeso a aplicar en un suelo:

Yeso (t/ha) = (0.4 x CICE - cmol/kg Ca/100) x 2.5

Esta metodología estima que para elevar el calcio intercambiable en 1 cmol/kg o para disminuir el aluminio en la misma cantidad, se debe aplicar 2.5 t/ha de yeso.

Mercado actual y potencial del uso del yeso en Venezuela

El Cuadro VI-27 presenta la información sobre las reservas de los yacimientos de yeso en Venezuela, la importación nacional, el consumo real de esta enmienda para los diferentes cultivos y los requerimientos de yeso para suelos alcalinos en Venezuela.

Cuadro VI-27 . Reservas, Producción Nacional, Importación, Consumo de yeso en el 2004 y requerimientos de yeso para suelos alcalinos.

Existen yacimientos pero sin explotación debido al gran volumen existente en Petroquímica; **yeso acumulado en los últimos años de la producción de ácido fosfórico en el Complejo Petroquímico de Morón, Estado Carabobo; * No hay importación; **** Datos de venta de Pequiven, Morón; *****Estimado para los suelos alcalinos en Venezuela.*

A pesar de que el yeso se puede usar en suelos ácidos y alcalinos como se ha descrito en este segmento, el mayor potencial de uso de esta enmienda está en los suelos salinos, salino-sódicos y sódicos que en Venezuela representan una superficie de aproximadamente 4.000.000 ha. Si se usa el promedio de 2.5 TM/ha, los requerimientos potenciales de yeso para los suelos alcalinos sería de 10 millones de TM. Se observa una enorme diferencia entre el actual consumo de yeso en el país (mercado actual) y sus requerimientos potenciales (mercado potencial)

[1] *Centro de Estudios para la Sustentabilidad - Universidad Nacional de San Martín - nizquier@unsam.edu.ar*

Conclusiones y perspectivas

• Venezuela dispone de 1.000.000 de TM de fosfoyeso generado anualmente como co-producto de la fabricación del ácido fosfórico, constituyendo un pasivo ambiental con potencial de utilización agrícola, por lo menos parte de ese volumen.

• Si bien los ensayos de aplicación del yeso en Venezuela son escasos, existen algunas experiencias muy promisorias de aplicación de este producto tanto en suelos sódicos como en ácidos.

• El consumo actual de yeso en la agricultura venezolana, de alrededor de 3000 TM, constituye una cantidad muy reducida considerando el gran mercado potencial.

• Existen en Venezuela 4.000.000 ha con suelos alcalinos. Considerando una dosis media de aplicación del yeso de 2.5 TM/ha, el mercado potencial sería de 10.000.000 TM de yeso, suponiendo 100% de área aplicada.

Panorama del mercado del Yeso

Natacha Izquierdo González[1]

En el 2003, 89 países registraron producción de yeso, de los cuales 9 son responsables del 71% de la producción mundial. La producción global de yeso natural en el 2003, se estimó en más de 102.000 millones de toneladas, liderada por Estados Unidos (16%), Irán (11%) y Canadá (9%). El 11% de la producción de yeso se localiza en los países de Latinoamérica.

En términos mundiales, la industria cementera es la principal consumidora seguida por los productos derivados destinados a la industria de la construcción. Se estima que solo entre el 10- 35% del consumo, dependiendo el país, corresponde a yeso empleado como enmienda para la agricultura. De todas maneras, resulta dificultoso determinar el tamaño del mercado, ya que la oferta se encuentra muy atomizada en manos de pequeños y medianos productores.

Debido a su bajo valor, el alto impacto del costo de transporte y la disponibilidad del producto en la mayoría de los países, la tendencia es que sea consumido en el mercado local del país donde se produce. Menos del 20% de la producción se estima que participa en el comercio internacional. Como principales exportadores se han registrado Canadá, México, España y Tailandia, de los cuales Canadá y México son exportadores significantes de yeso debido a su proximidad a los principales mercado de Estados Unidos.

El yeso agrícola tiene una amplia utilización como enmienda mejorando suelos compactados, problemas de drenaje, falta de aireación y como fertilizante como fuente de azufre y calcio para los cultivos, frutales y parques.

Argentina

Producción yeso (t)	2003
Argentina	363.000
Bolivia	--
Brasil	1.630.000
Chile	500.000
Colombia	560.000
Cuba	130.000
Ecuador	6.000
Guatemala	100.000
Honduras	60.000
México	6.500.000
Nicaragua	31.000
Paraguay	4.000
Perú	71.000
Uruguay	1.100.000
Venezuela	1.000.000

Cuadro VI-28: Producción en Latinoamérica de yeso - 2003.

La producción de yeso en Argentina, en el 2003, fue de alrededor 360.000 toneladas, distribuida en todas las regiones argentinas, excepto Centro que desde el 2001 no registra producción de yeso.

La oferta se encuentra muy atomizada, en manos de pequeños y medianos productores, haciendo dificultoso la obtención de información completa, dado que muchas veces, en aquellos usos menores, las ventas son esporádicas o alternadas.

Sin embargo, la aplicación de yeso en agricultura no supera el 2% de la oferta total del mismo. Aunque sigue siendo un porcentaje poco significativo respecto a otros sectores demandantes, en los últimos dos años, la tendencia ha comenzado a ser creciente y los volúmenes consumidos aumentan como producto de un redescubrimiento del yeso como enmienda agrícola de bajo costo.

Brasil

La producción relativa al 2003 de yeso en bruto experimentó una reducción del orden del 7.3% en relación al año anterior debido a la retracción de la construcción civil, que en ese año enfrentó una coyuntura económica adversa. La producción proviene de los estados de Pernambuco (92%), Ceará (4%), Maranahao (3%), Tocantins (2%) y Amazonas (1%). Cinco empresas operan nueve

minas: MINERADORA SAO JORGE S.A. (Grupo Laudernor Lins), MINERADORA PONTA DA SERRA Ltad (Grupo Votorantim), CBE - Compañía Brasilera de Equipamiento (Grupo Nassau), MINERADORA RANCHARIA Ltda. - SUPERGESSO S.A Industria e Comercio (Grupo Inojosa) y HOLCIM BRASIL S.A. (Grupo Holderbank).

A partir del proceso de obtención de ácido fosfórico en las industrias de fertilizantes fosfatados se obtiene el producto fosfoyeso, que en el 2001 se estimó una producción de 3.9 millones de toneladas. Sus principales productores están localizados en Minas Gerais, Goias y Sao Paulo y son las empresas BUNGE FERTLIZANTES SA, COPEBRAS Ltda.., FOSFERTIL - FERTLIZANTES FOSFATADOS S.A. y ULTRAFERTIL S.A.

La importación de este producto abastece una porción bastante reducida del mercado, del mismo modo las exportaciones son poco significativas, y las que se han realizado se destinaron a países del MERCOSUR.

El consumo interno se abastece mayormente de su producción local, y solo el 34% de la oferta de yeso es absorbida por la agricultura como yeso agrícola. El consumo se estima en 500.000 toneladas anuales. El restante 66% se dirige a la industria de la construcción en sus diversas formas. En cuanto al fosfoyeso comercializado y consumido, principalmente, se destina a la industria cementera y secundariamente se lo utiliza como corrector de suelos.
En relación a los proyectos previstos, en Maranhão se tiende a establecer un polo productor de yeso, dado las potencialidades geológicas y la expansión de la frontera agrícola que fortalece la demanda de yeso agrícola, entre otras consideraciones.

Latinoamérica

En la mayoría de los países latinoamericanos se encuentran depósitos de yeso en explotación. El principal productor de yeso es México, seguido por Brasil y Uruguay (cuadro VI-28). No obstante, la aplicación de yeso en agricultura al igual que los carbonatos, como enmiendas, no está muy desarrollada, aunque en los últimos años la tendencia ha cambiado a favor del uso. Sin embargo, sigue siendo bajo el consumo de yeso en agricultura, aunque es una alternativa de menor costo que otros fertilizantes, y un uso menor desde el punto de vista de la oferta.

En México, el yeso ha sido utilizado para la corrección de suelos sódicos y salino-sódicos, generados en forma natural por drenaje deficiente, o bien de naturaleza antrópica por el mal manejo del agua de riego en los terrenos agrícolas. Se estima que un 20% de los 6 millones de ha de terreno agrícola irrigado en México tiene problemas de salinidad y sodicidad, para cuya corrección se debe aplicar yeso
.
El yeso es un material relativamente abundante en los suelos de las zonas áridas de México. En el Estado de San Luis Potosí existen áreas de Gypsisoles, suelos caracterizados por tener un horizonte gypsico o petrogypsico en sus primeros 125 cm de profundidad. La producción anual de yeso en México de 2000 a 2003 rebasó los 3.5 millones de t, llegando a 4.8 Mt en 2004; sin embargo, su utilización es fundamentalmente para la industria de la construcción. Durante el decenio de 1990, la intensa producción de ácido fosfórico en el área de Minatitlán, en la costa Sur del Golfo de México, generó grandes volúmenes de fosfoyeso que al no tener una utilización

práctica, mas bien constituyó una fuente de contaminación terrestre y marítima.

En Venezuela, la producción de yeso es de alrededor 1.000.000 ton, destinadas al mercado local. No se registran importaciones y los requerimientos de yeso para suelos alcalinos en Venezuela asciende a 10.000.000 ton.

A pesar de que el yeso se puede usar en suelos ácidos y alcalinos, el mayor potencial de uso de esta enmienda está en los suelos salinos, salino-sódicos y sódicos que en Venezuela representan una superficie de aproximadamente 4.000.000 ha. Si se usa el promedio de 2.5 TM/ha, los requerimientos potenciales de yeso para los suelos alcalinos sería de 10 millones de TM. Se observa una enorme diferencia entre el actual consumo de yeso en el país y sus requerimientos potenciales.

BIBLIOGRAFÍA

ASPECTOS GENERALES

www.agro.uba.ar/carreras/agronomia/materias/conser_L/sales.PDF

DARWICH, N. 1998. Manual de fertilidad de suelos y uso de fertilizantes. Talleres de Gráfica Armedenho. Mar del Plata. 182 p.

DAVISTER, A. 1998. Phosphogypsum: a waste (more or less harmful) or a resource?. Presented at the IFA Technical Conference, Marrakech, Morocco, September. 9 p.

FAO. 1963. Soil Survey Investigation for irrigation. Soil Bulletin N°42. Roma

FERNANDEZ ARCE, M. y CONEJO SOLIS 2000: Rocas y minerales industriales de Nicaragua en Rocas y Minerales Industriales de Iberoamérica, CYTED.

FERTILIZANTES AMÉRICA LATINA. 2004. Año 9 N°2. Usos y aplicaciones del azufre agrícola en los mercados Latinoamericanos. 11-18 p.

FERTILIZER MANUAL. 1998. United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) and Internationl Fertilizer Development Center (IFDC). 615 p.

GAJARDO, A.1998ª: Estudio técnico-económico de minerales no metálicos entre las Regiones I y X. Ministerio de Minería-Servicio Nacional de Geología y Minería. Informe Registrado IR-98-13, 2 Vol, 426 p.

GAJARDO,.A. 2000: Rocas y minerales industriales de Chile en Rocas y Minerales Industriales de Iberoamérica, CYTED.

GONZALEZ, M.E. 2000: Rocas y minerales industriales de Paraguay en Rocas y Minerales Industriales de Iberoamerica, CYTED.

HANEKLAUS, S.; BLOEM, E.; SCHNUG. E. 2000. Sulphur in agroecosystems. Folia Universitatis agriculturae stetinensis. 204 Agricultura (81): 17-32.

HARRIS, P. 2001. A field day for minerals. En: Industrial Minerals. Diciembre de 2001.

MAMANI ALIZARES, E y BEJARANO, E 2000: Rocas y Minerales industriales de Bolivia en Rocas y Minerales Industriales de Iberoamérica, CYTED.

MENGEL, K:, KIRKBY, E. A. 2000. Principios de nutrición vegetal. 4°Edición. 1° en español. Instituto Internacional de la Potasa. Basilea, Suiza. 607 p.

NIBORSKI, M. 2000. El exceso de sales y sodio en los suelos de las regiones áridas y semiáridas. Cátedra de Manejo y Conservación de Suelos. Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires. 19 p. Edición digital: http://

www.oas.org/usde/publications/Unit/oea10s

PERALES CALDERON, F; GAGLUIFFI, P y QUIÑONES, J. 2000: Rocas y minerales industriales de Perú en Rocas y Minerales Industriales de Iberoamérica, CYTED

PORTA, J.; LÓPEZ ACEVEDO, M.; ROQUERO, C. 2003. Edafología para la agricultura y el medio ambiente.

Editorial Mundi-Prensa. Tercera Edición. 929 p.

PROAÑO, G. Y JARRIN, J. 2000: Rocas y minerales industriales de Ecuador en Rocas y Minerales de Iberoamérica, CYTED.

PUENTE, C.V.; SALAZAR, A. Y ABREGO, P. 2000: Rocas y minerales industriales de El Salvador en Rocas y Minerales Industriales de Iberoamerica, CYTED.

SALAS, G. 1988: Historia de la exploración de azufre en el sureste de México en Geología Económica de México, CAMIMEX - Fondo de Cultura Económica, p. 529-540.

ARGENTINA

ALBERT, K. B.; LANGFORD, D. Pelletizing limestone fines. A study of the benefícts of Pelletized Limestone Fines in the Commercial and Agricultural Market. Mars Mineral. USA 9 p. (material técnico, no publicado).

ANGELELLI, V.; SCHALAMUK, I. y ARROSPIDE, A. 1976 : Los yacimientos no metalíferos y rocas de aplicación de la región Patagonia-Comahue, Secretaría de Minería, Anales XVII, Buenos Aires, 142 p.

ANGELELLI, V., SCHALAMUK, I. y FERNANDEZ, R. 1980 : Los yacimientos minerales no metalíferos y rocas de aplicación de la región Centro-Cuyo, Secretaría de Minería, Anales XIX, Buenos Aires, 261 p.

ARISTARAIN, L y COZZI, G. 1992 : Distribución de los principales minerales no metalíferos de la República Argentina para las industrias básicas de transformación. Rev. Panorama Minero, Edición Extraordinaria , abril, 1992

ASTM. Designación C 471-91. Standar test methods for chemical analysis of gypsum and gypsum products. 227-235 p

BAUMER, C.R. 1999. Sembradoras y fertilizadoras para siembra directa. AAPRESID-INTA 345 p

BOHN, H.L.; MC NEAL, B. L; O´CONNOR, G.A. 1993. Química de suelos. Capítulo 3. Intemperismo y formación del suelo Limusa. Grupo Noriega Editores. 85-122 p.

CRUZATE, G.A.; CASAS, R. Necesidades de aplicación de nutrientes en la Agricultura Argentina. Jornadas Internacionales. Uso de Minerales para la Agricultura Sustentable. Fertilizantes-Correctores de suelos. Pergamino, Buenos Aires, 11 y 12 de septiembre de 2003

DIRECCIÓN DE MINERIA DE LA PROVINCIA DE CORDOBA,1997 : "Córdoba Minera", Revista de información sobre recursos e infraestructura. Córdoba, julio 1997, 33 p.

ETCHEVERRY, Ricardo 2000: Depósitos de yeso y anidrita jurásico-cretácicos, Mendoza y Neuquen. En Recursos Minerales de la Rep Argentina. IGRM ,SEGEMAR, Anales 35:1091-1093, Buenos Aires, Argentina.

FERTILIZAR. Boletin de Encalado. Septiembre de 1996. 14p.Editor Ricardo Melgar (INTA).

FUNDACIÓN PRODUCIR CONSERVANDO: http://www.producirconservando.org.ar

FUENTES YAGUE, José L. 1999: Manual práctico sobre utilización de suelo y fertilizantes. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación de España, Ediciones Mundi-Prensa.

GARCÍA, F. 2005. Balance de nutrientes y necesidades de fertilización del cultivo de trigo. 6 p. Presentado en la primera Jornada de trigo de la Región Centro. Bolsa de Cereales de Córdoba, Bolsa de Comercio de Rosario, Bolsa de Cereales de E. Ríos, Bolsa de Cereales de Santa Fe. Argentina, 30-31 de mayo.

GARCÍA, F. 2004. Fertilizers to sustain the production of 100 million tonnes of grain in Argentina. Presented at 6°Conference ¨Fertilizantes Cono Sur¨ organized by British Sulphur Pub. Punta del Este, Uruguay, 21-23 noviembre.

GARCÍA, F. 2003. Balance de nutrientes en la rotación: Impacto en rendimiento y calidad de suelo. V Conferencia Fertilizantes Cono Sur. British Sulphur. Punta del Este. Uruguay. 7-9 diciembre.

GENTILETTI, A.; GUTIERREZ BOEM, F. 2004. Fertilización azufrada del cultivo de soja en el centro-sur de Santa Fe. En: Informaciones Agronómicas N°24. p12-14.

GOBIERNO DE LA PROVINCIA DE SALTA, 1998: Recursos Mineros. Ministerio de la Producción y el Empleo, Secretaría de Minería, Industria y Recursos Energéticos.

GUIFRÉ, L. 2000. Formación y desarrollo de suelos. En: Principios de edafología. Segunda Edición. Editorial Facultad de Agronomía (UBA). 107-113

GUIFRÉ, L. 2000. Rocas. En: Principios de edafología. Editorial Facultad de Agronomía (UBA). Segunda Edición 9-24

GUTIÉRREZ BOEM, FH.; PRYSTUPA, P.; FERRARIS, G. 2004. Fuentes de azufre en el cultivo de soja. 10 p.

Presentado en el XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. 22 al 24 de junio de 2004. Paraná. Entre Ríos.

INTA. Instituto de Suelos: http:// www.insuelos.org.ar

IRAM, 1997. Instituto Argentino de Normalización. Norma. 22451 Materiales calcáreos para uso agropecuario. Requisitos y métodos de ensayos. 18 p.

KELLER, O., FONTANETTO, H. 2002. Fertilización nitrogenada y azufrada en soja. Resultados de experiencias en el centro-oeste de Santa Fe. En: Información técnica de cultivos de verano. Campaña 2002. Publicación Miscelánea N°97-INTA. Estación Experimental Rafaela.

LORENZ, Walter, 1994: Evaluación del potencial minero no metalífero de la Provincia de Entre Ríos, República Argentina. Dirección de Promoción Minera e Hidrogeológica, Paraná, Min. de Economía , Obras y Servicios Públicos / BGR. Tomo I y II, Paraná, Entre Ríos.65 p. y Apéndices A / F.

PONCE DE DE MAIO, M.B. 2000: Rocas y minerales industriales de Argentina en Rocas y Minerales Industriales de Iberoamerica, CYTED.

POSNJAK E. 1938: The system CaSO4.H2O, American Journal Science, ser. 5, t. 35, pp. 247-272.

POSNJAK, E. 1940: Deposition of calcium sulfate from sea water, American Journal Science, t. 238, pp. 539-568.

MAC DONALD,G.1953: Anhydrite-gypsum relations, American Journal Science, t. 251, pág. 884.

MELGAR, R.; CAMOZZI, M.E. Guía 2002. Fertilizantes, enmiendas y productos nutricionales. INTA. 259 p.

MELGAR, R. 2004. Use of fertilizers by crop and region. En: Fertilizer use by crop in Argentina. Land an Plant Nutrition Management Service FAO, Rome. 2004. 45 p.

MELGAR, R.; TORRES DUGGAN, M. 2005. Comercio y abastecimiento moderno de fertilizantes. Ed. Hemisferio Sur-INTA. En prensa.

MIGUEL SANCHEZ, Clara: Enmiendas calizas - Corrección de suelos ácidos. www. Fertiberia .com

MORTVEDT, J.J.; MURPHY, L. S.; FOLLET, R.H. 1999. Fertilizer technology and application. Maister Publishing Co. 199 p

MORRÁS, H.; ZECH, W.; NABEL, P. 1998. Composición geoquímica de suelos y sedimentos loessicos de un sector de la Pampa Ondulada. Actas V Jornadas Geológicas y Geofísicas Bonaerense. 225-232 p.

RUCKMICK, J. C. 1979: Classification and Genesis of Biogenic Sulfur Deposits. Economic Geology, vol 74, pp. 469-474.

SCHALAMUK, I., FERNANDEZ, R. y ETCHEVERRY, R. 1983: Los yacimientos minerales no metalíferos y rocas de aplicación de la región NOA, Secretaría de Minería, Anales XX, Buenos Aires, 196 p.

SECRETARIA DE MINERIA, 1995: Diagnosis minera de la provincia de Salta. Delegación Salta, 29 p.

SECRETARIA DE MINERIA, 1996: Inversión minera en Argentina - Directorio de oportunidades. Buenos Aires.

SENASA. http://www.senasa.gov.ar

STRAZISCAR, V y MELGAR, R. 2003: Fertilizar. INTA, Pergamino.

UNIVERSIDAD DE GRANADA: Contaminación del suelo; Tema: salinización

http://edafologia.ugr.es: Apuntes.

BRASIL

BARROS, M.F.C., FONTES, M.P.F.; ALVAREZ, V.H., RUIZ, H.A 2004. Recuperacao de solos afectados por sais pela aplicacao de gesso de jazida e calcário no Nordeste do Brasil. R. Bras. Eng.Agric. Ambiental, Campina Grande, V8, N°1. 59-6 p

CAIRES, E.F.; BLUM, J.; BARTH, G., GARBUIO, F.J., KUSMAN, M.T. 2003. Alteracoes químicas do solo e resposta da soja ao calcáreo e gesso aplicados na implantacao do sistema plantio directo. R, Bras. Ci. Solo. 27:275-286

CAIRES, E.F.; FELDHAUS, I.C.; BARTH, G.; GARBUIO, F.J. 2002. Scientia Agricola, v 59, N°2. 357-364 p

COELHO, J.M.; CABRAL, M; PEDREIRA, A; CARANASSIOS, a y HOLLANDA VIDAL, F. 2000: Rocas y minerales industriales de Brasil en Rocas y Minerales Industriales de Iberoamerica.

DE CAMPOS BERNARDI, A.C.; MACHADO, P.L.O.A. Uso dos solos e demanda por nutrientes no Brasil: situación actual y perspectivas futuras. 117-156 p En: Fertilizantes y enmiendas de origen mineral. Hugo Nelson y Roberto Sarudiansky (Editores). Ediciones Panorama Minero. 283 pp.

EMBRAPA. 2003. http://www.cobveg.cnpm.embrapa.br/resulta/brasil/leg_br.htm1

FAO, 2004. Fertilizar use by crop in Brazil. Land and Plant Nutrtion Management Service-Land and Water Development Division. Food And Agricultura Organization of The United Nations. Rome. 52 pp.

LOPES, A.S.; GUILHERME, L.R.G.; SILVA, C.A.P. 2003. da.Vocacao da tierra., ANDA 2nd ed. Sao Paulo, Brazil, 23 pp.

MANZATTO, C.V., RAMALHO FILHO, A.; COSTA, T.C E CASTRO DA; SANTOS, M DE L.M.; COELHO, M.R., SILVA, E.F DA & OLIVEIRA, R.P. Potencial de uso e uso actual das terras. In: C.V MANZATTO, E. DE FREITAS JUNIOR & J.R.R. Peres, eds. Uso agrícola dos solos brasileros. P.p 13-21. EMBRAPA Solos. Río de Janeiro, Brazil.

NOGUEIRA, M.A., MELO, W.J. 2003. Enxofre disponible para la soja e atividade de arilsulfatase em solo tratado com gesso agrícola. Rev. Bras. Cienc. Solo 27. Julio/Agosto

POTAFOS, 1996. Arquivo do agrónomo N°10. Nutri-Fato. Informacao agronomica sobre nutrientes para as culturas. Marzo.

YAMADA, T. 2004. The Cerrado of Brazil: a success store of production on acid soils. Presented at 6°Conference ¨Fertilizantes Cono Sur¨ organized by British Sulphur Pub. Punta del Este, Uruguay, 21-23 noviembre.

COLOMBIA

FAO. Anuario de Fertilizantes. Vol. 52, Año 2002. Roma, 2003.

INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGÍA Y MINERÍA. INGEOMINAS. Recursos Minerales de Colombia. Tomo II. Minerales Preciosos, Rocas y Minerales no Metálicos y Recursos Energéticos. Bogotá, Colombia. 2ª Edición 1987. pp. 565-1119.

INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO ICA. Comercialización de Fertilizantes. Años 1992-2002. Boletín Técnico. Produmedios, Bogotá.

MAYA SÁNCHEZ, M; CARDENAS, C y FORERO, C. 2000: Las rocas y minerales industriales de Colombia en Rocas y Minerales Industriales de Iberoamerica, CYTED.

MENDOZA, H. 1995c: Sal en Minerales Estratégicos para el Desarrollo de Colombia 94-95. INGEOMINAS, pp. 195-213.

http://www.cenicana.org/pictures/mapa_suelo.gif

CHILE

IVEX. 2003. Instituto Valenciano de la Exportación. Fertilizantes en Chile. Mayo de 2003 85 p.

IZQUIERDO GONZÁLEZ, N. 2005. El mercado de los minerales en la agricultura. Presentado en: Jornadas técnicas sobre los minerales y su uso en la agricultura. Centro de Tecnología de Minerales (CETEM). Río de Janeiro. 30 de junio.

MENDOZA, J.L.; FAJARDO, A., CARRASCO, R. 2002. Rocas y minerales industriales de aplicación ambiental en agricultura e industria. En: Simposio Internacional de Geología Ambiental para la Planificación del Uso del Territorio. Puerto Varas, 4-6 de Noviembre. 4p

ODEPA. 2002. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias. Panorama de la agricultura chilena. Director: Carlos Furche Guajardo. 92 p

PONCE, E. 2004. The fertilizar situation in Chile. Presented at 6°Conference ¨Fertilizantes Cono Sur¨ organized by British Sulphur Pub. Punta del Este, Uruguay, 21-23 noviembre.

MÉXICO

GODINEZ, J.A. Los fertilizantes en México. 2003. En: Fertilizantes y enmiendas de origen mineral. Hugo Nielson y Roberto Sarudiansky (Editores). Ediciones Panorama Minero. 283 pp.

INEGI. 1999. Superficies Continental e Insular del Territorio Nacional, inédito, México. En: http://www.emexico.gob.mx/wbz-emex/emex_suelos.

IZQUIERDO GONZÁLEZ, N. 2005. El mercado de los minerales en la agricultura. Jornadas técnicas sobre los minerales y su uso en la agricultura. Centro de Tecnología de Minerales (CETEM). Río de Janeiro. 30 de junio.

Capítulo VII

Otros Minerales

Coordinadores: : Liliana N. Castro y Ricardo Melgar

Azufre

Javier Peroni[1], Liliana N. Castro[1] y Ricardo Melgar[2]

Introducción

El calcio, el magnesio y el azufre son también necesarios para el crecimiento de las plantas pero en menor proporción que los componentes primarios. El azufre y el magnesio tienen mayor importancia en suelos arenosos, o muy lixiviados por lluvias. El Ca está más limitado y utilizándose en cultivos especiales y en suelos en condiciones inusuales (Ph anormalmente bajo).

El azufre es un elemento no metálico que pueden explotarse o recuperarse a partir de una amplia variedad de yacimientos

El uso más importante es en la fabricación de H_2SO_4 (cerca del 80%). El 50% del H_2SO_4 se usa para la producción de fertilizantes; el 18 % en química sulfitos, sulfatos y dióxido de azufre y el resto en petróleo, fibras (rayos, acería, pigmentos y explosivos), en medicina (sulfamidas, pomadas tópicas) para fabricar fósforos, caucho vulcanizado, tintes y pólvora. Las industrias que la utilizan son: química y petroquímica, fertilizantes, fibras celulósicas, detergentes, energía atómica, textil, curtiembres, papel y acumuladores

Este elemento es reconocido como nutriente desde hace más de 130 años. El azufre entra en la planta como ión $SO^{4=}$ y es un constituyente de las proteínas, hormonas de crecimiento y aminoácidos. En el tratamiento del fósforo con ácido sulfúrico para formar el superfosfato se forma yeso por reacción. Esta cantidad de sulfato no es removido del superfosfato normal, lo que hace que el producto utilizado por los agricultores tenga un 12 % de azufre.

Actualmente más cantidad de S es removido del superfosfato, ya que es éste puede contener minerales radioactivos. Las principales fuentes de este elemento corresponden a superfosfato, SO_4K_2 y yeso, además de tiosulfato de amonio [$(NH_4)_2\ S_2O_3$], que es el más usado entre los fertilizantes líquidos.

También es utilizado como enmienda, debido a su capacidad de modificar las características físicas, la acción microbiana, aunque actualmente es difícil distinguir cuando el azufre actúa como nutriente o como enmienda. Como enmienda, disminuye el pH en suelos alcalinos e incrementa la disponibilidad de fertilizantes. El azufre refinado, con pureza del 99,5% es molido y aplicado directamente al suelo, (Sarudiansky, 2003).

[1]*Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Argentina javierp@ekos.com.ar; lilianacastro@fibertel.com.ar;*
[2] *INTA . Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Pergamino. rmelgar@pergamino.inta.gov.ar*

Mineralogía

El azufre aparece principalmente como sulfuro, sulfosal, sulfatos o bien nativo Como S° se encuentra asociado a zonas volcánicas y como azufre biogénico, (cuadro VII-1)

Sulfuros	Sulfosales	Sulfatos
▪ Argentita Ag_2S ▪ Arsenopirita FeAsS ▪ Bismutinita Bi_2S_3 ▪ Bornita Cu_5FeS_4 ▪ Calcopirita, $(Cu,Fe)S_2$ ▪ Calcosina Cu_2S ▪ Cinabrio HgS ▪ Cobaltita (Co, Fe) As S ▪ Covelina CuS ▪ a $CuFe_2S_3$ ▪ Digenita Cu_9S_5 ▪ Esfalerita, ZnS ▪ Estibina, Sb_2S_3 ▪ Famatinita, $CuSb S_2$ ▪ Galena, PbS ▪ Gersdorfita, NiAsS ▪ Marcasita FeS_2 ▪ Millerita NiS, ▪ Molibdenita MoS_2 ▪ Orpiment, As_2S_3 ▪ Pentlandita, $(Fe,Ni)_9S_8$ ▪ Pirita, FeS_2 ▪ Pirrotina, $Fe_{11}S_{12}$ ▪ Rejalgar, AsS ▪ Wurtzita(Zn, Fe)S Otros	▪ Baumhauerita $Pb_3As_4S_9$ ▪ Berthierita $FeSb_2S_4$ ▪ Boulangerita $Pb_5Sb_6S_{11}$ ▪ Bournonita $CuPbSbS_3$ ▪ Cilindrita $FePb_3Sn_4Sb_2S_{14}$ ▪ Emplectita $CuBiS_2$, ▪ Enargita Cu_3AsS_4 ▪ Gratonita $Pb_9As_4S_{15}$, Jamesonita $Pb_4FeSb_6S_{14}$ Jordanita $Pb_{14}(As, Sb)_6S_{23}$ ▪ Meneghinita $Pb_{13}Sb_7S_{23}$ ▪ Proustita Ag_3AsS_3 ▪ Pirargirita Ag_3SbS_3 ▪ Sartorita $PbAs_4S_9$ ▪ Semseyite Ag_4SbS_4 ▪ Stephanita Ag_5SbS_4 ▪ Tennantite $Cu_{12}As_4S_{13}$ ▪ Tetrahedrite $Cu_{12}Sb_4S_{13}$ ▪ Zinkenite $Pb_9Sb_{22}S_{42}$ Otras	▪ Alunita $Al_3(SO_4)_2(OH)_6$ ▪ Anglesita, $PbSO_4$ ▪ Anhidrita $CaSO_4$ ▪ Baritina, $BaSO_4$ ▪ Celestina, $SrSO_4$ ▪ Jarosita, $Fe_3(SO_4)_2OH)_6$ ▪ Yeso, $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ▪ Otros

Cuadro VII-1: Principales minerales de azufre según clase

Ambiente geológico

El azufre ocupa el lugar 16 en abundancia entre los elementos de la corteza terrestre, y se encuentra ampliamente distribuido tanto en estado libre como combinado con otros elementos, como los sulfuros metálicos en el carbón y menas minerales, sulfatos, ácido sulfhídrico en el gas natural y complejos orgánicos sulfurados en el petróleo crudo y el carbón. Todos ellos son fuentes de sulfuros, pero las más importantes son el azufre nativo, el ácido sulfhídrico en el gas natural y la pirita (FeS_2) (Ruckmick et al, 1979).
Los depósitos de azufre se clasifican en:

• Depósitos biogénicos:
    A) Bioepigenéticos: 1) Cap Rock y 2) Estratoligados
    B) Biosingenéticos
• Depósitos volcánicos
• Evaporitas
• Como azufre nativo separado en plantas química y refinerías a partir de combustibles fósiles, portadores de azufre.
• Por tostación de pirita, pirrotina, o sulfuros polimetálicos obteniéndose SO_2 que es luego convertido en H_2SO_4 o en ocasiones en azufre nativo.

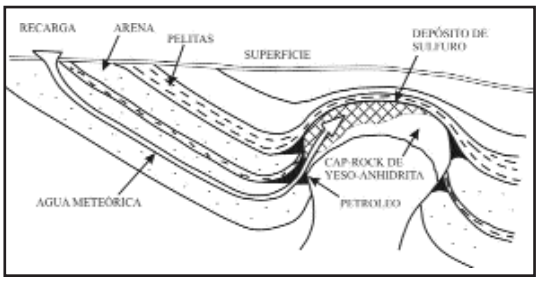


Figura VII- 1: Depósitos de Cap-Rock (de Ruckmick, 1979)

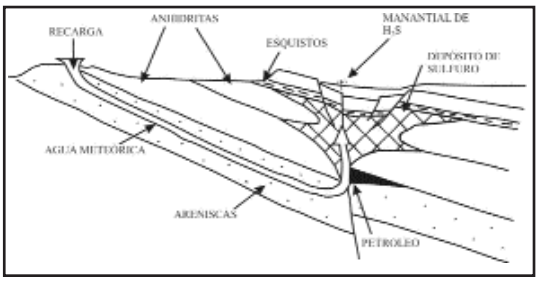


Figura VII- 2: Depósitos estratoligados (de Ruckmick,1979)

Depósitos biogénicos:

Todos los depósitos biogénicos tienen un origen similar. Son formados por la reducción anaeróbica bacterial de yeso o anhidrita y la oxidación de hidrocarburos, en cuencas donde capas de evaporitas son subyacidas por petróleo.

La única diferencia significativa en la génesis de los depósitos estratoligados y los de Cap Rock es la posición de las evaporitas sobre el petróleo en las Cap Rock es causado por el ascenso diapírico, más que por procesos sedimentarios. (Figuras VII-1 y VII-2)

Dentro de depósitos biogénicos los bioepigenéticos son los más comunes.

Depósitos bioepigenéticos

Formados por reducción bacterial anaeróbica de yeso o anhidrita y oxidación de hidrocarburos en cuencas donde las capas de evaporitas están por encima del petróleo.

Los depósitos bioepigenéticos se forman donde la fracturación permite al agua, hidrocarburos y bacterias llegar a las evaporitas o cap rocks, en este ambiente ocurre la oxidación bacterial de los hidrocarburos a CO_2 y la reducción del yeso a SH_2 y posterior condensación de estos vapores.

$$CaSO_4 + CH_4 \longrightarrow CaS + CO_2 + H_2O$$
$$CaS_5 + CO_2 + H_2O \longrightarrow CO_3Ca + H_2S + 4S°$$

Depósitos biosingenéticos

Son depósitos sedimentarios, y resultan de la reducción bacterial de SO_4^{-2} a H_2S y la oxidación de H_2S a sulfuro nativo, debido a aguas oxigenadas superficiales en lagoon u otros ambientes restringidos, como ambientes euxínicos marinos o lacustres.

Depósitos volcánicos

Los sulfuros de origen volcánicos son probablemente los depósitos más distribuidos en la Tierra. Son conocidos en la mayoría de las regiones volcánicas, pero principalmente en los cordones montañosos del Océano Pacífico, particularmente en América Central y del Sur, Japón, Taiwan y Nueva Zelanda.

Las emanaciones volcánicas con S, SO_2, SH_2 y la posterior condensación de estos vapores forman pequeños depósitos que se utilizan para consumo local.

Evaporitas

Uno de los minerales que proveen azufre es el yeso, especialmente para su uso como nutriente agropecuario. El yeso ocurre con frecuencia intercalado en calizas y lutitas y generalmente aparece en capas bajo los depósitos de sal, por haber sido depositado como uno de los primeros minerales que cristalizaron por la evaporación de aguas salinas. Los yacimientos de yeso pueden tener origen marino o lacustre (Figura VII-3).

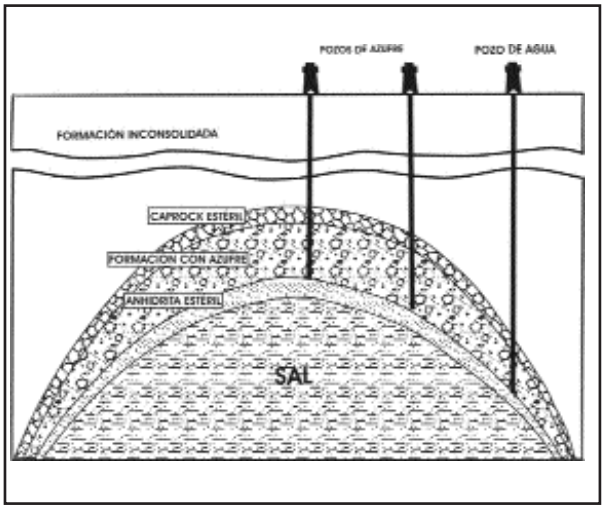


Figura VII-3: Típico corte transversal de un domo salino con azufre (de Gitter,1975)

Depósitos de sulfuros metálicos

Están ampliamente distribuidos alrededor del mundo, y son una importante fuente de sulfuro. Menas de azufre con interés comercial son conocidas como el grupo ferroso de las Piritas.

Las más importantes de este grupo, son la Pirita propiamente dicha (FeS_2), Marcasita (FeS_2), Pirrotina (Fe_nS_n +1). Las más importantes del grupo no ferroso incluye a la Calcopirita (Cu_2S), Galena (PbS), Esfalerita (ZnS) Pentlandita ($(Fe,N_i)_9S_8$) y Arsenopirita.

Son principalmente explotados por el metal que contienen. Dentro de la clasificación se destacan los sulfuros masivos, depósito tipo Sedex (sedimentario exhalativo), lo cobres porfíricos y los depósitos epitermales de alta sulfuración.

Depósitos oxidados

Corresponden a depósitos de alteración supergénica con mena primaria de sulfuros. Estos depósitos requieren una definición especial debido a que la mayoría de los depósitos de azufre son por oxidación de H_2S. Estos depósitos son pequeños y ampliamente distribuidos.

Las características distintivas son que se depositan en fracturas u espacios abiertos en la mayoría de rocas y que no poseen evidencia biogénica asociada. Ambas características marcan un contraste con los depósitos bioepigenéticos.

Recuperación de Azufre nativo

La principal fuente de azufre recuperado es el gas sulfhídrico que contamina el gas natural y los compuestos orgánicos sulfurados contenidos en el petróleo crudo. El gas sulfhídrico no es tolerado en el gas natural debido a que, aún en bajas concentraciones, es muy tóxico, como también corrosivo.

En el petróleo, la mayor concentración de azufre se da en las fracciones pesadas, por lo que su uso esta regulado por los controles de polución de cada país. (M. Kužvart, 1984)

Producción Mundial

Los recursos del azufre en el mundo de las evaporitas, de los depósitos volcánicos, de azufre biogénico asociado a petróleo, de los sulfuros metálicos ascienden a cerca de 5 mil millones toneladas. El sulfuro en yeso y anhidrita es casi ilimitado, Unas 600 mil millones toneladas se localizan en pizarra bituminosas ricas en materia orgánica pero aún no se han desarrollado métodos económicos para recuperar el sulfuro de estas fuentes. El azufre asociado al petróleo y el metálico puede ser recuperado donde se refina y esto puede estar que puede estar en el país de origen o en una nación de importación. El índice de la recuperación del azufre de refinerías

depende de las regulaciones ambientales de donde realice la refinación. El cuadro VII-2 muestra la producción mundial 2003 y 2004 según países.

Países	2003	2004
Alemania	2.360	2.400
Arabia Saudita	2.400	2.400
Australia	923	900
Canadá	9.030	8.500
Chile	1.300	1.300
China	6.090	6.100
Emiratos Árabes Unidos	1.900	1.900
España	706	700
Estados Unidos	9.600	10.000
Finlandia	706	710
Francia	1.000	1.000
India	1.020	1.100
Irán	1.360	1.400
Italia	684	700
Japón	3.310	3.500
Kazajstán	1.930	2.500
República de Corea	1.300	1.300
Kuwait	714	720
México	1.610	1.650
Países Bajos	527	550
Polonia	1.180	1.100
Rusia	6.600	6.800
Otros países	5.550	5.500
Total aproximado	61.800	63.000

Cuadro VII-2: Producción mundial de azufre (en miles de toneladas) extraído de http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/sulfur/

Gran parte de la producción de azufre proviene del tratamiento de derivados de los combustible fósiles que deben adecuarse como provisión para el futuro las fuentes deben ser adecuadas para el futuro capaz de la previsión. Debido a que los minerales yacimientos de sulfuros y el petróleo pueden ser procesados a las largas distancias de donde se producen, la producción real del azufre puede corresponder al país de origen al cual las reservas fueron atribuidas. Por ejemplo las reservas de azufre de Arabia Saudita se recuperan actualmente en las refinerías de petróleo de los Estados Unidos.

No hay sustitutos adecuados esta el presente; algunos ácidos en ciertas ocasiones pueden ser sustituidos por ácido sulfúrico.

Métodos de extracción

Existen varios métodos para la extracción del azufre. En el método Frasch se introducen en el depósito de azufre cuatro tuberías concéntricas. A través de las dos tuberías exteriores se inyecta agua calentada bajo presión a 170 °C, fundiendo el azufre.

Cuando se ha conseguido fundir una cantidad suficiente de azufre, el aire caliente baja por las tuberías internas formando una espuma con el azufre fundido, lo que hace subir la mezcla a la superficie por la tubería restante. Entonces se coloca el azufre en contenedores de madera donde solidifica, alcanzándose una pureza de un 99,5%. El azufre también puede extraerse de las piritas por destilación en retortas de hierro o arcilla refractaria, aunque con este proceso el azufre obtenido suele contener porciones de arsénico, (Figura VII-4).

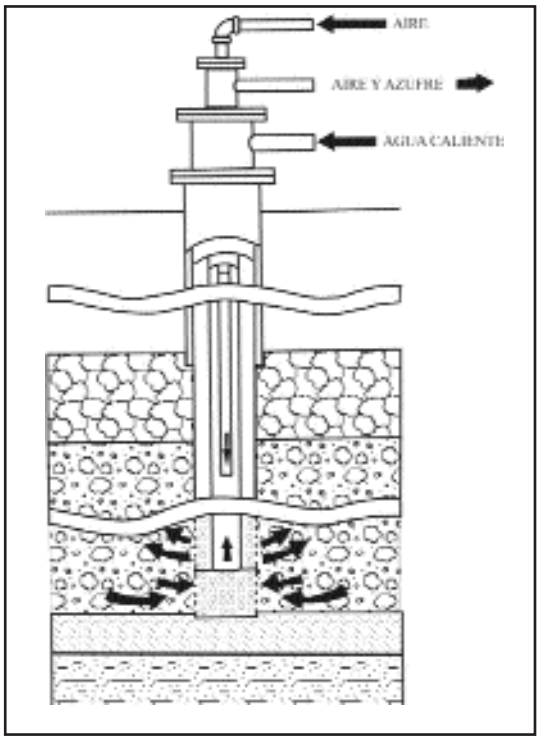


Figura VII-4: Diagrama del método Frasch (de Gittinger, 1975)

Usos agronómicos del Azufre y como insumo en la fabricación de fetilizantes

Si bien el azufre es un nutriente esencial para la nutrición de las plantas, por su rol central en la composición de proteínas vegetales, su aplicación agronómica en relación con los fertilizantes, lo vincula mas que nada a la demanda como sulfatos, es decir de sales naturales o sintéticas donde el catión asociado puede ser macronutrientes como potasio o magnesio, ó micronutrientes como manganeso, zinc o hierro. Es en esta forma, sulfato ($SO_4^{=}$), como las plantas absorben el elemento.

El azufre elemental como tal, tiene usos agronómicos reconocidos como enmienda para disminuir el pH de los suelos alcalinos. El azufre se oxida, por bacterias específicas que utilizan el Sº como aceptor de electrones en su ciclo respiratorio. Las bacterias mas importantes son del genero Thiobacillus , ya que existen numerosos géneros, además de hongos y actinomicetos. La reacción es la siguiente: $\longrightarrow$

$$4\ S^{o} + 4\ H_2 0 \qquad SO_4^{=} + 8\ H^{+}$$

Como toda reacción biológica, la intensidad es función de la población de bacterias, de la cantidad de sustrato (Sº) y de las condiciones que favorecen a esa población de bacterias, fundamentalmente, temperatura humedad y sustrato carbonatado.

El uso de azufre elemental, como tal o como subproducto de otras industrias es aplicado como enmienda sobre suelos con problemas de pH altos, suelos alcalinos, con la finalidad de disminuir el pH y así mejorar las condiciones fisicoquímicas. Una vez que el S es oxidado y transformado a sulfatos, además de generar protones, que reaccionaran con los carbonatos para disminuir el pH, además aumenta la disponibilidad de azufre como sulfato para las plantas.

Además del uso agronómico específico mencionado, como proveedor de S a los cultivos y para disminuir el pH. El azufre tiene un encadenamiento industrial indiscutible y de gran importancia económica como ácido sulfúrico en la fabricación de superfosfato simple. Si bien los superfosfatos pueden fabricarse a partir de otros ácidos, como nítrico y clorhídrico, aún no han podido superar las ventajas del sulfúrico para la preparación de fertilizantes, principalmente por el precio en el primer caso, y la calidad del producto en el segundo.

Los aspectos relacionados a la demanda de S- $SO_4^{=}$ es tratado con amplitud en el capítulo de Yesos, y los vinculados a la demanda de ácido sulfúrico para la fabricación de superfosfato simple, en el capítulo de Rocas fosfóricas. Sin duda que el ácido sulfúrico tiene además muchísimos

usos industriales, por lo que no amerita un tratamiento específico. Un amplio tratamiento de los temas relacionados al uso de azufre en agricultura pueden consultarse en Tabatatai (1986).

Argentina

Javier Peroni[1]

Los principales yacimientos son de origen volcánico en Jujuy, Salta y Catamarca. Se trata de depósitos vinculados a exhalaciones volcánicas En los complejos piroclásticos estratificados donde el azufre es sublimado se deposita en grietas, poros, chimeneas y bolsones, asociado con yeso y sílice criptocristalina

Ejemplos en el país: Volcán Sosneado, Mendoza, Cerro Tuzgle representa la mayor reserva, Jujuy. La Mina Julia., en Salta fue la mayor productora del país. La producción de azufre volcanogénico data desde 1910, en pequeñas cantidades, con fuerte incremento a partir de 1942 con la puesta en producción de la mina Julia, alcanzando la máxima producción en 1972, con 40.000 t, abasteciendo 1/3 del consumo interno hasta el cierre en 1978. Otros ejemplos en Catamarca el Cerro Bayo y el Volcán Azufre y en Neuquén en Cerro Tromen. (Figura VII-5)

1Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Argentina javierp@ekos.com.ar

Figura VII-5. Principales yacimientos de azufre

Cuenca Neuquina:

La Cuenca Neuquina se caracteriza por tener yacimientos con varias ventajas, como reservas del orden de millones de toneladas, canteras desarrolladas y una aptitud en su mineralización apta; pero con la desventaja de encontrarse a una distancia a las áreas. (Lurgo Mayón, 1999)

En Neuquén: se describen depósitos estraligados en evaporitas estratificadas. Se conocen potentes cuencas evaporíticas ricas en anhidritas depositadas en un ambiente de intensa actividad volcánicas. En el norte de Neuquén y el sur de Mendoza, se encontró azufre vinculado a procesos biogénicos. Como está a una profundidad mayor a 400 m se aplicaría el método Frash.

