

Estado del conocimiento de la hidrogeología en Perú

J.A. Tovar Pacheco⁽¹⁾, J.L. Sayán Miranda⁽²⁾, G. Pérez Verástegui⁽³⁾ y A. Guzmán Martínez⁽⁴⁾

(1) Hydro-Geo Ingeniería S.A.C. Jr. Ramadal 149, Dpto. 603. Lima 33-Perú.
E-mail: jtovar@hydrogeo.com.pe

(2) Consultor. Jr. Enrique León García 572. Lima 33-Perú.
E-mail: tanhaperu@yahoo.com

(3) Universidad Nacional de Ingeniería. Av. Garcilazo de la Vega 228. Lima 31-Perú.
E-mail: pvguillermo@hotmail.com

(4) Consultor. Jr. Piura 268 Urb. Altamar-Callao 4-Perú.
E-mail: aguzmanm@terra.com.pe

RESUMEN

El estudio, permite observar a grandes rasgos el estado del conocimiento de las aguas subterráneas en el Perú, república ubicada en la parte central y occidental de América del sur, caracterizada por tener la topografía más accidentada del continente americano. Presenta tres regiones bien diferenciadas costa, sierra y selva, cada una de ellas con características propias. La costa es árida y generalmente plana pero muy angosta, es la que más utiliza los recursos hídricos subterráneos, siendo el acuífero de Ica-Villacuri el más explotado con 316,53 hm³ y el de Yauca con 0,03 hm³ el menos explotado, estos acuíferos son del tipo libre y generalmente se encuentran en depósitos clásticos del Cuaternario. El acuífero de la ciudad de Lima es el más estudiado, donde se encuentra el mayor número de pozos del país para extraer agua subterránea. La sierra es montañosa, conformada por la cordillera de los Andes, surcada por ríos profundos que desaguan hacia la costa y hacia la región amazónica. En la franja Andina la diversidad de acuíferos está asociada a rocas fisuradas de diferente origen, que durante todo el año mantienen el caudal base de los ríos. Hacia el Norte y hacia el Nororiente, los acuíferos Andinos son mayormente kársticos. Hacia el centro la litología está conformada por estratos de areniscas, calizas y lavas, cuyas estructuras plegadas y fracturadas favorecen el flujo longitudinal y transversal. Hacia el Sur, las rocas mayormente volcánicas sedimentarias conforman un acuífero muy importante, coincidente con el altiplano, donde los recursos hídricos subterráneos de los Andes constituyen un gran reservorio de agua subterránea que a la vez conforman una zona de recarga importante de los acuíferos costeros. La hidrogeología de la zona Andina toma experiencias de la actividad minera, donde generalmente el agua subterránea abunda, razón por la que se han desarrollado obras de drenaje subterráneo para facilitar el laboreo minero. Algunas de estas obras, constituyen un aporte a los caudales de agua de los ríos, tal es el caso del túnel Graton que aporta la cuarta parte de la demanda de la ciudad de Lima. La selva que pertenece a la cuenca hidrográfica del Amazonas es muy húmeda, presenta intensas precipitaciones, es plana a ondulada, cubierta por una densa vegetación y surcada por caudalosos ríos. En esta región, aunque el recurso hídrico superficial es abundante, las aguas subterráneas son empleadas para el abastecimiento de agua potable de las principales ciudades, centros poblados menores, comunidades indígenas y para cubrir las necesidades de la industria. Tal es el caso de la industria cervecera y de gaseosas de la ciudad de Pucallpa. La importancia cada vez más creciente en el Perú por conocer sus recursos hídricos subterráneos, motivará que en los próximos años se intensifique la preparación de nuevos profesionales y/o captar a especialistas en hidrogeología de países extranjeros que deseen trabajar en bien del desarrollo de la hidrogeología del Perú.

Palabras clave: aguas subterráneas, hidrogeología, Perú

Status of hydrogeological knowledge in Perú

ABSTRACT

The study allows measuring, in a general way, how much we know about the groundwater in Peru, a republic located in the central and occidental section of South America and characterized for the most accidental topography in the American continent. The country has three different regions. Coast, Mountains and Jungle. Each of them has its own characteristics. The Coast is arid, flat and very narrow, which uses most of the groundwater resources. The Ica-Villacuri aquifer is the most exploited with 316,53 hm³ and the less exploited is the Yauca aquifer with 0,03 hm³. These aquifers are free type and most of them are in clastic deposits of the Quaternary. The Mountains are formed by the Andean range, crossed by deep rivers that discharge in the coast and in the Amazonian region. The diversity of aquifers in this Andean range is related to porous and permeable rocks of different origin, which, along the year, maintain an important base flow in the rivers. To the North and to the Northeast, most of the Andean aquifers are karstic. To the Center, the lithology is formed by sandstones, lime and lava flows. The folded and fractured structures support the longitudinal and transversal flow. To the South, most of the volcanic-sedimentary rocks form a very large aquifer, which coincide with the highlands plateau, where the Andean groundwater resources form a great reservoir of groundwater, which, at the same time, forms an important recharge zone of the coastal alluvial aquifers. The knowledge hydrogeology of the Andean zone takes experiences from the mining activity, where the groundwater abounds.

For this reason, underground drainages works have been performed to facilitate this activity. Some of these works are a contribution to the river flow, such as the case of the Graton tunnel that supplies a quarter of the Lima city water demand. The Jungle, which is part of the Amazonian basin, is very moist. This region presents high rainfall levels, it is flat and undulated, covered by dense vegetation and crossed by rivers of great volume. The Lima aquifers is the most studied, where it is the grater amount of wells in the country to extract ground water. Despite the water resources in this region are abundant; the groundwater is used for the supply of drinking water for the main cities, small towns and indigenous communities and for industrial consumption. This is the case of the beer and soda industry of Pucallpa city. The growing interest in Peru of knowing the water resources will encourage the preparation of new professionals and the recruiting of new hydrogeology specialist from foreign countries who want to work for the development of the Peru hydrogeology in the coming years.

Key words: groundwater, hydrogeology, Peru

Introducción

El área de investigación de este estudio cubre todo el ámbito del territorio peruano, pero incide en la franja montañosa, la cual es coincidente con la cordillera de Los Andes, zona de recarga de los diversos acuíferos que drenan tanto hacia la cuenca del Pacífico, como hacia el Atlántico y también hacia la cuenca endorreica del lago Titicaca-Poopo.

El Perú es un país de contrastes ambientales naturales, artificiales y humanos. Uno de los factores principales de la heterogeneidad ambiental natural del Perú, es la cordillera de Los Andes. Su línea de cumbrones constituye la divisoria continental de las aguas en América del Sur.

El principal objetivo de este trabajo, es dar a conocer la situación de los estudios y conocimientos hidrogeológicos en el Perú, principalmente en lo que se refiere a acuíferos poco estudiados como los kársticos y fisurados además de su protección y manejo.

Climatología del Perú

Temperatura

Las temperaturas tienen pequeñas variaciones de una estación a otra, con pronunciados cambios durante el día y la noche, sin embargo, en invierno (Junio a Noviembre) las variaciones diarias son bastante extremas. Varían entre -15 a -20° C durante las madrugadas y entre 20 a 25° C durante el medio día. La temperatura promedio anual oscila aproximadamente entre 10 a 15° C.

Humedad relativa

En la zona Norte la humedad relativa es mayor debido al mayor tiempo de ocurrencia de precipitación y

nubosidad, además de la mayor cobertura vegetal. En el Sur, la humedad es menor debido a la mayor insolación y al menor tiempo de precipitación, además de la menor cobertura vegetal.

Vientos

En general, los vientos tienen velocidades moderadas durante casi todo el año, siendo más intensos durante Junio a Septiembre y más suaves durante Enero a Marzo. Los vientos son calmos durante la madrugada e intensos después del medio día. En algunos lugares, es frecuente la ocurrencia de pequeños tornados de corta duración debido a la presencia de vientos encontrados. Generalmente son de Sur a Norte.

Evaporación

Debido a la mayor humedad y nubosidad, en la zona Norte la tasa de evaporación es de aproximadamente 1.000 milímetros por año, mientras que en la zona Sur, debido a su aridez y mayor insolación, es de aproximadamente 1.500 mm/año. La franja Andina se encuentra ubicada en una región de evaporación neta, es decir, la evaporación anual generalmente excede a la precipitación.

