EL SALAR DE HOMBRE MUERTO

por ANTONIO P. IGARZABAL* y
ROLANDO F. POPPI**

SUMMARY

The Hombre Muerto Saline Deposit.- It constitues one of the most interesting salty environment of the Argentine Puna, not only for its size, but also due to its particular geologic conditions specialy by the petrology and structures afecting the region.

The different lithologic entities which provide the salteny for the saline deposit in both sides of the Farallón Catal, associated to a different hydrologic behaviour, let us suppose an uneven characterization in its salty composition, at least in some of its components. The analytic results and the physicochemical interpretation corroborate the geologic assumption and show once more the importance of the interdisciplinary work.

Introducción

El presente trabajo constituye un nuevo aporte al conocimiento de los salares de La Puna Argentina, cuyo estudio lleva a cabo la Universidad Nacional de Salta, a través del proyecto de investigación titulado "Estudio de los recursos mineros en salares del NOA" y en estrecha colaboración con el equipo de trabajo del programa "Beneficio de minerales" (Evaluación de salares de La Puna), de la misma institución.

Los estudios, en esta etapa inicial, procuran lograr una masa importante de conocimientos generales que permita seleccionar futuras líneas de investigación relativas a aspectos específicos de estos importantes recursos mineros. Esta información preliminar llena una elemental necesidad, frente a la precariedad del conocimiento de los ambientes salinos de aquella región, y apunta, a continuación, a profundizar la información relativa a la naturaleza de los depósitos, la especificidad de sus elementos constitutivos, evaluación de reservas y posibilidades de recuperación económica de sus contenidos.

Generalidades

Con una superficie de aproximadamente 565 km^2, constituye el segundo salar en importancia de la Puna Argentina, después del de Arizaro. Esa superficie resulta de deducir del área perimetral del salar, la abarcada por un extenso afloramiento rocoso en el interior del mismo (Farallón Catal).

Aproximadamente cuadrangular, el formato del salar se adecua a un sistema de ejes ortogonales entre 21 y 26 km de longitud. Sin embargo, aquella configuración se desdibuja por penetración del relieve circundante al salar, entre ellas las denominadas Penín-

* Departamento de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Salta.

** Departamento de Ciencias Tecnológicas, Universidad Nacional de Salta.

sula Tincalayu y Hombre Muerto, el espolón de Incahuasi y la lobulación basal que dibuja el volcán Ratones (Lám. I).

Las coordenadas geográficas, para un punto aproximadamente central al salar, son 67°05' de longitud W y 25°10' de latitud S, pudiéndose estimar en 4000 m su altura media s.n.m.

El acceso permanente al salar se realiza por la ruta provincial 53, que une las localidades de Pocitos (FC Belgrano) en la provincia de Salta y Antofagasta de la Sierra en la de Catamarca, a través de 190 km de desarrollo. De éstos, 120 km separan al salar de la primera de las localidades.

La mayor parte de la superficie del salar pertenece a la provincia de Catamarca, y sólo su borde septentrional se sitúa en jurisdicción de Salta.

Relieve

Los contornos del salar están asociados a una variada gama paisajística que contrasta entre amplios y extensos planos aluviales, como los elaborados por el río Los Patos en su flanco oriental, y el de su vigoroso aparato volcánico, como el de Ratones, el que se eleva unos 1200 m sobre el piso del salar. Este importante elemento orográfico interrumpe una extensa depresión que corre a lo largo de todo el borde oriental de La Puna y que, a la altura de San Antonio de los Cobres, nuevamente pierde continuidad por interposición de potentes masas efusivas, derramadas por el complejo que integran los volcanes Queva, Azufre y Negro de Chorrillos. Sobre dicha depresión se alinean diversos ambientes salinos, tales como Salinas Grandes en la provincia de Jujuy, los salares Centenario, Ratones y Diablillos en la provincia de Salta y, en último término, el salar de Hombre Muerto.

Como ocurre con la totalidad de los salares de La Puna, el de Hombre Muerto está emplazado en un amplio bolsón integrado por dos depresiones tectónicas, separadas por un estrecho, alargado y bajo relieve residual, a partir del cual, a uno y otro lado del mismo, el ambiente salino posee características distintivas.

El oriental, que ocupa aproximadamente 1/3 de la superficie total del salar, está asociado a un relieve lateral prominente, donde dominan geoformas volcánicas e intrusivas. Uno de esos rasgos lo constituye un extenso espolón rocoso conocido como Península de Hombre Muerto que penetra a este sector por el SE. Se trata de un relieve residual, elaborado a partir de efusiones lávicas que recubren sedimentos de reducida resistencia al escurrimiento. Al sur del mismo, el salar conforma una estrecha cuña que apunta al este, por donde recibe los aportes del río Hombre Muerto. La península mencionada enfrenta al extremo sur de Farrallón Catal, a través de un estrecho paso y constituye otro de los elementos de cierre del compartimento analizado.

Hidrológicamente este sector recibe anualmente un volumen varias veces superior de caudales por escurrimiento concentrado, respecto del sector occidental, al cual trasvasa por rebalse gran parte del mismo. El río Los Patos resulta ser el principal tributario de esos caudales. Otros cursos menos importantes que el precedente, son los ríos Ciénaga Redonda, Hombre Muerto y Vicuña Muerta, todos de régimen temporario. Han sido reconocidos, asimismo numerosos manantiales de agua moderadamente dulce, sobre su contorno.

El río Los Patos, de régimen permanente pero de caudales contrastados entre las temporadas seca y húmeda del año, posee la red mejor integrada de la comarca. Este curso ha organizado un amplio cono aluvial hasta alcanzar los planos inundables de la depresión donde los aluviones más finos, depositados originariamente en un cuerpo de agua libre, construyeron un delta sublacustre, depósito que es recorrido actualmente por un abanicado conjunto de cursos menores en que se subdivide aquel río principal, para finalmente desaguar en la laguna temporaria de Catal, la que representa la fase final del lago primario, endicado por Farallón Catal.

La mayor parte de las cabeceras de los cursos señalados, reciben aportes de aguas ter-

males.

El relleno del sector considerado, ocurre principalmente a partir de los aportes detríticos provistos por la cuenca del río Los Patos, por un lado, y los materiales procedentes de la intesa actividad volcánica vinculada en ese tiempo a la evolución regional.

El ambiente occidental presenta una caracterización uniforme. Su relieve perimetral es generalmente alomado y a él se vincula una densa red de arroyuelos que lentamente rebajan el mismo. En cierta manera, se trata de un paleorrelieve que se está destapando por la erosión de delgadas capas de lava que invadieron la región, inclusive la propia depresión en que se aloja actualmente el salar.

A diferencia del sector oriental, ningún curso de moderada importancia desagua en el mismo, no obstante lo cual, durante la temporada de lluvias se inunda parcialmente por los desbordes de laguna Catal. Otra característica propia del sector occidental, son los numerosos manantiales emplazados en su contorno, que dan origen a vegas de agua moderadamente dulce, verbigracia, las de Punta Negra.