-Proyecto Los Petisos: dos horizontes mineralizados que corresponden a los Miembros yesíferos de la Fm. Huitrín (Tipo Caprock). De las reservas medidas hasta el presente, se estima una recuperación del 80%, totalizando 3.750.000 t de azufre recuperable.

-Cerro Tromen: yacimiento de azufre, a 3.979 m,. sobre el nivel del mar, explotado durante los años 1935 al 42 y solo se extrajeron 72 t. con una ley de 40% de azufre. Se han estimado reservas de 40.000 t. con leyes de 65,6% de azufre.

-Mina Hilda Mary: posee dos sectores, el primero en el que se cubicaron 18.917 t. de caliche, con 5.678 de carácter probable y el resto posible. El sector 2, se encuentra a mayor altura, con una labor denominada cantera, con reservas de 13.440 t. de mineral positivo y 20.160 t. de probable, con leyes medias del 23 % S.

Los depósitos de la provincia de Río Negro están constituidos por depósitos mantiformes, con bancos de hasta 2 metros de potencia interestratificados con arcillitas y margas de la Fm. Allen y de hasta 15 m. de potencia en la Fm. Roca. (Lurgo Mayón, 1999)

Sector centro y norte occidental

El sector centro y norte occidental del territorio argentino presenta numerosas cubetas sedimentarias generadas principalmente durante la orogenia andina, en el ámbito del antepaís.

En estos depocentros de ambientes continentales en áreas de clima árido a semi-árido se formaron depósitos de yeso de diversos tamaños, pureza e importancia económica.

Las ventajas de estos yacimientos radica en las numerosas canteras, aunque con producción intermitente, una alta calidad y una ubicación geográfica cercana a los centros de consumo. Las restricciones se basan en condiciones no económicas de explotación en numerosas canteras. (Carotti, 1999).

-Manifestación del Cerro Bayo: Se trata de las manifestaciones más septentrionales de la Faja Occidental de la Puna Salteña. Comprende las minas Tecar (Salta), San Pancho (Chile) y otras. El principal foco mineralizado corresponde a las minas Tecar, la cual se ubica a 4.500 m s.n.m

-Mina Julia: Se localiza sobre la cordillera del límite, en plena "Puna", con altura entre 5.000 y 5.500 m s.n.m. Se encuentra sobre un sombrero de alteración solfatárica-azurada la cual posee una superficie de 1.700 x 1.500 m. Las últimas actualizaciones de reservas, llevadas a cabo entre 1960 y 1962, dieron como resultado, entre positivas, aseguradas y probables una cifra de 3.550.000 t, con una ley de azufre de 22,5%.

-Manifestación de Cerro Azufre y Cerro Bayo (Catamarca): Se ubican en el departamento Antofagasta de la Sierra y el límite con Chile. La altura media es de 5.000 m s.n.m.

Se extienden sobre una superficie de 1,5 x 2 km^2, siendo el área alterada varias veces mayor. Las leyes en los nidos enriquecidos se elevan a 6% o más. Y los rellenos de cavidades pueden lograr leyes > al 95% de azufre. La superficie del Cerro Bayo oscila entre los 1 y 2 km^2 y conforman un recurso de 7.500.000 t, con leyes entre 20 y 30%. Para el Cerro Azufre se alcanzan 900.000 t de azufre refinado.

-Depósito del Cerro Tuzgle Mina la Betty (Jujuy): Se ubica a 5.200 m s.n.m. Comprende las minas La Betty, Sol de Mayo y María Teresa. Cerro Tuzgle es un volcán pleistoceno, que en su ladera oeste expone dos extrusiones mesosilícicas, compuesta por tobas, lapillis y tobas. Debajo existen capas grises que son portadoras de azufre. La explotación se llevó acabo entre 1943 y 1955 y se concentró en los sectores promisorios de Don Federico, Corral Blanco y Don Jorge.

Los contenidos de azufre y reservas son:
Don Federico:
Cuerpo I 139.000 t con 18,9%S (mineral probable)
Cuerpo II 112.000 con 6,4%S (mineral probable)
Lomas Blancas: 50.000 t 25% (mineral probable)
Don Jorge 250.000 t 19,26% (mineral posible)
-Manifestaciones de Volcán Dos Conos (Catamarca): Se localiza sobre la vertiente de la Cordillera San Buenaventura, a una altura de 5.000 m s.n.m. Posee una superficie mineralizada de 1,5 km2 con una ley que oscila entre 50-92%. El promedio no ponderado alcanza el 40,41%. Considerando una superficie mineralizada de 0,75 km2, con una potencia de 5 m y densidad de 1,5 el recurso se ubicaría en el orden de 1.400.000 t finas.

Buenos Aires y La Pampa:

Los yacimientos de yeso de las provincias de Buenos Aires y La Pampa están circunscriptos a los depósitos fluvio-palustre-lacustre de los ríos más importantes como el Quequén salado y Salado. Los niveles yesíferos forman parte de los sedimentos Post-Pampeanos, Fm. Luján y Fm. Lobos.

Tienen como característica principal ser depósitos con importantes reservas pero de baja ley, localizadas en el centro del área agrícola nacional. Para más información, referirse al capítulo sobre Yeso en la Argentina.

Mesopotamia

En el suroeste de la Mesopotamia se encuentran acumulaciones de yeso con importancia económica en la provincia de Entre Ríos. Forman parte de depósitos de cuencas palustres-lacustres cuya edad es Pleistoceno medio (Fm. Hernandarias). Has sido intensamente explotadas y se distribuyen a lo largo de una extensa faja submeridiana a orillas del Río Paraná.

El material yesífero se originó en un ambiente palu-lacustre y el principal mecanismo de aporte de sulfato de calcio fue la lixiviación de la Fm. Paraná, de origen marino, edad terciaria y muy extendida en la región.

Estos yacimientos poseen la ventaja de poseer una alta calidad química y una proximidad a las áreas con mayor necesidad de azufre, pero con las restricciones de tener una escasez de canteras, reservas no desarrolladas y terrenos con alto valor ganadero y agrícola. Para mayor información, referirse al capítulo sobre Yeso en la Argentina.

Colombia

Liliana Alvarado Flórez[1] *y Jairo Ricardo Barreto Reyes*[2]

El azufre en Colombia se obtiene principalmente como subproducto de la refinación de petróleo en Barrancabermeja y Cartagena.

De azufre natural existen dos yacimientos en operación, el mayor de ellos está localizado en Coconuco (Cauca) y el otro en Cumbal (Nariño). Los usos industriales del azufre son numerosos y tan sólo una proporción menor de este mineral se utiliza como insumo en la preparación de correctivos de suelos sódicos o salino-sódicos y de fertilizantes.

La producción nacional de azufre no alcanza para satisfacer la demanda interna del país y debe ser complementada con importaciones procedentes de los Estados Unidos y Venezuela; no obstante, desde Colombia se exportan algunas cantidades del producto al Ecuador (principal destino de las mismas hasta el año de 1996) y a Honduras y Costa Rica (principales destinos entre los años de 1997 y 2001).

Depósitos y manifestaciones

Los yacimientos de azufre conocidos en Colombia, están asociados en su mayoría a la actividad volcánica del Terciario y Cuaternario y en menor cantidad se encuentran en rocas sedimentarias cretácicas. En la actualidad cerca del 90% del azufre producido en Colombia se extrae de la Mina el Vinagre, cerca del Volcán Puracé, Departamento del Cauca.

Departamento de Nariño. Las principales manifestaciones de azufre en este departamento se encuentran asociadas a los volcanes Chiles, Cumbal, Azufral, localizados en la cima de la Cordillera Occidental y relacionados con tect6nica de fallamiento en gran escala.

El contenido promedio de mineral de Azufre en el área del Volcán Chiles es de 22% y existen 2.691.400 toneladas de reservas probadas de mineral y 2.056.897 toneladas de reservas inferidas (PEREZ, 1976). Actualmente este depósito no se encuentra en explotación.

En el área del Volcán Cumbal, Las mineralizaciones de azufre ocurren en cenizas y en tobas de color blanco y al parecer se han formado por la sublimación de los gases sulfurosos que suben en las solfataras. El contenido de azufre varía entre 15 y 25%. Actualmente el azufre del volcán Cumbal está siendo explotado en forma muy rudimentaria por los indígenas nativos de la región y no existen estudios que determinen el verdadero potencial de estos depósitos.

Departamento del Cauca. Las principales manifestaciones de azufre en este Departamento, están asociadas a los volcanes Puracé y Sotará, localizado en la cima de la Cordillera Central.

[1] *Instituto de Geología y Minería - INGEOMINAS - lalvarado@ingeominas.gov.co*
[2] *Instituto Colombiano Agropecuario - ICA- fertilizantes@ica.gov.co*

Los productos del Volcán Puracé incluyen lavas andesíticas, dacíticas y riodacíticas, flujos de ceniza y de pumita, avalanchas ardientes y flujos de lodo. De acuerdo con Koller (1982), solo se ha encontrado una manifestación de azufre en este volcán y está localizada en la cota 3780 msnm, a 1,5 Km. al sur del cráter principal. La zona mineralizada tiene una longitud de 100 m y un espesor de 25 m y las aguas que atraviesan la mineralizaci6n tiene temperaturas de 9°C y pH = 1,5.

Departamento de Cundinamarca. Las manifestaciones de azufre en este departamento, están asociadas a rocas sedimentarias cretácicas con signos de haber sufrido tectonismo. El yacimiento más conocido es el denominado "Las Minas", en el municipio de Gachalá, el cual fue explotado en un tiempo por la "Compañía Azufrera de Gachalá". La zona mineralizada tiene un área de 10 Ha y está asociado a rocas sedimentarias cretáceas de las formaciones Villeta y Cáqueza, las cuales forman un anticlinal en el área. El azufre se presenta en forma cristalina y amorfa pulverulenta rellenando fisuras en forma de costras y diseminado (SUAREZ-HOYOS, 1945); además del azufre nativo se encuentran algunos sulfuros como pirita, blenda y calcopirita. Al parecer el azufre está asociado a tectónica de fallamiento y las emanaciones sulfurosas aprovecharon esas zonas de debilidad para llegar a superficie. No se conocen datos de explotación.

Reservas de azufre en Colombia

Sólo a partir de 1981, el Gobierno Nacional, por intermedio del Instituto Nacional de Investigaciones Geológico-Mineras (INGEOMINAS) y de la Empresa Colombiana de .Minas (ECOMINAS), inició un programa para explorar los posibles depósitos de azufre asociados al volcanismo Plio-Cuaternario del SW de Colombia. Sin embargo este proyecto no alcanzó la fase de cuantificación de reservas y sólo se tiene información de cerca de 10 millones de toneladas asociadas a los depósitos de vulcanismo reciente.

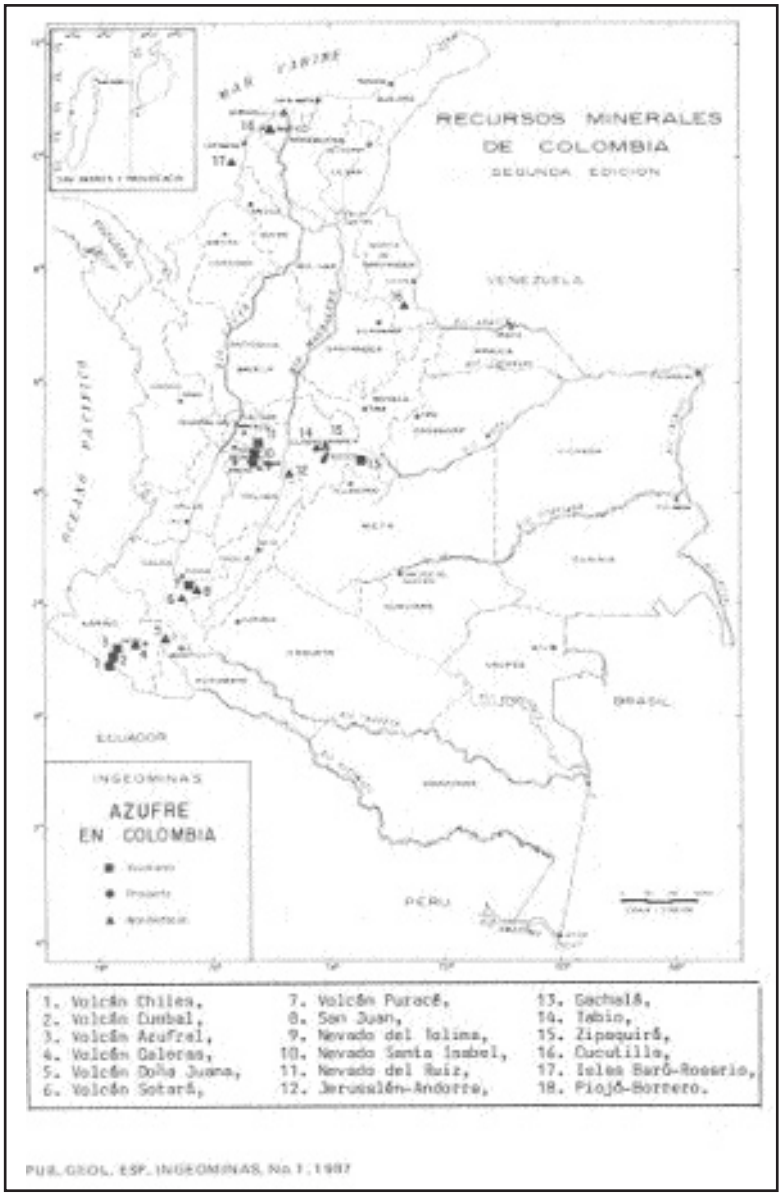


Figura VII-6. Azufre en Colombia

Boratos

Ricardo N. Alonso[1] *y Leandro de los Hoyos*[2]

Resumen

Los boratos en América del Sur, son una sustancia exclusiva de los Andes Centrales. Existen dos tipologías mayores que son los boratos interestratificados en sedimentitas miocenas y los boratos de los salares actuales. Los depósitos miocenos ocurren en la Puna Argentina donde se conocen dos yacimientos de tincal (Tincalayu, Salta y Loma Blanca, Jujuy), un distrito con numerosos depósitos de hidroboracita y colemanita (Sijes) y tres manifestaciones con ulexita y colemanita (Antofalla, Catamarca; y Cauchari y Morro Blanco, Jujuy). Los salares con boratos en los Andes Centrales alcanzan a un medio centenar de depósitos con mineralización de ulexita y excepcionalmente tincal. En Perú se cuenta con un único yacimiento (Laguna Salinas, Arequipa) con reservas que superan los 10 millones de toneladas con una ley de 25% de anhídrido bórico. En Bolivia se tienen reservas de ulexita en los salares de Coipasa, Empexa, Uyuni, Chiguana, Pastos Grandes, Capina, Mamacoma, Curuto, Chalviri, Luriques y otros. En Chile, numerosos salares andinos poseen reservas de ulexita que en conjunto superan los 30 millones de toneladas con una ley de 25% de anhídrido bórico. Los depósitos más importantes son los de Surire, Ascotan, Quisquiro y Carcote. En Argentina los principales salares boratíferos son Hombre Muerto, Diablillos, Ratones, Centenario, Cauchari, Olaroz y Salinas Grandes. Los boratos y sus derivados que se están exportando incluyen ácido bórico, ácido bórico powder (impalpable), bórax anhidro, bórax tetrahidratado, bórax pentahidratado, pentaborato de sodio, octoborato de sodio, ulexita, ulexita anhidra, colemanita e hidroboracita. Tienen cientos de aplicaciones en cerámica, vidrio, fertilizantes, farmacéutica entre otros. Las ventas por exportaciones de boratos argentinos alcanzaron unos 40 millones de dólares en el 2004 y se registra una tendencia positiva para el 2005. Las exportaciones crecieron un 20% en el primer semestre del 2005 con respecto al periodo equivalente del 2004. El listado de países a los cuales Argentina exporta actualmente sus productos minerales son: Brasil, Uruguay, Chile, Perú, Ecuador, Colombia, Venezuela, Costa Rica, República Dominicana, Nicaragua, Guatemala, Estados Unidos, Canadá, Nueva Zelanda, Australia, Indonesia, Malasia, Tailandia, Singapur, Bangladesh, Papua-Nueva Guinea, India, Pakistán, China, Japón, Sudáfrica, Kenia, Italia, Marruecos, España, Francia, Inglaterra, Holanda, Irlanda, Bélgica, Alemania, Hungría, Polonia y Taiwán. Empresas como Agenor, Bórax, FMC, Santa Rita, Perfiltra, Ulex, Viento Blanco, PBA y EQC son las principales exportadoras.

Los Andes Centrales

Los Andes Centrales constituyen una de las cuatro provincias boratíferas a escala mundial junto a la provincia boratífera Californiana, la provincia boratífera Turca y la provincia boratífera Tibetana. Salvo el Tibet, en todas las demás comarcas se conocen boratos depositados en tiempos neógenos. Al presente, en los Andes Centrales se han descubierto boratos néogenos únicamente en

[1]*Secretario de Minería y Recursos Energéticos, Avda. Bolivia 4650, 4400-Salta, Argentina. E-mail rnalonso@uolsinectis.com.ar*
[2] *Geólogo consultor. San Salvador de Jujuy*

la Puna Argentina. Esta región y otras de afloramientos neógenos de Bolivia, Chile y Perú siguen siendo promisorias desde un punto de vista prospectivo.

Los Andes Centrales contienen a la "Provincia Boratífera Centroandina o Sudamericana" (Alonso y Viramonte, 1985). Distintos autores se han referido al origen y evolución del edificio andino. Un completo trabajo de síntesis corresponde a Allmendinger et al. (1997). Los Andes Centrales constituyen el principal orógeno no colisional a escala planetaria y contienen el segundo plateau de importancia mundial luego del Tibet (Isacks, 1988). El orógeno centroandino se formó por la convergencia y subducción de la placa de Nazca por debajo de la placa Sudamericana. Es interesante destacar que la zona donde se desarrolla el arco volcánico es la misma que contiene al plateau elevado del Altiplano-Puna y coincide con una subducción considerada normal de 30°E. Al norte y sur del segmento centroandino, esto es donde termina el arco volcánico aproximadamente a los 15° N y 28° S se extienden segmentos de subducción somera conocidos como "flat slab regions" (Jordan et al., 1983,a,b). La provincia volcánica centroandina (CVZ), coincidente con la "subducción normal" acompaña al plateau Altiplano-Puna y es la portadora de una anomalía planetaria en boro y otros elementos volcanogénicos. La concurrencia de numerosos factores asociados dio lugar a la formación de yacimientos económicos tanto miocenos como cuaternarios.

La génesis de estas particulares sales de boro, asociadas con otras evaporitas continentales, es consecuencia de múltiples parámetros geológicos que actúan en conjunto y que reflejan las singularidades del edificio andino. Entre ellas se destacan las siguientes tomadas aproximadamente en la misma latitud: 1) Los Andes Centrales contienen el mayor relieve a escala planetaria, dado por la fosa de Atacama de 8 km de profundidad y las alturas del arco volcánico que rozan los 7 km, generando así una diferencia de relieve del orden de los 15 km en una distancia vertical menor a 300 kilómetros; 2) Un espesor de corteza continental que supera los 70 km y que tiene su mejor expresión en la región del punto tripartito Bolivia, Argentina, Chile; 3) Precipitaciones pluviales que superan los 3.000 mm sobre el borde oriental y valores de sequedad extrema en el hiperárido desierto de Atacama; 4) Temperaturas que se aproximan a los 50°C en la llanura chaqueña y temperaturas invernales por debajo de -30°C en la región de la Puna. A su vez, la región altiplánico-puneña se caracteriza por su sequedad, altura sobre el nivel del mar a más de 3.800 m, alta heliofanía, grandes amplitudes térmicas diarias, vientos constantes, fuertes diferencias de albedo entre los salares y su marco geológico, escasez de vegetación, alta evaporación, y otras características geológicas y meteorológicas que favorecen la génesis de evaporitas y entre ellas las de los boratos.

Modelo de formación de los boratos

El modelo de formación de los boratos andinos fue desarrollado por Alonso (1986,1998) y Alonso y Viramonte (1993). Se sostiene que la concentración de boro para dar lugar a depósitos y yacimientos de interés económico está relacionada con la concurrencia de varios factores asociados como son: 1) Volcanismo; 2) Cuencas cerradas; 3) Clima semiárido; 4) Fuentes termales. El segmento centroandino contiene todos estos elementos. Por un lado, el arco volcánico principal que en algunos tramos sirve de divisoria a los países de la región. De dicho arco, nacen cadenas transversales que se dirigen hacia el Este y que están claramente identificadas en la Puna argentina. El plateau altoandino, está cerrado como una sola gran cuenca precisamente entre el arco volcánico principal y una cadena tectónica que lo acompaña paralelamente en su flanco oriental.

Esta cuenca altiplánico puneña altoandina está a su vez dividida en otras cuencas menores que se endorreizan ya sea por las cadenas volcánicas transversales, volcanes saltuarios o bloques tectónicos elevados internos. El clima es propio de una región a más de 3.800 m.s.n.m., que se encuentra limitada por una barrera orográfica que frena la entrada de los vientos húmedos, más precisamente los vientos húmedos atlánticos. Los vientos descargan gran parte de su humedad en las montañas orientales y pasan secos a la región altoandina que se convierte así en un desierto a la sombra de las lluvias. De todas maneras las precipitaciones pluviales y nivales, alcanzan para generar una semiaridez con agua suficiente para alimentar fuentes termales y cuerpos de tipo "playa-lake". Finalmente, las fuentes termales ubicadas en los bordes de los salares o en quebradas de los bloques montañosos laterales han sido las encargadas de transportar el boro, dando incluso lugar a ejemplos espectaculares de manantiales boratíferos (Coyahuaima, Arituzar o Arethusa, Alumbrio, etc.) incluso en algunos casos activos como ocurre con la fuente termal de Antuco (Olacapato, Salta) o el géiser de Chillicolpa (Tacna, Perú) (Alonso y Viramonte, 1985; Alonso, 1986; Alonso, 1999).

Edad de formación de los boratos

No existe todavía una cronología detallada que incorpore a todas las manifestaciones de boratos conocidas. Sin embargo puede decirse que los boratos se han formado en dos periodos principales: 1) Durante el Mioceno entre 7 y 5 Ma. y 2) Durante el Cuaternario (< 75 ka al presente). Se conocen boratos pleistocenos más antiguos como las terrazas del salar de Pastos Grandes datadas en 300 ka o las de la península de Los Negros en el salar del Hombre Muerto, cuyos sedimentos se apoyan sobre una ignimbrita de 2Ma. Lo importante es saber que hay dos pulsos máximos de formación boratífera y que se encuentran acotados en 6±1 Ma y en <10 ka. El primer pulso da lugar a la tipología de formación de los boratos interestratificados en rocas terciarias y el segundo a los boratos de salares (Alonso, et al., 1989; Alonso y Ruiz, 1997, Vandervoort et al., 1992, 1995).