Precipitación

En general, la época de lluvias en la zona Andina y en la amazonía ocurre entre Diciembre y Abril, siendo Febrero el mes más lluvioso y los meses de Julio a Septiembre, los menos lluviosos. La precipitación ocurre en forma de lluvias, granizo o nevadas. En la región Norte, la época lluviosa se extiende hasta casi ocho meses al año, con una tasa promedio anual superior a 1.100 mm. En la región Centro, ocurre tam-

bién durante tres a cuatro meses, con una tasa anual de 800 a 1.000 mm. En la región Sur la época de lluvias se limita a tres o cuatro meses, con una tasa promedio anual cercana a 500 mm.

En las áridas cuencas costeras las tasas de precipitación son cercanas a cero, sin embargo, los ríos manifiestan caudales importantes debido a que sus cabeceras se ubican en la franja Andina. En la cuenca amazónica la precipitación es una de las más extremas del mundo, motivo por el cual sus ríos son sumamente caudalosos.

Geología

La cordillera de Los Andes es una región montañosa donde la corteza terrestre se encuentra comprimida por las acciones propias de la tectónica de placas. Es así como en esta zona se ha formado uno de los mayores espesores siálicos donde, a razón del tectonismo se ha desarrollado un sistema de pliegues, fracturas, espacios litológicos y conductos que en su conjunto constituyen reservorios naturales de gigantescas capacidades para el almacenamiento de agua subterránea (Bellido, 1969), Fig. 1.

Rocas del Precámbrico

Constituyen el basamento cristalino representado por un complejo de rocas metamórficas asociadas a intrusiones graníticas alcalinas, con algunas rocas de naturaleza básica y ultra básica. Sus afloramientos se presentan como rocas ígneas, esquistos, filitas y migmatitas y las intrusiones como granitos, dioritas y pegmatitas.

Rocas del Paleozoico

Están presentes principalmente en la cordillera Oriental. Consisten en lutitas, areniscas y cuarcitas, a veces intercaladas con lutitas arenosas, así como pizarras, cuarcitas y esquistos. Localmente, también se presentan rocas volcánicas y calcáreas como calizas bituminosas, carbonosas y margas. Hacia la parte superior de la secuencia Paleozoica, se presentan conglomerados intercalados con derrames volcánicos.

Rocas del Mesozoico

En la cordillera Occidental se presentan como estratos volcánico-sedimentarios con algunas intercalaciones calcáreas y en la cordillera Oriental como rocas sedimentarias clásticas y calcáreas. En general las rocas son areniscas, cuarcitas, lutitas, con abundantes calizas bituminosas, carbonosas y margas, además de derrames volcánicos.

Rocas del Terciario

Contienen formaciones sedimentarias marinas y continentales con abundantes derrames de rocas volcánicas. Comprende lutitas, areniscas, conglomerados con algunas capas localizadas de calizas y tobas.

Depósitos del Cuaternario

Constituidos por bancos de coquinas, areniscas calcáreas, conglomerados arenas, limos y arcillas, además de arenas eólicas. La zona altiplánica y los valles

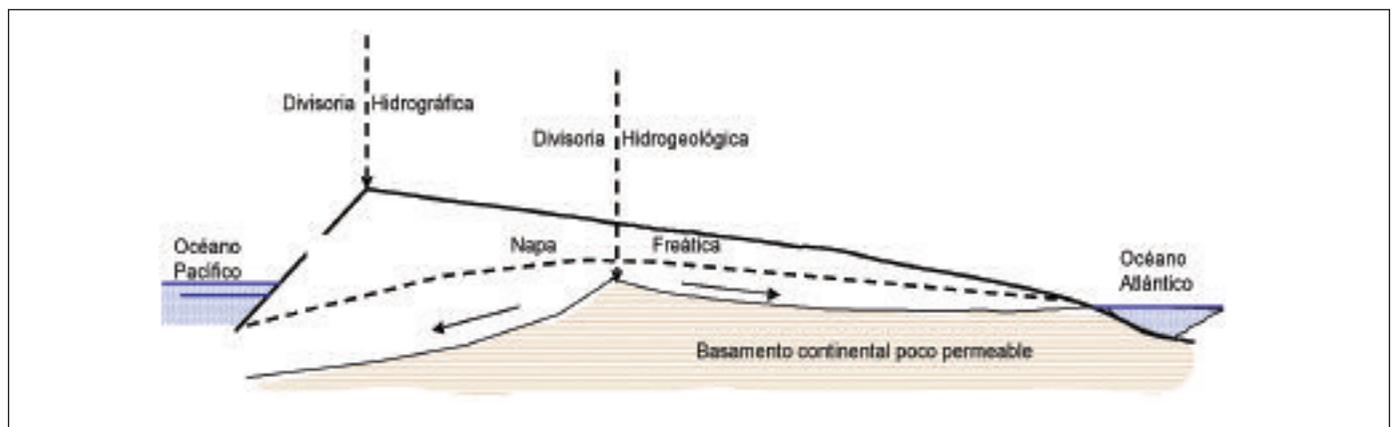


Fig. 1. Sección esquemática continental andina mostrando la diferencia entre cuencas hidrográficas e hidrogeológicas
Fig. 1. Schematic section showing differences between Andean hydrogeological and hydrographic basins

interandinos contienen depósitos morrénicos y materiales aluviales y lacustres.

Rocas volcánicas

Comprenden derrames volcánicos intercalados con sedimentos depositados desde el Paleozoico Superior hasta el Cuaternario. Consisten principalmente de derrames, brechas de flujo, aglomerados, tufos de composición mayormente andesítica y en menores proporciones riolíticas, dacíticas, tranquiandesíticas y basálticas. Generalmente se presentan estratificados en forma de bancos gruesos con intercalaciones de conglomerados, areniscas y areniscas tufáceas, brechas y raramente limolitas, lutitas y calizas lacustres.

Rocas intrusivas

Cubren extensiones importantes formando el batolito Andino. Incluyen intrusiones de granito, dioritas, granodioritas, gabros, tonalitas, adamelitas, monzonitas y pórfidos graníticos.

Tectónica

Asociadas a la tectónica de placas, la cordillera de Los Andes tiene una orientación general Noroeste-Sureste, rumbo que también mantienen las principales estructuras tectónicas regionales como fallas, pliegues, depresiones, elongación de masas batolíticas, alineamientos de conos volcánicos, etc.

Destacan dos situaciones tectónicas notables en el rumbo general de Los Andes. Así, a la altura del paralelo 14° en la deflexión de Abancay toman una dirección Este-Oeste, para luego volver a su dirección Sureste-Noroeste hasta la altura del paralelo 6°, en la deflexión de Huancabamba donde varían su dirección a Norte-Sur hasta ingresar a territorio ecuatorial. En la región Andina ocurre un fuerte tectonismo acompañado de magmatismo y vulcanismo destacando el batolito Andino. Contiene también un sistema de fallas longitudinales y una sucesión de plegamientos asociados con fallas inversas y sobre-escurrimientos. Luego al Sur denota una gran actividad volcánica que cubrió de estratos volcánico-sedimentarios extensas zonas del altiplano.

Hidrografía

Las principales cuencas hidrográficas del Perú se ubi-

can en la cordillera de Los Andes, de las cuales, las más importantes son las que se emplazan en forma longitudinal a la franja Andina.

En la hoya del río Amazonas y del océano Atlántico se encuentran las cuencas de los ríos Marañón por el Nor Oriente, las cuencas de los ríos Mantaro y Apurímac en la zona Centro-Sur y la cuenca del río Urubamba en el Sur Oriente.

En la hoya del océano Pacífico se encuentran las cuencas de la mayoría de los ríos que drenan a la costa, cuyas cabeceras se encuentran en la cordillera, siendo las más importantes en el Norte las cuencas de Tumbes, Chira, Piura, Jequetepeque y Santa, esta última se emplaza longitudinal a la cordillera Blanca. En la zona Centro, destacan los ríos Rímac y Cañete y en el Sur las cuencas de los ríos Ocoña, Camaná y Tambo.

En la hoya endorreica del lago Titicaca ubicada en la región altiplánica Sur, se encuentran varias cuencas menores correspondientes a sus ríos tributarios, Ramis, Coata, Huenque-llave, etc., además de los ríos fronterizos que drenan hacia el lago Poopó.