RASGOS GEOLOGICOS

A) Estratigrafía

Compone la región una secuencia de rocas sedimentarias, metamórficas e ígneas de diferentes edades, a las que se pasa revista a continuación:

Paleozoico

Las rocas más antiguas que afloran en el área circundante al salar están reunidas en un amplio complejo metamórfico y plutonítico. Turner (1964), agrupa a estas rocas en las Formaciones Copalayo y Oire, a las que asigna edad precámbrica. Posteriormente Aceñolaza y Toselli (1971) y Aceñolaza et al. (1975), argumentan para la Fm. edad paleozoica (Ordovícico) redesignándola con el nombre de Fm. Falda Ciénega teniendo en cuenta el hallazgo de trilobites. Mendez et al. (1972), basado en el carácter intrusivo de las rocas graníticas de la Fm. Oire respecto de las metamorfitas, asignan a estas últimas edad postordovícica hasta cretácica superior.

La Fm. Falda Ciénega enmarca el salar por el oeste (Cordón de Acazoque) y suroeste, mientras la Fm. Oire lo hace por el este y sureste, ubicadas por lo tanto en posición diametralmente opuestas.

En la Fm. Falda Ciénega predominan los esquistos de tonalidad verdosa que, por meteorización, cambian a pardusca, rojiza y amarillenta. Poseen arrumbamiento general N-S. En ellos son frecuentes las intercalaciones de venas de cuarzo, a veces auríferas, como ocurre sobre la margen SO del salar (Mina Incahuasi). La entidad se extiende en amplios afloramientos al N y S del salar, componiendo algunos elementos orográficos de la región.

La Fm. Oire participa de la Faja Eruptiva de La Puna Oriental (Mendez et al., op. cit.). Petrográficamente la componen migmatitas, caracterizadas por la bundancia de gruesos cristales de microclino, incluidos en una masa cuarzosa, en la que también se reconocen destacados núcleos de mica.

Cenozoico

Terciario

Potentes sedimentos clásticos componen una conspicua unidad, a la que Turner (op. cit.) identificó como Grupo Pastos Grandes y que para el área del salar Hombre Muerto está representada parcialmente, por afloramientos de moderada magnitud.

La importancia del Grupo, integrado por las Formaciones "Geste", "Pozuelos" y "Sijes", radica en el contenido de importantes masas de evaporitas de interés económico, como son los boratos. Ellos han sido localizados esencialmente en la Fm. Sijes y es en ella donde se ubican las principales explotaciones de estos minerales en la región.

Petrográficamente, el Grupo Pastos Grandes está compuesto por sedimentos de granometría decreciente del piso al techo de la columna sedimentaria. Es netamente conglomerádica en la base (Fm Geste), areniscosa en el centro (Fm. Pozuelos), para culminar en el tramo superior

con netas facies pelíticas (Fm. Sijes). De las formaciones antedichas, sólo las de Pozuelos y Sijes han sido reconocidas en el área estudiada. La individualización de las mismas se ha hecho siguiendo los caracteres que se han tenido en cuenta en la localidad tipo, situada entre los salares de Pastos Grandes y Pozuelos (80 km al N del salar estudiado).

Una primera caracterización que diferencia los sedimentos de ambas formaciones es la coloración: marrón rojiza para la de Pozuelos y grisácea a pardo-verdosa para la de Sijes. En esta última es inconfudible la participación de abundantes intercalaciones de yeso. No ocurre lo mismo con las numerosas intercalaciones de sal de roca que se observan en la margen S del salar de Pastos Grandes y que aquí, sin faltar, resultan infrecuentes.

Otro factor de correlación con la localidad tipo es el estructural. Se mantiene aquí el rumbo submeridiano, con inclinación al E, y una tectónica de intenso plegamiento asociada con fallamientos complejos sobre el borde occidental del salar, donde la Fn. Sijes toma contacto con la de Copalayo. Dichas estructuras en dirección E, pasan gradualmente a homoclinales.

La Fm. Pozuelos está presente tan solo en un reducido afloramiento en el sector noroccidental de Farallón Catal. La componen arcillas, arcilitas, lutitas y areniscas, estas últimas de escasa agregación. La parte inferior del perfil que asoma sobre la superficie del salar está caracterizada por la alternancia de aquellos sedimentos, sin que exista prevalencia manifiesta de alguna de las fracciones clásticas. En cambio, para la localidad tipo, esta formación está representada fundamentalmente por areniscas e intercalaciones de camadas conglomerádicas las que están casi ausentes en los afloramientos que analizamos. Domina en ellos la coloración marrón rojiza, con tonos subidos. Se observa la presencia de yeso en venillas y láminas, en reducida cantidad. El espesor de estos sedimentos ha sido calculado por Villacorta (1973) en 815 m, coincidiendo muy aproximadamente con los 800 m asignados por Turner (op. cit.) en la localidad tipo.

Los sedimentos de la Fm. Sijes comprenden la mayor parte de los afloramientos pertenecientes al Grupo Pastos Grandes en el área de influencia del salar. Los mismos se ubican al SE y NO de esta depresión e incluso componen casi totalmente su gran isla interior. La integran los mismos sedimentos señalados para la formación anteriormente descripta, con predominio de facies pelíticas y fundamentalmente la participación de abundantes evaporitas, esencialmente yeso, en forma de bancos, lentes, venas, agregados, etc. Se ha señalado para esta formación un espesor de 1950 m (Villacorta, op. cit.). No existen elementos característicos para establecer una delimitación clara de esta formación con respecto a la anterior debido al carácter transicional de sus sedimentos. En tal sentido, se procura identificar a la Fm Sijes sobre la base de una mayor participación de facies pelíticas, predominio de tonos claros y apagados y a una cierta presencia y abundancia de evaporitas. De éstas, el yeso está presente en todos aquellos sectores en que ha sido identificada la Fm. Sijes. No ocurre lo mismo con los boratos que, en cambio, hasta el presente sólo han sido reconocidos, en forma concentrada, en Península Tincalayu. Aquí se los localiza en la cúpula de un cuerpo de formato dómico, siendo en profundidad reemplazados gradualmente por NaCl.

Vulcanitas

Dacitas y su tobas muy alteradas cubren concordantes o con ligera discordancia angular los sedimentos de la Fm. Sijes, sobre el borde oriental de Farallón Catal. Aquí los sedimentos terciarios poseen moderada inclinación y la circunstancia de la yacencia de las vulcanitas sobre estos sedimentos, permite asignar a éstas edad contemporánea o ligeramente superior, respecto de los primeros. Turner (op. cit.) describe a la altura de la Quebrada de Tarón, sobre el flanco oriental del Cordón de Copalayo, rocas dacíticas, a las que identifica como pertenecientes a la Fm. Bequeville.