El volcanismo al tiempo de la generación de los boratos

El primer pulso boratífero correspondería a la tercera etapa de volcanismo identificada por Allmendinger et al. (1997). De acuerdo con esos autores el Mioceno tardío (12-5 Ma) marca la iniciación de un intenso y voluminoso periodo de erupciones ignimbríticas que duraron hasta el Plioceno tardío (3-2 Ma). Extensas ignimbritas fueron erupcionadas desde los centros inmediatamente detrás del arco Frontal y a lo largo de las cadenas transversales de rumbo NW-SE que atraviesan el plateau. Las coladas de retroarco en el norte de la Puna-Altiplano se apoyan sobre la ampliamente reconocida superficie San Juan de Oro, la cual es posterior a la deformación miocena en la parte oriental del plateau (Sempere et al 1990). Particularmente espectaculares son los centros gigantescos entre los 21.5º y 23ºS extendidos a través del plateau sobre una región volcánicamente tranquila del Mioceno temprano (Coira et al 1993, de Silva 1989). De Silva (1989) asignó a estos centros al también llamado Complejo Volcánico Altiplano-Puna (APVC). Kay et al (1995) sugirieron que la erupción de esos centros se correlaciona con un marcado empinamiento de la zona de subducción en la Puna septentrional y el Altiplano austral, análogo a la "ignimbrite flare-up" del Oeste de los Estados Unidos. La adición magmática asociada con tal intenso volcanismo en esta región podría ayudar a explicar el extremo engrosamiento cortical inferido por los

estudios geofísicos de Zandt et al (1994). Gigantescas ignimbritas del Mioceno tardío-Plioceno fueron también erupcionadas fuera del APVC. Las más importantes fueron las erupciones de 8-6.5 Ma provenientes del Altiplano oriental y del Oeste de la Cordillera Oriental, así como las erupciones tempranas de la caldera del Cerro Galán (Sparks et al 1985) en el retroarco de la Puna austral cerca de los 26ºS. Complejos de calderas y estrato-volcánicos de retroarco también entraron en erupción durante ese tiempo (Coira et al 1993).

El segundo pulso boratífero correspondería a la cuarta etapa de volcanismo identificada por Allmendinger et al. (1997). Sostienen esos autores que el periodo más joven del magmatismo del plateau (0-3 Ma) está dominado por complejos dómicos-estratovolcánico de composición andesítica a dacítica y en menor grado por pequeñas tobas riodacíticas en el arco volcánico de la Cordillera Occidental, así como pequeños conos monogénicos máficos y coladas de fisura en el retroarco. Las más grandes coladas máficas, las cuales tienen un quimismo de tipo intraplaca, están concentradas sobre la moderna zona de silencio sísmico en la placa subductante, mientras que las coladas medianas que son calcoalcalinas ricas en potasio se hallan principalmente entre los 26º y 27ºS y desde alrededor de 25º a 23ºS. Pequeñas coladas shoshoníticas ocurren próximas al Lineamiento Calama-Olacapato-El Toro a los 24ºS y en el Altiplano. El único gran estratovolcán cuaternario de retroarco es el Cerro Tuzgle (dacítico a basáltico andesítico) en la parte más oriental de la Puna a los 24ºS (Coira y Kay 1993), y la única gran ignimbrita es la del cerro Galán (Plioceno tardío) de 1000 km3, en la Puna austral (Sparks et al 1985). El volumen de material volcánico Cuaternario es mucho menor que aquel proveniente de los centros Mioceno-Plioceno.

Principales depósitos y manifestaciones

Depósitos del Mioceno

a) Tincalayu

Se ubica en una península del interior del salar del Hombre Muerto en el límite de las provincias de Salta y Catamarca. Pertenece a los yacimientos de boratos de sodio. Se trata de un depósito de tincal que se apoya sobre un basamento de sal de roca y está cubierto por sedimentitas pelíticas rojas. Todo el conjunto está deformado disarmónicamente. Es el único yacimiento de tincal de los cuatro que se conocen en el mundo que está relacionado con halita. Existen facies de yeso-anhidritas hacia el Este que serían cambios laterales del tincal. La datación de una toba tomada en el cuerpo de tincal dio una edad de 5.86±0.14 Ma. Estaría asociado a la evolución del volcán Ratones, un complejo estratovolcánico mioceno muy erodado que se encuentra algunos kilómetros al noreste. Coladas de basalto pleistocenas lo cubren en su flanco occidental. Se explota mediante un open-pit. Sus reservas actuales ascienden a 700.000 toneladas de anhídrido bórico (Alonso y Gonzalez Barry, 1989).

b) Loma Blanca

Loma Blanca es un depósito de boratos, compuesto principalmente por inyoita, ulexita y tincal, de edad Mioceno, localizado en la Puna de Jujuy (departamento Susques). Se encuentra ubicado a

unos 10 km al sudoeste del pueblo de Coranzulí. Sus coordenadas geográficas aproximadas son: 23º 03' S y 66º 27' Oeste, y su altura es de unos 4.150 m.s.n.mar. Pertenece a las compañías PBA y S.R. Minerals (Barbados) Ltd. Las capas de boratos están intercaladas en sedimentitas que se correlacionan con la Fm. Sijes, la cual es la unidad litoestratigráfica portadora de boratos en la Puna. La secuencia boratífera se presenta en facies lacustres de tufitas finas, verde a grisáceas, de unos 30 m de espesor. En ellas ocurren unas 10 capas de boratos de 1 a 3 m de potencia. Los minerales de boratos (inyoita, ulexita, tincal, teruggita, colemanita), aparecen como nódulos o cristales crecidos singenéticamente en el depósito fangolítico. Una toba en la base de la secuencia con boratos arrojó una edad K Ar de 6.99 Ma. Las facies lacustres madres se extienden unos 2 km y luego gradúan lateralmente a facies fluviales. Puede reconocerse en el depósito una zonación mineralógica con el siguiente orden: inyoita-ulexita-tincal-ulexita-inyoita. En superficie los boratos están reemplazados por calcita pudiendo reconocerse perfectos pseudomorfos. El estudio sobre el origen del depósito revela un cuerpo salino evaporítico, formado en el Mioceno superior, en un clima árido con volcanismo activo próximo (Coyahuaima Coranzulí). Fuentes termales con aguas ricas en boro alimentaron una depresión fangosa sometida a fuerte evaporación lo que permitió el crecimiento de los cristales. Depósitos actuales similares corresponden a los salares Turi Lari, Lina Lari y Cauchari. Sobre la base de unos 5.000 m de sondajes pudo calcularse reservas globales de boratos del orden de los 20 millones de toneladas con una ley de 15% de anhídrido bórico. Se explota a cielo abierto (Alonso et al., 1988 a,b).

c) Sijes

Se ubica en la Puna de Salta, en el interior del salar de Pastos Grandes. Se trata de un distrito con varios depósitos y manifestaciones, que afloran a lo largo de una sierra de 30 km de longitud y que representa la mayor acumulación de boratos terciarios de América del Sur. Se presentan dos formaciones estratigráficas con numerosos miembros y que cubren un lapso cronológico entre 7 y 5 millones de años. La más antigua es la Fm. Pozuelos, formada mayormente por halita y que en su parte superior presenta niveles de ulexita e inyoita designados como Miembro El Zorro (Salim, 1997). Luego le sigue la Fm. Sijes que consta de cuatro miembros, designados en orden cronológico como: M. Ona (colemanita, ulexita, inyoita); M. Monte Amarillo (hidroboracita, inyoita); M. Monte Verde (colemanita, inyoita) y M. Esperanza (colemanita, hidroboracita) (Alonso, 1986; Rojas y Alonso, 1998 a,b) Las minas más importantes del distrito y que tienen explotaciones sistemáticas son las de Monte Amarillo, Monte Azul, Monte Verde, Santa Rosa, Esperanza (Borax Argentina S.A.) y Sol de Mañana (Ulex S.A.). Sus reservas se encuentran en el orden de las 7.500.000 de toneladas de anhídrido bórico. Una síntesis de este distrito corresponde a Alonso y Gonzalez Barry (1990).

Manifestaciones del Mioceno

d) Cauchari

Sobre la margen oriental del salar Cauchari se extienden importantes afloramientos de rocas terciarias neógenas, entre las cuales ha sido definida la Fm. Trinchera (Schawb, 1973). Esta formación presenta afinidades litológicas y cromáticas con la Fm. Sijes del área tipo, pero presenta edades radimétricas algo más antiguas (Schawb y Lippolt, 1974). La primera mención sobre

boratos (en este caso silicoboratos) corresponde a Gay et.al. (1972) quienes reportan el hallazgo de nódulos de howlita asociados con yeso en un lugar conocido como cerro Codo de Agua, aproximadamente en la parte centro oriental del salar. En el extremo nororiental del salar se encuentra una serranía conocida como cerro Negro u Overo. Está integrada por afloramientos de la Fm. Trinchera, principalmente limoarcilitas, areniscas y tufitas, de colores claros hasta rojizos, los cuales están cubiertos en discordancia angular por vulcanitas básicas. En la ladera occidental de la serranía se observaron potentes bancos de travertinos interestratificados. Algunos metros por encima de los travertinos se presenta una manifestación boratífera integrada por capas rítmicas de ulexita y finos niveles de colemanita (Alonso, 1986). La ulexita se intercala rítmicamente con limolitas en capas de 3 a 5 cm. La colemanita aparece junto con calcita, en agregados radiales o como pequeños cristales. Un análisis químico dio 48,36% de anhídrido bórico. El espesor de la zona mineralizada es de 1 a 1,5 m y la extensión longitudinal de unos 10 metros. Se trata de una manifestación lenticular en superficie. Perforaciones realizadas por Boroquímica Samicaf (hoy Borax Argentina S.A.) no detectaron la continuación areal de estos afloramientos. En la misma serranía se encuentran algunas otras venas transgresivas aisladas de ulexita y también ulexita diseminada en las sedimentitas.

e) Antofalla

El borde oriental del salar de Antofalla presenta extensos afloramientos de rocas neógenas que alcanzan su mejor expresión en la zona central y sur. Las litologías evaporíticas dominantes son halita y yeso. Se ha mencionado la presencia de ulexita (Alonso, 1986). Exploraciones llevadas a cabo por la empresa Borax Argentina S.A., habrían alumbrado acumulaciones de otros boratos pero la información es mantenida en reserva.

f) Morro Blanco

Se trata de afloramientos terciarios extensos que se encuentran a lo largo del río Grande de Coranzulí y al oeste del yacimiento de tincal de Loma Blanca. En un sector conocido como Punta Corral se encontraron niveles de colemanita nodular de alta ley. Están protegidos legalmente como mina Narciso de S.R. Minerals (Barbados) Ltd.

Salares

g) Salares de Argentina

La Puna Argentina tiene importantes yacimientos de ulexita en sus ambientes de salares, tomados estos últimos en sentido amplio ya que incluyen a numerosos sistemas de cuencas formados en un régimen endorreico. La ulexita se presenta en el relleno superficial de los salares, en mantos macizos ("barra") o formados por nódulos conocidos como "papas" (Alonso y Gutierrez, 1984). El espesor del mineral varía entre 0,10 cm hasta 1,50 m y su explotación se realiza en forma manual hasta semimecanizada. Se utiliza principalmente para la fabricación de ácido bórico y también como ulexita fundida conocidas comercialmente como "boroglass" y "fritabor". Los

salares que se explotan actualmente son los de Hombre Muerto (empresa Renaud), Ratones (Viento Blanco SA), Diablillos y Centenario (Norquímica S.A.), Cauchari (Viento Blanco SA, Borax Argentina SA y otras) y Olaroz. Otros salares con boratos son Pastos Grandes, Pozuelos, Rincón, Salinas Grandes, Guayatayoc, Jama y Vilama. En algunos se explota bórax o tincal que aparece en evapocristales crecidos en el fango salino tal como ocurre en Turi Lari (Viento Blanco SA) y en Cauchari (empresa Román). Referencias sobre salares de la Puna Argentina pueden encontrarse en Catalano (1926, 1964 a,b), Igarzábal (1979, 1982, 1984), Igarzábal y Poppi (1980), Schalamuck et al. (1983); Sureda et al (1986), de los Hoyos (1992,1994).

h) Salares de Bolivia

En Bolivia solo se conoce ulexita de salares, esto es carecen de cualquier otro tipo de boratos tanto de salares como néogenos. La producción básica boliviana está constituida por: a) Ulexita natural (28-30 % de anhídrido bórico) y b) Ulexita tostada (36-40 % de anhídrido bórico). La producción de ulexita tostada está muy resistida por el uso intensivo e indiscriminado de la yareta, una planta del altiplano que se usa como combustible y cuya destrucción genera un fuerte problema de impacto ambiental. Se explota ulexita natural en: salar de Rio Grande; salar de Capina; salar de Pastos Grandes; salar de Challviri; salar de Llipi Llipi; salar de Chiguana; salar de Laguán. Según investigadores bolivianos las reservas de ulexita en esos salares asciende a unas 20 millones de toneladas de mineral en bruto. Las empresas que producen ulexita tostada son: a) Empresa Tierra SA, localizada en Capina y Julaca, con hornos rústicos y capacidad instalada de 500 tn/mes de ulexita entre 36-40% B_2O_3; b) Empresa Gumpet Ltda, localizada en Uyuni, con hornos rústicos y un horno rotativo con capacidad instalada de 150 tn/mes de ulexita de 36% de B_2O_3; c) Empresa Kellguani SA (EMUSA), localizada en Uyuni, con hornos rústicos y un horno rotativo con capacidad instalada de 200 tn/mes de ulexita de 36-40% de B_2O_3; d) Empresa Uyuni, localizada en Uyuni, con hornos rústicos, con capacidad instalada de 200 tn/mes de ulexita de 36% de B_2O_3; e) Empresa Herrera Hnos., localizada en Santa Cruz de la Sierra, con hornos de tostación a gas natural (estaba en montaje hace algunos años y se desconoce su capacidad, etc.) y f) Empresa Barrero, localizada en Challviri, con hornos rústicos. La fabricación del ácido bórico se realiza a menor escala y bajo permanente vigilancia a causa del uso del ácido sulfúrico el que genera problemas de incompatibilidad en cuanto también es utilizado para la droga. La fabricación de bórax (Bx decahidratado) es artesanal y sin mayor relevancia. Funcionaban dos pequeñas plantas en Oruro (Empresas Zavala-Pizarro y Corban). Puede consultarse Ballivián y Risacher (1981).

i) Salares de Chile

En Chile sólo se conocen depósitos de ulexita en salares de la región altoandina, en la depresión de Atacama-Punta Negra y en la depresión central o Pampa del Tamarugal. Entre los salares con boratos del ambiente andino se tienen Cosapiya, Chilcaya, Ollague, Carcote, Ascotán-San Martín, Zenobia, Dioloque, Surire, Quisquiro o Loyoques, , Aguas Calientes Norte, Aguas Calientes Sur, Pajonales, Aguas Amargas, De la Isla, Aguilar, Infieles, Lagunas Bravas, y Maricunga. Entre los preandinos están Atacama, Punta Negra y Pedernales; y en la Depresión Central la cuenca de Bellavista-Pintados. Los principales trabajos sobre los boratos de Chile corresponden a Chong (1971, 1984, 1987, 1988); Chong y Pueyo Mur (en prensa) y Vila (1990). De acuerdo con los

investigadores chilenos existen grandes reservas de ulexita en Chile, estimadas en cerca de 20 millones de toneladas con un contenido medio de 25% de anhídrido bórico. Los salares de mayor importancia son los de Surire y Ascotán. A los fines de un marco de referencia sobre empresas se transcribe el informe de Donoso y Theune (1992) presentado en la Expomin '92. Según ellos las principales empresas procesadoras de ulexita son: a) Quiborax: La Compañía Química e Industrial del Bórax opera el yacimiento de ulexita en el salar de Surire desde 1985, explotando en 1988 unas 30.000 TM de mineral. La empresa dispone de una planta de procesamiento ubicada a 70 km al interior de Arica. En la actualidad, Quiborax es el principal productor nacional de derivados de boro. En 1991 procesó cerca de 85.000 TM de ulexita. Además cuenta con una planta para producir ácido bórico de alta pureza (98 - 99,9%) con una capacidad de 35.000 tpa. Esto convierte a la empresa en el principal productor sudamericano de este producto e inclusive uno de importancia a escala mundial. La planta se ha venido ampliando desde una capacidad inicial de 6.000 tpa en 1987 hasta 35.000 tpa en la actualidad. Se estima que la empresa ha invertido cerca de US$ 10 múllones en este proceso, que incluye plantas de lavado, secado, obtención de agua por osmosis inversa y ampliación de la capacidad de producción de ácido; b) Minera del Boro: Esta empresa procesa cantidades menores de ulexita proveniente de los salares de Pintados, Cariquinoa, Llamará y Ascotán. Su planta para producir ácido bórico se ubica en Alto Hospicio, cerca de Iquique, en la I Región, y tiene una capacidad de 1.800 tpa; c) Minera Ascotán: La compañía produce cerca de 10.000 tpa de ulexita desde el Salar de Ascotán, en la II Región. El producto es comercializado en Chile, fundamentalmente para abastecer la planta de Boroquímica en Santiago y para usos agrícolas diversos; d) Sociedad Boroquimica Ltda. La empresa compra ulexita a la Minera Ascotán y fabrica pequeñas cantidades de bórax (1.000 tpa) y de ácido bórico; e) Oxychem: En 1990 puso en marcha una planta con una capacidad instalada de 4.000 tpa de ácido bórico de alta pureza. Las materias primas son ulexitas obtenidas de salares ubicados en la alta cordillera de la zona de Taltal, y ácido clorhídrico de una instalación electrolítica de la misma empresa. Las inversiones en la planta de ácido bórico fueron del orden de US$ 2 millones. La planta no ha llegado aún a producir a plena capacidad. En resumen, en 1988 se producían en Chile cerca de 33.000 TM de ulexita y 14.000 TM de ácido bórico, exportándose 11.920 TM de las primeras y 11.785 TM de ácido; la gran mayoría fue comercializada por Quiborax. Actualmente se producen casi 100.000 tpa de ulexita y 23.000 tpa de ácido bórico (1991), exportándose 7.545 TM de la primera y 20.298 TM del segundo. Quiborax mantiene su liderazgo en este rubro.

j) Salares de Perú

En Perú se conoce un solo salar con boratos: Laguna Salinas en Arequipa. Laguna Salinas es el depósito de boratos más septentrional de la Provincia Boratífera Centroandina. Se trata de una cuenca endorreica intervolcánica (rodeada en más de un 90% de aparatos volcánicos y sus productos), en un medio ambiente árido. El borato predominante es ulexita con cantidades reducidas de inyoita. Se trataría del mayor depósito de ulexita de salar de América del Sur, con espesores de hasta 2,5 m de mineral y un área con borato comprobado de 2.800 hectáreas. Con un promedio de 0,75 m de potencia y un peso específico de 1,45 el yacimiento alcanza unas 30 millones de toneladas de mineral in situ. Sin embargo ese tonelaje debe ser corregido a mineral seco con lo cual se reduce en un 40%. Inyoita es importante desde el punto de vista genético ya que es una de las pocas ocurrencias en ambientes evaporíticos actuales. Otras sales importantes asociadas son sulfato de sodio (mirabilita) y sal común (halita), esta última como fuente de provisión regional. El yacimiento pertenece a Inka-Bor (subsidiaria del Grupo Bitossi de Italia). La Compañía

Minera Ubinas S.A., que es la rama minera de Inka-Bor, es concesionaria de las siguientes pertenencias: Martha Patricia, Fermín, Bórax I, Carlos Edmundo, Milagros Adela, Amigos, Amigos 2, Amigos 3, Amigos 4, Amigos 7 y Bórax que cubren un área aproximada de 6.000 hectáreas. De ese total permanecen sin explorar 1.600 Has de la pertenencia Amigos 7, donde se ha visto que el mineral se encuentra muy profundo (más de 2,5 m) pero con importantes espesores. También debe descontarse una zona permanentemente inundada de 900 hectáreas. Se ha comprobado la presencia efectiva de mineral en 2.800 Has con espesores que fluctúan desde 0,20 m a 2,50 m. Espesores menores a 0,20 m no se han considerado en los cálculos. El espesor promedio general del yacimiento, tomando en cuenta los dos horizontes ("A" = nódulos y "B" = macizo) es de 0,75 metros. Si bien la empresa cuenta con un detallado estudio de reservas, de concesión por concesión, tanto de mineral probado, como probable y posible se dan aquí los números generales a partir de la superficie efectiva de mineral comprobado (2.800 Has), espesor medio (0,75 m) y peso específico de mena húmeda in situ (1,40). Sobre la base de esto se tiene un total aproximado de 29.400.000 toneladas. Dado que el mineral tiene una humedad promedio in situ del orden del 40% , el volumen real de ulexita en base seca es de 17.640.000 toneladas. Las leyes recalculadas en base seca han resultado en promedio de 24% de B_2O_3 para el horizonte nodular ("A") y 30% de B_2O_3 para el horizonte macizo ("B"), lo que hace una ley promedio general para el yacimiento de 27% de B_2O_3. Todavía queda por evaluarse como mineral posible o prospectivo las 1600 Has de la pertenencia Amigos 7, con lo cual el yacimiento podría superar fácilmente los 20 millones de toneladas. Un trabajo de síntesis sobre este yacimiento corresponde a Alonso (1996).

En conclusión puede decirse que el ambiente concurrente de volcanes, salares y clima árido fue un marco propicio para la generación de los boratos junto a numerosas materias minerales no metálicas de interés industrial. La lejanía a vías de comunicación y la falta de infraestructura hace que muchas de ellas no puedan ser aprovechadas. El flete y la falta de energía son factores limitantes graves al desarrollo de la minería altoandina para los cuatro países involucrados. Sin embargo algunas sustancias, por su valor intrínseco, pueden ser aprovechadas a pesar de todas las situaciones negativas tal el caso de los boratos y las salmueras de litio. El potencial para nuevos descubrimientos sigue latente sobre todo en los depósitos de los salares del Mioceno donde podrían aún encontrarse ocultas valiosas evaporitas fósiles, entre ellos los boratos.

Agradecimientos

El presente trabajo se enmarca en los proyectos de investigación que el suscrito desarrolla en el CONICET y en el CIUNSa. En primer término deseo agradecer especialmente al Ing. Hugo Nielson y al Dr. Roberto Sarudiansky por la invitación a participar de este libro sobre los agrominerales. Agradezco también el aporte técnico de los geólogos Ricardo Battaglia, Enrique Ganám y Alfredo Castillo, así como también del personal de la Secretaría de Minería y Recursos Energéticos de Salta. Hago extensivo mi agradecimiento al Geól. Raúl Gutiérrez de Bórax Argentina SA, Farid Salim de PBA SA, Guillermo Chong de la Universidad de Norte (Antofagasta, Chile), Teresa Jordan de Cornell University y Mario Pepi y José González de CMU/Inka-Bor, por el fructífero intercambio de opiniones. También al Dr. Ricardo Sureda y a las geólogas Dra. Teresita Ruiz y Alicia Quiroga, partícipes con el autor de distintos trabajos y proyectos sobre el tema de los boratos en la Universidad Nacional de Salta.

Panorama de Mercado de Boratos

Natacha Izquierdo González[1]

La producción mundial en el 2003 fue de aproximadamente 4.8 millones de toneladas, liderada

por Turquía (29%), Estados Unidos (23%) y Rusia (21%). Latinoamérica produce el 22.06% del total mundial, teniendo como principales responsables a Argentina (11.35%) y Chile (10.42%), aunque también se registran producciones en Bolivia y Perú.

El consumo mundial de boratos está liderado por la industria de fibras aislantes, detergentes y esmaltes y fritas. El uso como nutriente en agricultura sólo absorbe entre el 2-5% de la demanda mundial, pero en los últimos años ha mostrado un paulatino aumento en los volúmenes de consumo.

El comercio exterior de este producto está altamente desarrollado debido a la concentración en su producción. Europa no posee depósitos de boratos pero es un importante consumidor de boratos. En Latinoamérica los principales importadores de boratos son Brasil, México, Colombia y Venezuela con origen en Estados Unidos y Argentina.

En general, la oferta está en manos de grandes y medianas empresas, en muchos casos integradas verticalmente hacia delante con industrias productoras de fritas o cerámicas que satisfacen el mercado interno y de exportación de boratos y productos semielaborados y terminados. No se da el caso en fertilizantes, ya que este es un uso menor.

Argentina

En 2003, Argentina fue el principal productor a nivel de Latinoamérica, con 545.000 toneladas localizadas en las provincias de Jujuy (55%) y Salta (45%). Dicha producción se obtiene de depósitos de ulexita o boronatrocalcita asociada a las playas salinas modernas de los salares ubicados en la Puna Argentina y de los clásicos boratos duros (tincal, colemanita, hidroboracita e inyoita), y paralelamente una fuerte inversión para la elaboración industrial de ulexita peletizada, calcinada, vidriada o fritas, ácido bórico y otros productos exportables.