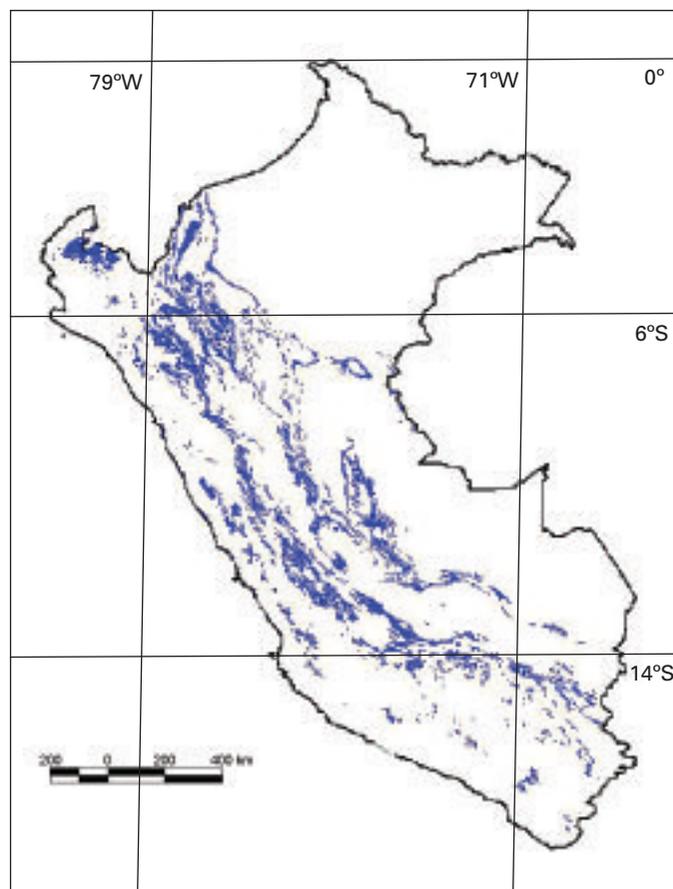


Fig. 2. Áreas kársticas del Perú (CESPE, 2003)
Fig. 2. Karstic areas in Peru (CESPE, 2003)

Normativa básica en materia de aguas

El marco legal e institucional para la gestión de los recursos hídricos en el Perú está dado por la Ley general de aguas (Ministerio de Agricultura, 1969), en donde principalmente se establece lo siguiente:

- Las aguas sin excepción alguna son propiedad del Estado.
- La autoridad de aguas es el Ministerio de Agricultura.
- El Administrador Técnico del Distrito de Riego (ATDR), es la autoridad del Distrito de Riego y de las Autoridades Autónomas de Cuencas Hidrográficas (AACH).
- El Ministerio de Salud es el responsable de la calidad de aguas.

La Ley de Aguas ignora que la gestión del agua es multisectorial y le da una mayor importancia al sector agrario. Igualmente en ella no se reconoce la naturaleza económica del agua, precisando que debe ser usada en armonía con el interés social y el desarrollo del Perú, estableciendo las licencias de agua como derechos de uso. Las AACH son responsables de la preparación de planes maestros para la gestión del agua, la ejecución de actividades de conservación del recurso en la cuenca y la solución de conflictos multisectoriales por el aprovechamiento del agua en su ámbito. Actualmente se está debatiendo una nueva Ley de Aguas para lo cual se está buscando el consenso nacional a través de las mesas de diálogo donde participan las diversas organizaciones, públicas, privadas y sociales.

En el sector Agricultura se ha dado un paso importante en la gestión de la demanda de los recursos hídricos al aprobarse la "Política y Estrategia Nacional de Riego en el Perú" (Ministerio de Agricultura, 2003), destinada a mejorar la rentabilidad y competitividad de la agricultura, mediante el aumento de la eficiencia en el aprovechamiento del agua y el aprovechamiento intensivo y sostenible de las tierras. Igualmente en el sector saneamiento se ha establecido el "Plan Estratégico del Sub-Sector Saneamiento para el período 2003-2012 que tiene como objetivo general contribuir a ampliar la cobertura y mejorar la calidad de los servicios de agua potable, alcantarillado, tratamiento de aguas servidas y disposición de excretas.

En el caso del sector privado, desde la década del 90 el Estado ha retomado el interés en su participación, a través de un intenso programa de privatizaciones que continúa hasta el presente y a través de los Gobiernos Regionales.

Instituciones y organizaciones

Los sectores que intervienen en la gestión del agua a través de sus correspondientes Ministerios son:

- Agricultura (aprovechamiento agrícola).
- Vivienda, Construcción y Saneamiento (aprovechamiento doméstico).
- Salud (calidad del agua).
- Comercio Exterior y Turismo (aguas termales).
- Energía y Minas (aprovechamiento energético y operaciones minero-metalúrgicas).
- Producción (aprovechamiento industrial y acuícola).
- Presidencia del Consejo de Ministros (política ambiental, regulación de tarifas de servicios de agua potable y energía).
- Defensa (información hidro-meteorológica).

En el sector Agricultura, el Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA) a través de la Intendencia de Recursos Hídricos, es la encargada de los aspectos normativos y de solución de conflictos multisectoriales para el aprovechamiento del agua. El Programa Nacional de Manejo de Cuencas Hidrográficas y Conservación de Suelos (PRONAMACHS) que ejecuta acciones de conservación de cuencas a nivel nacional en las zonas altoandinas.

En el sector Energía y Minas, las Direcciones de Electricidad y Medio Ambiente son responsables de acciones normativas sectoriales, autorizaciones de concesiones en el caso de electricidad y la solución de conflictos sectoriales. El Instituto Geológico Minero Metalúrgico (INGEMMET) responsable también de investigar el recurso hídrico subterráneo en el ámbito nacional.

En el sector Salud, la Dirección Nacional de Saneamiento se encarga de los aspectos normativos y técnicos en el ámbito urbano y rural (Ministerio de Salud, 2002). La Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA), es responsable de la preservación, monitoreo y control de la calidad de los recursos hídricos en los cursos de agua del Perú.

En el sector Presidencia del Consejo de Ministros, la Comisión Nacional del Ambiente (CONAM) se encarga de la normativa y políticas sobre el ambiente. El Sistema Nacional del Ambiente (SUNASS) regula las tarifas de agua potable y saneamiento y fiscaliza la prestación de servicios en el ámbito urbano. El Organismo Supervisor de la Inversión en Energía (OSINERG) regula las tarifas eléctricas y fiscaliza las empresas eléctricas. El Sistema Nacional de Defensa Civil (INDECI) encargada de actuar en caso de desastres naturales.

En el sector Defensa el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) es la encargada de la información hidro-meteorológica.

En el sector Pesquería, la Dirección General de Pesquería se encarga de normar y supervisar las actividades acuícolas.

A nivel regional el Estado interviene en la gestión del agua básicamente a través de las ATDR, las Direcciones Regionales de Salud y las Juntas de Usuarios.

Provincias hidrogeológicas

Debido a las condiciones geológicas de la cordillera Andina, el flujo del agua se ha favorecido en forma mayormente longitudinal y en menor escala, en forma transversal. En general, a lo largo de la cordillera Andina la ocurrencia de los acuíferos es como sigue:

- Hacia el Norte y hacia el Nororiente, los acuíferos Andinos se caracterizan por ser mayormente kársticos, extensos y de gran permeabilidad, mientras que hacia el flanco Nor Occidental estos son menos extensos y de menor permeabilidad, debido a que se encuentran cubiertos por estratos volcánicos.
- Hacia el Centro del Perú, la litología de los acuíferos es más variada; está conformada por estratos intercalados de areniscas, calizas y lavas de mediana permeabilidad. Sin embargo, la presencia de estratos aluviales que rellenan valles interandinos y planicies altoandinas, conforman acuíferos algo más productivos.
- Hacia el Sur, las rocas mayormente volcánicas y volcánico-sedimentarias conforman un inmenso acuífero de mediana permeabilidad cuyos estratos se extienden desde el Sur de Ayacucho a lo largo del altiplano hasta la frontera con Chile y Bolivia. Por su parte, los conos volcánicos asociados debido a su mayor permeabilidad vertical, conforman los sistemas de recarga.
- Tanto hacia el flanco Occidental pacífico, como hacia el flanco Oriental atlántico, los recursos hídricos subterráneos provenientes de la franja Andina, constituyen además una importante fuente de recarga para los acuíferos costeros y amazónicos. Por tanto, constituyen la principal fuente de agua para el caudal base de los ríos respectivos (INRENA, 1998).

La diversidad de acuíferos asociados a rocas permeables de diferente origen, que se encuentran en la zona Andina, los valles y cursos de agua interandinos generalmente mantienen un caudal base importante durante todo el año.

