

EXPLORACION DEL SALAR DE PEDERNALES (ATACAMA) MEDIANTE IMAGENES LANDSAT PROCESADAS POR COMPUTADOR

EDUARDO ALVAREZ H.

Superintend. Geología, Codelco Chile, Div. Salvador.

RESUMEN

Considerando la información geológica e hidrológica existente, se analizan los resultados obtenidos de la interpretación de imágenes del satélite Landsat, correspondientes al Salar de Pedernales, a las cuales se les aplicó, previamente, un tratamiento computarizado digital.

Se estudiaron individualmente las imágenes en banda-4, banda-7, derivada diagonal, y en razón de banda, verificándose en terreno las interpretaciones realizadas.

La imagen en banda-4 muestra escasa utilidad, siendo posible diferenciar solamente la costra salina y el relleno aluvial.

La imagen en banda-7, derivada diagonal, permite diferenciar, con exactitud, la costra salina, la zona de transición y el relleno aluvial, identificándose, además, la zona de máxima recarga y los escurrimientos en la costra salina.

La imagen en razón de banda entrega los mejores resultados, siendo posible identificar, además de las zonas del salar, varias unidades que representan diferencias de color, textura y composición química de la costra salina.

Finalmente, del análisis general de la información geológica se han identificado los sectores del salar, que presentarían las mayores concentraciones en sales de litio, potasio y boro.

ABSTRACT

Considering the geological and hydrological up-to-date information, the results from the interpretation of Landsat satellite images are analyzed.

MSS-4, MSS-7 derivative, and ratio images were interpreted and compared with field surveys of the area.

The MSS-7 diagonal derivative image allows a very accurate discrimination between the salt surface, the transition zone and the alluvial deposits. It also allows the identification of the main recharge area and the drainage in the salt crust.

The ratio image shows the best results. Several new units in the salt surface are possible to be identified, and these correspond, in the field, to different patterns of color, texture and mineralogic composition. Finally, the general analysis allows to suggest the best potential areas for lithium, potassium and boron salts.

INTRODUCCION

La aplicación de imágenes del satélite Landsat y el desarrollo de métodos computarizados de interpretación, han traído consigo un avance significativo en la exploración geológica, resultados que se aprecian, singularmente, en la exploración minera y petrolífera.

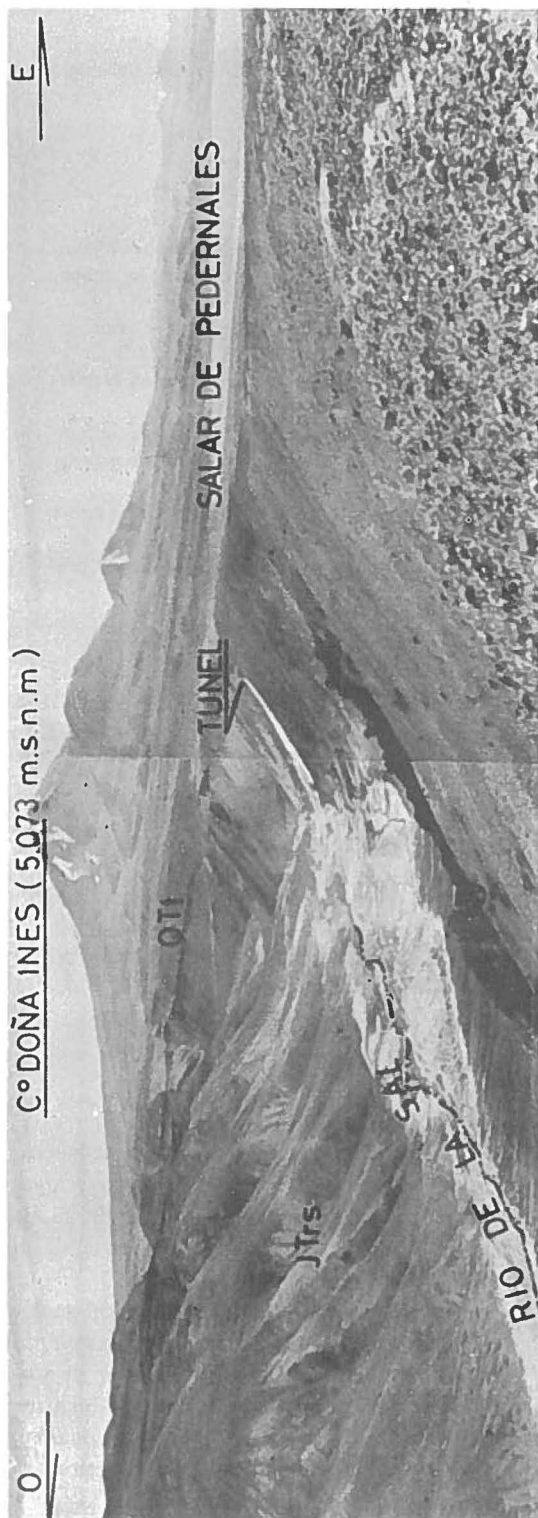
En este estudio se analiza el valor geológico de algunas técnicas computarizadas de tratamiento de imágenes del satélite Landsat, aplicadas a la exploración de depósitos salinos.

Este tipo de depósitos es difícil de estudiar debido a la dificultad para recorrer las superficies sa-

linas, a las condiciones morfológicas e hidrogeológicas variables, debidas a precipitaciones y recarga, y a que los rasgos texturales aparecen obliterados en fotografías aéreas convencionales, por la elevada reflectividad de los depósitos salinos.

Considerando la abundante información geológica e hidrológica existente, y por constituir un área de interés para la División Salvador de Codelco-Chile, dada la importancia de sus recursos hídricos y al contenido de sales de litio, potasio, boro y sodio en las salmueras, se ha seleccionado para este estudio el Salar de Pedernales.

ANTECEDENTES GEOLOGICOS E HIDROLOGICOS DE LA CUENCA DEL SALAR DE PEDERNALES



El Salar de Pedernales constituye el centro de una cuenca cerrada, que cubre un área de 386 km² la que está limitada, en sus partes norte y este, por lavas andesítico-basálticas y flujos riolíticos del volcanismo cenozoico superior (Cerro Doña Inés). Los límites sur y oeste corresponden a rocas sedimentarias marinas, de edad jurásica (Formaciones Asientos y Pedernales) y a rocas sedimentarias continentales de edad cretácica (Formación Agua Helada). Los depósitos salinos sobreyacen a estas unidades y están compuestos por yeso, halita y sedimentos clásticos, finos y gruesos (Fig. 1).