La ulexita común tratada industrialmente tiene fundamentalmente dos mercados: la industria cerámica que compra la ulexita anhidra, vitrificada o "frita" y la industria agraria que usa a los boratos como fertilizantes. Se estima una proporción del orden del 85% para ventas de exportación y 15% para ventas en el mercado interno.

Las fritas o Ulexita anhidra, tiene exigencias de especificaciones, especialmente en cuanto al contenido mínimo de boro y al contenido máximo de hierro, ya que se trata de una materia prima para un proceso industrial.

Para el uso agrícola, en cambio, la ulexita en la mayoría de los casos, es suficientemente buena como portadora del boro, aunque debe tenerse en cuenta el factor solubilidad una vez incorporada al suelo o a las aguas de riego o fertilización. Esta solubilidad para la ulexita cruda o en bruto no es suficientemente buena.
En efecto, al agricultor le interesa el contenido de boro de la ulexita que efectivamente llega a su tierra de la manera más económica posible. Por lo tanto, los factores claves a tener en cuenta son: contenido de B_2O_3 de la ulexita; su precio final y su forma de presentación física o agregados químicos o físicos que mejoren la solubilidad.

[1] *Centro de Estudios para la Sustentabilidad - Universidad Nacional de San Martín*

Para optimizar el costo final del boro agregado a los suelos, se busca un equilibrio entre costo de flete y el costo de procesamiento y además se trata de mejorar la facilidad y eficacia de distribución del borato en los suelos. Ambas condiciones las cumplen de distintas formas la ulexita calcinada y el boro granulado.
El 15% de la producción se destina a la exportación, de productos tales como: ácido bórico, bórax anhidro, bórax tetrahidratado, bórax pentahidratado, perntaborato de sodio, octoborato de sodio, ulexita, ulexita anhidra, colemanita e hidroboracita.

El principal destino de nuestras exportaciones es Brasil, demandando boratos en sus diversas formas, y ulexita identificada con destino a fertilizantes, también se realizan exportaciones a otros países latinoamericanos como Uruguay, Chile, Perú, Ecuador, Colombia, Venezuela, Costa Rica y Guatemala.

A nivel local, el uso de boratos en fertilizantes no supera el 2% de la demanda total. Hasta el momento, el uso de micronutrientes no es una práctica generalizada.

Los principales productores de boratos son: BORAX ARGENTINA SA, PBA SA., ULEX SA., VIENTO BLANCO SRL., MINERA SANTA RITA, MARIO ANGEL BLAS, FERNÁNDEZ C - FERNÁNDEZ A., CIA MINERA GAVENDA SA., COOP DE BORATEROS LOAROS CHICO, GEO ANDINA SRL.

Chile

Los recursos de boro de Chile se ubican, en su totalidad, en la zona norte del país, principalmente en las cuencas evaporíticas conocidas como salares y están relacionados genéticamente con la actividad volcánica del Terciario Superior-Cuaternario. Los yacimientos de mayor importancia económica se encuentran en los Salares Andinos del Altiplano entre los que destacan Surire, Ascotán, Aguas Calientes Norte, Quisquiro, Aguas Calientes Sur, Pedernales y Maricunga. Es probable que otras cuencas andinas posean estos recursos, pero sus reservas no han sido evaluadas.

El único mineral de recuperación económica conocido en Chile es la ulexita, un borato doble de Na y Ca, mientras que otros minerales han sido descritos sólo ocasionalmente. La producción de boratos (ulexita) en el 2003 fue de 400 mil toneladas, localizada en la I y II Región. La misma experimentó una caída del 7.6% respecto al año anterior. Una de las empresas productoras es QUIBORAX Ltda.

Latinoamérica

Además de Argentina y Chile también se registra producción de boratos en Bolivia y Perú. Desde el punto de vista del consumo, Brasil es un destacado consumidor de boratos para agricultura. El uso de boratos en el agro como micronutriente, todavía no es una práctica común ya sea por falta de necesidad del suelo de este componente como por cuestiones culturales. La aplicación de boratos no supera el 1% dentro de su estructura de demanda en la mayoría de los países latinoamericanos.

Nitratos

Corina Franzosi1 y Santiago Montagna[1]

Introducción

En el presente capítulo se hace una breve síntesis en base a la recopilación de información proveniente de diversas fuentes con el fin de enmarcar brevemente el valor de los nitratos como minerales de importancia en la industria de los fertilizantes. Dentro de este enfoque, se hace referencia aquí de sus usos, su origen, historia y evolución dentro de un marco científico y económico a lo largo del tiempo
Los nitratos y su importancia

Los nitratos son sales compuestas por uno o más átomos de algún metal y el radical NO_3. Si bien su uso es variado, el presente texto se centrará en su aplicación como fertilizante como importante fuente de nitrógeno para la nutrición de cultivos.

El nitrógeno es uno de los nutrientes principales y vitales para todo ser vivo ya que sin él no podría llevarse a cabo la síntesis y conformación estructural de moléculas orgánicas esenciales tales como proteínas, ácidos nucleicos y ADN.

A pesar de su importancia para la vida, la mayor reserva natural de nitrógeno en la naturaleza se encuentra dentro de la atmósfera constituyendo el 78 % del aire, la cual no está disponible para ser consumida en forma directa por la mayoría de los organismos. Son muy pocos los organismos capaces de absorber nitrógeno directamente de este medio y utilizarlo en sus procesos; y, son ellos los encargados de captar este nutriente y cederlo al suelo para luego ser consumido por los demás organismos.

Los únicos seres capaces de adquirir el nitrógeno directamente del aire son las algas y algunas bacterias y plantas leguminosas las cuales hacen asociaciones simbióticas con algunas de estas bacterias específicas tomando así nitrógeno de la atmósfera. Gracias a estos organismos que transforman al nitrógeno en compuestos de nitrógeno (nitratos y amonio) solubles en agua, este elemento puede introducirse al suelo desde la atmósfera para luego ser captado por los demás organismos. De esta manera, estas bacterias y algas específicas juegan un papel clave en la fijación de nitrógeno y, en la nutrición del resto de los organismos permitiendo así el desarrollo de la vida en la tierra tal cual la conocemos hoy.

Una vez que el nitrógeno se encuentra disponible en el suelo, es asimilado por las plantas por lo tanto como estas son el alimento de una gran parte del reino animal, se constituirán en la fuente de nitrógeno para los animales que las consuman; y, a su vez estos serán fuente de nitrógeno para aquellos animales carnívoros de los que son presa. De esta manera el nitrógeno va siguiendo un ciclo en la naturaleza.

Otra forma en que el nitrógeno entra al suelo es a través de la descomposición de las excreciones y restos de todos estos organismos que se han mencionado y que hacen uso de él en su ciclo de vida.

Una tercera opción para el ingreso natural de nitrato al ciclo es a través del nitrato inorgánico presente en algunos minerales.

[1]*Departamento Ciencias Geológicas Facultad de Ciencias Exactas y Naturales Universidad de Buenos Aires - cfranzosi@yahoo.com.ar; jsmontagna@yahoo.com.ar*

Pero, ¿cómo regresa el nitrógeno a la atmósfera? ¿Cómo se cierra el ciclo de nitrógeno? Así como existen bacterias que obtienen nitrógeno de la atmósfera hay otras que se llaman bacterias desnitrificantes las cuales obtienen nitrógeno del suelo y se lo ceden a la atmósfera. Al revés que las bacterias nitrificantes estas bacterias convierten a los compuestos de nitrógeno en N_2. De esta manera el nitrógeno regresa a la atmósfera y el ciclo vuelve a comenzar. (Figura VII-7).

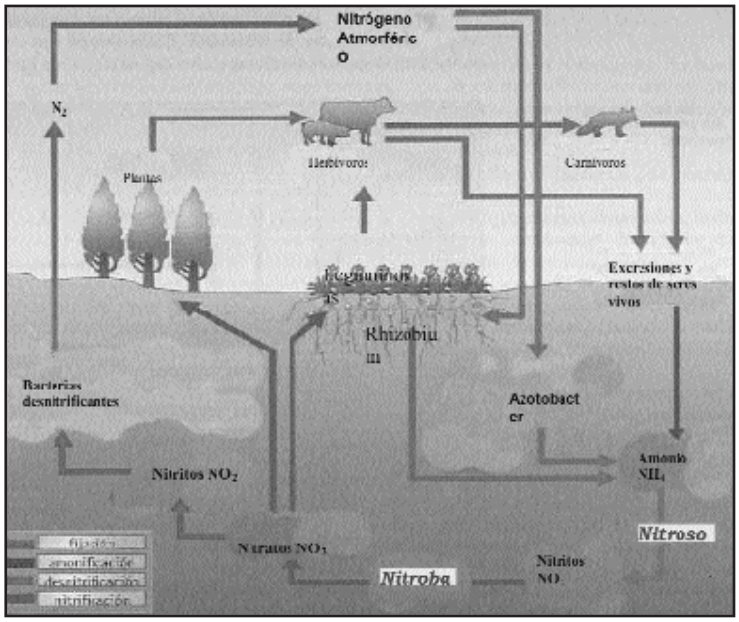


Figura VII-7. Ciclo del Nitrógeno. Libro electrónico: Ciencias de la Tierra y Medio Ambiente http://www.esi.unav.es/asignaturas/ecologia/Hipertexto/04Ecosis/135Cicn.htm

A pesar de este ciclo y su balance natural, generalmente se ha observado que existe una escasez de nitrógeno en el suelo. El término escasez se utiliza con en el sentido de que hay muchos suelos destinados a la agricultura que no cuentan con la suficiente cantidad de nitrógeno necesarios para los volúmenes de producción de cultivos a los que son sometidos. Esta escasez fue agudizándose cada vez más con la creciente demanda de alimento a la que e enfrenta la población mundial no sólo por su fuerte crecimiento el cual ha llevado a varias regiones a estar superpobladas sino también por una mala y no equitativa distribución del alimento. De manera tal que fue necesario encontrar una forma artificial de suministro de nitrógeno a los suelos que carecían de él. Así fue que comenzó la implementación de fertilizantes de nitrógeno sobre estos suelos. Esta práctica inicialmente se llevó acabo a través de nitratos naturales (salitre) y años más tarde a través del uso de los fertilizantes sintéticos.

Una deficiencia en nitrógeno no sólo generará alimentos de baja calidad nutricional sino que

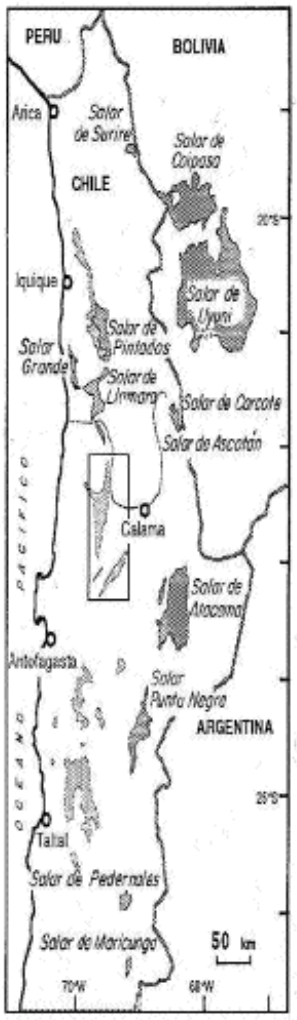


FIGURA VII-8. Mapa general de distribución de las mineralizaciones de nitrato (salitreras) en el norte de Chile. Revista geológica de Chile vol.25, n°1, Santiago Julio de 1998

provocará una debilitación en las plantas las cuales estarán más susceptibles a cualquier tipo de enfermedad y epidemia. De manera que no sólo la calidad se verá afectada sino que la producción de alimento puede verse gravemente perjudicada derivando en una gran perdida de cosechas y en consecuencia de grandes sumas de dinero para las compañías agrícolas. De allí la importancia de las sales de nitratos como suplementos de nitrógeno.

El salitre y el caliche

Salitre. Salitre, es el término genérico utilizado para hacer referencia a las sales de ácido nítrico sólidas, solubles en agua, fácilmente cristalizables que poseen propiedades fertilizantes (Maurice Le-Fort Rudloff, 2001). Este término proviene del catalán "salitre" y; éste, del latín "sal nitrum" de la época de Raimundo Lulio quien desfiguró el término "sal pétrea" utilizado anteriormente por Marcus Grecus en el siglo VIII.

Caliche. El mineral del cual se extrae el salitre localmente recibe el nombre de "caliche"; término proveniente del lenguaje quechua en que "cachi" que significa sal, luego fue desfigurado a "calchi" para finalmente tomar la forma de "caliche" (Maurice Le-Fort Rudloff, 2001).

Los mayores reservorios de nitrato en el mundo se encuentran dentro del árido desierto en el norte de Chile en las regiones de Atacama, Antofagasta y Tarapacá entre las latitudes 19ºS y 26ºS aproximadamente donde se encuentran Zapiga y Antofagasta respectivamente y, entre las longitudes 69º30'W y 70º30'W. Los mismo se encuentran dispuestos en una delgada franja de unas cuantas decenas de Km. de ancho que pueden alcanzar los 30 a 50 km y una longitud de aproximadamente 700 Km. de rumbo norte-sur. Contenidos en esta franja se hallan los yacimientos de caliche distribuidos en forma irregular. Entre los más destacados, se encuentran el de Pedro de Valdivia, María Elena, el Salar de Atacama y el Salar de Llamará junto con el Salar de Pampa Blanca entre otros dentro de los cuales varios como el de Pedro de Valdivia se encuentran ahora fuera de explotación (Figura VII-8).

Descubrimiento y Explotación del Salitre

El descubrimiento y explotación del salitre se remontan al período pre-hispánico. El caliche o mineral de nitrato era utilizado por los incas, coyas y atacameños como fertilizantes agrícolas en las zonas de Antofagasta (Chile) y Tarapacá (Perú).

Sin embargo, no fue hasta mediados del siglo XVII que los españoles conocieron el salitre de Tarapacá y es así que para principios del siglo XVIII los mineros de Huntajaya aprovechaban este mineral para producir pólvora negra utilizada en las mismas minas. Es así que la industria del salitre, vinculada a la confección de pólvora, se expande a través de toda la provincia de la mano de Felipe Hidalgo.

A comienzos del siglo XIX se descubren grandes yacimientos de dicho mineral al norte de la provincia en Zapiga, Pampa Negra y Negreiros. Así mediante el procedimiento descubierto por el alemán Tadeo Haenke se consiguió convertir el nitrato de sodio en nitrato de potasio, con lo cual se genera la primera comercialización del caliche, destinado de Tarapacá (Perú) a Talcahuano. (Ministerio de Minería y Sociedad Nacional de Minería, 1966).

Recién en 1821 se da a conocer el salitre en Europa y, consecuentemente, años después en 1828-1830 el gobierno del Perú firma el primer decreto que autoriza la exportación del salitre por el puerto de Iquique. Por lo tanto, comienza a desarrollarse la exportación del caliche a Europa y Estados Unidos, generando un gran crecimiento alrededor de dicha industria. La misma continúa en franco ascenso varias decenas de años más, estando dicho crecimiento vinculado a los siguientes factores: el descubrimiento de nuevos yacimientos de salitre el descubrimiento de procesos más efectivos para convertir el salitre sódico en potásico nuevos estudios sobre el beneficio de la utilización de este mineral como abono y fertilizante para la producción agrícola la creación de empresas salitreras destinadas a la explotación del mineral su tratamiento para los diferentes fines la evolución en la confección de mapas de las zonas salitreras.

Debido a su ubicación cercana al límite entre Chile y Bolivia, se sucedieron varias crisis en la industria salitrera debido a conflictos de soberanía y jurisprudencia de ambas naciones sobre dichos yacimientos. Sin embargo, la gran crisis de esta industria vino de la mano de la producción de fertilizantes nitrogenados sintéticos que comenzó a desarrollarse en 1930 luego de que en 1910 en Alemania se logrará la síntesis del amoníaco en forma artificial, lo que cambiará notablemente el mercado histórico casi monopólico de este fertilizante.

Por muchos años, Chile fue el mayor productor de fertilizantes nitrogenados en el mundo; sin embargo, en el presente su presencia como productor de dicho fertilizante se ha desvanecido considerablemente como consecuencia de la generación y producción industrial de fertilizantes nitrogenados artificiales, los cuales fueron posibles gracias al proceso de síntesis artificial e industrial de NH3 a partir de N del aire desarrollado por Haber y Bosch. De esta manera, puso a disposición una fuente inagotable de fertilizantes nitrogenados

Fue en 1910, en Alemania, donde se descubrió la forma de lograr la síntesis de amoniaco en forma artificial y a niveles industriales. Es así que en los años posteriores, se desarrolló la industria de los fertilizantes nitrogenados sintéticos, lo cuales consideraban un costo de producción mucho menor y una eficiencia mucho mayor que su par natural. La industria salitrera no pudo recuperarse de dicha crisis hasta 1988 en que las industrias salitreras de Chile fueron privatizadas evitando así no sólo el colapso de la industria sino una modernización e inversiones que permitieron que la industria creciera a tal punto que en la actualidad reocupará una posición de presencia e importancia mundial.

Yacimientos de Nitratos

Como ya ha sido establecido anteriormente, los mayores yacimientos de nitratos del mundo se encuentran en la región desértica del norte de Chile (Figura VII-8). Dichos yacimientos fueron clasificados por Ericksen (1981) en dos tipos según fueran emplazados en roca o, en depósitos aluviales a lo cual deben sus denominaciones de "yacimientos en roca" y "yacimientos en depósitos aluviales (o sedimentarios)" respectivamente.

Los primeros, se caracterizan porque los minerales de mena se encuentran en sistemas de fracturas abiertas pudiendo tener localmente altas concentraciones de cloruro y nitrato de sodio (caliche blanco). En cuanto a los segundos, a diferencia de los primeros, los minerales de mena se encuentran rellenando porosidades de menor tamaño que en los yacimientos de roca, ya sean espacios por fractura o de origen sedimentario, en sedimentos terrígenos, siendo la porosidad sedimentaria o de alteración del orden de milímetros o menor. Así, su mena es de color pardo oscuro y recibe el nombre de "caliche negro". Ambos yacimientos pueden encontrarse separados o asociados uno al otro.

El origen de estos yacimientos fue siempre muy controversial, postulándose así diversas teorías al respecto. Algunas de éstas planteaban que su origen se debía a la presencia de algas marinas; otros creían que estas sales se generaban por la fijación del nitrógeno atmosférico mediante la actividad de ciertas bacterias nitrificantes o bien a partir de plantas en lagos de agua dulce, empleando anhídrido carbónico de la atmósfera derivado del guano fósil, de la concentración de nieblas marinas mientras que otras corrientes, relacionaban el origen de estos yacimiento con el termalismo y vulcanismo, entre otras especulaciones. Si bien se han realizado varios estudios mineralógicos y químicos de la mena de nitrato, no se han llevado a cabo análisis petrográficos ni geoquímicos tanto de la mena como de las rocas de caja, lo cual permitiría obtener una interpretación más confiable de los procesos que derivaron en la precipitación de las sales que dieron lugar a los yacimientos como así también, a la procedencia de las salmueras. Es decir, que ninguna de estas teorías cuenta con algún tipo de sustento geológico en lo que respecta al medio ambiente, rocas mineralizadas y emplazamiento de los yacimientos que le den sustento a sus aseveraciones. Sin embargo, la teoría que al presente es la más aceptada es aquella que relaciona a los depósitos de nitratos con la actividad volcánica-magmática del Terciario, la cual se ve resumida en los esquemas de la Figura VII-9 (Maurice Le-Fort Rudloff, 2001).

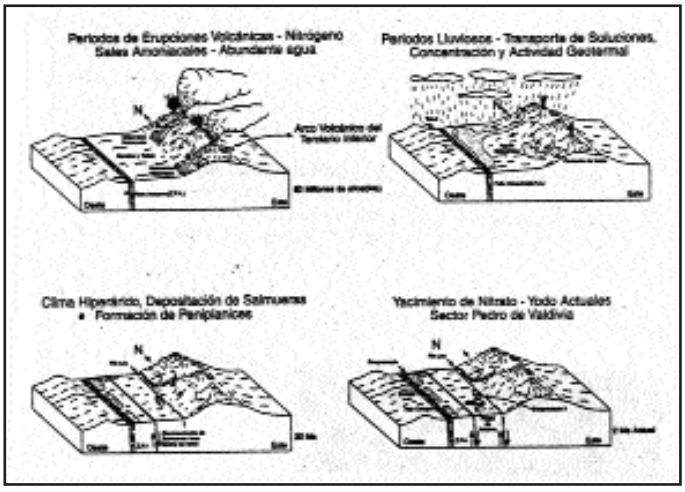


Figura VII-9 Esquema genético. Yacimientos de nitrato y yodo. Agenda del Salitre, 2001. (SOQUIMICH SA).

Asimismo, pero de menor importancia tanto volumétrica como por su extensión, existen pequeños yacimientos de nitrato de potasio en otros lugares del mundo como son la India, China y Egipto. En ellos las sales presentan diversos

grados de pureza y definitivamente son de muy escaso interés comercial.

Explotación y producción

En principio se hacen estudios de reconocimiento y prospección de las áreas salitrales de manera de poder definir las zonas de mayor interés económico que luego serán explotadas y que se denominan "canteras". Una vez superada esta etapa preliminar, se procede a la elaboración de lo planes de producción y explotación correspondientes. Como consecuencia de la gran extensión de las áreas a explotar el trabajo se organiza mediante una delimitación de las áreas a tratar las cuales reciben la denominación de "manchas" ya que conforman como una zona de parches.

En cuanto a su composición interna los "mantos calichosos" están conformados por varios estratos entre los cuales se hallan: una capa de mineral estéril blando, no consolidado; otra de material estéril duro, la cual puede o no estar presente; una capa de caliche; y otra subyacente que es todo lo que se encuentra por debajo de la capa de caliche

De acuerdo a esta distribución y al reconocimiento de las distintas capas se procede a extraer el mineral estéril para posteriormente volcarse a la explotación del caliche que es el mineral de mena en cuestión.

Producción de nitratos

Las operaciones unitarias actuales consisten principalmente en un proceso de molienda (en las oficinas de Pedro de Valdivia y María Helena) en donde se trabajan unas 50 mil toneladas separando el material fino de la granza. A través de un proceso de transporte con correas, el material fino se mezcla con agua, obteniéndose una solución de nitrato a la forma de pulpa, la que es bombeada para permitir la decantación de los sólidos y dejar en superficie un líquido claro que contiene nitratos y yodo.

Luego este material, sufre un proceso de lixiviación en bateas que considera tres etapas: 1) lixiviación de nitrato del caliche (de cabeza), con agregación de solución de retorno de cristalización a temperatura de 48º C con circulación por 20 horas, 2) desplazamiento de la solución fuerte a cristalización y 3) lavado o cola de estruje.

La solución fuerte desde 41ºC es enfriada a 12º C mediante intercambiadores de tubos y empleo de estanques refrigeradores en base a amoníaco. Luego, parte del material cristaliza y la suspensión es separada mediante espesadores y centrífugas. Como la sal húmeda forma conglomerados, se efectúa un proceso de prilado con un procedimiento de fundición, ya sea de nitrato de potasio o sódico con calentadores a petróleo. El fundido se bombea a una torre de prilado. Las gotitas a caer y enfriarse en su trayectoria forman los priles. (Figura VII-10).