Principales unidades y estructuras hidrogeológicas

Las principales unidades geológicas de Los Andes que manifiestan condiciones hidrogeológicas apro-

piadas para ser consideradas como acuíferos, son las siguientes:

Acuíferos kársticos

Estos acuíferos están conformados por el conjunto de unidades calcáreas karstificadas del Mesozoico (CES-PE, 2003), cuyos afloramientos son muy abundantes y extendidos en la cordillera Andina (Ver la Figura 2). Las unidades más importantes y representativas son:

- En la zona Norte y Nororiente, las formaciones Utcubamba, Yumagual, Cajamarca, Chulec. Es en esta zona donde los afloramientos kársticos son los más extensos del Perú y por lo tanto el aporte del agua subterránea al sistema hidrográfico regional, es también de gran importancia. El mayor desarrollo de estructuras kársticas, también obedece a la mayor presencia de lluvias. En esta zona es destacable también la mayor presencia de cavidades kársticas y formas asociadas como lapiaz, dolinas, cavernas y manantiales permanentes. Destacan las áreas ubicadas en las cabeceras de las cuencas de los ríos Utcubamba, Marañón, Chotano, Santa Cruz, Cajamarca, Mosna, entre muchos otros.
- En la zona Centro, destacan las formaciones Jumasha, Pucará, Goyllarisquizga, las cuales a pesar de no estar muy expuestas, presentan importantes manifestaciones kársticas como cavernas y manantiales mayormente intermitentes. Destacan las áreas de las cabeceras de los ríos Cañete, Palcamayo, Mantaro, Paucartambo y Huallaga.
- En la zona Sur, destacan el grupo Copacabana y las formaciones Gramadal y Socosani del grupo Yura, Cotabambas, Ferrobamba, Yuncaypata y Ayabacas (INRENA, 2002). Es en esta zona, donde los afloramientos de rocas calcáreas son los menos extensos del Perú debido a la cobertura volcánica y volcánico-sedimentaria. Sin embargo, en algunos lugares las aguas subterráneas de origen kárstico, constituyen un importante aporte al caudal base de algunos ríos. Destacan las áreas conformadas por las cabeceras de los ríos Apurímac y Vilcanota.

Acuíferos fisurados

Estos acuíferos están conformados por rocas fracturadas de diverso origen. Tal es el caso de muchas formaciones sedimentarias cretácicas y terciarias (mayormente areniscas y cuarcitas) que se presentan principalmente en la zona Norte y, escasamente en el Sur. También están conformados por formaciones

volcánicas fracturadas (lavas e ignimbritas) que cubren gran parte del basamento Andino. Tal es el caso de las formaciones Porculla, Calipuy, Huambo y Yungay que afloran en el Norte, las formaciones Bosque de Piedras, Castrovirreyna, Sacsaquero, Huanta y Ayacucho que se presentan en la región Centro y las formaciones Tacaza, Huaylillas y Barroso en el Sur.

La actividad minera ubicada mayormente en la zona Andina, ha puesto en evidencia la magnitud e importancia de las rocas fisuradas como unidades acuíferas. Estas rocas fisuradas generalmente conforman las áreas de infiltración o recarga del sistema acuífero y aportan agua subterránea hacia el interior de las minas durante el desarrollo del minado, razón por la cual se evacúan importantes caudales de drenaje por túneles y tajos abiertos.

Acuíferos fisurados-clásticos

En el Perú, este tipo de acuíferos debido a su extensión es muy importante. Específicamente se extienden en toda la región altiplánica del Sur del Perú y están conformados por las formaciones volcánico-sedimentarias Capillune-Maure-Barroso, que se ubican mayormente hacia el lado Oeste de la cordillera Occidental (Tovar, 1994). Debido a su extensión y profundidad, estos acuíferos constituyen un aporte permanente e importante para los ríos que lo drenan, los cuales discurren tanto hacia el océano Pacífico, hacia la Amazonía, como hacia la cuenca del Titicaca. Son precisamente los ríos de la vertiente del Pacífico, que a pesar de estar localizados en la parte Norte del desierto de Atacama, muestran caudales bases considerables. Ver la Figura 3.

Acuíferos clásticos

Acuíferos importantes para las reservas de agua subterráneas en el Perú lo constituyen los depósitos fluvio-glaciares y aluviales que rellenan las depresiones de las zonas de los valles interandinos y altoandinos. Estos acuíferos consisten de cantos, gravas y arenas con lentes de arenas, arcillas y limos que sobreyacen a un basamento rocoso antiguo. Localmente presentan condiciones semiconfinadas por los lentes de arcilla que contienen. Los acuíferos tienen espesor y extensión muy variables, debido a que existe un relieve muy irregular del basamento en las cuencas interandinas. Importantes recursos hídricos subterráneos en este tipo de acuíferos se encuentran en los valles de los ríos Cajamarca, Mayo, Huallaga, Mantaro, pampas altoandinas de

Ayacucho, Arequipa, Moquegua (INRENA, 2003), Tacna, entre otras.

Estado del conocimiento de los acuíferos

El conocimiento de las principales características hidrogeológicas de la zona Andina está basado en las experiencias de la actividad minera, en donde en general el agua subterránea es abundante, razón por la cual en muchos casos se han desarrollado una serie de obras subterráneas de drenaje para facilitar el laboreo minero. Algunas de estas obras hidráulicas, en la actualidad constituyen conductos de drenaje que aportan importantes caudales de agua a los correspondientes ríos. Tal es el caso del túnel Graton que aporta 6 m³/s al río Rímac, de aguas subterráneas que se aprovechan para la generación de energía hidroeléctrica y para satisfacer la demanda de agua potable de la ciudad de Lima (Guzmán, 2004).

En la zona Sur del Perú se han efectuado importantes estudios para el aprovechamiento de los recursos hídricos en los departamentos de Cusco (Candía, 2004), Puno, Arequipa, Moquegua y Tacna que han brindado un mejor conocimiento de los recursos hídricos subterráneos contenidos en los acuíferos de las formaciones Yura, Moquegua (INRENA, 2003), Maure, Capillune y Azángaro, faltando incentivar más estudios en las zonas Norte y centro del Perú. Asimismo, gracias a los trabajos efectuados por la minería y por el INGEMMET se tiene información de la situación de las aguas termales en las zonas de Cajamarca, Churín y Tacna (Bellido, 2004), además de los acuíferos contenidos en las areniscas del Grupo Oriente o la formación Vivian, entre otros.

Planes de cartografía hidrogeológica

En el Perú el mayor porcentaje de estudios de agua subterránea han estado orientados al estudio hidrogeológico de los valles costeros para uso o aprovechamiento poblacional, agrícola e industrial. Aisladamente se efectúan estudios para el uso en actividades mineras. En el 2002, el INGEMMET a través de su Dirección de Geología Ambiental, con el apoyo de el Instituto Geológico Minero de España (IGME) elaboró la primera versión del Mapa Hidrogeológico del Perú a escala 1:1.000.000, basado en los 501 cuadrángulos que constituyen la carta Geológica Nacional. Este documento preliminar de síntesis y base de la infraestructura hidrogeológica del Perú, (Guzmán, 2004) se basó en la recopilación de la información bibliográfica y cartográfica en los campos de la geología, hidrogeología disponible en otras entidades.