El salar está constituido por dos unidades mayores (Fig. 2).

- Llano Pedernales**; con una superficie de 143 km², ubicado en la parte sur de la depresión y constituido por rellenos de arena y grava no consolidados, con intercalaciones tobáceas.
- Costra salina del Salar de Pedernales**; con una superficie de 243 km² y ubicado en la parte norte de la depresión, al pie del cerro Doña Inés. Está constituida por depósitos de halita y yeso, indiferenciados. En la parte sur-oeste de la costra y próxima al contacto con el Llano Pedernales, existe una zona de lagunas "vegas", limos arcillosos y sales que se ha denominado "Zona de Transición".

Mediante perfiles de refracción sísmica, se ha podido determinar que la costra salina, en profundidad, está formada por halita compacta, encontrándose algunos niveles de limo arcilloso y/o materiales coluviales. Así, en el sector Agua Helada, la costra salina tiene un espesor de 7 m, descansando sobre materiales coluviales y sedimentos compactados de origen lagunar, que totalizan un espesor aproximado de 40 m. Más al sur, en la parte central de la costra salina, y mediante sondeos, se ha encontrado que la costra está dividida en dos horizontes principales, de 50 m y 67 m de espesor, respectivamente, separados por un horizonte de halita, yeso y arcilla, con un espesor de 34 m. Subyace a la costra salina una uni-

FIG. 1. Sector occidental de Salar de Pedernales: en primer plano, el dren artificial hacia el río La Sal y el basamento mesozoico (JTrs). En segundo plano, el centro volcánico cuaternario, cerro Doña Inés, y sus coladas de lava (QTt).

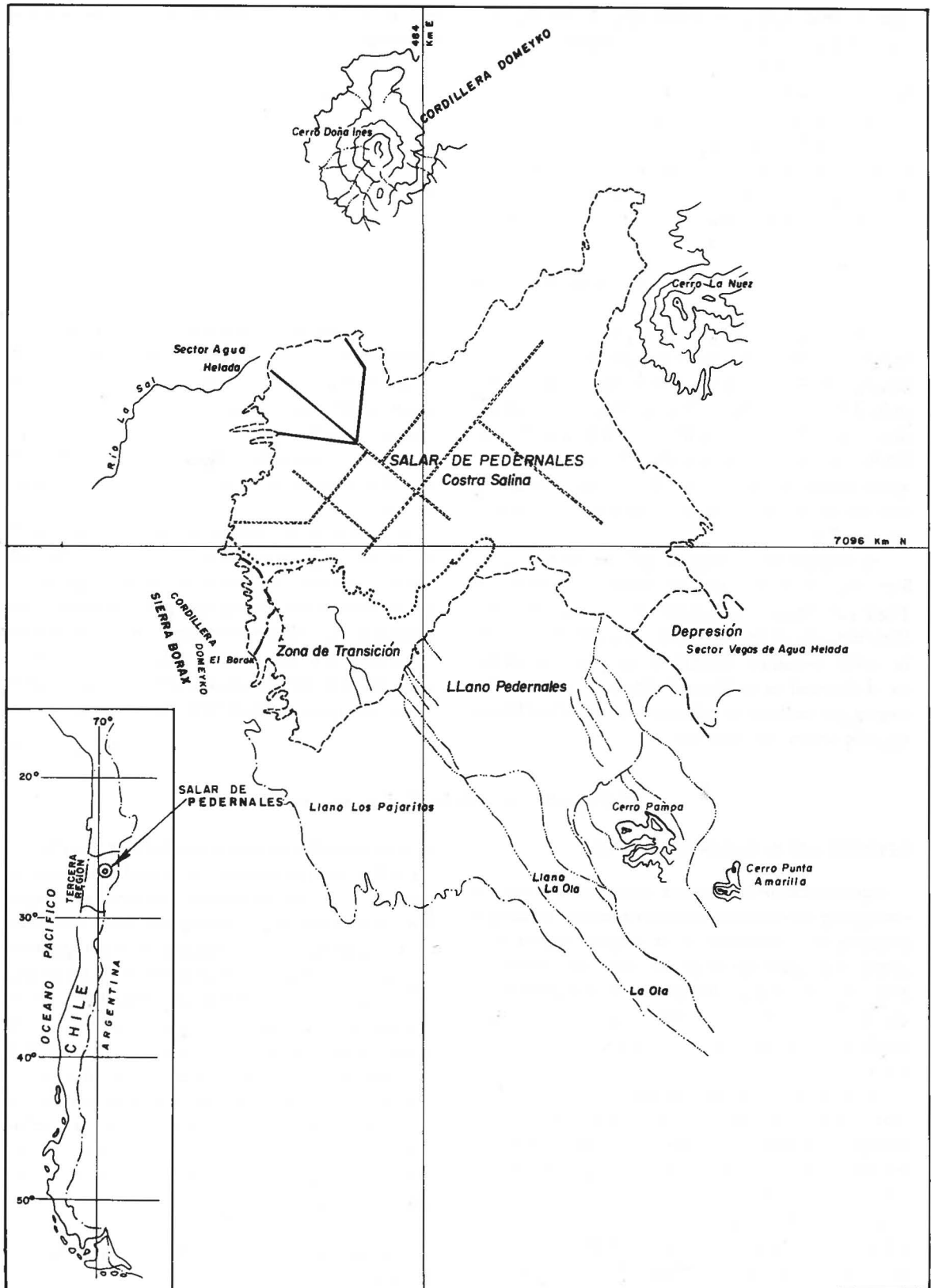


FIG. 2. Salar de Pedernales. Mapa de ubicación y distribución de zonas en el Salar (escala 1:250.000; 1983).

dad sedimentaria semiconsolidada de arenas, gravas, conglomerados y niveles arcillosos, cuyo espesor es superior a 176 m. No se ha detectado la roca fundamental.

La recarga del salar procede, principalmente, de los ríos La Ola y Leoncito, cuyas aguas se infiltran en el Llano Pedernales, siguiendo una dirección noroeste, controlada por la topografía de la cuenca. Parte de este aporte se extrae para el abasteci-

miento de agua industrial de los centros mineros de El Salvador y Potrerillos.

La descarga del salar se realiza a través del río La Sal, mediante un dren artificial ubicado en el sector Agua Helada, con un caudal estimado de 550 l/seg.