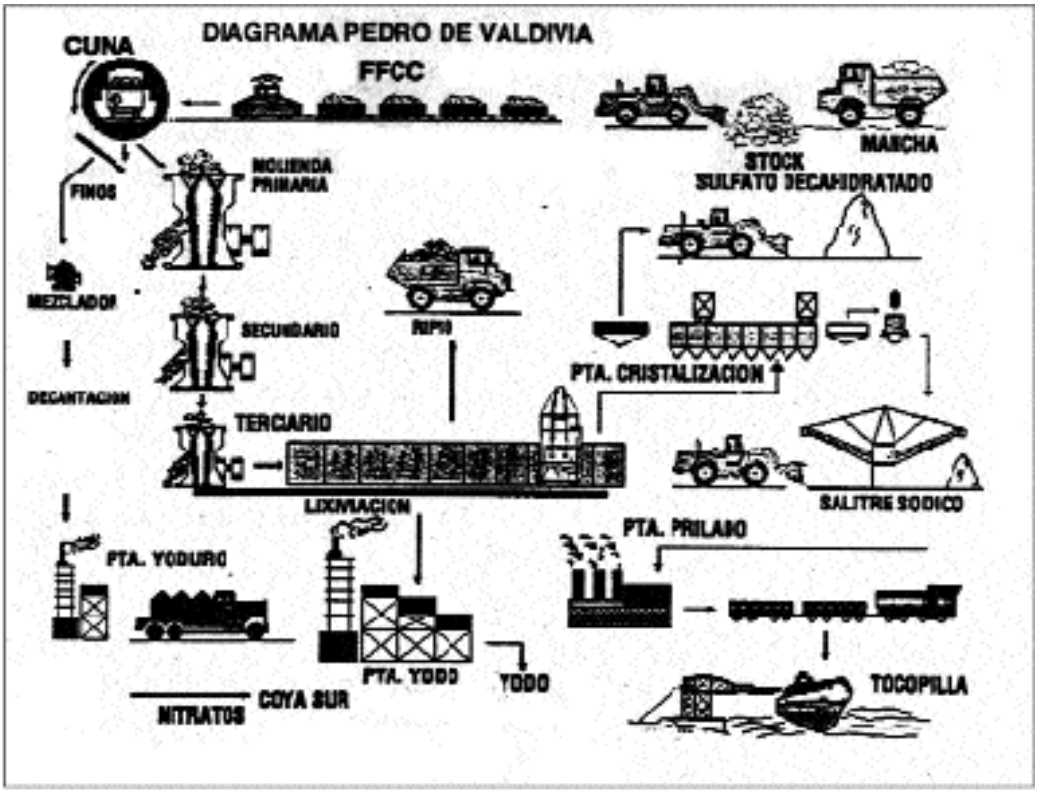


Figura VII-10. Esquema de la obtención de nitratos por lixiviación. Agenda del Salitre, 2001. SOQUIMICH.

Otros usos del salitre

En la industria lo que principalmente se busca del salitre es el nitrato de sodio el cual por sus características como agente oxidante, fundente, fuente de óxido de sodio y nitrato puede ser utilizado no sólo en la industria de fertilizantes pero en tantas otras cuyo rubro difiere enormemente del área de los fertilizantes. Entre estas industrias se encuentran aquellas vinculadas a la producción de explosivos, pirotecnia, vidrio, conservación de alimentos, acero inoxidable entre tantas otras.

Chile

Carlos Rojas-Walker [1]

Demanda de Nitratos y consumo de fertilizantes

En Chile, la demanda de nitratos ha experimentado un crecimiento sostenido tanto por los requerimientos internos de la agricultura, así como por aquellos derivados de la exportación. Actualmente, se producen más de 879 mil toneladas anuales (2004), incluyendo salitre sódico, potásico y nitrato de potasio.

A través de los antecedentes históricos de demandas, asimilándose al período histórico de la "revolución verde chilena", ha destacado el incremento de la mayoría de los fertilizantes nitrogenados, especialmente de la urea como producto importado (746% de incremento entre 1980 y 1990). Este incremento mostró una tendencia sostenida a la experimentada por el consumo mundial. El salitre sódico, experimentó en ese mismo período, un incremento superior al 104% y las exportaciones paralelas alcanzaron cifras superiores a las 360.000 toneladas.

Los principales mercados para la exportación de salitre sódico, se encuentran representados por Estados Unidos y Europa (principalmente España, Inglaterra y Bélgica -Holanda) constituyendo alrededor del 75% de la demanda externa. Otros mercados importantes han sido China (12%) y Brasil (13%).

El consumo de fertilizantes nitrogenados, creció proporcionalmente con los aumentos de producción de numerosos cultivos, especialmente los cereales y cultivos industriales.

En efecto, en ese período, el mayor empleo proporcional de nitrógeno en el cultivo de cereales, se tradujo claramente en importantes aumentos de rendimientos promedios anuales entre los agricultores del país. A modo de ejemplo, se muestra aquí la relación entre rendimientos promedios históricos de grano de los cultivos, maíz, trigo y arroz y el consumo de nitrógeno de 9 años. Se observa aquí que la variación de los rendimientos de grano de los cultivos, puede explicarse en un 90%, un 88% y un 45% por la variación experimentada en el consumo de nitrógeno en ese período (Rojas-Walker, C.,1989). Entre los 10 cultivos de mayor importancia en el país, ha destacado la participación de los nitratos (derivados del caliche) en la sustentabilidad de las especies de cultivos industriales (remolacha, papas, raps) y praderas mejoradas y artificiales, como se aprecia en el Cuadro VII-3 (Silva. B.,1989). Algunos cultivos como la remolacha (Beta vulgaris) presentan el récord mundial de producción por unidad de superficie, sin embargo hoy en día con la disminución de los precios del azúcar a nivel internacional, la superficie bajo este cultivo se ha reducido aproximadamente en un 17% desde las 41.660 hectáreas referidas en 1997 (Censo Nacional Agropecuario, 1997) así como también consecuentemente la contribución de este rubro en su demanda de fertilizantes. A partir de los 80, se produjo en Chile una inversión en la dominancia de nitrógeno sobre fósforo en las dosis de nutrientes. Esta buena relación en la nutrición de los cultivos, se fundamentó en función de los resultados de la investigación agrícola.

Evaluación Agronómica de Nitratos

[1]*CRI-La Platina Santa Rosa 11610, Comuna La Pintana Santiago, Chile - crojas@inia.cl*

La respuesta de los cultivos al empleo de salitre sódico ha sido ampliamente respaldada por trabajos de investigación en diversos rubros. Numerosos trabajos de evaluación agronómica, han demostrado un similar comportamiento entre la urea y el salitre sódico para la nutrición de los cultivos como el trigo. Especie que se cultiva preferentemente entre la VII y X Regiones. Así por ejemplo en trigo de invierno (Rodríguez, N., 1989) se muestra que la comparación entre ambas fuentes aplicadas de diversas formas, incluyendo una dosis standard de 120 k x há$^{-1}$: a la siembra al voleo, a la macolla al voleo, a la Siembra y Macolla y fraccionando 1/3 en los períodos de siembra, macolla y encañado, ha dado resultados similares en términos de rendimiento en grano en trigo de invierno.

Efecto de épocas de siembra y uso de N en trigo

En áreas de secano, en épocas de siembra tempranas, hay un menor daño por déficit hídrico y por lo tanto una mejor eficiencia del nitrógeno (Rodríguez, N., 1989). La respuesta disminuye según se atrasa la época de siembra, siendo nulo en las épocas de siembra más tardías en una variedad de invierno. Sin duda que el efecto en esta especie y en clima mediterráneo frío, fue notablemente marcado al estimular el rendimiento máximo alcanzable empleando adecuadas épocas de siembra (siembras tempranas) y la combinación con fósforo, un elemento marcadamente deficiente en suelos de arcillas alofánicas de la precordillera andina de Ñuble.

TOTAL MUNDIAL	2001/02	2002/03	2003/04	2004/05	2005/06
NH_3 nominal	125 721	127 732	128 838	129 855	132 805
NH_3 Capacidad de abastecimiento	116 675	118 589	120 308	121 865	123 890
NH_3 Disponible para fertilizantes	92 677	94 259	95 672	96 943	98 692
Subproductos fertilizantes nitrogenados	2 620	2 620	2 620	2 620	2 620
Consumo fertilizantes N	86 094	87 963	89 982	91 874	93 723
Superávit NH_3 (-déficit)	9 403	9 116	8 510	7 889	7 789
ÁFRICA	2001/02	2002/03	2003/04	2004/05	2005/06
Capacidad Nominal NH_3	3 783	3 783	3 783	3 783	3 783
Capacidad abastecimiento NH_3	3 278	3 343	3 395	3 395	3 395
NH_3 disponible para fertilizantes	2 621	2 680	2 727	2 727	2 727
Subproductos fertilizantes nitrogenados	35	35	35	35	35
Consumo fertilizantes nitrogenados	2 525	2 577	2 643	2 709	2 786
Superávit NH_3 (-déficit)	130	138	119	53	(24)
AMÉRICA	2001/02	2002/03	2003/04	2004/05	2005/06
Capacidad Nominal NH_3	27 296	27 785	27 785	27 785	28 285
Capacidad abastecimiento NH_3	25 065	25 691	26 174	26 442	27102
NH_3 disponible para fertilizantes	18 028	18 509	18 862	19 013	19525
Subproductos fertilizantes nitrogenados	530	530	530	530	530
Consumo fertilizantes nitrogenados	17 770	18 003	18 266	18 484	18708
Superávit NH_3 (-déficit)	788	1 036	1 126	1 059	1347
América del Norte	2001/02	2002/03	2003/04	2004/05	2005/06
Capacidad nominal NH_3	18 741	18 741	18 741	18 741	18741
Capacidad abastecimiento NH_3	17 487	17 487	17 487	17 487	17487
NH_3 disponible para fertilizantes	11 580	11 488	11 396	11 302	11206
Subproductos fertilizantes nitrogenados	450	450	450	450	450
Consumo fertilizantes nitrogenados	12 745	12 860	13 000	13 090	13180
Superávit NH_3 (-déficit)	(715)	(922)	(1 154)	(1 338)	(1 524)

Cuadro VII-4 Balance de oferta y demanda de nitrógeno a escala mundial y regional en 1000 toneladas métricas.

Efecto en Praderas permanentes

El uso de riego y de los fertilizantes nitrogenados sobre praderas de trébol blanco y ballica perennes, han mostrado un notorio efecto sobre la composición botánica (Sierra, C, 1989). A medida que el agua se acerca al 100% de evaporación, aumenta la proporción de ballicas y disminuyen las malezas. La aplicación de N favorece la proporción de ballica y afecta la participación del trébol blanco. Por otra parte, la aplicación permanente de urea en estos suelos moderadamente ácidos incrementan más la

América Latina	2001/02	2002/03	2003/04	2004/05	2005/06
Capacidad nominal NH_3	8 555	9 044	9 044	9 044	9 544
Capacidad abastecimiento NH_3	7 576	8 204	8 607	8 955	9 615
NH_3 disponible para fertilizantes	6 446	7 021	7 466	7 711	8 319
Subproductos fertilizantes nitrogenados	80	80	80	80	80
Consumo fertilizantes nitrogenados	5 026	5 143	5 266	5 394	5 528
Superávit NH_3 Superávit (-déficit)	1 501	1 958	2 280	2 397	2 871

ASIA	2001/02	2002/03	2003/04	2004/05	2005/06
Capacidad nominal NH_3	56 164	57 698	58 786	59 803	62 253
Capacidad abastecimiento NH_3	53 164	54 307	55 421	56 696	58 061
NH_3 disponible para fertilizantes	45 350	46 342	47 309	48 435	49 690
Subproductos fertilizantes nitrogenados	815	815	815	815	815
Consumo fertilizantes nitrogenados	49 775	51 233	52 810	54 253	55 550
Superávit NH_3 (-deficit)	(3 610)	(4 076)	(4 686)	(5 003)	(5 045)

Asia occidental	2001/02	2002/03	2003/04	2004/05	2005/06
Capacidad nominal NH_3	6 379	6 597	6 819	7 362	9 416
Capacidad abastecimiento NH_3	6 038	6 201	6 474	6 788	7 713
NH_3 disponible para fertilizantes	5 416	5 568	5 819	6 107	6 958
Subproductos fertilizantes nitrogenados	15	15	15	15	15
Consumo fertilizantes nitrogenados	3 130	3 157	3 200	3 235	3 275
Superávit NH_3 (-deficit)	2 301	2 426	2634	2 887	3 698

Asia del Sur	2001/02	2002/03	2003/04	2004/05	2005/06
Capacidad Nominal NH_3	14 761	14 776	14 862	14 862	14 979
Capacidad abastecimiento NH_3	13 787	13 802	13882	13 882	13 917
NH_3 disponible para fertilizantes	12 567	12 581	12 655	12 655	12 687
Subproductos fertilizantes nitrogenados	400	400	400	400	400
Consumo fertilizantes nitrogenados	15 427	16 099	16 668	17 220	17 740
Superávit NH_3 (-deficit)	(2 460)	(3 118)	(3 613)	(4 165)	(4 682)

Asia oriental	2001/02	2002/03	2003/04	2004/05	2005/06
Capacidad nominal NH_3	35 024	36 325	37105	37 579	37 858
Capacidad abastecimiento NH_3	33 341	34 304	35 065	36 026	36 431
NH_3 disponible para fertilizantes	27 367	28 193	28 835	29673	30 045
Subproductos fertilizantes nitrogenados	400	400	400	400	400
Consumo fertilizantes nitrogenados	31 218	31 977	32 942	33 798	34 526
Superávit NH_3(-déficit)	(3 451)	(3 384)	(3 707)	(3 725)	(4 081)

acidez, no así el salitre que es una sal neutra de ligero efecto alcalinizante. Por otra parte, el salitre, tiende a incrementar el sodio de saturación y en el caso de la urea, este valor se mantiene constante.

Consideraciones Finales

Los nitratos como fertilizantes siguen siendo de gran importancia como fuentes de nitrógeno, si consideramos el crecimiento de la población mundial que se estima pasará de cerca de 6 mil millones en la actualidad a 9 mil millones al 2060, con el consiguiente mayor requerimiento de alimentos y de insumos para producirlos. En consecuencia, siendo el nitrógeno uno de los nutrientes principales insustituibles para el sostenimiento de la vida, observamos que el mercado internacional de los nitratos como fertilizantes (a pesar de sus fluctuaciones), en promedio, han ido creciendo hasta localizarse en la actualidad de la mano de un crecimiento demográfico abrupto que necesita de una mayor producción de alimentos.

Bajo todas las consideraciones, los nitratos son insustituibles en el manejo agrícola de sistemas productivos, debido a que permiten mejorar la eficiencia en las plantaciones y cosechas de plantas, especialmente por su amplia disponibilidad en períodos críticos y por su favorable influencia sobre las características de calidad y rendimiento de los cultivos.

Perú

Guillermo Aguirre Yato[1]

Se conocen aforamientos de salitre o nitratos de sodio en la Franja de las Llanuras Preandinas en los departamentos del sur de Perú, Arequipa, Moquegua y Tacna, en los ambientes volcánicos y sedimentos cenozoicos superpuestas sobre series muy gruesas. Aun cuando se han reportado depósitos aislados de salitre en otros lugares del Perú, su identificación no ha sido confirmada, sobre todo a la escasa posibilidad económica de su explotación. Los nitratos del sur de Perú probablemente se formaron en condiciones semejantes a los yacimientos de Tarapacá en Chile, teniendo un origen similar (Dunin-Borkouski 1996).

Entre el río Ocoña y la quebrada de Atico, están las pampas de Caravelí, de donde se reportan informaciones de la existencia de nitratos. El área de interés prospectivo tiene unos 1800 kilómetros cuadrados, de los cuales una pequeña porción exhibe afloramientos de salitres o nitratos, denominados "caliche". Muchos de estos afloramientos están formados por decenas de hectáreas, que en algunos casos alcanzan algunos kilómetros cuadrados, con caliche superficial, con grosores desde 5 hasta 60 cm. entre los cuales se han identificado nitratos entre 8% y 50%, siendo lo restante en su mayor parte, cloruro de sodio o sal común.

Un análisis de estas muestras se presente en el siguiente Cuadro VII-5.

		Porcentaje
Na	18.1	11.98
K	0.31	0.57
Ca	0.26	0.14
Mg	0.02	-
NO3	17.71	10.31
Cl	15.61	12.54
IO3	trazas	0.69

Cuadro VII-5: Análisis de dos muestras de salitre o nitratos.

Yacimiento	Uso	Latitud	Longitud	Edad
Pampa Viña Vieja	Fertilizantes	15.88	73.29	Cuaternario
Viña Vieja	Fertilizantes	15.88	73.39	Cuaternario
Salitre de Caravelí	Fertilizantes	15.87	73.30	Cuaternario
Pampa Viña Vieja	Fertilizantes	15.94	73.28	Cuaternario
Sin Nombre	Fertilizantes	15.84	73.35	Cuaternario
Sin Nombre	Fertilizantes	15.39	73.39	Cuaternario

Fuente: INGEMMET. Ministerio de Energia y Minas. Inventario Nacional de Sustancias No Metalicas.
Cuadro VII-6: Relación de Yacimientos identificados de Nitratos.

[1]*Departamento de Suelos. Universidad Nacional Agraria La Molina. Apartado 456 Lima PERU. gaguirre@lamolina.edu.pe*

Venezuela

Eduardo Casanova [1]

El caso de los nitratos es parecido al del potasio ya que no existen yacimientos en Venezuela y en consecuencia todo es importado de Chile y de Colombia. La fuente más comúnmente usada en el país es nitrato de potasio y está destinado mayormente para cultivos hortícolas.

a) Las Necesidades Agrícolas y Panorama de Mercado

El Cuadro VII-7 presenta la información sobre las reservas de los yacimientos de nitratos en Venezuela, la importación nacional de fertilizantes simples como nitrato de potasio, el consumo real de estos fertilizantes para los diferentes cultivos y los requerimientos de nitrógeno para el plan de siembra 2005 de acuerdo a la superficie estimada de siembra por el Ministerio de Agricultura y Tierras.

Reservas de Yacimientos (MTM)	Producción Nacional TM	Importación TM	Total Producción / Importación TM	Consumo TM	Requerimientos de N, Plan de Siembra 2005 TM
0 *	0 **	400***	400	400****	268.037*****

Cuadro VII-7. Reservas, Producción Nacional, Importación y Consumo de nitratos en el 2004 y requerimientos de nitrógeno del plan de siembra 2005.

No hay yacimientos, todo es importado; No hay producción nacional; Como nitrato de potasio; No incluye los fertilizantes N-P-K ni otros fertilizantes nitrogenados simples como urea y sulfato de amonio; Incluye todos los fertilizantes nitrogenados.

Del Cuadro VII-7 se evidencian tres aspectos de interés sobre los nitratos: no hay producción en Venezuela y en consecuencia todo es importado, el consumo de nitratos es muy pequeño y generalmente es en la forma de nitrato de potasio y de los requerimientos totales de N para el plan de siembra del 2005, los nitratos representan una cantidad muy pequeña comparada con el consumo de N como urea y sulfato de amonio. Sin embargo, los requerimientos de nitratos pudieran aumentar en el futuro si se incrementa la superficie bajo riego presurizado (goteo, mi-

[1]*Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía, Instituto de Edafología, Maracay, Estado Aragua, Venezuela - casanovaen@cantv.net*

croaspersores) ya que se prefiere a estas fuentes por su hidrosolibilidad.

Panorama de mercado de nitratos

Natacha Izquierdo González[1]

Los nitratos como fertilizantes siguen siendo de gran importancia como fuentes de nitrógeno, si consideramos el crecimiento de la población mundial que se estima pasará de cerca de 6 mil millones en la actualidad a 9 mil millones al 2060, con el consiguiente mayor requerimiento de alimentos y de insumos para producirlos. En consecuencia, siendo el nitrógeno uno de los nutrientes principales insustituibles para el sostenimiento de la vida, observamos que el mercado internacional de los nitratos como fertilizantes (a pesar de sus fluctuaciones), en promedio, han ido creciendo hasta localizarse en la actualidad de la mano de un crecimiento demográfico abrupto que necesita de una mayor producción de alimentos.

En Latinoamérica el principal productor de nitrato de potasio y nitrato de sodio es Chile, así como el primer oferente de estos productos, no solo en la región sino a nivel mundial. Los países latinoamericanos se abastecen sus mercados domésticos vía la importación, principalmente de Chile.

Desde Chile, Latinoamérica consume aproximadamente 78 mil toneladas de nitrato de potasio (Brasil, Argentina, Ecuador, Perú, Colombia, Guatemala, Honduras, Costa Rica, México, Uruguay y Paraguay); 179 mil toneladas de salitre potásico consumidos por Brasil, México, Cuba, Guatemala, Argentina y Costa Rica; y 15 mil toneladas de nitrato de sodio dirigidos a Brasil, Argentina, Venezuela, Perú, Colombia, Ecuador, México, Cuba, Panamá, Uruguay y Guatemala.

Chile

Por muchos años, Chile fue el mayor productor de fertilizantes nitrogenados en el mundo; sin embargo, en el presente su presencia como productor de dicho fertilizante se ha desvanecido considerablemente como consecuencia de la generación y producción industrial de fertilizantes nitrogenados artificiales.

En 1910, en Alemania, se descubrió la forma de lograr la síntesis de amoniaco en forma artificial. Es así que en los años posteriores, se desarrolló la industria de los fertilizantes nitrogenados sintéticos, lo cuales consideraban un costo de producción mucho menor y una eficiencia mucho mayor que su par natural. La industria salitrera no pudo recuperarse de dicha crisis hasta 1988 en que las industrias salitreras de Chile fueron privatizadas evitando así no sólo el colapso de la industria sino una modernización e inversiones que permitieron que la industria creciera a tal punto que en la actualidad reocupará una posición de presencia e importancia mundial.

Por lo tanto, Chile es uno de los principales productores de nitratos a nivel mundial y el principal y único en Latinoamérica. Los mayores yacimientos de nitratos del mundo se encuentran en la

[1]*Centro de Estudios para la Sustentabilidad - Universidad Nacional de San Martín*

región desértica del norte de Chile. SOQUIMICH es el principal productor mundial. La producción se desarrolla en la II Región, y desde 1996 ha experimentado un marcado crecimiento año a año del orden del 27% (punta a punta). En el 2004 se produjeron más de 879 mil toneladas incluyendo salitre sódico, potásico y nitrato de potasio.

Chile es un importante exportador de estos productos y no registra importaciones. En el año 2003, las salidas al exterior de nitrato de potasio ascendían a 532 mil toneladas con destino a Estados Unidos, España, Bélgica, China y a países de Latinoamérica como Argentina, Brasil, Colombia, Perú, Ecuador, México, Uruguay y Bolivia, las exportaciones de salitre potásico fueron de 198 mil toneladas dirigidas a Brasil, México, Cuba, Estados Unidos, etc., las de nitrato de sodio y mezclas abonos fueron de 173 y 71 mil toneladas respectivamente destinadas a Estados Unidos, Bélgica y Japón, entre otros. Estados Unidos y Europa constituyen alrededor del 75% de la demanda externa. Otros mercados importantes han sido China (12%) y Brasil (13%).

La demanda interna de nitratos ha experimentado un crecimiento sostenido tanto por los requerimientos internos de la agricultura, así como aquellos derivados de la exportación.

A través de los antecedentes históricos de demandas, asimilándose al período histórico de la "revolución verde chilena", ha destacado el incremento de la mayoría de los fertilizantes nitrogenados, especialmente de la urea como producto importado (746% de incremento entre 1980 y 1990). Este incremento mostró una tendencia sostenida a la experimentada por el consumo mundial. El salitre sódico, experimentó en ese mismo período, un incremento superior al 104% y las exportaciones paralelas alcanzaron cifras superiores a las 360.000 toneladas. El consumo de fertilizantes nitrogenados, creció proporcionalmente con los aumentos de producción de numerosos cultivos, especialmente los cereales y cultivos industriales.

Turbas

Mario Medana[1]

La Turba es una sustancia compuesta de material orgánico (cuadro VII-8) originado por la descomposición de incompleta de restos vegetales, carentes de aire, en un medio extremadamente húmedo o saturado en agua. Entran en su composición restos de musgos, gramíneas o ciperáceas a veces mezclados con fragmentos leñosos y partículas de humus.

Desde el punto de vista físico es un sistema formado por multi-componentes poli-fraccionados semi-coloidales, altamente molecular (cuadro VII-9). Bajo esta concepción general, el término turba se refiere a materiales predominantemente orgánicos de diversos orígenes botánicos, edad, estado de descomposición, sitio y modo de depositación, naturaleza física y general, etc.