Las vulcanitas observadas en Farallón Catal presentan coloración blanquecina; la com-

FOTOMAPA GEOMORFOLOGICO DEL SALAR DE HOMBRE MUERTO

POR ANTONIO P. IGARZABAL

REFERENCIAS

GEOGRAFICAS

- Ubicación e identificación a) Muestras b) Manantiales (vegas de agua dulce)
- Pista de aterrizaje
- Campamento minero a) Activo b) Abandonado
- Curso a) Permanente b) Transitorio
- Camino

GEOLOGICAS

Cenozoico — Cuaternario:

- Sedimentos recientes y actuales
- Evaporitas
- Sedimentos sub lacustres con recubrimientos de calizas travertínicos
- Tobas dacíticas
- a) Basaltos b) Dacitas

Cenozoico — Terc:

- Dacitas
- Grupo Pastos Grandes: conglomerados, areniscas y arcilitas

Paleozoico — Dev:

- Formación Oire: granitos

Paleozoico — Ord:

- Formación F. Ciénega: areniscas, lutitas y pizarras
- Falla

GEOMORFOLOGICAS

- Conos aluviales funcionales
- Conos aluviales terrazados
- Glacis funcionales
- Glacis terrazados
- Conos de detritos
- Talud de detritos
- Delta sub lacustre
- Líneas de paleo-ribera
- Conos volcánicos
- Coladas de lavas
- Terraza lacustre
- Recubrimiento de arenas trepadoras
- Costra de sal dura rugosa (costra fosil)
- Costra terrosa con recubrimiento florescente (costra actual)
- Piso lacustre temporario con recubrimiento de algas cyanophytas
- Costra de sal lisa dura poligonada (salina)
- Hoyos de hundimiento por disolución

ESCALA

0 1 2 3 4 5 km

LAMINA I

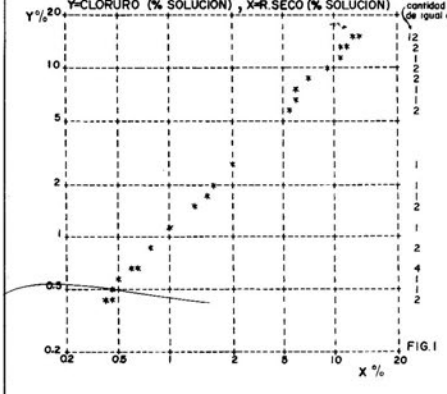


FIG. 1

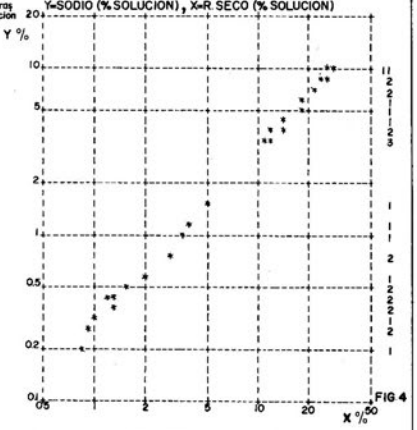


FIG. 4

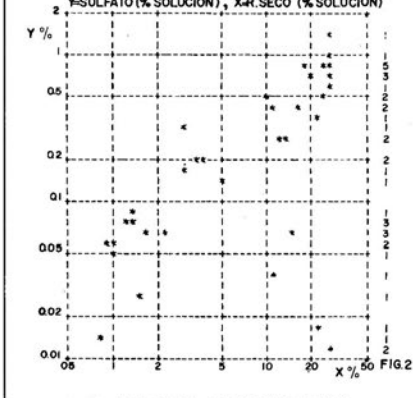


FIG. 2

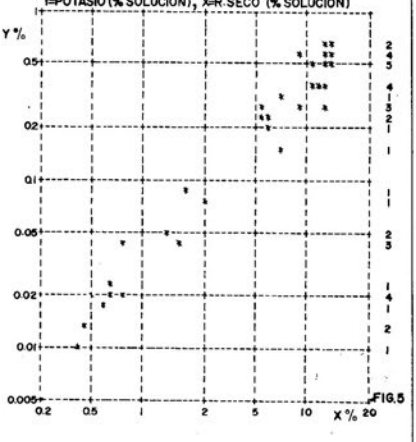


FIG. 5

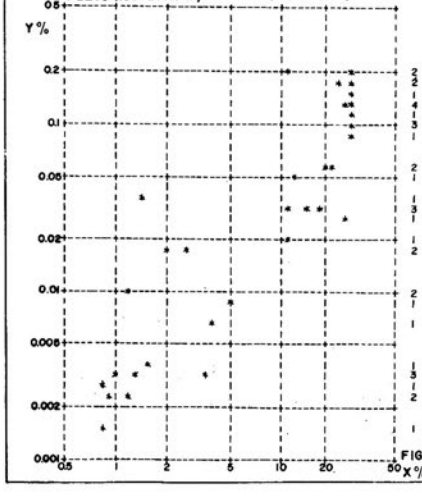


FIG. 3

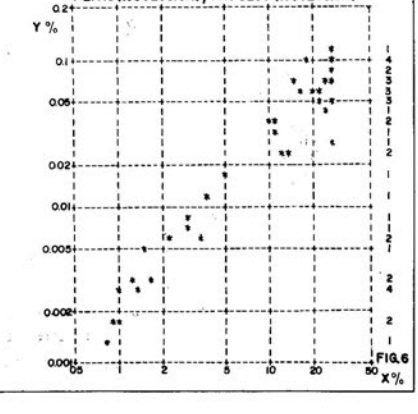


FIG. 6

posición media de las plagioclasas u oligoclasa cálcica y todos los cristales, incluyendo el cuarzo, presentan golfos de corrosión. Han sido clasificadas como dacitas y por su similitud con las descriptas por el referido autor, se las asimila a aquella formación, a la que asigna edad pliocénica.

Cuatemario

Está representado esencialmente por aluviones, derrames detríticos sobre los faldeos y sedimentos sublacustres. Son también referidas a este período abundantes acumulaciones de lavas y material piroclástico, originados por un intenso vulcanismo, cuyos episodios se sucedieron durante todo este tiempo e incluso alcanzan edad reciente. Las rocas efusivas son dacitas, andesitas y basaltos, y asociadas a las primeras se observan extensas áreas cubiertas por tobas.

Las dacitas de coloración grisácea a parda y rojiza, poseen textura porfirítica, en la que los fenocristales corresponden a cuarzo y plagioclasas incluidos en una pasta granular fina. La biotita constituye el mineral máfico más abundante.

Las manifestaciones piroclásticas correspondientes a las rocas precedentes, están expresadas por tobas reconocibles por su tonalidad blanquecina y los bajos relieves que forman, están densamente recortados por el escurrimiento. Los afloramientos más importantes se ubican a lo largo de los valles de los ríos Los Patos, Hombre Muerto, Ciénega Redonda y Vicuña Muerta.

Los cerros Ratones y Hombre Muerto representan a los dos aparatos volcánicos más importantes de la región, edificados por dacitas y andesitas de edad pliocénica. Sobre el flanco SE del C° Ratones se ubicó una colada aislada de andesita reciente.

Los basaltos constituyen las rocas volcánicas más difundidas en la región. En modo especial cubren una extensa fija al O y SO de salar. Desde el punto de vista de su ocurrencia, se distinguen derrames puntuales y fisurales, correspondiendo a estos últimos los afloramientos más extensos. Adquieren su mayor expansión a lo largo de dos sistemas de fallas regionales que se cruzan a mitad de camino entre Hombre Muerto y el salar de Antofalla las que fueron analizadas por Segerstrom y Turner (1972). Los derrames afectan fundamentalmente a las metamorfitas de la Fm. Copalayo. Se las observa también cubriendo los sedimentos terciarios en Península Tincalayu y Farallón Catal. Sus expresiones más orientales se las reconoce como diques que intruyen a los sedimentos antes señalados y las migmatitas de la Fm. Oire.

Además de los afloramientos señalados, una densa masa de escombros de basaltos recubren toda la región poniendo en relevancia la importancia de este evento volcánico, algunas de cuyas manifestaciones son de edad reciente a juzgar por la preservación de sus rasgos morfológicos originarios.

