

# ESTRATIGRAFIA DE LAS UNIDADES SEDIMENTARIAS CENOZOICAS DE LA CUENCA DEL RIO LOA EN LA PAMPA DEL TAMARUGAL, REGION DE ANTOFAGASTA, CHILE.

JOSE A. NARANJO  
ROLAND. P. PASKOFF

Serv. Nac. Geol. y Minería, Casilla 10465, Santiago, Chile.  
Département de Géographie, Université de Tunis, 94, Bd. du 9 avril 1938, Túnez.

## RESUMEN

El relleno sedimentario de la cuenca del río Loa, en la Pampa del Tamarugal, es de gran complejidad. En él es posible distinguir al menos seis unidades diferentes. Su génesis se explicaría por la intervención e interacción de cambios climáticos en un ambiente árido, y de movimientos tectónicos durante el Cenozoico.

## ABSTRACT

The sedimentary filling of the Pampa del Tamarugal in the Río Loa basin is complex. At least six different units can be distinguished. Interferences between climatic changes in an arid environment and tectonic movements account for their genesis.

## INTRODUCCION

Durante mucho tiempo se ha pensado que el voluminoso relleno de depósitos aluviales y evaporíticos de la depresión seguida por el río Loa, entre Calama y Quillagua (Fig. 1), correspondería a una sola formación, la Formación El Loa (Brüggen, 1950; Fuenzalida, 1957). Esta opinión prevalece todavía en estudios geológicos recientes (Bobenrieth, 1980; Boric, 1980; Maksaeu y Marinovic 1980), pese a que, en 1975, Rieu llamó la atención sobre la complejidad de los depósitos que rellenan la cuenca. Efectivamente, es posible distinguir varias unidades estratigráficas, claramente separadas por discordancias de erosión (Fig. 2).

Recientemente, Naranjo y Paskoff (1981) han caracterizado la estratigrafía del Cenozoico del sector comprendido entre Chiuchiu y Calama ( $22^{\circ}20' - 22^{\circ}27'S$ ). Las dos unidades sedimentarias inferiores allí reconocidas (formaciones Calama y El Loa) están representadas en continuidad areal en la zona del presente trabajo.

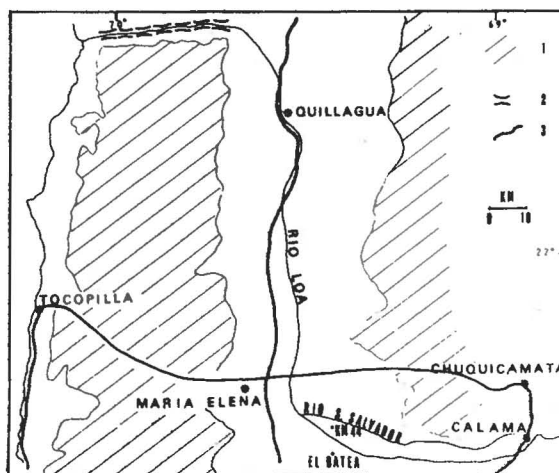


FIG. 1. Mapa de Ubicación. 1: Cordillera de la Costa y Sierra de Moreno; 2: Garganta de comunicación del río Loa con el mar; 3: Caminos principales.

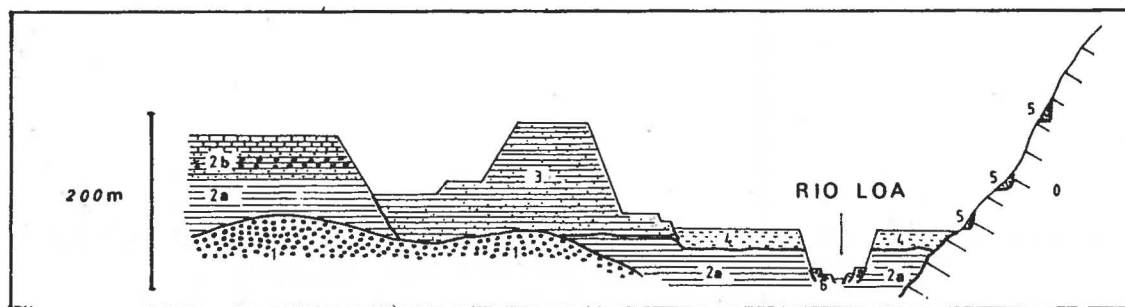


FIG. 2. Sección esquemática e interpretativa de las diferentes unidades sedimentarias cenozoicas que afloran en la Pampa del Tamarugal, entre el sector norte de Quillagua y sur de María Elena.

0: Roca madre; 1: Formación Calama; 2: Formación El Loa; (a: miembro inferior; b: miembro superior); 3: Formación El Batea; 4: Formación Quillagua; 5: depósitos salinos del lago Soledad; 6: depósitos de terraza.

### FORMACION CALAMA

Se ha dado esta denominación a "una potente acumulación de rodados, que forma una colina sobresaliente (Cerro Calama) de la meseta tabular en la cual se encajona el río Loa" (Naranjo y Paskoff, 1981). Corresponde a la formación cenozoica más antigua que aflora en la zona. Se la observa, bien expuesta, en la parte inferior de las laderas del valle del río San Salvador, afluente del Loa, aguas arriba del campamento abandonado, denominado Km 44, en la Hoja Río San Salvador. Aguas abajo de este lugar, desaparece bajo depósitos de la Formación El Loa y de la Formación El Batea, a los cuales infrayace discordantemente.