Los depósitos se encuentran distribuidos en toda la Provincia de Tierra del Fuego. Los yacimientos más accesibles se encuentran en la parte Norte de la Isla: son del tipo :"Flat-Moor", con predominio de plantas del género Carex (Familia de las Gramíneas) y no presentan mayores problemas de drenaje; las de la parte austral son del tipo "High-Moor", con predominio de plantas de musgos (Sphagnum) y aparte de su difícil accesibilidad, presentan serias complicaciones en lo que se refiere a su drenaje, ya que se ubican en los bajos topográficos. En la actualidad se encuentran concedidos diversos permisos de explotación, generalmente en el sur de la Provincia.

Según trabajo realizado por el Consejo Federal de Inversiones "Evaluación de los Recursos Naturales de la Argentina", 1962, indica que para un total de reservas de turba estudiadas para el país, de 115 millones de toneladas de turba, 110 millones corresponden a Tierra del Fuego. En Tierra del Fuego existen 62 yacimientos turberos conocidos, concentrándose la mayoría de ellos, en cercanías de Tolhuin. En explotación se encuentran ocho yacimientos de turba, en su mayoría con depósitos localizados en el sur de la isla donde el tipo de vegetación predominante son los musgos del género Sphagnum, la producción anual se promedia en 5000 metros cúbicos, que se comercializan en bolsones de (170 dm cúbicos) de capacidad y aproximadamente 40 kg. de peso.

CARACTERISTICAS QUIMICAS	
PH	4.5 a 5.5
Materia Orgánica	85% a 94%
Cenizas	3% a 2%
Nitrógeno	0.600 a 0.700
Calcio (ca)	6. 4/9.6
Magnesio (Mg)	4. 6/6.1
Potasio (K)	3/5
Sodio (Na)	11/15

[1]*SENASA Paseo Colon 367 Buenos Aires.*

CARACTERISTICAS FISICAS	
Contenido de humedad	40 a 55%
Densidad	0,12 a .500
Capacidad de Absorción Hídrica	10 veces su peso seco
Grado V. Posl. de Descomposición	H3 - H4

Cuadro VII-8. Características Químicas promedio de turbas fueguinas
Cuadro VII-9. Características Físicas promedio de turbas fueguinas

Ambientes de Tierra del Fuego y su relación con las turberas

Las turberas constituyen suelos eminentemente orgánicos y muy profundos, en general no se distinguen horizontes, bien definidos, salvo en los casos en que hubo variaciones en la composición de la turba, en el grado de humificación de la misma o derivados del tipo de proceso químico que prevaleció. Son muy ácidos y ricos en nitrógeno.En la zona sudoeste de la Isla de Tierra del Fuego predomina el bosque perennifolio de guindo debido a la mayor humedad y moderadas temperaturas con respecto al resto de la isla. En las zonas más altas y en los terrenos bajos hay bosques de lenga. En las depresiones pantanosas se forman turberas. En los claros de los bosques hay praderas de gramíneas. En la zona norte de la Isla predomina la estepa graminosa alternando vegas con muchas de las cuales se han desarrollado turberas. Los suelos donde se desarrollan turberas son zonas deprimidas donde la presencia constante de agua favorece el crecimiento de un tipo de especial de vegetación.

Estos suelos en otras regiones del planeta (países europeos fundamentalmente), constituyen superficies inmejorables para el pastoreo del ganado y con prácticas adecuadas se puede hacer uso agrícola con óptimos resultados.

En Tierra del Fuego existen ocho especies de Sphagnum distintas: Sphagnum Recurvum, Medium, Cuspidatum, Fimbriatum, Subnitens, Rigescens, Falcatulum y Sindulatum. El Sphagnum tiene, en su corteza, células con poco protoplasma que dan lugar a vacuolas amplias útiles para una mayor retención de agua.

Formación de turberas en Tierra del Fuego

Se describen a continuación características de los diferentes tipos de turberas existentes en Tierra del Fuego (estudiados en base a superficie, perforaciones para determinar la profundidad y obtención de muestras). En general se observó que las turberas fueguinas están distribuidas esporádicamente y, con la excepción de 2 o 3 turberas, son relativamente chicas y en gran parte pantanosa.

Las pantanosas tienen dos causas:

1. Las turberas, especialmente al sur del Lago Fagnano, son muy jóvenes.
2. Frecuentemente, los ríos y arroyos están casi al nivel de la superficie de las turberas y por esta

causa no hay un drenaje natural.
Calculando que la depositación de 1 m de turba negra (turba muy humificada) requiere por lo menos 1000 a 2000 años y encontrando profundidades de término medio solamente 2 m, esto representa una edad de aproximadamente 2000 a 4000 años.

La evolución de las turberas fueguinas (por lo menos del sur) no es normal, es decir falta la formación de turba baja (tipo Carex).Las turberas bajas (tipo Carex) se producen por el avance del lago dentro de la vegetación de los bordes de los lagos de aguas con sales de calcio. La vegetación penetra siempre más adentro, formando con el tiempo tierra firme (como turba baja), desapareciendo el lago. Sobre esta turbera baja se forma (siempre en coincidencia con el clima) turba alta, provista de agua exclusivamente por la lluvia, es decir, el agua pura sin cal. A saber, la presencia de cal no permite el crecimiento del Shagnum.

En Tierra del Fuego, más en el sur que en el norte, el agua de los valles viene de la nieve sin calcio. Tampoco existen rocas carbonáticas, de manera que ni la formación geológica puede suministrar suficiente calcio. Por estas circunstancias ha crecido desde el principio el Sphagnum, constituyendo turberas altas, excluyendo la formación de turberas bajas.

Muchas veces las turberas (más en la parte sur) son intercaladas con montes. Los ríos tienen en verano una temperatura de aproximadamente 8ºC, suficientemente baja para permitir la formación de la turba evitando una descomposición completa.

Extracción de turba

Las turberas fueguinas no se formaron sobre mesetas planas, grandes y favorables de ser explotados como en Europa, Canadá, Estados Unidos, sino que se formaron en valles muchas veces estrechos o a las orillas de mar con posibilidades de explotaciones dificultosas y en estratos delgados. El acceso a las turberas es difícil; en días de lluvias fuertes o en inviernos es imposible pasar por falta de caminos mejorados. Los terrenos ondulados aumentan las dificultades; es imposible subir con camiones en días de lluvias.

La técnica de extracción de la turba implementada se divide en cuatro fases principales:

1. Drenaje de la turba (cuando es necesario).
2. Excavación a mano o a máquina (distintos tipos de maquinarias a emplear según el volumen, superficie o ubicación, etc.).
3. Secado de la turba.
4. Transporte del lugar de extracción hasta el depósito (lugar de molienda).

Es necesario tomar en consideración en la planificación de la extracción de la turba las siguientes condiciones:

- Distancia de los centros poblados.
- Naturaleza del terreno circundante a la turbera.
- Caminos de acceso.
- Humedad bajo la superficie de la turbera (necesidad de drenaje).

• Vegetación que circunda la turbera y que eventualmente crece en la misma (árboles y arbustos con raíces fuertes que podrían dificultar la continuidad del trabajo con máquinas).
• Tamaño y profundidad de la turbera en relación con la rentabilidad de su explotación (amortización de instalaciones infraestructurales y auxiliares).
• Condiciones climáticas y de altura en las cuales se encuentra la turbera desde el punto de vista de su accesibilidad y explotabilidad en la temporada invernal.

Drenaje: Por el normalmente alto contenido de agua en la turba se buscaron métodos de disminuir este gran porcentaje de humedad con métodos baratos y naturales. En primer término se ha empleado el drenaje por canales con distancias regulares, dependiendo éstas de la propiedad de la turba de perder fácilmente o no el agua. Un drenaje solamente es posible si el agua de los arroyos o ríos corre más bajo que los canales de drenaje para llevar consigo el desagüe. Con un buen drenaje se puede obtener una eliminación de agua hasta un 50%. La cantidad de zanjas lógicamente depende de la superficie de la turbera, siendo lo ideal que en la fase final las zanjas no estén a más de 5 a 10 metros de distancia una de la otra.

Excavación: Para la extracción de la turba, se utiliza una gran variedad de métodos desde la pala hasta las máquinas modernas de un peso de 20 a 30 toneladas y de una envergadura de más de 20 m. utilizadas en las grandes turberas llanas de Europa y Canadá. Los métodos manuales y semi-manuales son múltiples e incluyen el uso de palas mecánicas semiautomáticas, perforadoras y trepanadoras neumáticas.

La primera fase del trabajo se cumple con dragas mecánicas que permiten trabajar hasta los 2 primeros metros de profundidad. Otra máquina corta la turbera en trozos iguales, de aproximadamente 40x15x15 centímetros, colocándolos uniformemente en la superficie del campo para que se sequen al aire libre. Otro tipo de máquina trabaja como una fresadora, mezclando la masa excavada uniformemente y coloca estas masas en líneas parejas a la superficie. Estas máquinas medianas tienen un peso de más de 10 tn. y un ancho de 1-1,25 metros de cangilones. Trabajan hasta una profundidad máxima de 4,5 metros y los brazos de deposición de la turba miden 20 a 25m. Elaboran 40 a 60 m. cúbicos por hora y necesitan 35 a 65 HP. Existen también máquinas análogas más grandes, de mayor capacidad, envergadura y peso. Las máquinas accesorias a emplear serían: limpiadora de superficie; niveladora; zanjadora; excavadora y acopiadora. La aplicación de máquinas modernas en la explotación de turba depende de consideraciones económicas (costo, amortización) y de circunstancias naturales (superficie, consistencia de la turbera).

Secado y procesamiento: Un problema de difícil solución es el secado de la turba. Un pan de turba recién cortado alcanza un peso de 12 kg. La turba húmeda no tiene prácticamente ningún valor, solamente la turba deshidratada es comercializable e industrializable, es la base para todo empleo o cualquier aplicación. Cuanto más "madura" es la turba, menos factible es la eliminación de agua por compresión.

Todos los métodos de secado de turba son muy costosos, por ejemplo: la electroósmosis, el empleo de gas o fuel-oil, vacío, vibradores con ondas ultrasónicas, centrífugas, etc. Es preferible efectuar el secado en el mismo lugar donde se encuentra la turba. Un transporte de turba húmeda de casi 90% hacia un punto estratégico para secar puede resultar antieconómico. Luego, se lleva la turba seca a un lugar de acopio para industrializarla, sea para moler o para transformarla en subproductos. Por el peso específico relativamente bajo, la turba seca no prensada, tiene un gran

volumen, los medios de transporte deben ser por eso de mayor tamaño.
En Tierra del Fuego no se conoce en general inviernos excepcionalmente fríos y veranos calurosos lo que es contraproducente para un secado al aire libre, con la turba extendida a lo largo del yacimiento. En las condiciones fueguinas para el secado al aire libre convendría algún techado de protección contra las precipitaciones. Para el secado al aire libre se construyen pilandros de madera o caballetes y su instalación principal es horizontal para colocar la turba.

Gran parte de las paredes falta, para permitir el máximo movimiento de aire. La construcción debe ser suficientemente grande para permitir la maniobra con los camiones volcadores. Cuando los panes de turba son extraídos, se los coloca en "camellos", que son superficies paralelas y de larga extensión situados al lado de las zanjas, que permiten el escurrimiento del agua por gravedad. Cuando estos presentan un peso más leve, se los coloca en secaderos o caballetes que soportan los panes y por agentes naturales como el sol y el viento, provocan la evaporación del agua restante contenida, este proceso de secado tiene una duración de 15 días como mínimo a un mes (si los días son favorables) en temporada primavera-verano y como máximo cinco meses en temporada otoño-invierno.

Obtenida la turba se la traslada a un galpón (en tractores u otro transporte) donde comienza el procesamiento. Allí se desmenuza los panes en una trozadora, luego el producto cae en una molienda de martillos, que muele la turba. Esta es cargada seguidamente a una cinta transportadora hasta el lugar donde se obtiene el producto terminado y donde consecuentemente es embolsado, listo para comercializar. La turba como producto procesado y elaborado se vende a distintos lugares como: Buenos Aires, Córdoba, Mendoza, entre otros.

Existen en el país otros provincias productoras de turba con menores valores (Estadística Minera

Provincia	2001(p)	2002 (p)	2003 (p)	2004 (c)
Chubut	90	2.148	2298	2214
Mendoza	-	5.060	5.414	2.760
Santa Cruz	26	22	-	-
Tierra del Fuego	977	1.000	1.070	105.870
Total	1067	8.208	8.782	110.844

2001-2004; Cuadro VII-10, Figura VII-10)

Cuadro VII-10: Producción Nacional en toneladas años 2001-2004 (en toneladas)

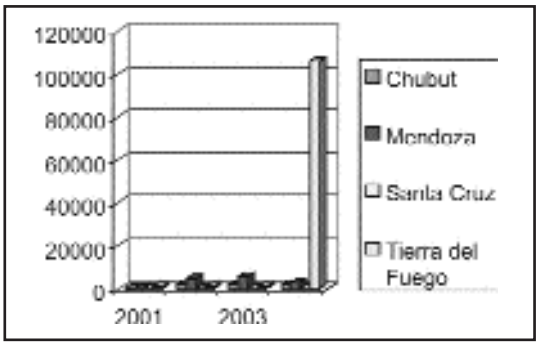


Figura VII-10: Producción Nacional en toneladas años 2001-2004 (en toneladas)
Uso agrícola de la turba

El principal uso se basa como mejorador de suelos, aunque también se utiliza como material de empaque para plantas, flores y vegetales que

se envían al mercado. Los diferentes tipos de turba son, no tratados químicamente, sólo indirectamente abonos, o mejor dicho, mejoradores o acondicionadores del suelo, porque su contenido en elementos nutritivos no es muy importante. Se destaca entre las cualidades las cualidades superlativas su capacidad de absorción de agua.

La turba mezclada con porcentajes de tierra negra, con o sin adición de guanos animales (principalmente equinos) y/o fertilizantes hidrogenados y fosfatados, constituye excelente medio de cultivo en invernaderos, almacigueras y otros. Esta mezcla permite la formación de bloques en la producción de almácigos lo que evita daños en su posterior transplante.

Puede destacarse el uso dado a turbas gruesas o mas fibrosas en limpiado de aguas con petróleo el que es rápidamente absorbido por este material. Industrialmente tambien se usan de paneles como aislante acústico y térmico mediante un proceso de aglomeración.

Se usa como materia orgánica en suelos para cultivos de hongos con fines industriales especialmente en la producción de champiñones. Permite que el color del producto sea blanco limpio, en ventaja con otras materias orgánicas que colorean el champiñón deteriorando su calidad y su precio.

Se utiliza como vehículo para la aplicación de abonos muy solubles impidiendo que el nutriente colocado en el suelo sea arrastrado por las aguas de drenaje. Su uso no permite el cambio brusco por temperatura, evitando daños por heladas.

Se destaca también el uso como substratos para el alojamiento de bacterias fijadoras de nitrógeno (Rhizobium) en forma simbiótica en la elaboración industrial de inoculantes comerciales. Las características del Sphagnum, que a nivel microscópico está compuesto por pequeñas celdas, que al ser debidamente tratadas se logra un adecuado alojamiento para la supervivencia de las bacterias fijadoras del nitrógeno de las cepas del Rhizobium sp.

Los mejores resultados se obtienen con turba mezclada: turba blanca o marrón, con turba negra las proporciones de la dependen del suelo a usar. Para arena o suelos arcillosos se deben aplicar otras relaciones que para suelos pesados arcillosos. Para los últimos es recomendable aumentar la parte de turba blanca y para los primeros agregar a la mezcla más turba negra. La mezcla de turba incorporada a la tierra mantiene en el suelo un alto grado de humedad, asegurando en años de sequía un rendimiento permanente.

La turba (mezcla de dos tipos) mantiene una alta porosidad en el suelo, mejorando el intercambio entre aire y suelo, impidiendo la falta de oxígeno y el exceso de gas carbónico en el suelo. Pero el suelo al cual se quiere agregar turba debe ser analizado como la turba misma. La turba puede tener un pH demasiado bajo, lo que es contraindicado para tierras ya ácidas. En este caso hay que mezclar la turba forzosamente con cal, lo que influye enormemente en el resultado, el pH en el suelo no debe bajar a menos de 4,8. Los suelos muy ácidos con turba sin cal no muestran ningún progreso, solamente con suficiente cal se ven buenos resultados.

No solamente es necesaria la corrección de turba con cal, sino también es importante la adición de pequeñas cantidades de molibdeno porque siempre falta en la turba este microelemento. La adición adecuada de turba facilita también la asimilación de sales de fósforo, hasta ahora no aprovechables por la planta.

Los suelos demasiado húmedos reaccionan más favorablemente al agregado de turba marrón o negra, congelada antes de su secado. (En Tierra del Fuego esto se produce como fenómeno natural). En tierras pobres de humus, es decir en tierras compactas, el abono mineral apenas tiene efecto, mientras que se notan excelentes resultados con turba agregada.

A la mezcla de turba (siempre secada al aire libre o temperaturas moderadas) se pueden agregar abonos sintéticos como por ejemplo: sales amoniacales, urea u otros minerales para enriquecerla con otros elementos nutritivos para la planta; (amoniaco, por ejemplo, es bien absorbido por la turba como también la urea; ni el agua y ni las sustancias alcalinas, pueden eliminar el nitrógeno). La turba se puede mezclar también con vermiculita, para aumentar la capacidad de intercambio

catiónico.

BIBLIOGRAFÍA

AZUFRE

GITTINGER, 1975. Sulfur Industrial Mineral and Rock, 1242-61

KUŽVART M.,1984. Sulfur. Industrial Mineral and Rocks. 1242-1261

Página web http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/sulfur/Ruckmick J.C., Wimberly

B.H. AND EDWARDS A.F., 1979. Classification and Genesis of Biogenic Sulfur Deposits. Economic Geology, 74: 469-474

SARUDIANSKY, R., 2003. Los Recursos Mineros para el Agro en la República Argentina. Jornadas Internacionales Uso de Minerales para una Agricultura Sustentable.

SPENCER, K. 1975. Sulphur Requirements of Plants. In: Sulphur in Australian Agriculture, K.D. McLanchlan, ed. Sydney University Press, Sydney, Australia. pp:98-116.

TABATATAI M.A. 1986. Sulfur in Agriculture. Number 27 in the Agronomy Series. Am. Soc. Of Agronomy. Crop Sci. Soc. Of Am. Soil Sci. Soc. Of Am. Madison, Wincosin

ARGENTINA

CAROTTI, M.A., 1999. Depósito de azufre biogénico. Los Petisos, Mendoza. Recursos Minerales de la República Argentina, 2: 1127-30

LURGO MAYÓN, C.S., 1999. Manifestaciones de azufre de la Cordillera Principal, Mendoza y Neuquén. Recursos Minerales de la República Argentina, 2: 1835-37

LURGO MAYÓN, C.S.,1999. Azufre volcánico de la Puna. Recursos Minerales de la República Argentina, 2: 1613-25

SPENCER, K. 1975. Sulphur Requirements of Plants. In: Sulphur in Australian Agriculture, K.D. McLanchlan, ed. Sydney University Press, Sydney, Australia. pp:98-116.

BORATOS

ALONSO, R.N, 1986. Ocurrencia, posición estratigráfica y génesis de los depósitos de boratos de la Puna Argentina. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Salta, 196 p. Salta.

ALONSO, R., 1987. Bórax (tincal) en la Puna Argentina. X Congreso Geológico Argentino. Actas II: 161 164. Tucumán

ALONSO,R., 1987. Valoración icnoavifaunística de ambientes boratíferos. IV Congreso Latinoamericano de Paleontología, Tomo I:586 597. Santa Cruz de la Sierra

ALONSO,R., 1988. Los boratos de salares en Argentina. Asociación Argentina de Geólogos Economistas, Revista, 6(6):11 22. Buenos Aires.

ALONSO,R., 1990. Distribución de facies en depósitos de boratos neógenos de Argentina. Tercera Reunión Argentina de Sedimentología, Actas, p.7 12, San Juan.

ALONSO, R., 1991. Evaporitas Neógenas de los Andes Centrales. Capítulo 5 del libro "GENESIS DE FORMACIONES EVAPORITICAS: MODELOS ANDINOS E IBERICOS". Coordinador: Dr. J.J. Pueyo Mur. Universidad de Barcelona, capítulo 5, p.p. 267 332. ISBN 84 7875 666 3, Barcelona.

ALONSO, R.N., 1992. Geología de la mina Monte Verde (colemanita, inyoita), Salta, República Argentina. IV Congreso Nacional y I Congreso Latinoamericano de Geología Económica, Actas, pp. 215 225. Córdoba.

ALONSO, R.N., 1992. Sedimentología evaporítica en la Puna. IV Jornadas Argentinas de Sedimentología, Actas, Tomo II, pp. 9 16, La Plata.

ALONSO, R.N., 1992. Estratigrafía del Cenozoico de la Cuenca de Pastos Grandes (Puna salteña) con énfasis en

la Fm. Sijes y sus boratos. Asociación Geológica Argentina, Revista, 47(2):189 199. Buenos Aires.

ALONSO, R.N. 1995. DICCIONARIO MINERO. Con más de 2.500 voces del habla de los mineros de Iberoamérica. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), 263 p. Madrid.

ALONSO, R.N., 1996. El yacimiento boratífero de Laguna Salinas, Perú. XIII Congreso Geológico Argentino. Actas, Vol. III, pp. 297 308. Buenos Aires.

ALONSO R.N., 1998. "Los Boratos de la Puna". Edición Cámara de la Minería de Salta. 196 pp. Salta.

ALONSO, R.N., 1999. El Terciario de la Puna salteña. Relatorio. XIV Congreso Geológico Argentino. Tomo I: 311-316. Salta.

ALONSO, R.N., 1999. An Active Boratiferous Geyser in the Andes of Peru. American Geophysical Union, Fall Meeting, Tectonophysics, N° 6096. San Francisco.

ALONSO,R. y ARGAÑARAZ,R., 1990. Minería y Beneficio de los Boratos de Argentina. IV Jornadas Argentinas de Ingeniería de Minas, Tomo I, p.145 156. Jujuy

ALONSO,R. Y CHÁVEZ,I., 1990. Explotación y beneficio del yacimiento de boratos Loma Blanca, Jujuy. IV Jornadas Argentinas de Ingeniería de Minas, Tomo I, p.137 143. Jujuy.

ALONSO, R. y Gonzalez Barry, C., 1989. Geología del yacimiento de bórax Tincalayu (Salta). III Congreso Nacional de Geología Económica, Tomo III, p.21 36. Olavarría, Buenos Aires.

ALONSO, R. Y GONZALEZ BARRY, C., 1990. Geología y distribución de los depósitos de boratos del distrito minero Sijes, Salta. IV Jornadas Argentinas de Ingeniería de Minas, Tomo II, pp. 55 64. Jujuy.

ALONSO,R. Y GUTIERREZ,R., 1984. Zonación de ulexita en los salares de la Puna Argentina. Asociación Geológica Argentina, Revista, 39(1 2):52 57. Buenos Aires

ALONSO,R., GUTIERREZ, R. Y VIRAMONTE,J., 1984. Megacuerpos salinos cenozoicos de la Puna Argentina. IX Congreso Geológico Argentino, Bariloche, Actas I:25 42. Buenos Aires

ALONSO,R. Y HELVACI, C., 1988. Mining and Concentration of Borates in Argentina. AYTEKIN, YAVUZ (Ed.). Proc. of the II Intern. Mineral Processing Symp., p. 551 558. Izmir, Turquía.

ALONSO,R., HELVACI,C., SUREDA,R. Y VIRAMONTE,J.,1988. A New Tertiary Borax Deposit in the Andes. Mineralium Deposita, 23: 299 305. Springer Verlag

ALONSO, R., JORDAN, T., Y TABBUTT, K., 1989. Neogene Sedimentary Basins of Argentine Southern Puna Plateau, Central Andes Mountains. 28th International Geological Congress, Volume 1, p. 33 34. Washington D.C.