De los sedimentos detríticos señalados para este tiempo geológico, los aluviones cubren amplios sectores; están modelados como conos y planos de glacís, cuyas progresiones alcanzan las márgenes del salar, e incluso lo invaden. Salvo los aparatos de construcción actual, los restantes aparecen ligeramente aterrazados. Entre ellos, sobresale por su desarrollo el construido por el río Los Patos, hasta tomar contacto con la línea de paleorribera de un amplio cuerpo lacustre contemporáneo. En él, los finos materiales desaguados por el cono fueron construyendo un depósito sublacustre que, con el progresivo retraimiento del lago, hasta su actual mínima expresión en laguna Catal, se sitúa ligeramente en sobrerrelieve, surcado por múltiples canales elaborados por los derrames de aquel río. Dicho ambiente lacustre, como parte de la evolución paleoclimática regional, se pone de manifiesto, además, por abundantes sedimentos limo-arcillosos, de coloración pardo-amarillenta, que incluyen abundantes restos de diatomeas. Estos afloramientos se disponen como remanentes terrazados en ciertos sectores de las márgenes del salar y extremo S de Farallón Catal.

La importante masa de escombros que

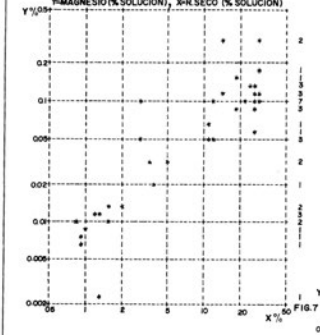


FIG.7

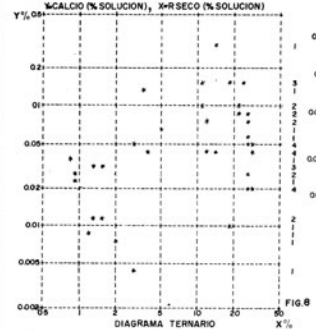


FIG.8

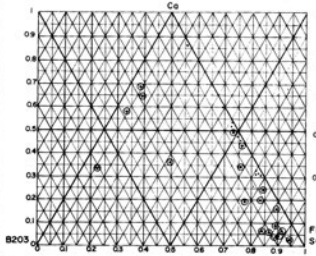


FIG.9

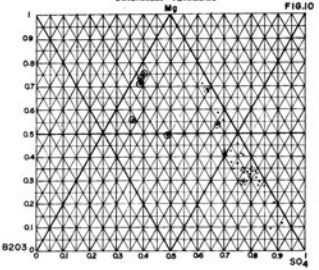


FIG.10

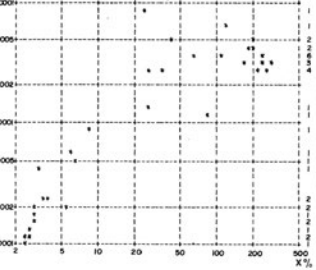


FIG.11

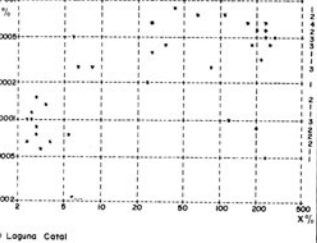


FIG.12

① Laguna Catal

la gravedad, auxiliada por el escurrimiento, condujo al progresivo relleno de las cuencas endorreicas de la región, ha tenido nacimiento, en gran parte, en acciones glaciarias y periglaciarias, cuyos testimonios aún persisten en las cumbres de algunos de los principales elementos orográficos de la comarca (Catalano, 1926).

B) Estructura

Las principales unidades de relieve de La Puna –serranías y bolsones– han tenido origen en una tectónica de deformación y dislocamiento de bloques a lo largo de extensas fallas regionales.

La compartimentación de las fajas tectónicas deprimidas ha estado a cargo esencialmente de eventos volcánicos. Nacen así las cuencas endorreicas alineadas que actualmente albergan los ambientes salinos. Pese a su actual independencia morfológica, resulta evidente que algunas de ellas reciben una sobrealimentación subterránea a partir de otras vecinas, siguiendo líneas y planos de paleoencauzamientos en los que están involucrados los debidos al fallamiento regional.

El diseño alargado de los salares en el rumbo meridional, responde concordantemente con el alineamiento de las estructuras primarias. El salar de Hombre Muerto se adecúa al modelo general, participando a la vez de dos depresiones tectónicas, separadas por los remanentes de un bloque positivo por lo que, aproximadamente, se compensan las longitudes de sus ejes principales, arribando así a un formato cuadrático, desdibujado por los numerosos elementos residuales que lo penetran.

Aun cuando no existen pruebas morfológicas del fallamiento regional inmediatas al salar, algunos rasgos sugestivos tales como el paralelismo de alineación entre Península Tincalayu, Cordón de Acazoque y Farallón Catal, permiten inferir su existencia.

Mientras la dirección del arrumbamiento de los sedimentos terciarios (Grupo Pastos Grandes) en el área estudiada es concordante, la deformación de los mismos progresa en dirección O, sentido en el que parecen haber actuado los esfuerzos de compresión dentro del esquema de Movimientos del Ciclo Andico (Groeber, 1952). En tal sentido, el sector de Península Tincalayu concuerda con la mayor complejidad tectónica de la comarca. Aquí, los esfuerzos compresivos actuando sobre sedimentos de acentuada plasticidad proporcionan frecuentes estructuras diapíricas. En tal sentido, la elevada movilidad y baja densidad de las evaporitas –en modo particular la sal de roca– contenidos en estos depósitos, asoman e incluso se extruyen de los mismos. El autor describió este tipo de estructuras en sedimentos de la Fm. Pozuelos, en transición a la de Sijes, al S del salar de Pastos Grandes (Igarzábal, 1978). Presuntamente el yacimiento Tincalayu responde a un estilo similar. Existe, además, una voluminosa bibliografía que, resumida en gran parte en "Saline Depósits" (Mattox, 1968), da cuenta de la importancia de las estructuras diapíricas en la localización de masas evaporíticas por lo que, obviamente, introducen un valorable elemento a tenerse en cuenta en la exploración minera de la región.

Características climáticas.
Acciones morfogénicas.

Como clima continental de altura que afecta la región, seco y fresco, su rasgo distintivo lo constituye la fuerte amplitud térmica, tanto diaria como anual.

La temperatura media de acuerdo a los registros llevados en mina Tincalayu es de aproximadamente 7°C. La temperatura media mínima es de -6°C correspondiendo a los meses de junio y julio los más fríos. La temperatura máxima media es de 13°C, resultando diciembre y enero los meses más cálidos.

Las precipitaciones tienen una desigual distribución en el área de influencia del salar; mientras el flanco montañoso oriental y los planos inundables inmediatos al mismo reciben estimativamente entre 200 a 300 mm, en el resto de la comarca no supera los 100 mm.