Asociado a la costra salina de la parte oeste del salar y a la zona de recarga, se ha determinado un cierto potencial de litio, potasio y ácido bórico.

PROCESAMIENTO COMPUTARIZADO DE IMAGENES

Las imágenes estudiadas se generaron directamente a partir de una cinta compatible con el computador (CCT, Computer Compatible Tape), obtenida del centro EROS (Sioux Falls, South Dakota), y cubren la precordillera y cordillera andina de Chile, con un centro ubicado en las coordenadas aproximadas 27°33'N y 69°30'W. Las escenas fueron obtenidas por el satélite Landsat el 23 de Marzo de 1973.

El tratamiento computarizado se realizó en el Servicio Geológico de los Estados Unidos, de Flagstaff, Arizona, y consistió en tratamientos preliminares de corrección para remover el ruido de la señal original, reemplazos de líneas perdidas en el paso del barredor multispectral, y en correcciones geométricas de proyección, de elevación solar y de bruma atmosférica.

Los tratamientos computarizados de análisis se obtuvieron a escala 1:250.000, y consistieron en imágenes normales en las bandas 4, 5, 6 y 7, imágenes en la banda 7, con filtres de alta frecuencia (101 x 101, 31 x 31 y 11 x 11 pixels), imágenes banda 7 derivada, imágenes en falso color (falso color composite) y en razón de bandas (ratios 4/5, 5/6 y 6/7).

Este estudio se basó principalmente en el análisis de las imágenes en banda 4 normal, banda 7 derivada, e imagen en razón de banda (Figs. 3, 4 y 5), interpretándose cada una por separado y considerando los antecedentes geológicos disponibles.

A manera de síntesis, se compiló la información obtenida por interpretación, junto con la de terreno, en un mapa resumen (Fig. 7).

INTERPRETACION FOTOGEOLOGICA

INTERPRETACION DE IMAGEN BANDA-4

Se seleccionó esta banda, considerando que en esta parte del espectro electromagnético la energía radiante es penetrativa. A la imagen elegida se le aplicó un procesamiento de "stretch" entre los DN (digital number) 90-255, con el propósito de incrementar el contraste de la escena. La imagen analizada y su interpretación aparecen en las figuras 3 y 3a.

El Salar de Pedernales aparece, casi en su totalidad, como una zona de muy alta reflectividad, donde se aprecia claramente el contorno de la costra salina. El Llano Pedernales muestra una reflectividad moderada, con contornos difusos respecto a la costra salina y a las rocas fundamentales. En el sector comprendido entre la costra salina y La Ola, se observa una zona blanqueada que "engrana" con el drenaje del río La Ola. Situación similar ocurre en el sector Vegas del Agua Salada.

La unidad "A" presenta la mayor reflectividad

y uniformidad textural, correspondiendo a la costra salina indiferenciada. La unidad "B", que representa el Llano Pedernales, muestra una superficie aluvial con suave inclinación hacia el noroeste. En la parte central, engranan con la topografía de los cerros Pampa y Punta Amarilla. La unidad "C" conforma parte del Llano Pedernales. Muestra una reflectividad menor que la unidad "B" debido, aparentemente, a la ausencia o contenido mínimo de sales intersticiales. Finalmente, se han dibujado, en la parte noreste del salar, algunos sectores de textura fina, uniforme y con baja reflectividad, que corresponderían a sales con alto contenido de arcillas, y zonas de humedad adyacentes a lagunas.

INTERPRETACION DE IMAGEN BANDA 7, DERIVADA DIAGONAL

La imagen derivada es el resultado de una técnica computarizada que consiste en tomar el valor

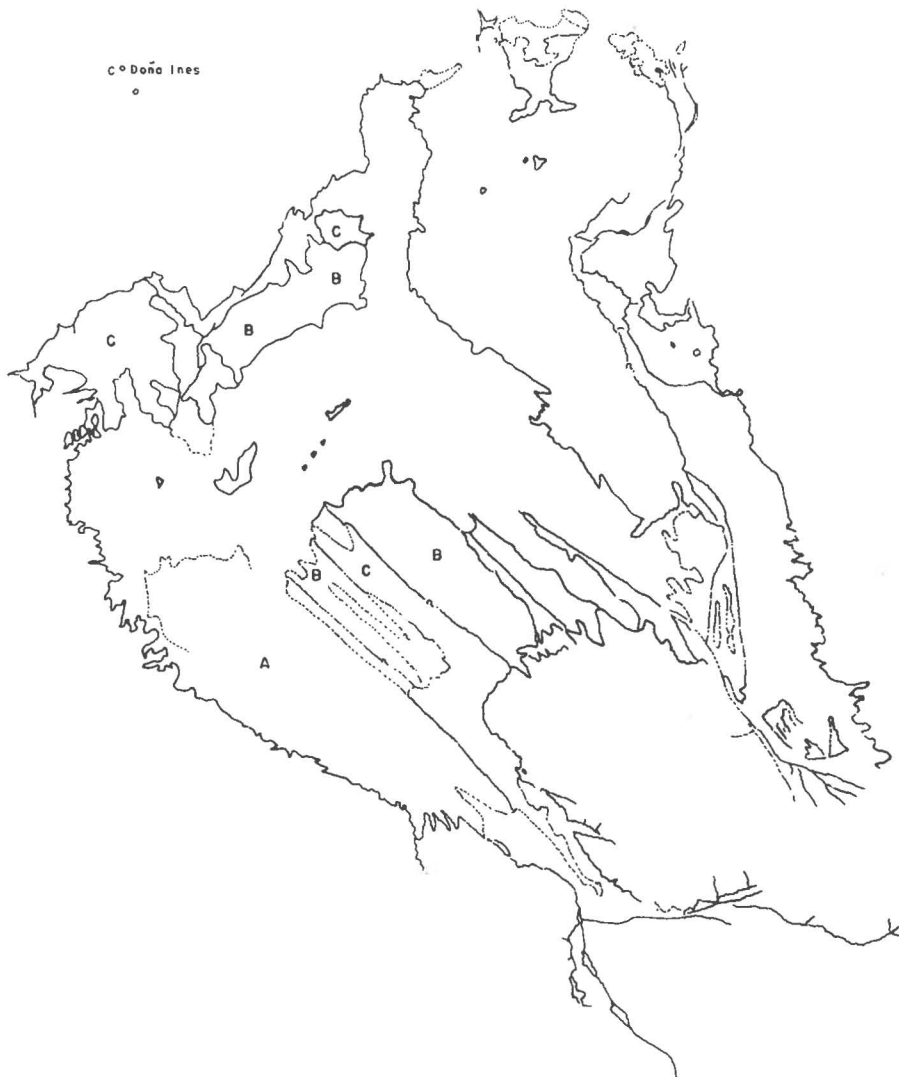


FIG. 3a. Salar de Pedernales. Interpretación Geológica, Imagen Landsat, MSS-4 (escala 1:250.000; 1983). A: Costra salina indiferenciada; B: Relleno aluvial, arena y grava; C: Relleno aluvial, arena y arcilla; D: Laguna y/o escurrimiento superficial.