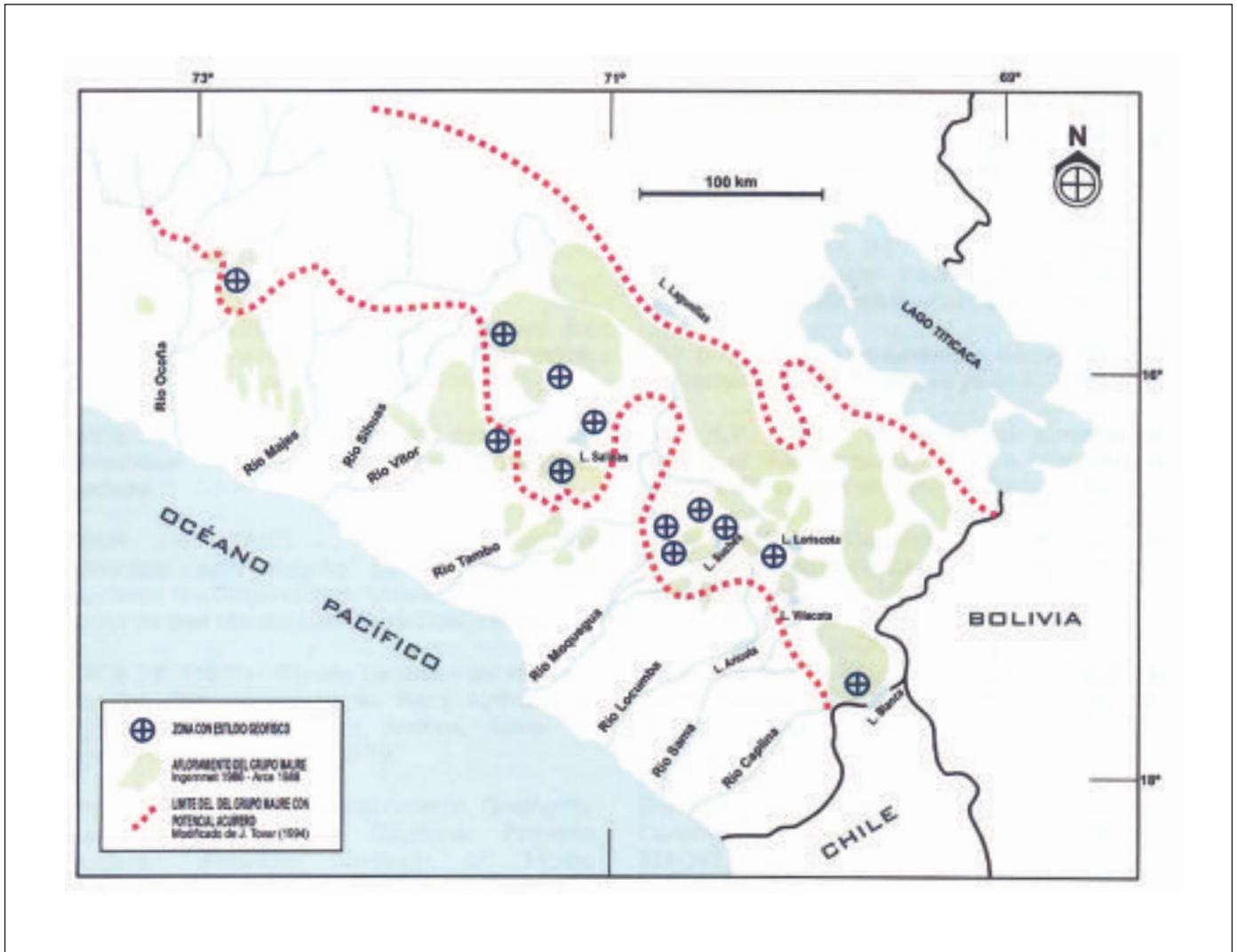


Fig. 3. Acuífero terciario fisurado-clástico en el altiplano Sur del Perú (Arce, 2005)
 Fig. 3. *Clastic-fractured Tertiary aquifer at southern Peru (Arce, 2005)*

Asociaciones científicas y profesionales especializadas

En el Perú las asociaciones científicas y profesionales en el campo de la hidrogeología es muy limitado, el más importante grupo científico lo constituye la Asociación Internacional de Hidrogeólogos, Grupo Peruano, que el año 2004 organizó el I Congreso peruano de hidrogeología que tuvo mucha aceptación en la comunidad científica peruano, igualmente en la Sociedad Geológica del Perú existe una agrupación de hidrogeólogos que están propugnando por dar realce a esta disciplina. Aunque actualmente existe una gran demanda de profesionales en el campo de la hidrogeología, los que se dedican a ella son muy escasos. Principalmente se hallan en

organismos públicos como INRENA, INGEMMET, Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima (SEDAPAL) y Universidades. Otros pocos trabajan en empresas de consultoría o como consultores independientes.

Las actividades de investigación sobre los recursos hídricos se llevan a cabo en diferentes estamentos donde su uso es primordial. Tal es el caso de universidades como la Nacional de Ingeniería, San Marcos, la Católica, la Molina, de Piura, Pedro Ruiz Gallo, etc. Instituciones públicas como el antiguo Cuerpo de Ingenieros de minas, Instituto Nacional de Investigación y Fomento Minero (INIFM), Servicio Geológico del Perú, Instituto Geológico Minero (INGEOMIN), predecesores del actual INGEMMET, además de INRENA, DIGESA, SEDAPAL, proyecto

especial Tacna, etc. También instituciones privadas como CEPIS, empresas mineras (Antamina, Barrick, Buenaventura, Southern Perú, Yanacocha, etc), ONGs, etc.

No existen publicaciones periódicas sobre recursos hídricos subterráneos ni superficiales. Las pocas publicaciones sobre estos temas se hallan más relacionados a los que se realizan en los congresos, seminarios, simposiums de geología, ingeniería civil, saneamiento, aguas termales, etc. También destacan los trabajos que envían profesionales a revistas nacionales e internacionales en el campo de la hidrogeología o los recursos hídricos superficiales.

Formación en hidrogeología

Institucionalmente, la formación científica en esta disciplina en el Perú comienza en los años 1957-1958 el U. S. Geological Survey que realizó estudios hidrogeológicos con profesionales peruanos, a cargo del Dr. Stuart L. Schoff en los valles del río Chancay en Chiclayo y en Lima. Luego continuó en 1961, con la creación de "La Comisión de Aguas subterráneas" en el ex Ministerio de Fomento y Obras Públicas. Desde su nacimiento, este organismo contó con el asesoramiento técnico de la cooperación francesa, mediante el envío de especialistas: En 1962 llegaron al Perú el ingeniero Jaque Delpy y el Dr. Pierre Taltasse, este último, experto de las Naciones Unidas, quien venía de poner al descubierto la napa freática del desierto de Sahara.

Durante los años 1962-1966, estos destacados expertos desarrollaron muchos programas de prospección hidrogeológica, preferentemente a lo largo de la costa, labor donde participaron un grupo de jóvenes ingenieros. Los estudios más importantes que desarrollaron, fueron en las pampas de Villacuri, en Ica y en la cuenca del río Caplina, en Tacna. Varios de los profesionales que participaron en las investigaciones complementaron su formación efectuando cursos de postgrado, preferentemente, en universidades francesas y españolas.

En 1965 se creó la Sub-Dirección de Aguas Subterráneas en el Ministerio de Agricultura, con el asesoramiento de la Cooperación Técnica Francesa y durante varios años, contó con la asistencia permanente de dos hidrogeólogos de la Universidad de Estrasburgo (Francia), desarrollando numerosos programas de prospección hidrogeológica, preferentemente a lo largo de la costa, en cuyos trabajos participaron mucho profesionales peruanos. El resultado de esta cooperación fue el levantamiento de la carta hidrogeológica de la gran Lima, a escala 1:50.000, en

1971. Esta carta, que incluyó los valles de los ríos Chillón, Rímac y Lurín, fue completada con modelos matemáticos y analógicos, el cual fue el documento más completo elaborado hasta tal fecha.

Enseñanza de la hidrogeología en las Universidades

En la actualidad, la escuela de geología de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos es la pionera en la formación de hidrogeólogos. Varias universidades cuentan con cooperación científica además del concurso de algunos hidrogeólogos extranjeros y muchos docentes ex-alumnos que se especializaron en el extranjero. Tal es el caso de la Pontificia Universidad Católica y de la Universidad Agraria de la Molina, que cuenta con la asistencia de los gobiernos alemán y belga, respectivamente. En las universidades San Marcos, de Ingeniería, San Agustín de Arequipa y otras, se dicta el curso de hidrogeología en varias de las escuelas (geología, minas, ingeniería civil y medio ambiente).

Finalmente, no se debe ignorar la gran labor que realiza la empresa estatal SEDAPAL, que es una gran escuela en la formación de hidrogeólogos, porque durante todo el año desarrolla interesantes programas hidrogeológicos. Muchos de los alumnos de hidrogeología complementan su programa mediante visitas a los pozos en perforación.

Recursos renovables y reservas

La recarga natural de acuíferos es producto de la infiltración de las aguas de lluvia cuyo promedio anual en la parte Andina va desde 500 hasta 2.000 mm en la zona Subandina, con valores menores a 200 mm en la zona Andina del Sur del Perú, ayudan en esta alimentación el agua que se infiltra a través de los lechos de los ríos, las subcorrientes subterráneas producto de la infiltración en las partes altas de la cordillera, así como de los canales y áreas agrícolas que se encuentran bajo riego. En las ciudades las áreas de recarga disminuye por la reducción de las áreas bajo riego por el cambio de uso de agrícola a urbano.

Las reservas de agua en el Perú se caracterizan por la aridez en la costa la que dispone del 1,8% de los recursos con un índice de 2.207 m³/hab/año. En la vertiente del Atlántico está el 97,7 de los recursos hídricos y al tener una densidad de población muy baja (26%) tiene una densidad de 291.703 m³/hab/año. En la vertiente del lago Titicaca (0,5%) este índice es de 9 715 m³/hab/año.