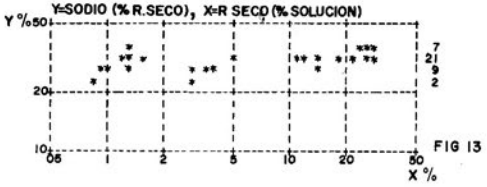


FIG 13

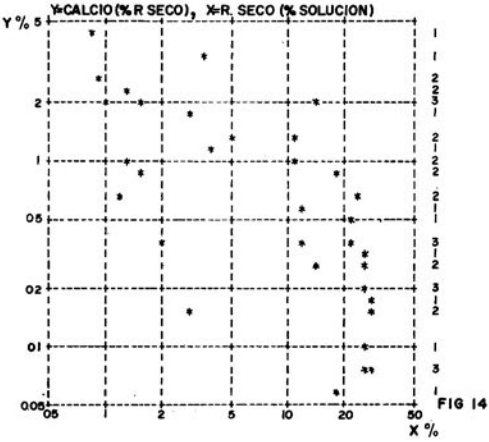


FIG 14

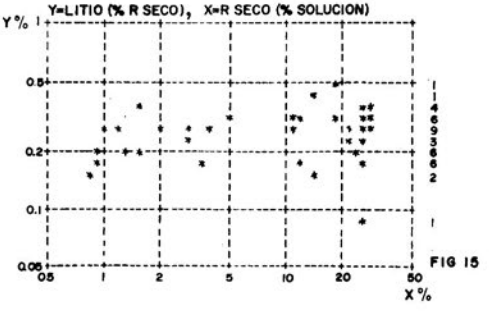


FIG 15

Las precipitaciones son de tipo orográficos, debido a las condensaciones de corrientes húmedas que logran superar la barrera de los Nevados de Palermo y Cachi por el E. Se reparten fundamentalmente entre los meses de diciembre y marzo en forma de lluvias, aunque el granizo en dicha temporada es frecuente. Durante el invierno son comunes algunas aisladas nevadas, que no ocurren todos los años.

El viento, como ocurre en todo el ámbito de La Puna, constituye un elemento constante del clima. Procedente del cuadrante O, su actividad crítica se concentra entre los meses de julio y septiembre.

La incidencia directa del clima sobre el relieve, se refleja a través de un denso recubrimiento de escombros que enmascara los faldeos de los cordones montañosos.

La actual fragmentación en buena medida es originada por las variaciones térmicas. Por su parte, la desagregación mecánica, debida a la gelivación, sólo es moderada debido al desfasaje entre bajas temperaturas y ocurrencia de precipitaciones. En las formaciones superficiales de detritos finos humedecidos a embebidos, el congelamiento produce abundantes segregaciones de hielo que provocan agrietamientos y deformaciones del suelo. En estos efectos debe verse la convergencia de acciones de geliturbación y cristalización de sales (Tricart, 1970).

La desagregación haloclástica aparece como un mecanismo vigoroso a medida que los detritos alcanzan los bordes del salar. La efectividad corrosiva es tal, que a un centenar de metros de haber ingresado los detritos al salar los tamaños mayores ya han sido reducidos a finas gravillas y el resto conforma una mezcla de arenas, limos y arcillas. Las primeras, en un alto porcentaje de sus contenidos líticos están integradas por fragmentos de cuarzo.

En los lugares donde las vertientes se asocian inmediatas a las márgenes del salar, al pie de los taludes detríticos está compuesto por un alto porcentaje de sales, provenientes del lavado de las mismas.

Las acciones eólicas desempeñan un rol de moderada significación en su accionar sobre las rocas aflorantes. En cambio, el viento arrastrando los granos de sal arrancados a los salares y depositándolos sobre los relieves adyacentes generan soluciones salinas a partir de las precipitaciones del verano, las que contribuyen a la alteración de las rocas, en modo especial a las cristalinas (Birot, 1950).

Mientras tanto, el escurrimiento intermitente y restringido al breve período estival, constituye, no obstante, el principal proceso morfogenético que ha tenido a su cargo en gran medida la evolución del relieve y aún mantiene su primacía en el sistema erosivo regional. La eficacia de sus acciones pretéritas se refleja a través de amplios conos aluviales, controlados por los niveles de amplios lagos. El progresivo retraimiento de esos cuerpos de agua se manifiesta en el escalonamiento descendente de sus líneas de ribera, hasta su total desecamiento.

Pese a la importancia de los caudales superficiales que recibe el salar, los volúmenes aportados por manantiales constituye la base esencial de la recarga del mismo. Esta circunstancia se aprecia por la reducida depresión del nivel freático durante la temporada de estiaje, no obstante la acentuada evaporación ambiental la que, por otra parte, constituye el mecanismo fundamental de descarga de la cubeta.

Las condiciones que caracterizan el clima regional demuestra que el sistema morfogenético actuante carece de vigor y que la evolución del relieve trascurre lentamente.

Relleno de la cuenca. Encostramientos salinos

Aun cuando el salar de Hombre Muerto se comporta como una cuenca unitaria, su configuración y rasgos asociados permiten inferir que el relieve a uno y otro lado de Farallón Catal consistió en depresiones independientes en su evolución inicial.

Teniendo en cuenta los relieves perimetrales al salar y su litología, los rellenos de ambas depresiones debieron diferir esencialmente y, por ende, sus respectivos ambientes salinos. En tal sentido, el sector oriental ha sido directamente influenciado por aportes volcánicos

sólidos y líquidos. En cuanto a los acarreos detríticos llegados a dicho sector provienen en gran medida del desmantelamiento de amplios depósitos de tobas y rocas graníticas.

La superficie del sector considerado reconoce dos modalidades diferentes de encostramiento: el área ocupada por el depósito sublacustre y la del ambiente lagunar de Catal. La primera presenta un recubrimiento de sal cavernosa poligonada de 20 a 30 cm de espesor, enmascarada por una delgada capa terrosa de coloración pardo-rojiza. La sal descansa sobre un sustrato arenoso embebido.

Asociado con las playas del ambiente sublacustre, por debajo de la costra terrosa, es posible localizar un manto de boratos (tincal) hasta de 30 cm de espesor que progresivamente se diluye hacia el interior del salar, a medida que se concentra y espesa la costra de NaCl.

En cambio, en el área inundable de laguna Catal se observan costras lisas limosas abrillantadas de sal, cubiertas por camadas de algas cyanophytas (*Microcoleus chtonoplastes**). Cada año, los finos aluviones que el río Los Patos aporta a la laguna precipitan y a continuación ocurre su colonización por los biodermas hasta uniformar una costra algácea que queda a la vista a medida que avanza el retraimiento estacional del cuerpo de agua. Por su parte, esta costra aparece salpicada por una tenue película de sal. Se origina así un depósito salino de alto contenido de materia orgánica, cuya cohesión impide la formación de estructuras poligonadas en superficie (Cavara, 1902).

Desde el punto de vista sedimentológico, el ambiente de laguna Catal reviste un particular interés, porque hasta su reciente virtual colmatación ha obrado de recipiente decantador de las sutancias solubles que han llegado a la misma como aportes laterales y procedentes de la remoción del depósito sublacustre.

En cuanto al sector occidental del salar, el predominio de terrenos ordovícicos que conforman su perímetro, inclusive el de varios afloramientos internos al mismo, señalan la homogeneidad petrográfica en que está elaborada la depresión y su reducida profundidad.

Las costras reconocidas aquí, compuestas de cloruro de sodio, son esencialmente duras, sean lisas o rugosas. Estas últimas cubren la mayor parte de la superficie formando un amplio núcleo central y numerosos manchones menores. Ocupan una posición ligeramente en relieve respecto de los bordes del salar. Estas costras duras y rugosas se sitúan a 1 m, término medio, sobre la superficie freática y por lo tanto expuestas a una permanente degradación corrosiva a partir de las precipitaciones. Por el contrario, faltan los aportes por crecimiento de nuevas sales debido a ascenso capilar, lo que indicaría que se trata de una costra fósil.