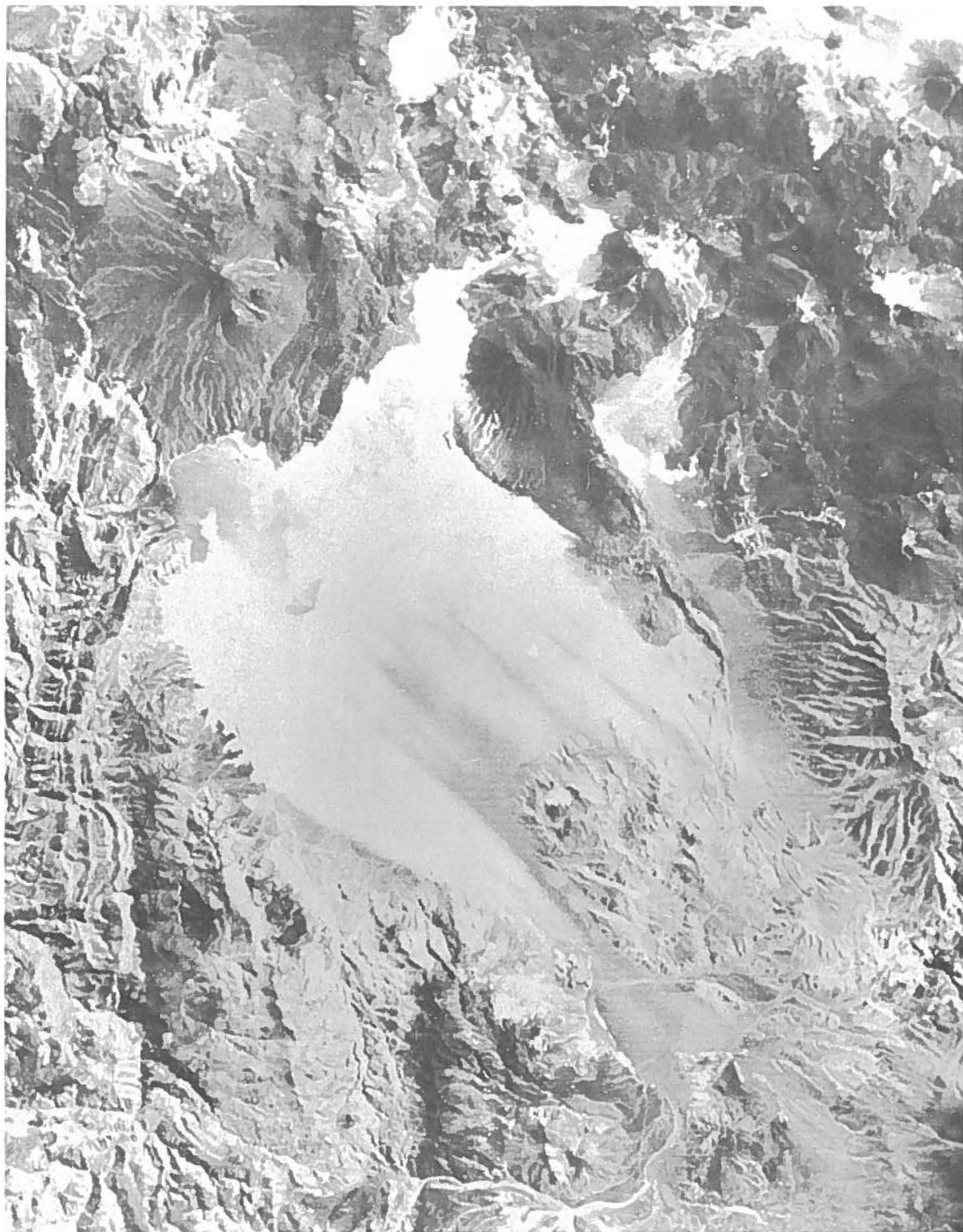


FIG. 3. Imagen Landsat, MSS-4.



FIG. 4a. Salar de Pedernales. Interpretación Geológica, Imagen Landsat, MSS-7, derivada diagonal; (escala 1:250.000, 1983). A: Zona de carga principal con elevada concentración de sales; B: Canales de disolución de la costra salina y/o lagunas; C: Zona de recarga; D: Costra salina principal indiferenciada (halita y yeso); E: Relleno aluvial (gravas y arenas no consolidadas); F: Rocas fundamentales indiferenciadas (tobas, basaltos, andesitas, etc.).



FIG. 4. Imagen Landsat, MSS-7, derivada diagonal.





FIG. 5a. Salar de Pedernales. Interpretación Geológica, Imagen Landsat, Ratios: 4/5 = azul; 5/6 = verde; 6/7 = rojo, (escala 1:250.000, 1983). A: Zona de recarga intensa con alto contenido de halita; A₁: Zona de recarga moderada con alto contenido de halita; A₂: Zona de recarga leve con alto contenido de halita; A₃: Zona de recarga muy leve con bajo contenido de halita; B: Zona de yeso (transición); B₁: Zona de yeso principal; B₂: Zona de yeso y halita; C: Laguna; C₁: Zona de halita asociada a lagunas; C₃: Escurrimiento superficial; D: Relleno de arena y grava; E: Vegetación en vegas.