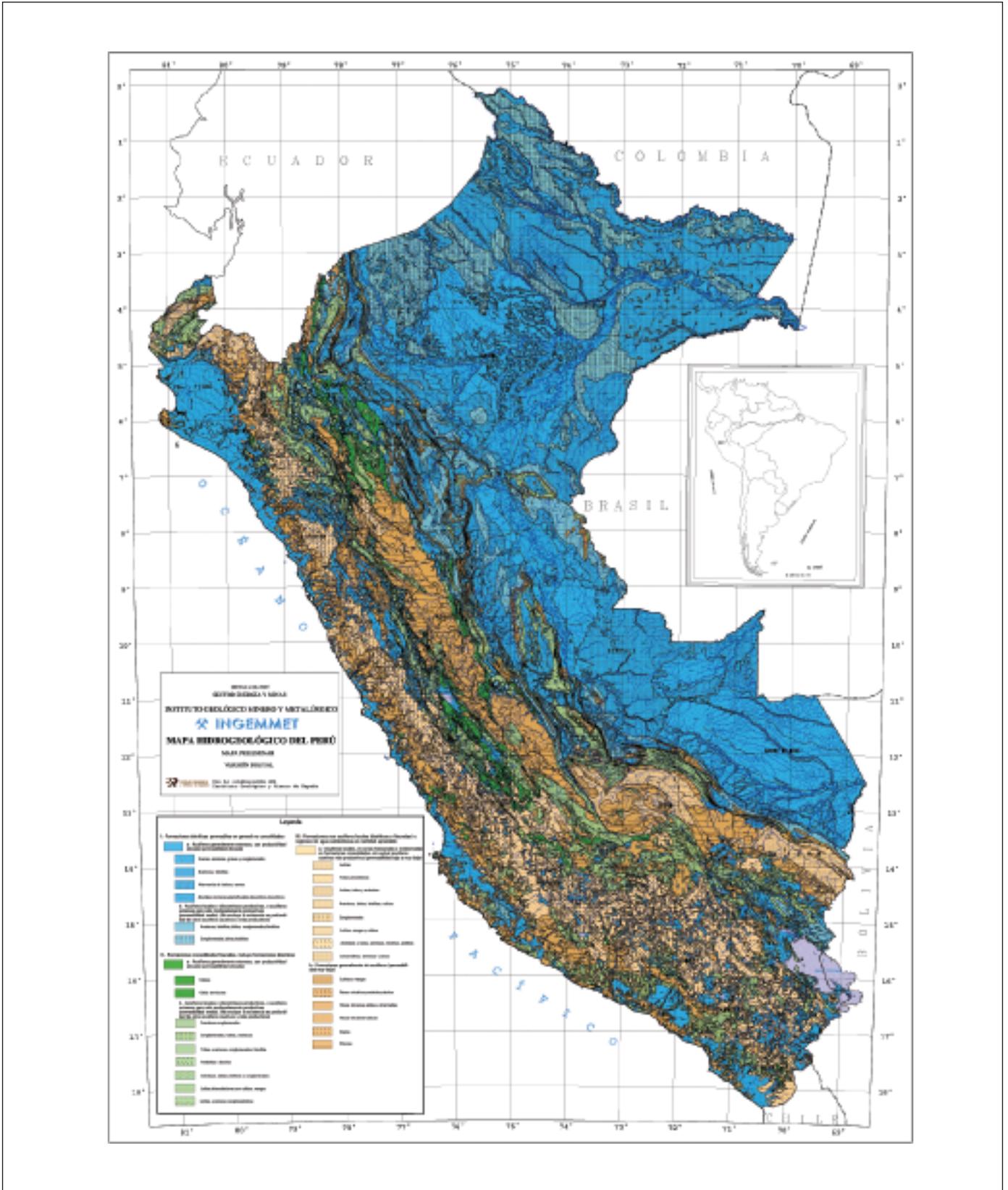


Fig. 4. Mapa Hidrogeológico del Perú (INGEMMET, 2004)
 Fig. 4. Hydrogeological map of Peru (INGEMMET, 2004)

Recursos hídricos

En el Perú existen tres grandes vertientes. La del Pacífico con 53 cuencas hidrográficas, del Atlántico con 44 cuencas y del lago Titicaca con 9 cuencas hidrográficas las cuales cuentan con importantes recursos hídricos. Posee alrededor de 12.200 lagunas en la sierra, más de 1.000 ríos con una disponibilidad media de 2.046.000 hm³ concentrado principalmente en la vertiente Amazónica.

La disponibilidad de agua por regiones naturales en el Perú, se muestra en la tabla 1.

Recursos no convencionales

Desalinización

Procesos de desalinización de agua de mar sólo se llevan acabo en pequeña escala, como casos puntuales podemos mencionar el que lleva acabo Southern Perú en Ilo y el hotel Puerto Inka en Chala, Arequipa. Dada la escasez de este recurso en la zona costera es probable que a futuro se instalen más plantas desalinizadoras. En la zona Andina no se aplica este sistema.

Reutilización

La reutilización de las aguas servidas en la zona Andina del Perú, sobretudo en las ciudades no es empleada hasta el presente. Sin embargo, varias ciudades como, Cajamarca, Ayacucho y Cuzco ya están optando por el tratamiento y reutilización de las aguas servidas para la forestación de áreas que carecen de este recurso. Hasta el momento, sólo en la ciudad de Lima se reutilizan las aguas servidas en las lagunas de San Juan de Miraflores y en pequeñas plantas en el Malecón de la Costa Verde entre Miraflores y San Isidro. El proyecto Mesías de SEDAPAL que permitirá reutilizar 5,0 m³ de aguas servidas del colector la Chira y regar 5.000 ha en el área de San Bartolo, se encuentra detenido

Recarga artificial

En el Perú poco se hace por la recarga artificial de los acuíferos. A partir del monitoreo que efectúa desde hace más de 20 años por medio de una red de pozos y equipos de observación, SEDAPAL ha instalado en Lima un sistema de recarga artificial en el área de Huachipa, con muy buenos resultados. Recargan el acuífero por medio de una batería de pozos, durante los meses de verano (enero a marzo) cuando el río Rímac incrementa su caudal a causa de las lluvias Andinas.

Calidad natural del agua subterránea

La calidad natural de las aguas subterráneas en el Perú generalmente es buena. El agua que se extrae de manantiales o mediante pozos por lo general cumple con los parámetros de la Ley General de Aguas para consumo humano y para actividades agrícolas, pecuarias, acuícolas e industriales. Sólo en algunos sectores la calidad del agua subterránea es influenciada por factores naturales que alteran su calidad.

En algunos sectores como las áreas Andinas del Sur del Perú donde predomina la actividad volcánica reciente, la calidad del agua subterránea es influenciada por factores naturales como la presencia de Antimonio, Arsénico, Boro, etc. o por la actividad antropogénica de algunas operaciones mineras que modifican su contenido de elementos que no son permisibles para uso doméstico y en riego sin un tratamiento adecuado (Tovar, 2004).

Conocimiento de la calidad del agua subterránea

En cuanto al establecimiento de redes de control de calidad de las aguas subterráneas a nivel nacional es poco lo que se ha hecho en este campo, son muy escasos los lugares donde se efectúa la vigilancia y monitoreo de los recursos hídricos subterráneos. Quizás sea SEDAPAL en la ciudad de Lima la única entidad que ha establecido una red de control y moni-

VERTIENTE	SUPERFICIE (1000 km ²)	POBLACIÓN		DISPONIBILIDAD DEL AGUA	
		(miles)	(%)	(hm ³ /año)	(%)
Pacífico	279,7	18.430	70	37.363	1,8
Atlántico	958,5	6.852	26	1.998.752	97,7
Lago Titicaca	47,0	1.047	04	10.172	0,5
Total	1.265,2	26.392	100	2.046.287	100,0

Tabla 1. Disponibilidad de agua por regiones naturales en el Perú
Table 1. Water availability by natural regions in Peru

toreo de los recursos hídricos subterráneos desde hace 20 años. Igualmente Minera Yanacocha lleva un control adecuado de este mismo recurso para lo cual cuenta con un laboratorio de aguas de primera clase (Grados, 2004).

Cuando se muestrean los recursos hídricos subterráneos individualmente para determinar su calidad organoléptica y físico-química, los resultados y su interpretación quedan en manos de sus propietarios o de la entidad ejecutora del estudio, no siendo muchas veces de conocimiento de los profesionales por no existir un Banco Nacional de Recursos Hídricos en donde se pueda disponer de esta información.

Salinización de acuíferos

Constituyen casos singulares en la zona costera del Perú, donde se ha localizado infiltración de agua marina en pozos perforados en los acuíferos de los valles de los ríos Lacramarca (Ancash), Rímac y Chilca (Lima), Ilo (Moquegua) y Caplina (Tacna) por sobre bombeo en las áreas adyacentes al mar. En la zona Andina, no se ha presentado salinización de acuíferos. Quizás constituya un caso singular las Salinas de Maras en el Cusco, de donde se extrae sal de un acuífero salino. Igualmente en la zona de ceja de selva de Tarapoto (San Martín) se presentan domos salinos naturales que salinizan los recursos hídricos subterráneos de su entorno.