La superficie de la depresión occidental está recubierta discontinuamente por material terroso de tonalidad pardo-rojiza, el que progresivamente migra a niveles inferiores por medio de una densa red de orificios de disolución que criban la masa de sal cavernosa. Los rasgos de disolución le confieren a esa superficie una marcada aspereza, propia de los "campos de lapiez" de las regiones kársticas. Pese a su acentuado estado de degradación, puede reconocerse en ella una estructura poligonada, cuyas juntas facilitan el rebajamiento corrosivo. Los sectores de transición, por los cuales se pasa de las costras rugosas a las lisas, muestran los restos de los tabicamientos de sal que separan las unidades poligonadas.

Las costras lisas se ubican contorneando el borde del salar y componen una angosta faja casi continua caracterizada por su color blanco brillante. Poseen estructura poligonada, con intercrecimiento de sales entre los bordes de contacto de las figuras geométricas, circunstancia que remarca la configuración poligonada. Las costras lisas en realidad representan un estado avanzado de degradación corrosiva de las costras rugosas que se han originado por los escurrimientos laterales que ingresan al salar y vertical debido a las precipitaciones pluviales, lo que conduce al progresivo ensanchamiento de

* Determinación a cargo de Ratier, A. Ciencias Naturales, Univ. Nac. Salta.

esta unidad.

El avance corrosivo vertical de las costras rugosas se detiene ligeramente por encima del nivel freático. En esa posición, o sea cuando la degradación corrosiva ha transformado la costra fósil en costra lisa, la nueva superficie está expuesta a ligeros y sutiles efectos corrosivos, mientras que en la temporada seca se repiten las acreciones de nuevas sales originadas en los mecanismos de ascenso capilar, alimentados a partir de las salmueras subyacentes. Se generan así recubrimientos superficiales anuales de algunos milímetros de espesor de sales, conformando tales estructuras ambientes de salinas (Cordini, 1949). La salina Larga, al O de Península Tincalayu, representa a este tipo de ambiente.

Las costras lisas poligonadas sólo toman contacto con las márgenes del salar donde los afloramientos rocosos son netos. En cambio donde los derrames aluviales alcanzan el salar, las costras de transición son lisas limosas, delgadas y cubiertas por una lámina de sal impura. Aquí la estructura poligonada es reemplazada por "bordes de compresión", que resultan del arqueamiento hacia arriba de la costra hasta su ruptura, en cuyo caso se originan cabalgamientos. Si las playas son extensas, todavía es posible reconocer más externamente, superficies limosas muy lisas, abrillantadas por eflorescencias salinas.

CARACTERISTICAS FISICOQUIMICAS DE LAS AGUAS SUPERFICIALES

Muestreo de aguas superficiales

La denominación "aguas superficiales" se aplica aquí a las soluciones salinas que ocupan la parte superior de napas freáticas aflorantes.

En general no se han observado altos gradientes de concentración a lo largo de líneas concéntricas isomorfas con el perímetro del salar, aunque los gradientes suelen ser altos en dirección normal a estas líneas y cerca de los bordes.

Si bien en las proximidades de las márgenes del salar se suelen encontrar soluciones de menor concentración, el conocimiento de éstas es de interés, en relación con las características de las sales aportadas por las aguas laterales a la depresión. Por la misma razón, es interesante tomar muestras en dirección normal al borde del mismo, penetrando en él la mayor distancia posible.

Análisis químico de las aguas

Sobre las muestras líquidas se hicieron las siguientes determinaciones:

Aniones	Cationes	Otros parámetros fisicoquímicos
Cl^-	Na^+	Densidad
$SO_4^=$	K^+	pH
B_6O_9	Li^+	Residuo seco
	Mg^{++}	
	Ca^{++}	

Los resultados se muestran en planilla adjunta (donde el Boro se expresa en B_2O_3) y fueron elaborados y presentados gráficamente de distinta manera para facilitar su interpretación, utilizándose para esto un sistema de programa para computadora, preparado especialmente.

En la lám. II, fig. 1 al 6 y lám. III, figs. 7 y 8, se muestran los gráficos de la concentración de Cl^-, $SO_4^=$, B_2O_3, Na^+, K^+, Li^+, Mg^{++} y Ca^{++}, en función del residuo seco. En ellas puede observarse la existencia de dos tipos definidos de curvas: uno corresponde a los Cl^-, Na^+, K^+ y Li^+, caracterizado por la baja dispersión de puntos; el otro, corresponde al $SO_4^=$, B_2O_3 y Ca^{++}, y presenta una amplia dispersión, llegando en algún caso (Ca^{++} p. ej.) a desdibujar toda tendencia. El Mg^{++} presenta características intermedias.

Interpretación de los resultados

Dado que los iones que muestran gran regularidad de aumento de concentración en función del contenido total de sales, corres-