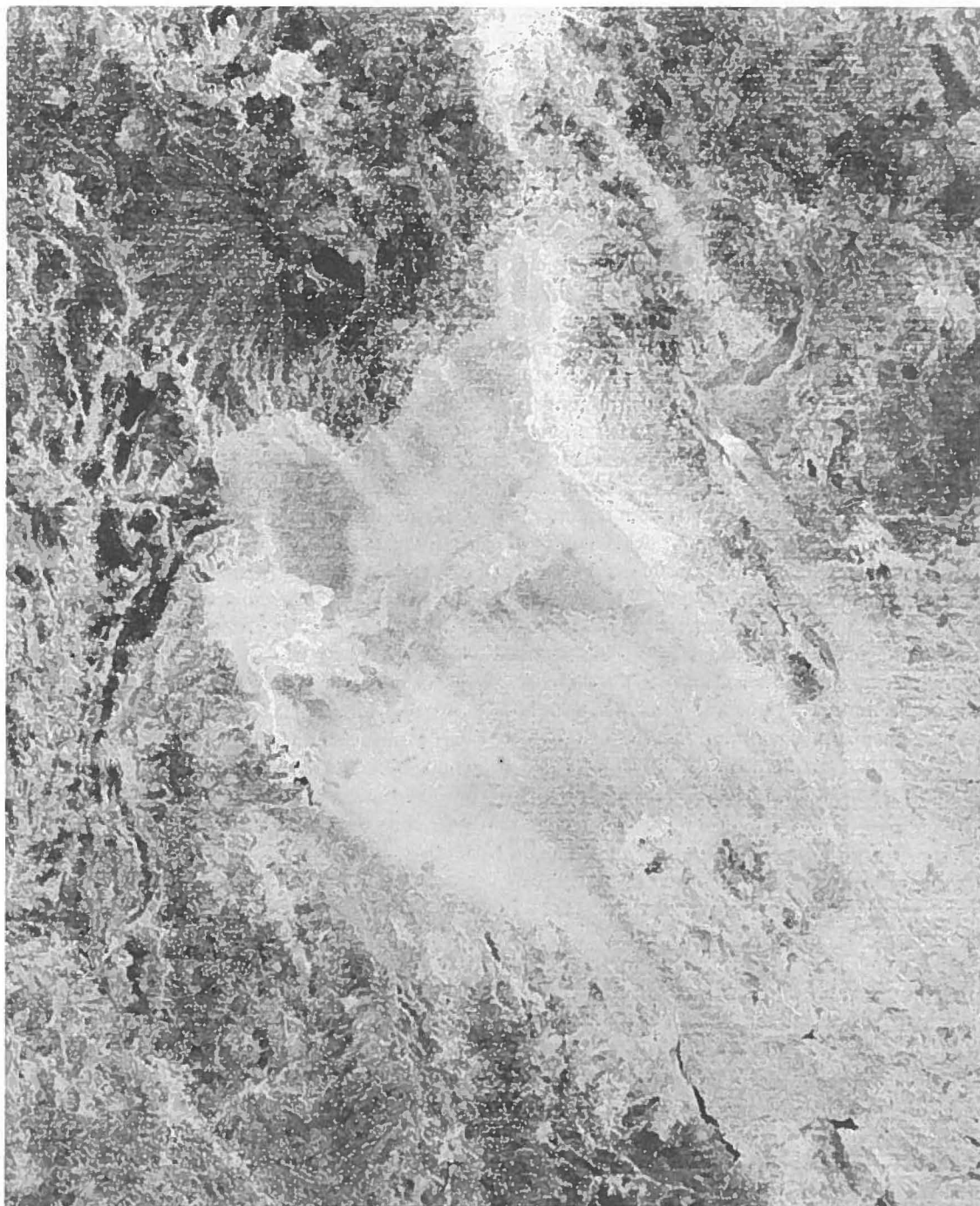


FIG. 5. Imagen Landsat razón de banda.

numérico de un determinado "pixel" (unidad elemental de la imagen), a la cual se le resta el valor numérico correspondiente a otro "pixel" adyacente al primero, ubicado en una recta horizontal, vertical o diagonal de la imagen.

El producto final es una imagen "suavizada" (sin efecto de relieve) con reflectividad media a baja, en la que se realza la estructura fina y la morfología del terreno, en las direcciones opuesta a la del arreglo. La imagen y su interpretación se presentan en las figuras 4 y 4a.

En la interpretación se individualizaron seis unidades fotogeológicas en base a texturas. La unidad "A" es un sector "deprimido", ubicado en la zona de recarga principal, donde existiría una fuerte recarga de sales y se tendría el máximo espesor de la costra salina. La unidad "B" corresponde a "canales de disolución" y/o lagunas, con un espesor considerable de la costra salina. La unidad "C", corresponde a una zona de recarga secundaria o "zona de transición", en la que existen fenómenos de disolución y cristalización de sales, fenómenos que están directamente relacionados con escurrimientos superficiales. La unidad "D" conforma la costra salina principal, no afectada por escurrimientos superficiales. La unidad "E" representa el relleno aluvial indiferenciado del Llano Pedernales y, finalmente, la unidad "F" define a las rocas fundamentales en conjunto.

INTERPRETACION DE LA IMAGEN EN RAZON DE BANDAS

Este tipo de imágenes se construye dividiendo el valor numérico digital (DN) de un "pixel", en

una banda determinada, por el valor numérico digital correspondiente al mismo "pixel", pero en diferente banda, con el fin de maximizar las diferencias de terreno con valores de albedo poco significativos. Al cociente resultante se le asigna un color determinado, componiéndose, finalmente, una imagen con la misma técnica del falso color. En el caso de la imagen estudiada, se asignó azul a la razón 4/5, verde a la razón 5/6 y rojo a la razón 6/7.

La imagen estudiada y su interpretación se presenta en las figuras 5 y 5a.

Considerando la información existente, se determinó un total de doce unidades, considerando como parámetros de clasificación: color, textura y forma. Las unidades "A", "A1", "A2" y "A3" representan, en general, las zonas de recarga con alto contenido de halita, textura uniforme del terreno y alta permeabilidad. En la imagen original tienen un color celeste.

Las unidades "B", "B1" y "B2" corresponden a sectores de superficie irregular, con alto contenido de yeso superficial, con recarga e inundaciones ocasionales y permeabilidad moderada. En la imagen se caracterizan por su color verde.

Las unidades "C", "C1" y "C3" corresponderían a lagunas y depósitos de halita recientes, ya que se encuentran en la zona de recarga (color azul). La unidad "D" identifica al relleno aluvial del Llano Pedernales (color azul-verdoso) y, la Unidad "E", a la vegetación asociada a lagunas y escurrimientos superficiales del sector La Ola y la zona de "vegas" de El Bórax (color azul-violeta).