Recuperación de acuíferos contaminados

Es muy poco lo que se ha hecho en este campo. En la década del 70 mediante el plan REHATI se ha trabajado en la zona costera en la recuperación de suelos salinizados por acción del agua subterránea que aflora en lugares donde se usa sin control, así en la zona costera del Norte del Perú existe en la actualidad 300.000 ha de suelos agrícolas amenazados por salinización.

Un caso típico de recuperación de un acuífero local viene ejecutando PETROPERU, en el área de la refinería de la Pampilla en el Callao, con procesos de biolixiviación que efectúa una empresa canadiense. En la zona Andina y Subandina del territorio peruano no se han presentado este tipo de situaciones.

Demandas y usos sectoriales del agua subterránea

En el Perú el uso del agua subterránea en las activi-

dades domésticas, agrícolas, industriales, mineras, etc, va en crecimiento sobretudo en la zona costera. Así en un estudio efectuado por INRENA en 31 valles de la costa en el que se han inventariado 26 915 pozos, se lograron los siguientes resultados (ver tabla 2).

Este cuadro permite observar el gran uso que se le da a los recursos de agua subterránea en la costa peruana, donde existen ciudades como Piura e Ica cuyo abastecimiento de agua potable es 100% con agua de pozos. Asimismo según SEDAPAL (2004), la ciudad de Lima se abastecía con 7,5 m³/s de agua subterránea que se extraía del acuífero de la Gran Lima, sin considerar el gran número de pozos (aproximadamente 800) con que cuenta la industria para sus actividades (Vizarreta, 2004).

Gran parte del agua que usa el sector industrial es subterránea tal es el caso de las empresas de cervezas y bebidas gaseosas, muchas de las cuales en la Gran Lima tienen sus propios pozos para cubrir sus necesidades. Algunas termoeléctricas usan agua subterráneas para el apoyo de sus actividades.

Muchas empresas mineras usan las aguas subterráneas para sus labores industriales y domésticas (Animon, Southern, Yanacocha, etc.) y otras planean usarlas en un futuro en proyectos como Toromocho, Quellaveco, etc.

Actualmente con el "boom" exportador agrícola, la demanda del agua subterránea se ha incrementado en los valles costeros sobretudo en el Sur (Ica, Nazca, Caplina, etc.) (Zenteno, 2004).

En la zona amazónica también se ha incrementado el uso del agua subterránea para uso doméstico sobre todo en pequeñas comunidades ubicadas en los grandes ríos como el Ucayali, mediante la implementación de pequeños pozos accionados con bombas manuales con la finalidad de que los pobladores dispongan de un recurso de mejor calidad. En ciudades como Pucallpa e Iquitos también se explota este recurso para actividades industriales. Tal es el caso de Pucallpa donde merece destacar a la cervecería San Juan que produce y exporta cerveza de excelente calidad.

Aprovechamiento de aguas superficiales y subterráneas

El potencial de agua superficial del Perú es de 2.000 billones de metros cúbicos que fluyen por 1007 ríos que, en su conjunto, tienen unos 80.000 kilómetros de longitud. Sus cauces bajan de la cordillera a las vertientes hidrográficas del Pacífico (381), del Atlántico (564) y del Titicaca (62). De ese total sólo

POZOS	TIPO			Utilizados	ESTADO		Doméstico	USOS		
	Tubulares	Tajo Abierto	Mixtos		Utilizables	No Utilizables		Agrícola	Pecuario	Industrial
Número	6 167	19 779	969	14 426	7 550	2 939	10 937	4 490	774	225
Porcentaje	22,9	73,5	3,6	61	28	11	66,6	27,3	4,7	1,4

Tabla 2. Pozos de agua subterránea en el Perú (INRENA, 2004)

Table 2. Groundwater wells in Peru (INRENA, 2004)

60 son considerados ríos principales. En la sierra alto Andina se cuenta con 12.200 lagos y lagunas de gran diversidad de tamaño, cuya principal fuente de alimentación son las lluvias y los deshielos. El potencial de estos últimos es aún desconocido. En la sierra Alta y Media, principalmente, se cuenta con gran cantidad de manantiales que aún no han sido inventariados y que abastecen a las poblaciones y zonas agrícolas mesoandinas (Comisión Técnica Multisectorial, 2004).

El potencial de aguas subterráneas del Perú no ha sido bien evaluado pero la mayoría de sus ciudades de la costa, se aprovisionan de este recurso mediante la perforación de pozos de hasta 200 metros de profundidad y en el caso de Lima la tercera parte del agua consumida proviene del acuífero, unos 7,5 m³/s.

En líneas generales los recursos hídricos en el Perú constituyen uno de los principales recursos de los que dispone el Perú y su uso racional es necesario para lograr que toda la población peruana sobre todo de la parte Andina, disponga de él. En el Perú Andino la mayor disposición es de los recursos hídricos superficiales, el uso de los recursos subterráneos está limitado a las grandes ciudades y al desarrollo minero e industrial. En la zona amazónica también se emplean los recursos hídricos subterráneos para uso doméstico e industrial aunque en pequeña escala (Masson *et al.*, 1998).

El uso conjunto de las aguas superficiales y subterráneas es una necesidad apremiante en el país, sobretodo en la costa y sierra, donde es necesario ordenar una explotación racional de este recurso, considerando que las precipitaciones pluviales ocurren generalmente entre los meses de Diciembre a Abril, con un déficit constante de los recursos hídricos superficiales durante los demás meses del año, sobretodo en el período de Junio a Septiembre, se deberían aprovechar los recursos hídricos subterráneos en las diversas regiones de que se disponga.

Un área donde se podría aplicar este uso conjunto de recursos superficiales y subterráneos lo constituye el área que ocupa la irrigación de Chavimochic (La Libertad) donde el cambio de uso de agua subterránea para regadío en los valles de Chao, Viru y Moche por agua superficial que conduce el canal de la irrigación ha provocado una recuperación de la capa freá-

tica, la cual está provocando una salinización de los suelos. Algo similar ha ocurrido en la ciudad de Lima donde con el mejor aprovechamiento del recurso hídrico se ha dejado de bombear con pozos de agua subterránea provocando problemas en áreas urbanizadas como ocurre en el área de Comas (Lima) (Salazar, 2004).

Requerimientos hídricos medioambientales

Los suelos de mayor potencial agrícola ocupan una reducida proporción de 5,9% de la superficie del territorio peruano, encontrándose muy dispersos. Los suelos más productivos se encuentran en la costa, donde existe menor disponibilidad de agua para regarlos.

El volumen de agua que necesitan las regiones de sierra y costa estaría encaminado a recuperar grandes áreas desprovistas de Foresta que es necesario desarrollar para mejorar el paisaje natural y la calidad de vida de las poblaciones altoandinas. La información debe provenir de estudios profundos a ejecutar en el Perú para efectuar una reforestación intensiva del territorio alto andino y mejorar la calidad de vida de sus pobladores todo ello relacionado con el entorno ambiental donde realizan sus actividades.

Recursos que dependen de las aguas subterráneas

Las aguas subterráneas bajo sus diferentes manifestaciones alimentan las zonas húmedas donde crece vegetación natural que bien aprovechada ayuda a los pobladores en su desarrollo social. Igualmente constituye un buen aporte para el desarrollo del recurso minero en las zonas áridas de nuestro país como Piura, Pasco, Arequipa, Moquegua, Tacna, etc. También constituyen importantes recursos turísticos que bien aprovechados pueden ayudar a disminuir la pobreza que afecta a las poblaciones de su entorno.

En la zona costera constituye un recurso del cual depende el desarrollo agrícola como en el valle del Alto Piura en el Norte (INRENA, 2004), el de Supe en

el Norte chico y el de Ica en el Sur chico uno de los principales lugares vitivinícolas del Perú. Lo mismo ocurre con el Valle del río Caplina en el Sur con gran producción de olivares.

Las aguas subterráneas constituyen en las partes altas de las zonas cordilleranas el inicio de los ríos y lagunas, así como el principal alimentador de los bofedales que sirven para desarrollar la actividad pecuaria de la zona altoandina con el ganado auquénido y en los valles interandinos con el ganado vacuno y lanar.

En la selva, estos recursos están sirviendo mucho al desarrollo de las comunidades indígenas en sus necesidades domésticas.

Sobreexplotación

Hablar de sobreexplotación de acuíferos en el Perú es un término muy relativo sobretodo en la zona altoandina donde aún no se ha detectado repercusiones sobre la cantidad y calidad del recurso, así como la ocurrencia de subsidencias por variaciones de los niveles freáticos.