SALAR HOMBRE MUERTO

RESULTADOS EN GRAMOS POR 100 GR. DE MUESTRA

NUMERO	TEMP. C°	PH	DENS. GR./ML	R. SECO	Cl^-	$SO_4^=$	B_2O_3	Na^+	K^+	Li^+	Mg^{++}	Ca^{++}	SUMA	R.S SUMA (% R.S)
1401	N D	7.5	1	0.35	0.09	0.11	0 0025	0.0015	0.0076	0.00021	0.0072	0.021	0.24	31.4
1411	N D	8.4	0.99	0.38	0 22	0.038	0.0018	0.0025	0.008	0.00075	0.0013	0.008	0.28	26.2
1404	N D	6.9	1.01	0.83	0.43	0.013	0.0016	0.2	0.00999	0.0013	0.0091	0.037	0.702	15.4
1419	N D	7.35	1	0.87	0.45	0.056	0.0027	0.25	0.013	0.0019	0.0066	0.022	0.802	7.79
1410	N D	7.2	1	0.94	0.5	0.052	0.0023	0.27	0.014	0.0017	0.007	0.025	0.872	7.23
1421	N D	6.9	1	1	0.54	0.06	0.0031	0.29	0.022	0.0028	0.0084	0.02	0.946	5.37
1507	2	7.65	1	1.2	0.62	0.074	0.00969	0.38	0.017	0.0034	0.012	0.008	1.12	6.33
1417	N D	8.45	1	1.25	0.68	0.074	0.00999	0.43	0.023	0.0027	0.0023	0.012	1.23	1.28
1413	N D	7.8	1	1.26	0.67	0.085	0.0025	0.37	0.02	0.0027	0.011	0.029	1.19	5.54
1409	N D	7.5	1	1.28	0.66	0.084	0.0033	0.37	0.021	0.0027	0.011	0.031	1.18	7.58
1602	N D	8.6	1	1.5	0.83	0.026	0.039	0.48	0.042	0.0053	0.013	0.012	1.45	3.51
1420	N D	7.7	1.01	1.56	0.84	0.07	0.0039	0.49	0.021	0.0032	0.00999	0.03	1.47	5.89
1514	3	8.2	1	2.04	1.14	0.062	0.017	0.57	0.045	0.0059	0.013	0.007	1.86	8.83
1511	N D	7.7	1.01	2.76	1.49	0.16	0.017	0.77	0.053	0.0071	0.092	0.004	2.59	6.05
1502	2.3	7.9	1.01	2.88	1.46	0.31	N D	0.72	0.053	0.0083	0.047	0.05	2.65	8.05
1416	N D	7.6	1.01	3.39	1.82	0.19	0.0031	0.94	0.045	0.0059	0.032	0.12	3.16	6.9
1412	N D	8	1.02	3.72	2.02	0.2	0.0065	1.09	0.083	0.011	0.019	0.039	3.47	6.76
1414	N D	8.05	1.03	5.01	2.84	0.14	0.0085	1.51	0.074	0.016	0.031	0.067	4.69	6.46
1408	N D	7.8	1.07	10.9	5.98	0.49	0.03	3.67	0.24	0.034	0.05	0.099	10.6	2.73
1603	N D	8.1	1.07	11.1	5.9	0.034	0.22	3.37	0.29	0.031	0.06	0.14	10	9.26
1406	N D	7.7	1.07	11.4	6.37	0.44	0.02	3.47	0.24	0.039	0.049	0.038	10.7	6.77
1515	2.6	7.3	1.09	12.5	7.31	0.28	0.052	4	0.22	0.024	0.092	0.07	12	3.31
1506	3	7.2	1.1	14.4	8.38	0.29	0.033	3.91	0.15	0.023	0.11	0.3	13 2	8.3
1512	0.2	7.2	1.1	14.9	8.88	0.072	N D	4.49	0.31	0.068	0.32	0.04	14.2	4.64
1418	N D	7.75	1.13	17.9	10.3	0.44	0.031	5.45	0.27	0.056	0.083	0.15	16 8	6.15
1504	3.8	7.5	1.14	19.3	10.7	0.82	0.057	5.88	0.53	0.092	0.15	0.00999	18.2	5.59
1403	N D	7.85	1.15	21.6	12.3	0.69	0.055	6.71	0.39	0.057	0.097	0.09999	20.4	5.6
1604	N D	7.4	1.16	22.5	12.9	0.016	0.18	7.43	0.49	0.055	0.094	0.078	21.2	5.59
1405	N D	7.6	1.18	23.9	14.1	0.36	0.028	8.5	0.35	0.052	0.12	0.15	23.6	1.13
1508	3	7.4	1.18	25.8	14.9	0.52	0.13	9.07	0.38	0.044	0.083	0.05	25.1	2.46
1509	5	7	1.2	26	14.9	0.82	0.14	8.56	0.48	0.066	0.12	0.05	25.2	3.25
1605	N D	7.7	1.19	26.9	15.8	0.012	0.11	9.54	0.26	0.025	0.054	0.079	25.9	3.93
1510	1	7.35	1.2	27.3	15.7	0.73	0.13	9.22	0.6	0.09999	0.086	0.02	26.6	2.47
1513	1	7.6	1.2	27.4	16	0.64	0.16	9.15	0.35	0.047	0.11	N D	26.4	3 73
1402	N D	7.75	1.2	27 5	15.7	0.88	0.097	9.23	0.62	0.082	0.12	0.058	26.8	2.59
1606	N D	7.6	1.2	27.6	15.9	0.012	0.17	10.2	0.5	0.052	0.09999	0.027	27	2.06
1407	N D	7.7	1.2	27.6	15.9	0.8	0.083	9.44	0.5	0.072	0.09999	0.071	27	2.12
1503	3	7.75	1.2	27.8	16.1	0.69	0.09999	9.53	0.49	0.077	0.098	0.05	27.1	2.39
1415	N D	7.7	1.2	27.8	15.8	0.92	0.09999	9.36	0.59	0.097	0.11	0.041	27	2.96
1505	1.2	7.2	1.22	28	15.8	1.06	0.14	9.45	0.55	0.09299	0.16	0.02	27.2	2.67
1501	1.8	7.25	1.21	28.4	15.7	1.37	0.21	9.28	0.67	0.11	0.29	0.02	27.6	2.61

N D = NO DETERMINADO

ponden a sales muy solubles, y viceversa, los de amplia dispersión son componentes de sales poco solubles. El comportamiento de estos últimos, puede estar vinculado a la existencia de equilibrios complejos entre la salmuera y los cristales de dichas sales. Evidentemente, una causa alternativa de la dispersión de datos, puede ser una heterogeneidad de la comarca, p. ej. debida al aporte de aguas de distintas características, u origen (meteóricas y termales volcánicas), o relacionadas con una desigual permeabilidad del suelo.

A fin de aportar elementos de juicio para discernir sobre las causas de la dispersión de los datos, se confeccionaron algunos diagramas ternarios de composición (los correspondientes a los iones Ca^{++}, Mg^{++}, SO_h y B_2O_3) - representados en la Lám. III (figs 9 y 10) - y gráficos representando funciones del tipo producto de solubilidad de algunas sales, frente a la fuerza iónica (fig. 11 y 12).

Las funciones tipo producto de solubilidad, fueron calculadas de la siguiente manera:

$$\text{f. yeso} = X(SO_4^{=}) \cdot X(Ca^{++}) \cdot X(HO)^2$$

$$\text{f. ulexita} = X(B_5O_9^{\equiv}) \cdot X(Ca^{++}) \cdot X(Na^{+}) \cdot X(H_2O)^8$$

donde X indica fracción molar.

Por la ulexita, se supone que en solución existe equilibrio entre el anhidrido bórico y los distintos aniones de los oxiácidos del boro,

$$\frac{P}{2} B_2O_3 + (q\ \frac{3p}{2})\ H_2O \quad --- \quad BpO_q(3p - 2q)^+ (2q - 3p)H^+$$

y que, dada la composición global de la salmuera, casi la totalidad del boro presente, se encuentra bajo la forma de $B_5O_9^{\equiv}$; con esta hipótesis, la fracción molar de este ión es proencuentra bajo la forma de $B_5O_9^{\equiv}$; con esta hipótesis, la fracción molar de este ion es proporcional, según un coeficiente estequiométrico, a la fracción molar B_2O_3:

$$X(B_5O_9^{\equiv}) = 2{,}5(XB_2O_3)$$

Tanto en los diagramas ternarios, como en los de productos de solubilidad, resulta evidente que las muestras Nº 1602, 1603, 1604, 1605, 1606, 1510, 1511 y 1512, todas ellas pertenecientes a la zona de Laguna Catal, integran una familia independiente de muestras. De los diagramas de producto de solubilidad surge, además, que estas muestras se encuentran aparentemente saturadas en ulexita y no saturadas en yeso. Las dos familias de muestras se presentan con muy baja dispersión cuando se las dibuja independientemente.

De las curvas de composición del residuo seco puede extraerse la siguiente tabla de composición promedio, aproximada; en la misma tabla se indica, además, el mismo dato para el total de muestras de 14 salares de La Puna. Las figs 13, 14 y 15 (lám. IV), representan la variación de composición en Na, Ca, y Li del residuo seco, en función de la concentración total de sales.

Salar	Hombre Muerto	Salares de la Puna (14)
Cl^-	58%	58%
$SO_4^=$	3	5
B_2O_3	0.3	0.3
Na^+	33	33
K^+	2	2.5
Li^+	0.3	0.15
Mg^{++}	0.5	1
Ca^{++}	0.5	0.2

Considerando el total de la información analizada, se advierte que, mientras la cantidad relativa de Cl^-, B_2O_3, y Na^+ se mantienen constantes, o crece ligeramente a medida que aumenta la concentración total de sales, hay una evidente disminución para el resto de los iones, por lo cual puede sospecharse una pérdida de estos al aumentar la concentración de sólidos totales.

De todo lo que anteoede puede concluirse, en primer lugar, que las salmueras superficiales del salar de Hombre Muerto participan de las principales propiedades generales de las aguas de todos los salares de La Puna. En segundo lugar, se advierte la existencia de una heterogeneidad interna en cuanto a composición, que se manifiesta por una diferenciación del sector oriental del salar (Laguna Catal).