COMPROBACION DE TERRENO

Con el propósito de incrementar la cantidad de información geológica existente y de verificar en terreno las interpretaciones fotogeológicas, se planificó una visita al salar, con el fin de reconocer algunos puntos representativos de las unidades interpretadas. Aprovechando los accesos existentes en el borde del salar y caminos recientes en la costra salina, se recorrió parcialmente el Llano Pedernales, la zona de recarga y el núcleo salino. Las observaciones de cada punto y su ubicación correspondiente se indican en las figuras 6 y 7. Se entrega una síntesis de las observaciones realizadas y unidades reconocidas en terreno (Fig. 6).

COSTRA SALINA

Los antecedentes recogidos permiten individualizar siete unidades en la parte noroeste del salar.

- **Unidad "A"**: identifica los suelos arcillosos, con niveles remanentes de halita, que corresponden a un antiguo nivel de base de la cuenca, probablemente del Pleistoceno-Holoceno.
- **Unidad "A1"**: texturalmente semejante a la unidad "A4", pero con menos evidencias de inundaciones recientes. Lagunas ausentes. Escasas estructuras poligonales y arcillas superficiales.

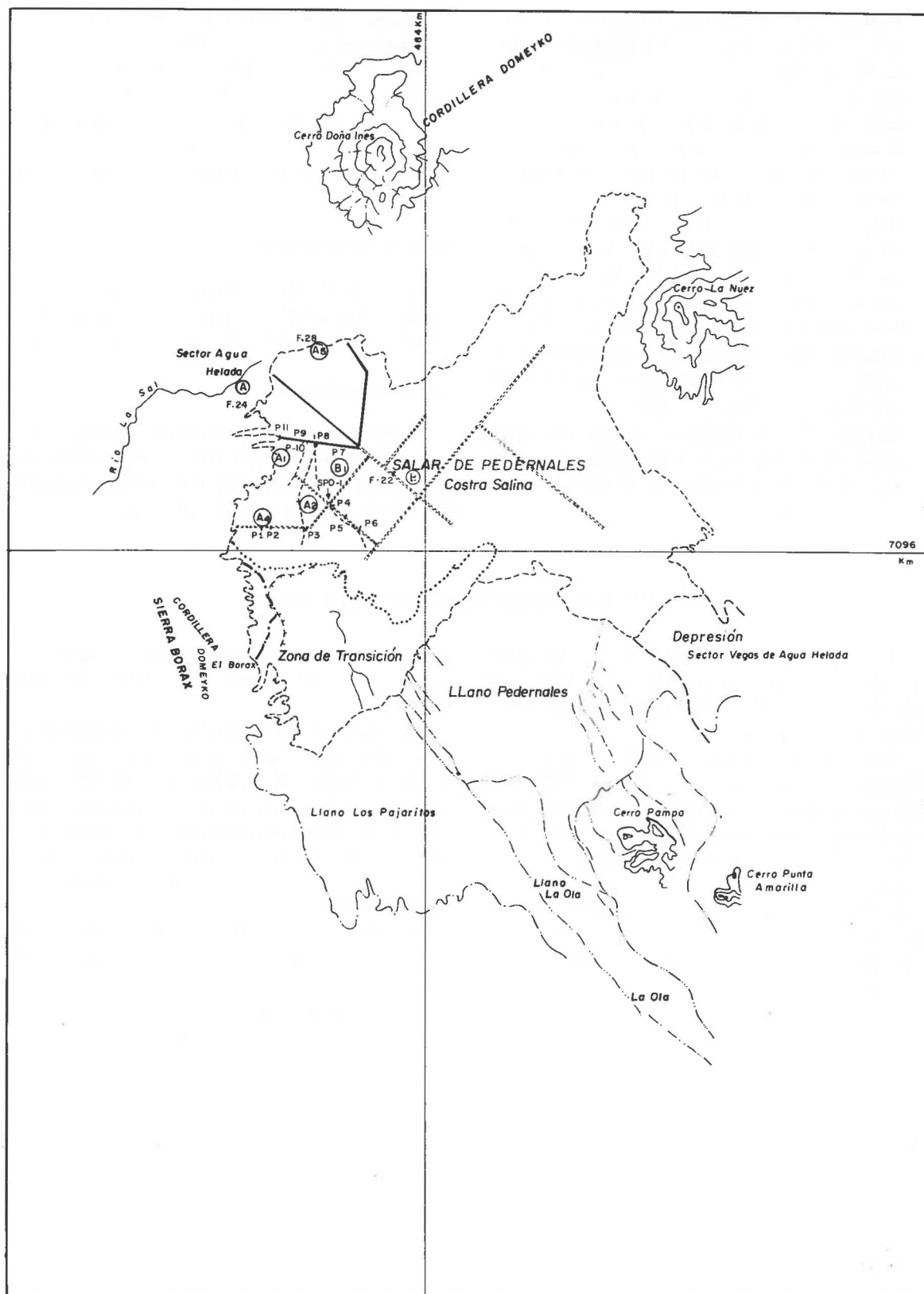


FIG. 6. Salar de Pedernales. Mapa de ubicación de puntos de observación y unidades reconocidas en terreno (escala 1:250,000, 1983).

- **Unidad "A2"**: similar a la unidad anterior, pero con textura más rugosa (irregularidades de hasta 50 cm). Sal de color blanco, con menos arcilla superficial, grietas poligonales de expansión y estructuras de tipo estalacmita.
- **Unidad "A4"**: costra superficial de halita fina, fresca, con diferencias de relieve inferiores a 20 cm. Costra salina (espesor inferior a 1 m), descansando sobre limos arcillosos en el borde de la cuenca. Lagunas de hasta 4 m de diámetro. En la periferia de las lagunas mayores se aprecian grietas poligonales de expansión. Altas concentraciones de sales en el punto P2.
- **Unidad "A5"**: corresponde a superficies de disolución de la costra, debidas a escurrimientos superficiales y subsuperficiales.
- **Unidad "B"**: muy similar a la unidad "B1" pero con textura muy rugosa (irregularidades mayores a 2 m), e incremento de las estructuras de "cono" y "tazas".
- **Unidad "B1"**: costra superficial color marrón claro, compuesta principalmente por yeso y menos por halita, anhidrita y cuarzo. Textura moderadamente rugosa con irregularidades de hasta 1 m. Estructuras de "conos" y "tazas", que evidencian inundaciones escasas y erosión eólica. Concentraciones moderadas de sales en el punto P6.

ZONA DE TRANSICION

Se comprobó la presencia de aguas surgentes (vegas) y vegetación en el sector El Bórax (identificado como unidad "2" en la interpretación).