En la costa peruana en los acuíferos de los 53 principales valles costeros, algunos presentan problemas de sobreexplotación, como es el caso de la Gran Lima, donde SEDAPAL está tratando de controlar la sobreexplotación que se efectúa en el acuífero y en la actualidad trata de reducir de 7,5 m³/s a 6,0 m³/s el caudal de explotación recomendado para proveer de agua subterránea a la población de Lima y Callao. Algo similar ocurre en el valle de Ica donde al aumentar los cultivos de exportación en los últimos años, ha traído consigo el incremento de la demanda del agua subterránea ante la escasez de los recursos hídricos superficiales, provocando una profundización del nivel de la capa freática, por lo que es necesario adoptar medidas de control del acuífero como el monitoreo, a través de una red de pozos de observación. INRENA (2004) manifestó que el valle más explotado de la costa peruana fue el de Ica-Villacuri con 316,53 hm³ y los acuíferos más profundos son los de Ica y el río Caplina.

Impacto del cambio climático sobre el agua subterránea

Los acuíferos se van cargando de agua a un ritmo relativamente lento y si este agua se extrae a un ritmo que supera la recarga, el volumen de agua disponible disminuye. Esto es particularmente grave en los lugares en que las precipitaciones son escasas. Sin

embargo, el descenso en el nivel freático puede ocurrir aún en zonas tropicales de alta precipitación, en las que los acuíferos están sometidos a un uso intensivo y poco controlado.

Considerando que en la parte Andina peruana existen 18 cordilleras nevadas tropicales los cambios climáticos las están afectando provocando fenómenos de deglaciación con un retroceso glaciario que se ha ido incrementando en los últimos años, proceso que indirectamente ayuda a la recarga de los acuíferos Andinos que al final se ven favorecidos por el aporte del agua de deshielo. Esta situación permitirá disponer un mayor volumen del recurso agua para cubrir las demandas futuras de la población y los proyectos de diversa índole que se necesite implementar en su entorno.

Debido al calentamiento global, los glaciares están en franco retroceso, dejando extensas áreas de roca fracturada expuesta a la intemperie. Por esta razón, los recursos hídricos subterráneos se ven favorecidos en su recarga porque las precipitaciones pluviales se infiltran más fácilmente por el basamento rocoso de la zona Andina. Por el contrario, la recarga es afectada cuando se producen largos períodos de sequía, como es el caso de las zonas poco lluviosas como es el Sur del Perú.

Relación con la geodinámica interna y externa

La relación del agua subterránea contenida en los acuíferos con los procesos de geodinámica interna y externa es muy significativa, en el primer caso cuando la napa freática es muy superficial en un acuífero en material arenoso o limoso, es posible que ocurran procesos de licuefacción de suelos cuando ocurra un sismo que afecte al acuífero y a los suelos con efectos en las construcciones u obras de ingeniería que se construyan en ellos; como ha ocurrido en el Perú con los sismos del 31 de Mayo de 1970 que provocó la muerte de 70.000 personas en el norte peruano o el del 23 de Junio del 2001 que causó la muerte de 150 habitantes en el sur del Perú y grandes daños materiales, ambos sismos provocaron licuación de suelos en valles costeros.

En el caso de los procesos de geodinámica externa, el agua subterránea contenida en el subsuelo contribuye a incentivar la ocurrencia de los movimientos en masas en laderas por saturación de los suelos sobre todo cuando la pendiente de estas es bastante fuerte, incentivando la ocurrencia de deslizamientos, o flujos de lodos y ayudar a generar flujos de detritos o huaycos, igualmente hay que tener en cuenta que la sobresaturación de los suelos, provoca presión de

poros o afecta la cohesión y el ángulo de fricción interna de los materiales, incrementando su inestabilidad y posterior colapso.

En el Perú la ocurrencia de fenómenos de remoción en masa es frecuente en época de lluvias y en los meses posteriores a ellas. Entre los fenómenos más importantes destaca el mega-deslizamiento ocurrido el 24 de Mayo de 1974 en Mayunmarca (Huancavelica) en la margen derecha del río Mantaro, que provocó la retención de las aguas del río por un período de 45 días formando una laguna de 30 kilómetros de longitud y provocando la muerte de 500 personas y la destrucción de pequeñas poblaciones.

Conclusiones

- Los recursos hídricos subterráneos contenidos en Los Andes del Perú contribuirán en un futuro cercano a mejorar la calidad de vida de las poblaciones asentadas en su territorio mediante el desarrollo de numerosos proyectos de aprovechamiento de sus aguas subterráneas.
- En la cordillera Andina existen recursos hídricos superficiales y subterráneos en cantidad suficiente que es necesario evaluar anticipadamente hasta determinar su potencial real para planificar en un futuro su explotación ordenada.
- Para la protección de los recursos hídricos subterráneos es necesario instalar redes de vigilancia y protección de los acuíferos que se exploten y de otras actividades que inciden en su preservación.
- Los recursos hídricos subterráneos constituyen un potencial recurso hídrico de reserva necesario para el desarrollo de la zona Andina del Perú.

Referencias

- Arce, J. 2005. Potencial geofísico exploratorio de los acuíferos terciarios regionales del Perú. Volumen especial N° 6 Alberto Gissecke. Sociedad geológica del Perú.
- Bellido, A. 2004. Recursos hídricos en las cuencas Locumba-Sama. Administración técnica del distrito de riego Locumba-Sama. Forum: Recursos hídricos para el desarrollo de Tacna.
- Bellido, E. 1969. Geología del Perú. Boletín N° 22. Instituto Geológico Minero-Metalúrgico (INGEMMET).
- Benavente, I. 2004. Acuífero del alto Piura, universidad de Piura. I Seminario internacional: Gestión sostenible y uso conjunto de aguas subterráneas y superficiales. Chiclayo-Perú.
- Candia, F. 2004. Experiencias en la exploración y explotación de aguas subterráneas en acuíferos fisurados en la

- región de Cusco. Resultados y perspectivas. I Congreso peruano de hidrogeología. Lima-Perú.
- Centro de exploraciones subterráneas del Perú-CESPE. 2003. Areas kársticas del Perú.
- Comisión Técnica Multisectorial. 2004. Estrategia nacional para la gestión de los recursos hídricos continentales del Perú.
- Grados, P. 2004. Evolución de la recarga artificial del acuífero Chillón. Sector Punchauca. I Congreso peruano de hidrogeología.
- Guzmán, A. 2004. Proyecto mapa hidrogeológico del Perú. I Seminario internacional: Gestión sostenible y uso conjunto de aguas subterráneas y superficiales. Chiclayo.
- Guzmán, A. 2004. El INGEMMET y su visión de los recursos hídricos de Lima. I Simposio internacional: Planificación de la gran Lima y la importancia de los recursos hidráulicos.
- INGEMMET. 1995. Geología del Perú. Boletín N° 55, serie A.
- INGEMMET. 2004. Mapa hidrogeológico del Perú. Escala 1:500.000.
- INRENA. 1998. Inventario y evaluación de fuentes de agua subterránea en Pucallpa.
- INRENA. 2002. Estudio hidrogeológico del valle del Chili.
- INRENA. 2002. Inventario y monitoreo de fuentes de agua subterránea en el valle de Piura (Parte Alta).
- INRENA. 2003. Estudio hidrogeológico del valle de Moquegua.
- INRENA. 2004. Las aguas subterráneas en el Perú. Intendencia de recursos hídricos, dirección de recursos hídricos. I Congreso peruano de hidrogeología.
- Masson, L., Guardia, F., Colte, J. y Ore, M. 1993. Gestión del agua y crisis institucional tecnología intermedia (ITDG). Ministerio de Agricultura. 1969. Ley general de aguas, decreto ley 17752.
- Ministerio de Agricultura. 2003. Política y estrategia nacional de riego en el Perú. Resolución ministerial N° 0498-2003-AG.
- Ministerio de Salud. 2002. Plan estratégico del sub-sector saneamiento para el período 2003-2012.
- Salazar, E. 2004. Gestión actual y perspectivas de las aguas subterráneas en el Perú.
- Tovar, J. 1994. El acuífero Maure en el altiplano sur del Perú. Segundo congreso latinoamericano de hidrología subterránea. Santiago, Chile.
- Tovar, J. 2004. Ingeniería geo-ambiental para la protección de aguas subterráneas. I Congreso peruano de hidrogeología.
- Zenteno, E. 2004. El acuífero del valle de Ica.
- Vizarreta, J. 2004. Casos de vulnerabilidad geotécnica-hidrogeológica en Lima. I Congreso peruano de hidrogeología.

Recibido: diciembre 2005.
Aceptado: enero 2006.