Por último, parece evidente que las aguas concentradas se encuentren saturadas en yeso, ulexita, o ambas y que habría una pérdida de contenido de algunos iones, en relación con las aguas que penetran desde los bordes, no teniéndose certeza de que tales iones se encuentren cristalizados en las costras.

Agradecimiento

Los autores agradecen a los geólogos J. R. Salas, F. Rivelli (Proyecto "Estudio geológico de los recursos Mineros en salares del N.O.A.") y Sr. A. Gabin (Proyecto "Evaluación de La Puna") por la valiosa colaboración prestada en tareas de campo, gabinete y computación.

BIBLIOGRAFIA

ACEÑOLAZA, F. G. y TOSELLI A. 1971. Hallazgos de graptolites ordovícicos en el supuesto Precámbrico de La Puna de Catamarca y Salta, República Argentina.- Revta Asoc. geol. argent. *26*: 274.

BIROT, P. 1950. Note sur le problème de la desagregation des roches cristallines.- Rev. de Géomorphologie Dyn, *1*: 271-276.

CATALANO, L. 1964. Estudio geológico-Económico del salar de Hombre Muerto (Puna de Atacama).- Min. Econ. Nac., Secret. Ind. Min. Serie Argent. *4*.

CAVARA, F. 1902. Resistenze fisiologiche del *Microcoleus chthonoplastes* Thur. a solluzioni anisotoniche.- Nuovo Giorn. Bot. Ital., *9*: 59-80.

CORDINI, I. R. 1949. El salitral y la salina de Pocitos. Contribución al conocimiento de los cuerpos salinos de la Argentina. Dir. Gral. Ind. Min. Anales *3*.

GROEBER, P. 1952. Mesozoico, Andico. Geografía de la República Argentina. Soc. Arg. Est. Geog. (Gaea), II, I, Buenos Aires 349-521.

IGARZABAL, A. P. 1978. La geomorfología en el origen y evolución del salar de Pastos Grandes, Departamento Los Andes, Salta. VII° Congreso Geológico Argentino.

MATTOX, R. B. Edit. 1968. Saline Deposits. Collected Papers (A symposium based on Papers from the International Conference on Saline Deposits, Houston, Texas, 1962).

MENDEZ, V., NAVARINI, A., PLAZA D., y VIERA V., 1973. Faja eruptiva de la Puna Oriental. Actas del V° Congreso Geológico Argentino. T. IV, p. 89-100.

SEGERSTROM, R. y TURNER, J. C. M. 1972. A conspicuous flexure in regional structural trend in the Puna of northwestern Argentine. U.S. Geol. Survey, Washington, Research. Prof. Paper *800*-B: B. 205, B. 209.

TRICART, J. 1970. Convergence de phénomènes entre l'action du gel et celle du sel.- Acta Geog. Lodziensia, *24*: 429-436.

VILLACORTA, G. 1973. Acerca de la estratigrafía de la Formación Sijes, Area Salar de Hombre Muerto. Provincia de Catamarca. Seminario II. Departamento Ciencias Naturales. Univ. Nac. de Salta.

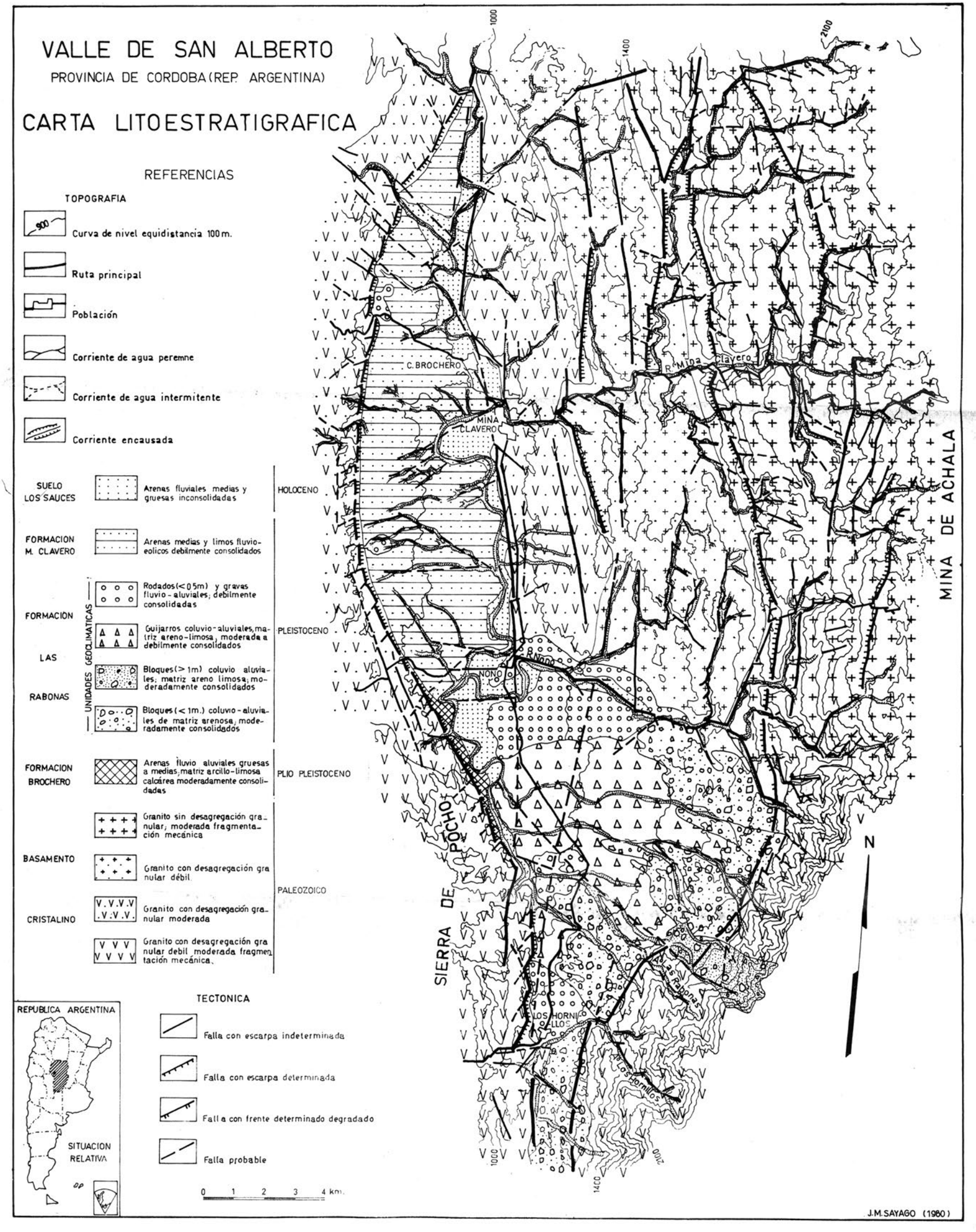
TURNER, J. C. M. 1964. Descripción geológica de la Hoja 7C Nevado de Cachi, Provincia de Salta. Boln Min. Econ. Nación. Secr. Ind. y Min. Dir. Nac. Geol. y Min. *99*.

A. P. IGARZABAL
R. F. POPPI
Facultad de Ciencias Naturales
Universidad Nacional de Salta
Mendoza 2
4400 Salta
República Argentina

VALLE DE SAN ALBERTO

PROVINCIA DE CORDOBA (REP. ARGENTINA)

CARTA LITOESTRATIGRAFICA



J.M. SAYAGO (1980)