Alonso, R., Jordan, T., Tabbutt, K. y Vandervoort, D., 1991. Giant Evaporite Belts of the Neogene Central Andes. Geology, 19: 401 404.

ALONSO,R. Y MENEGATTI,N.,1990. La Formación Blanca Lila (Pleistoceno) y sus depósitos de boratos (Puna Argentina). XI Congreso Geológico Argentino, Tomo I, pp. 295 298. San Juan.

ALONSO, R.N. Y ROBERTSON, D.B., 1991. Kernite: Is It Primary in Neogene Sodium Borate Deposits?. Suggestive Evidence From Sodium Borate Ore Bodies. Geological Society of America, Abstract with Programs, p. A465. San Diego, California.

ALONSO, R.N. Y D.B. ROBERTSON, 1992. La génesis de kernita en los yacimientos de bórax. I Reunión de Mineralogía y Metalogenia, Actas, pp. 1 8. La Plata.

ALONSO R.N. Y T. RUIZ, 1997. "Asociaciones minerales en depósitos de boratos". En Atlas de Asociaciones Minerales en Lámina Delgada. Cap. 16, pp 237-248. Coord. Joan Carles Melgarejo. Ediciones de la Universidad de Barcelona. España. ISBN 84-89829-24-1.

ALONSO,R., SUREDA,R., Y VIRAMONTE, J. Geología del yacimiento de Boratos Loma Blanca (Jujuy). III Congreso Nacional de Geología Económica. Olavarria. Tomo I:205 220.

ALONSO,R., Y VIRAMONTE, J. 1985. Geyseres boratíferos de la Puna Argentina. IV Congreso Geológico Chileno, Actas II:23 44. Antofagasta

ALONSO, R. Y VIRAMONTE,J., 1985. Provincia Boratífera Centroandina. IV Congreso Geológico Chileno, Actas II:45 63. Antofagasta

ALONSO,R. Y VIRAMONTE,J., 1987. Geología y Metalogenia de la Puna. Estudios Geológicos, 43:393 407. Madrid.

ALONSO, R. Y VIRAMONTE, J.,1990. Borate Deposits in the Andes. In: Amstutz, G.C. (Ed.) "STRATABOUND ORE

DEPOSITS IN THE ANDES". Capítulo 2.2.4., 40 c. pp.721 732. Springer Verlag, Berlin.

ALONSO, R.N. Y VIRAMONTE, J.G., 1993. La cuestión genética de los boratos de la Puna. XII Congreso Geológico Argentino (Mendoza), Tomo V, pp. 187 194. Buenos Aires.

ALONSO,R., VIRAMONTE,J. Y GUTIERREZ, R., 1984. Puna Austral. Bases para el subprovincialismo geológico de la Puna Argentina. IX Congreso Geológico Argentino, Bariloche, Actas I:43 63. Bs.As.

ALLMENDINGER, R., JORDAN, T., KAY, S. Y ISACKS, B., 1997. The evolution of the Altiplano-Puna plateau of the Central Andes. Annual Reviews of Earth and Planetary Sciences, 25:139-174.

ARISTARAIN, L.F., 1989. Meyehofferita del distrito de Sijes, Salta, Argentina. Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales "Bernardino Rivadavia", Geología, T. 9, Nº 1, 1-19. B.Aires.

ARISTARAIN, L.F., 1991. Probertita de Tincalayu, Salta, Argentina. Revista del Museo de La Plata, Nueva Serie, Sección Geología, Tomo X, pp. 277-292. La Plata.

ARISTARAIN, L.F., 1991. Colemanita del distrito de Sijes, Salta, Argentina. Revista del Museo de La Plata, Nueva Serie, Sección Geología, Tomo X, pp. 319-333. La Plata.

ARISTARAIN, L.F., 1992. Hidroboracita del distrito de Sijes, Salta, Argentina. Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales "Bernardino Rivadavia", Geología, T. 10, Nº 1, p.3-24. B.Aires.

ARISTARAIN, L.F., 1992. Inderborita del distrito de Sijes, Salta, Argentina. Revista del Museo de La Plata, Nueva Serie, Sección Geología, Tomo XI, pp. 33-44. La Plata.

ARISTARAIN, L.F., 1992. Gowerita y nobleita del distrito de Sijes, Salta, Argentina. Revista del Museo de La Plata, Nueva Serie, Sección Geología, Tomo XI, pp. 81-88. La Plata.

ARISTARAIN, L.F., 1993. Nahcolita y sanbornita de Tincalayu, Salta, Argentina. Revista del Museo de La Plata, Nueva Serie, Sección Geología, Tomo XI, Nº 107, pp. 93-97. La Plata.

ARISTARAIN,L.F. y ERD,R., 1971. Inyoita, 2CaO.3B2O3. 13H2O de la Puna Argentina. Anales de la Sociedad Científica Argentina. Tomo CXCI, Entrega V-VI. Buenos Aires.

ARISTARAIN,L. Y HURLBUT,C., 1967a. Macallisterite from Salta,Argentina. Its ocurrence in the world. American Mineralogist, 52:1176-1784.

ARISTARAIN,L.F.Y HURLBUT,C., 1967b. Ameghinite, 2Na2O.B2O3.4H2O. A New Borate from Argentina. American Mineralogist, 52:935-945.

ARISTARAIN, L.F.Y HURLBUT,C., 1968. Teruggite, 4CaO.MgO.6B2O3. As8O5. 18H2O a new mineral from Jujuy, Argentina. American Mineralogist.,53:1815-1827.

ARISTARAIN, L.F. Y HURLBUT, C., 1972. Boron, Minerals and Deposits. Mineralogical Record, 3(5):213-220. Tucson.

ARISTARAIN, L.F. Y ROSSETO, H.L., 1993. Kurnakovita de Tincalayu, Salta, Argentina. Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales "Bernardino Rivadavia", Geología, T. 10, Nº 2, p. 25-44. B.Aires.

ARISTARAIN, L.F., RUSANSKY,J. Y WALKER,M.F.,1977. Ulexita de Sijes: Provincia de Salta (Argentina) y características generales de la especie. Obra del Centenario del Museo de La Plata. Tomo IV:23-47. Buenos Aires.

BALLIVIÁN, O., Y RISACHER, F., 1981. Los salares del Altiplano Boliviano. UMSA-ORSTOM, 246 p., París.

BATTAGLIA, R.R. Y R.N. ALONSO, 1992. Geología y minería de ulexita en el grupo minero "Maggie", Salar Centenario, Salta. IV Congreso Nacional y I Congreso Latinoamericano de Geología Económica, Actas, pp. 241 252. Córdoba.

CATALANO, L., 1926. Geología de los yacimientos de boratos y materiales de las cuencas. Salar de Cauchari. Puna de Atacama. Dirección General de Minas, Geología e Hidrología, Publicación No.23, 110p. Buenos Aires.

CATALANO,L., 1964. Cuenca de Diablillos. Secretaría de Minera, Serie Argentina No.2:1-70, 28 láminas. Buenos Aires.

CATALANO,L., 1964. Estudio geológico-económico del salar del Hombre Muerto. Secretaria de Minería. Serie Argentina No. 4:1- 133, mas láminas, mapas y figuras. Buenos Aires.

COIRA,B., DAVIDSON,J., MPODOZIS,C. Y RAMOS, V., 1982. Tectonic and magmatic evolution of the Andes of Northern Argentina-Chile. Earth Science Reviews, 18:303-332. Amsterdam.

COIRA, B. Y KAY, S., 1993. Implications of Quaternary volcanism at cerro Tuzgle for crustal and mantle evolution of the Puna plateau, Central Andes, Argentina. Contri. Mineral. Petrol., 113:40-58.

COIRA, B., KAY, S., Y J. VIRAMONTE, 1993. Upper Cenozoic Magmatic Evolution of the Argentine Puna- A model for changing subduction geometry. Int. Geol. Rev., 35:677-720.

CHONG, G.,1971. Depósitos salinos en el Norte de Chile y el salar de Atacama. Geochile, 3:13-27. Santiago.

CHONG, G., 1984. Die salare in Nordchile-Geologie, Structure und Geochimie. Geotektonische Forschungen, 67(I-II):1-146. Stutgart.

CHONG, G., 1987. Informe proyecto Fondecyt 786/87. Inédito

CHONG, G., 1988. The Cenozoic Saline deposits of the Chilean Andes. Lecture Notes in Earth Sciences, 17. Springer Verlag.

CHONG, G. Y PUEYO MUR, JJ. (EN PRENSA). Los depósitos de boratos de Chile. Revista Geológica de Chile. Ms.

DE SILVA, S.L., 1989. Altiplano-Puna volcanic complex of the Central Andes. Geology, 17: 1102-1106.

DONOSO,R. Y THEUNE, C., 1992. La minería no metálica chilena. Expomin 92. Chile.

GAY,H. Y HILLAR,N., 1972. Howlita del cerro Codo de Agua, Jujuy. Boletín de la Asociación Geológica de Córdoba, 1:130-132. Córdoba

GODFREY L.V., LOWENSTEIN T.K., LI J., LUO S, KU T.L., ALONSO R.N. Y T.E. JORDAN, 1997. "Registro continuo del Pleistoceno Tardío basado en un testigo de halita del salar de Hombre Muerto, Argentina". VIII Congreso Geológico Chileno. Vol I, pp 332-336. Antofagasta, Chile.

GONZALEZ BARRY, C. Y ALONSO, R.,1987. El depósito neoterciario de boratos "Esperanza", Salta. X Congreso Geológico Argentino. Actas II: 63 66. Tucumán.

HELVACI, C. AND ALONSO, R.N., 1994. An occurrence of primary inyoite at Lagunita playa, Northern Argentina. Proceedings of the 29th International Geological Congress (Kyoto), Part A, pp.299 308 VSP Utrecht, (ISBN 90 6764 173 1). The Netherlands.

HOYOS DE LOS, L.J., 1992. La Situación de la Minería Jujeña y sus Perspectivas. Los Depósitos de Boratos, pp. 99-103. CFI. Jujuy

HOYOS DE LOS, L.J., 1994. Oportunidades Mineras en la Provincia de Catamarca. Boratos, pp. 28-29. CFI. Catamarca

IGARZABAL, A., 1979. Los rasgos geomorfológicos y su relación con el origen del salar Pastos Grandes, departamento Los Andes, Provincia de Salta. Séptimo Congreso Geológico Argentino, Actas I:199-209.

IGARZABAL, A., 1982. El relieve de la Puna Argentina. Revista del Instituto de Ciencias Geológicas de Jujuy. 5:45-65. Jujuy.

IGARZABAL, A., 1984. Origen y evolución morfológica de las cuencas evaporíticas cuartáricas de la Puna Argentina. Noveno Congreso Geológico Argentino, Actas III:595-607. Buenos Aires.

IGARZÁBAL,A.P. y ALONSO,R.,1990. Origen del Boro y Litio. IV Jorn. Argentinas de Ingeniería de Minas, Tomo I, p.35 55. Jujuy.

IGARZABAL,A. Y POPPI, R., 1980. El salar de Hombre Muerto. Acta Geológica Lilloana, 15(2):103-117. Tucumán.

Isacks, B., 1988. Uplift of the Central Andean plateau and bending of the Bolivian orocline. J. Geophys. Res., 93:3211-3231.

JORDAN, T. Y ALONSO, R., 1987. Cenozoic stratigraphy and Basin Tectonics of the Andes Mountain, 20 28 South Latitude. American Assocation of Petroleum Geologist, 71(1):49 64. Tulsa

JORDAN, T.E. Y ALONSO, R.N., 1987. Geología de los Andes Centrales. Comunicacion, Sept./Oct., pp.16 32. YPF. Buenos Aires.

JORDAN, T.E., ALONSO, R.N., Y L.V. GODFREY, 1999. Tectónica, subsidencia y aguas en el salar del Hombre Muerto, Puna Argentina. XIV Congreso Geológico Argentino. Actas I:254-256. Salta.

JORDAN,T., ISACKS,B., ALLMENDINGER,R., RAMOS, V. Y ANDO,C., 1983. Andean Tectonic related to the geometry of subducted Nazca Plate. Geological Society of America, Bulletin, 94:341-361.

JORDAN,T., ISACKS,B., RAMOS,V.Y ALLMENDINGER, R., 1983. Mountain Building in the Central Andes. Episodes, 3:20-26.

KASEMANN S., FRANZ G., ERZINGER J., VIRAMONTE J.G. Y R.N. ALONSO, 1998. "Boron isotopic composition

of Tertiary borate deposits in the Puna plateau of the Central Andes, NW Argentina". X Congreso Latinoamericano de Geología y VI Congreso Nacional de Geología Económica. III:56. Buenos Aires.

KAY, S., COIRA, B., Y MPODOZIS, C., 1995. Neogene magmatic evolution and the shape of the subducting slab beneath the Central Andes (20°-33°). IUGS 21th General Assembly, pp. A440. Boulder.

KAY, R. Y KAY, S., 1993. Delamination and delamination magmatism. Tectonophysics 219:177-189.

KISTLER,R.B. Y SMITH, W.C., 1983. Boron and Borates. In, Lefond ed., Industrial Mineral and Rocks, 5th ed. Society of Mining Engineers of AIME, pp. 533-560.

MARRETT, R.A., ALLMENDINGER, R.W., ALONSO, R.N., Y DRAKE, R.E., 1994. Late Cenozoic tectonic evolution of the Puna Plateau and adjacent foreland, northwestern Argentine Andes. Journal of South American Earth Sciences, Vol. 7, N°2, pp.179 207.

MENDEZ,V., TURNER,J.,NAVARINI,A.,AMENGUAL,R. Y VIERA, O., 1979. Geología de la Región Noroeste, Provincias de Salta y Jujuy, República Argentina. Dirección General de Fabricaciones Militares, 118 p., 1 mapa a escala 1:400.000. Buenos Aires.

MUESSIG,S.,1958. Turi Lari, a bórax crystal playa deposit in Argentina. Geological Society of America, Bulletin, 69:1696-1697.

ORTÍ CABO F. Y R.N. ALONSO, 2000. Gypsum-Hydroboracite Association in the Sijes Formation (Miocene, NW Argentina): Implications for the Genesis of Mg-Bearing Borates. Journal of Sedimentary Research, 70 (3):664-681.

ORRIS, G.J., ET AL., 1992. Undiscovered nonmetallic deposits. In: Geology and Mineral resources of the Altiplano and Cordillera Occidental, Bolivia. U.S. Geological Survey, Report N° 1975.

ROJAS W.R. Y R.N. ALONSO, 1998. "Geología económica de la mina Apalacheana (hidroboracita), sierra de Sijes, Salta". X Congreso Latinoamericano de Geología y VI Congreso Nacional de Geología Económica. III:13-18. Buenos Aires.

ROJAS W.R. Y R.N. ALONSO, 1998. "Estudio geológico económico de la mina Ona (colemanita), sierra de Sijes, Salta". X Congreso Latinoamericano de Geología y VI Congreso Nacional de Geología Económica. III:19-24. Buenos Aires.

ROJAS, W.R. Y R.N.ALONSO, 1998. El Miembro Boratífero Ona (Nom. Nov.) de la Formación Sijes, Puna Argentina. VII Reunión Argentina de Sedimentología, Actas, 117-127. Salta.

SALIM, F., 1991. Estudio geológico del grupo minero El Zorro. Tesis profesional de Geología. UNSa, Salta.

Sempere, T. et al 1990. The Altiplano… 1st. Int. Symp. Andean Geodyn. Grenoble, France, pp.167-170.

SCHALAMUCK,I., FERNÁNDEZ, R. Y ETCHEVERRY,R., 1983. Los yacimientos de minerales no metalíferos y rocas de aplicación de la región NOA. Anales XX. Subsecretaría de Minera. Ministerio de Economía. Buenos Aires.

SCHWAB,K., 1972. Cenozoic volcanism in the Argentine Puna and its relationship to tectonic movements. International Geological Congress, Report 24, Sess. Canada, Proc. Section 2, Petrology, 211-274.

SCHWAB,K., 1985. Basin formation in a thickening crust. The intermontane basins in the Puna and the Eastern Cordillera of NW Argentina (Central Andes). Cuarto Congreso Geológico Chileno, Actas I:2-139/2-159. Antofagasta.

SCHWAB,K. Y LIPPOLT,H., 1974. K-Ar mineral ages and late Cenozoic history of the salar Cauchari área (Argentine Puna). International Asscociation Volcanism Chemical Earth, Proceedings, 698-714. Santiago.

SPARKS, R.S.J., ET AL., 1985. Ignimbrites of the Cerro Galan Caldera. J. Volc. Geoth. Res., 24:205-248.

SUREDA,R., GALLISKI,M., ARGAÑARAZ,P. Y DAROCA,J. (1986). Aspectos metalogenéticos del noroeste argentino. Capricornio, No.1. Universidad Nacional de Salta.

TURNER,J.C., 1972. Puna. Geología Regional Argentina. Academia Nacional de Ciencias de Córdoba. (A. Leanza, Ed.), pp.91-116. Córdoba.

TURNER,J.C. Y MENDEZ,V., 1979. Puna. Geología Regional Argentina. Academia Nacional de Ciencias de Córdoba, pp.13-56. Córdoba.

VANDERVOORT, D., T.E. JORDAN, P.K. ZEITLER Y R.N. ALONSO, 1992. Neogene Intraplateau Basins of the Southern Puna Plateau, Central Andes, NW Argentina. Geological Society of America, Abstracts with Programs, p. A 356. Cincinatti, Ohio.

VANDERVOORT, D.S., JORDAN, T.E., ZEITLER, P.K. AND ALONSO, R.N., 1995. Chronology of internal drainage development and uplift, Southern Puna plateau, Argentine Central Andes. Geology, February, 23(2):145 148.

VILA, T., 1990. Salar Deposits in Northern Chile. In Fontboté, et al., Stratabound Ore Deposits in the Andes. 703-720. Springer Verlag.

VIRAMONTE,J., ALONSO,R., GUTIERREZ, R. Y ARGAÑARAZ, R.,1984. Génesis del litio en los salares de la Puna Argentina. IX Congreso Geológico Argentino, Bariloche, Actas III:471 481. Buenos Aires.

ZANDT, G., VELASCO, AA Y BECK, SL, 1994. Composition and thickness of the southern Altiplano crust, Bolivia. Geology, 22:1003-1006.

PANORAMA DE MERCADO DE BORATOS

SECRETARÍA DE MINERÍA DE LA NACIÓN. "Estadística Minera 1995 - 2004". Buenos Aires, 2005.

SUBSECRETARÍA DE MINERÍA, DIRECCIÓN NACIONAL DE MINERÍA, PROGRAMA DE ASISTENCIA AL PRODUCTOR MINERO. "Panorama de mercado de la minería no metálica: Boratos". Buenos Aires, 2001.

BANCO CENTRAL DE CHILE. "Estadísticas de minerales no metalíferos". Santiago de Chile, 2004.

BANCO CENTRAL DE CHILE. "Estadísticas de minerales no metalíferos". Santiago de Chile, 2004.

U.S. GEOLOGICAL SURVEY. "Mineral Commodity Summaries 2003, Borates". Estados Unidos, 2003.

NITRATOS

BERMÚDEZ MIRAL, OSCAR. Historia del Salitre, Tomo I: Desde sus Orígenes hasta la Guerra del Pacífico. Ediciones de la Universidad de Chile, Santiago de Chile, 1963.

BERMÚDEZ MIRAL, OSCAR. Historia del Salitre, Tomo II: Desde la Guerra del Pacífico hasta la Revolución de 1891. Ediciones Pampa Desnuda, Santiago de Chile, 1984.

CIENCIAS DE LA TIERRA Y MEDIO AMBIENTE (LIBRO ELECTRÓNICO), http:// www.esi.unav.es /asignaturas /ecologia /Hipertexto /04Ecosis/135Cicn.htm

LEFOND, S. J. (EDITOR); Industrial Minerals and Rocks, 5th Edition, Vol.2. Society of Mining Engineers. 1983.

OPDEBEECK, H.; VERHELST, G.; DE MAREZ, E.; TEJADA, H.; VAN HYFTE, M.; Use of Natural Chilean Nitrate in Organic Farming

SOCIEDAD QUÍMICA Y MINERA DE CHILE (SOQUIMICH COMERCIAL SA). Agenda del Salitre, Undécima Edición, 2001.

PUEYO, J. J.; CHONG, G.; VEGA, M. Mineralogía y evolución de las salmueras madres en el yacimiento de nitratos Pedro de Valdivia, Antofagasta, Chile. Revista Geológica de Chile vol.25, Nº1 (Julio, 1998).

MINISTERIO DE MINERÍA Y SOCIEDAD NACIONAL DE MINERÍA, 1966.

CENSO NACIONAL AGROPECUARIO,1997.

ROJAS-WALKER,C. 2005. Comunicación personal.

ROJAS-WALKER,C. 2005. I Análisis del impacto de los fertilizantes sobre la producción agrícola. En Impacto de los fertilizantes en la productividad agrícola. INIA, Serie La Platina Nº 14: 7-11.

SILVA B.,1989. II 23-35. Los fertilizantes y la producción agrícola. En Impacto de los fertilizantes en la productividad agrícola. INIA, Serie La Platina Nº 14: 23-35.

SIERRA, C. 1989. Variación del contenido de nutrientes minerales (Ca +Mg +K) Na y Al de intercambio en una sucesión de cultivos manejada con dos fuentes nitrogenadas, Urea y Nitrato de Sodio. En impacto de los fertilizantes en la productividad agrícola. INIA, Serie La Platina: 214-220.

RODRÍGUEZ, N. 1989. Uso eficiente de nutrientes en la producción de trigo de la Región Centro Sur. En Impacto de los fertilizantes en la productividad agrícola. INIA, Serie La Platina :119-129.

CHILE

MINISTERIO DE MINERÍA Y SOCIEDAD NACIONAL DE MINERÍA, 1966.

Censo Nacional Agropecuario,1997.

ROJAS-WALKER,C. 2005. Comunicación personal.

ROJAS-WALKER,C. 2005. I Análisis del impacto de los fertilizantes sobre la producción agrícola. En Impacto de los fertilizantes en la productividad agrícola. INIA, Serie La Platina Nº 14: 7-11.

SILVA B.,1989. II 23-35.Los fertilizantes y la producción agrícola. En Impacto de los fertilizantes en la productividad agrícola. INIA, Serie La Platina Nº 14: 23-35.

SIERRA, C. 1989. Variación del contenido de nutrientes minerales (Ca +Mg +K) Na y Al de intercambio en una sucesión de cultivos manejada con dos fuentes nitrogenadas, Urea y Nitrato de Sodio. En impacto de los fertilizantes en la productividad agrícola. INIA, Serie La Platina: 214-220.

RODRÍGUEZ, N. 1989. Uso eficiente de nutrientes en la producción de trigo de la Región Centro Sur. En Impacto de los fertilizantes en la productividad agrícola. INIA, Serie La Platina :119-129.

SOCIEDAD QUÍMICA Y MINERA 2001. Agenda del Salitre.

PANORAMA DE MERCADO DE NITRATOS

SERVICIO DE MANEJO DE TIERRAS Y DE LA NUTRICIÓN DE LAS PLANTAS. Dirección de Fomento de Tierras y Aguas, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. "Uso de fertilizantes por cultivo en Argentina". Roma, Italia, 2004.

SERVICIO DE MANEJO DE TIERRAS Y DE LA NUTRICIÓN DE LAS PLANTAS. Dirección de Fomento de Tierras y Aguas, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. "Uso de fertilizantes por cultivo en Brasil". Roma, Italia, 2004.

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. "Sumario Mineral Brasileño". Brasilia, 2005.

BANCO CENTRAL DE CHILE. "Estadísticas de minerales no metalíferos". Santiago de Chile, 2004.

SERVICIO NACIONAL DE GEOLOGÍA Y MINERÍA. "Estadística Mineras, 2000 -2004". Santiago de Chile, 2005.

FAO. Base de datos FAOSTAT, 2004. www.fao.org.

INTERNATIONAL FERTILIZER INDUSTRY ASSOCIATION. "Production and International Trade Statistics". París, Francia, 2005.

ISBN: 987-22647-0-8