LLANO PEDERNALES

Se visitó solamente un sector de la unidad "C4" de la interpretación (Punto P12), formado por acumulaciones de arena muy fina, compuestas por fragmentos de tobas y rocas andesíticas.

ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS

A fin de establecer el aporte real de las imágenes procesadas por computador, se analiza cada una de las interpretaciones, confrontándolas con la información existente.

En la imagen banda 4 fue posible establecer los límites de la costra salina y del llano Pedernales con gran precisión cartográfica. En la costra salina no se han identificado unidades; tan solo se advierte el contorno del sector con mayor concentración de sales en la zona de recarga. No se han individualizado lagunas. En el Llano Pedernales, no se dispone de datos de terreno concluyentes para verificar la interpretación de las unidades "B" y "C" de la figura 3a.

En la imagen banda 7 derivada, se obtuvo una buena coincidencia de contactos en la costra salina y el Llano Pedernales (unidades "D" y "E", figura 4a). Del mismo modo, existe buena correspondencia entre la unidad "C" (Fig. 4a) y la zona de transición. Esta unidad, en los bordes norte y este del salar, corresponde realmente a zonas de disolución, por escurrimientos de aguas superficiales. La unidad "B" no tiene explicación definitiva, si bien, en parte, corresponde a la zona de arcillas del sector El Bórax. Finalmente, se definió, en forma excelente, la unidad "A" (zona de recarga

principal), existiendo gran coincidencia de límites con la unidad de terreno "A4" (puntos P8, P9 y P10, Fig. 6).

Gran parte de los valores elevados en litio, potasio y ácido bórico, se encuentra en esta zona, por lo que se estima que, además de zona de recarga principal, conformaría una zona de alta concentración de los elementos analizados. El transporte y concentración de estos elementos estaría íntimamente ligado a los sectores "hidrológicamente activos" del salar.

En cuanto a la unidad "B" (costra salina), no ha sido posible clasificar las distintas zonas que se determinaron en terreno.

En la imagen en razón de banda, existe buena coincidencia entre las unidades interpretadas en la costra salina con las unidades mapeadas en terreno y que corresponden a: unidad "antigua" de halita-yeso, (unidad "B", Fig. 5a), unidad moderna de halita-yeso (unidad "B1"), unidad "antigua" de halita (unidad "A1"), unidad "moderna" o recarga principal (unidad "A4") (puntos P3, P1, P5, P0, P22, P8, P9 y P10, Fig. 6). En la zona de transición, las unidades "A1", "A3" y "A4", representan sectores con diferente grado de recarga y concentración de sales de litio con respecto al "nú-

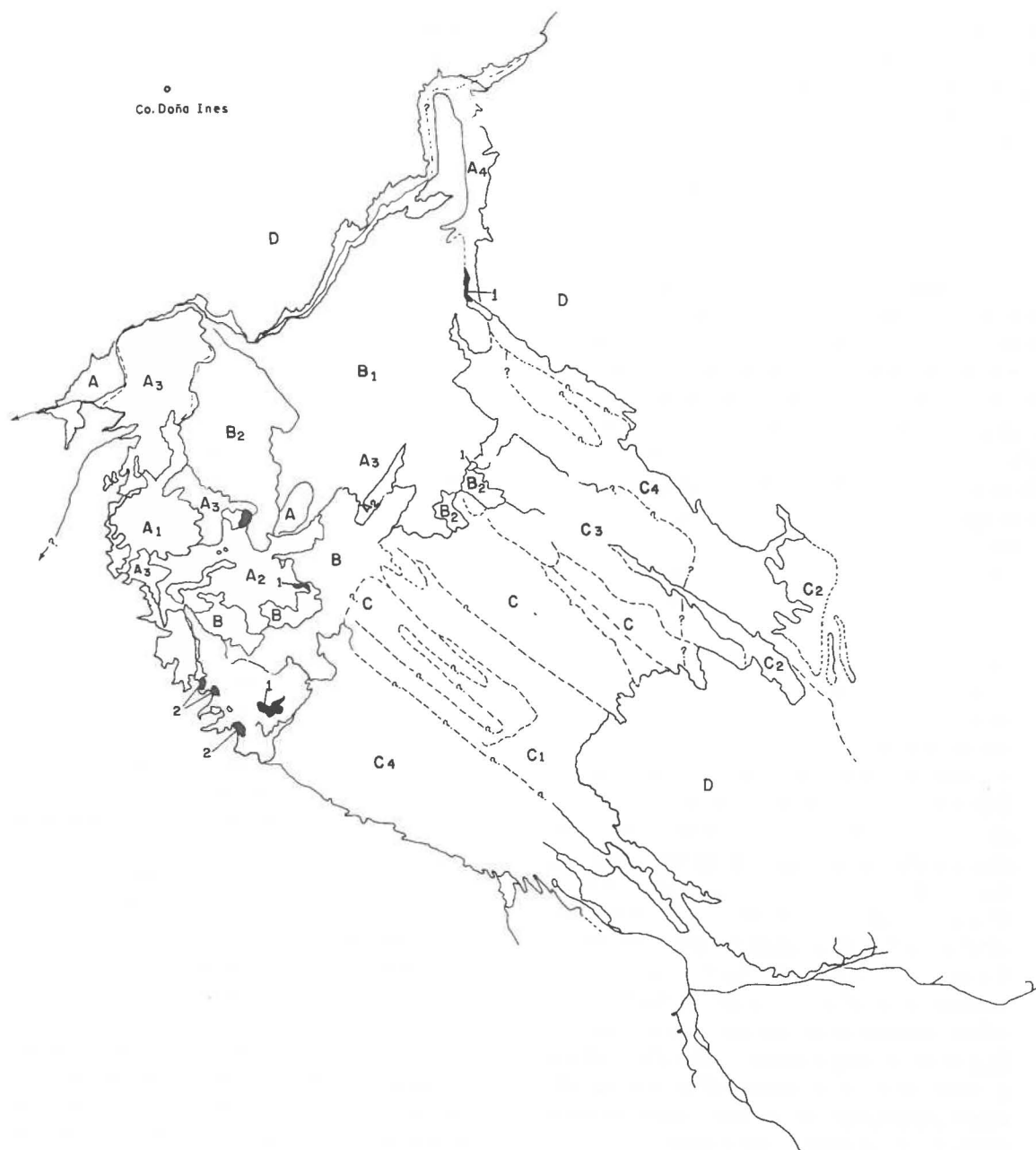


FIG. 7. Salar de Pedernales. Mapa Geológico Resumen (escala 1:250.000; 1983) A: Zona de acumulación de sales con contenido de arcilla moderada, mínimo espesor de la costra; zona de NaCl.; A₁: Zona de acumulación de soluciones salinas, máximo espesor de costra salina, mínimo contenido de arcilla y leyes altas de Li, K, boratos; zona de NaCl.; A₂: Zona de acumulación de soluciones salinas, mínimo contenido de arcillas y leyes de Li, K y boratos moderadas a altas; zona de NaCl. Espesor medio de la costra; A₃: Zona de acumulación de soluciones salinas, espesor mínimo de la costra y leyes altas de Li, K y boratos.; A₄: Zona de recarga (¿canales de disolución?); baja concentración de sales; 1: Lagunas salobres sin vegetación; 2: Lagunas salobres con vegetación; B: Costra salina con espesor moderadamente grueso a grueso. Zona de NaCl > CaSO₄. Leyes moderadas de Li, K y boratos. B₁: Costra salina con espesor mediano a delgado. Zona de CaSO₄ > NaCl, con menos arcilla. Leyes bajas de K, Li y boratos; B₂: Costra salina de espesor mediano a delgado. Zona de NaCl > CaSO₄, con escasa arcilla. Leyes moderadas a bajas de K, Li y boratos; C: Relleno de grava, arena y arcilla con abundante sal intersticial; C₁: Relleno de grava y arena con escasa sal intersticial; C₂: Relleno tobáceo; C₃: Costra salina de poco espesor. Zona de NaCl > CaSO₄, con contenido moderado de arena y arcilla; C₄: Relleno de grava y arena fina, espesor moderado con superficies subhorizontales. Escasa sal en intesticios; D: Rocas fundamentales indiferenciadas.

cleo" central o unidad "A4". A diferencia de las otras interpretaciones, se aprecia claramente las lagunas salobres de la zona de recarga. Finalmente, merece destacarse la unidad "A", que corresponde a un antiguo nivel de base del salar.

A manera de síntesis, en la figura 7, se presenta un mapa geológico resumido, que integra la información obtenida de cada imagen y la información geológica actual.

CONCLUSIONES

Las imágenes con tratamiento computarizado constituyen una herramienta valiosa de apoyo en la exploración de salares. La información geológica e hidrológica disponible ha permitido confrontar las interpretaciones de cada una de las imágenes, probando su real valor en diferentes superficies de terreno. Se entrega un mapa geológico resumen, elaborado a partir de las interpretaciones y datos geológicos, actualizando el conocimiento sobre el salar.

De las interpretaciones se concluye que:

- La imagen banda 4 tiene un valor relativo, ya que tan solo se diferenciaron los depósitos aluviales y la costra salina, existiendo resultados dudosos con respecto a la presencia de agua subterránea, próxima a la superficie, en el sector de La Ola.
- La imagen banda 7 derivada diagonal permitió diferenciar, con exactitud, la zona aluvial, la zona de transición y la costra salina, considerando la textura como único parámetro. Se identificó con precisión el centro de recarga principal, el cual coincidiría con el sector de mayores concentraciones de litio, potasio y ácido bórico.
- La imagen en razones de banda proporciona los mejores resultados en cuanto a clasificar unidades. Además de las unidades que se individualizaron en la imagen banda 7 derivada, se agrega la clasificación de la costra salina considerando como parámetros de análisis: color, textura, composición química y estructuras.

Del análisis general de datos se ha determinado que:

- Los aportes principales de agua provienen del sector La Ola y, secundariamente, del sector Vegas de Agua Helada y de los drenajes en el noreste de la cuenca.
- Existe comunicación entre la parte este y oeste del salar, con mezcla de aguas superficiales.
- La costra salina presenta rasgos composicionales y texturales variados, que dependen de la actividad hidrológica. La zona más activa tiene una textura rugosa, fina, con predominancia de halita. La parte principal de esta zona se ubica en el sector oeste de la cuenca, y en ella se encuentran las mayores concentraciones de litio, potasio, boratos y otros elementos. Las zonas menos activas se ubican en la parte central de la costra y se caracterizan por presentar una cubierta color marrón claro compuesta por yeso, halita, anhidrita y cuarzo, además de una textura muy irregular. En esta zona existen las más bajas concentraciones de los elementos analizados.
- La interpretación de ciertas zonas posibilitaron la orientación de la búsqueda de datos en el terreno, algunos de los cuales permitieron inferir las condiciones paleogeográficas de la cuenca, cuando ocurría depositación a niveles superiores que el actual.
- Algunos tipos de tratamiento computarizado de imágenes, como el análisis en razones de bandas, constituyen una herramienta valiosa en el reconocimiento preliminar de depósitos salinos, reduciendo considerablemente el tiempo destinado a trabajos de terreno.

REFERENCIAS

- BETTANCOURT, E.; JULIO, M. 1975. Estudio geofísico en Salar de Pedernales, III Región. Inst. Invest. Geol./CODELCO-CHILE (inédito), 22 p. Santiago.
- FALCON, E. 1975. Pruebas de agotamiento en catas en el Salar de Pedernales, provincia de Atacama. Inst. Invest. Geol./CODELCO-CHILE (inédito), 7 p. Santiago.
- FALCON, E. 1976. Hidrogeología del Llano de Pedernales. Inst. Invest. Geol./CODELCO-CHILE (inédito), 19 p. Santiago.
- HENRIQUEZ, H.; MONTTI, S.; FALCON, E. 1975. Estudio hidrogeológico de la cuenca del Salar de Pedernales, provincia de Atacama. Inst. Invest. Geol./CODELCO-CHILE (inédito), 29 p. Santiago.

- KARZULOVIC, J. 1981.** Evaluación de recursos hídricos y alternativas. Abastecimiento de aguas provincia de Chañaral, Región de Atacama. Secretaría Regional de Planificación (SERPLAC), III Región (inédito), 2 Vols.
- LAHSEN, A. 1982.** Evolución, sollevamiento y actividad volcánica de los Andes del Norte de Chile, durante el Cenozoico superior. *In* Congr. Geol. Chileno, No. 3, Actas. Concepción.
- MARIN, C. 1981.** Informes internos diversos sobre el Salar de Pedernales. Superintendencia de Geol., División Salvador (CODELCO-CHILE).
- STOERZ, G.E.; ERICKSEN, G.E. 1974.** Geology of salars in northern Chile. U.S. Geol. Surv., Prof. Pap., No. 811, 65 p.