En este sector, la unidad presenta las mismas características sedimentológicas que en la vecindad de Calama, donde fue definida. Se trata de una po-

tente acumulación, de más de 150 m de espesor expuesto, mal estratificada, constituida por rodados polimícticos, parcialmente alterados, en una matriz de arena gruesa grisácea. Corresponde a depósitos torrenciales, típicos de un piedemonte, en un medio climático árido. Probablemente, estos depósitos son contemporáneos al último gran solevantamiento de los Andes; correlaciones litoestratigráficas hechas con las Gravas de Atacama, de la parte sur del desierto homónimo, permitirían atribuir a la Formación Calama, una edad miocena media a inferior.

Esta unidad fue erosionada en forma intensa antes de haber sido cubierta por los sedimentos de la Formación El Loa, quedando fosilizado un paleo-relieve de colinas.

### FORMACION EL LOA

Constituye la unidad de más amplia distribución a través de la cuenca del río Loa. Ha sido descrita por diversos autores, llegándose a identificar en ella dos miembros, que afloran en diversos sectores, desde aguas arriba de Calama, hasta los alrededores de Quillagua. El inferior, de capas regulares de arenas finas, débilmente consolidadas, de arcillas y de limos, de colores rojizo-parduzcos, que constituyen un depósito homogéneo, designado con el nombre de "coba" por Brügger (1950). El miembro superior lo forman materiales generalmente más gruesos (areniscas y conglomerados, poco o medianamente consolidados) y también limos, cenizas re TRABAJADAS y diatomitas de colores claros. La parte más alta de la secuencia corresponde a se-

dimentitas calcáreo-silíceas, lacustres, con gastropodos de agua dulce.

El corte más completo de la Formación El Loa que se puede observar en el sector estudiado se encuentra en el interfluvio de los ríos Loa y San Salvador, 5 km aguas arriba del campamento Km 44, lugar donde se interrumpe bruscamente la meseta de inclinación constante y regular, desde Calama hacia el oeste. En dicho sector se observó una sección de casi 100 m expuestos de la unidad, de abajo hacia arriba:

Base: cubierta por coluvio; en lugares inmediatamente adyacentes, corresponde a la Formación Calama, a la que cubre con discordancia de erosión.

– Gravillas grises y verdes, con deposi- tación caótica, estratificación cruza- da; clastos bien redondeados de has- ta 2 cm . . . . .	5 m
– Arena verde con estratificación cruza- da, interestratificación de arena gris, subordinada, en capas de 2-15 cm cm de espesor . . . . .	20 m
– Diatomitas, en capas de 1-50 cm, con predominio de estratificación fi- na e intercalaciones silíceas de 1-5 cm de espesor . . . . .	10 m
– Limolita color pardo claro-rosado, capas de 5-15 cm, niveles más rojizos de 1 cm . . . . .	20 m
– Diatomita, con abundante pómez blanca, capas de 5-10 cm . . . . .	10 m
– Arena gruesa, con cemento calcáreo escaso, rica en biotita, color gris claro, con estratificación cruzada, capas de más de 20 cm . . . . .	10 m
– Areniscas calcáreas, color gris claro, en capas subhorizontales de 15-40 cm, con intercalaciones lenticulares, silíceas, y diatomitas de 5 cm de es- pesor . . . . .	25 m
Total . . . . .	100 m

Techo : superficie terminal de deposición (?).  
En este lugar se observa a los depósitos de la  
Formación El Batea (ver más adelante), encajona-  
dos en aquéllos descritos para la Formación El Loa  
(Figs. 3 y 4).

Toda la parte superior de la Formación El Loa

ha sido erosionada, aguas abajo del campamento  
Km 44. Sin embargo, su parte inferior se reconoce  
en las laderas del valle del río Loa, hasta el lugar  
donde comienza la garganta excavada profunda-  
mente en la Cordillera de la Costa, al norte de Qui-  
llagua.

Por lo general, las capas de esta unidad presen-  
tan una estratificación subhorizontal, ligeramente  
inclinada en el sentido del escurrimiento actual  
del río. Se distinguen, además, deformaciones loca-  
lizadas, que afectan a la Formación El Loa: flexu-  
ras y fallas, cuyo rechazo puede alcanzar hasta  
20 m, orientadas norte-sur, observables en la mesa-  
ta calcárea aguas abajo de Calama. En el corte del  
puente Posada, donde el camino Chuquicamata-  
Tocopilla cruza el río Loa, sus capas se ven defor-  
madas, según anticlinales y sinclinales de orden  
métrico, probablemente debidos a una tectónica  
de tipo gravitacional (Fig. 5).

Se ha inferido que esta formación tiene una e-  
dad miocena superior (Naranjo y Paskoff, 1981),  
considerando la determinación radiométrica, K-Ar  
en biotita, de 8,6 m.a., hecha para una ignimbrita  
finos y no los gruesos, como en la Formación Ca-  
lama. Además, la deposición de los sedimentos  
calcáreos superiores sugiere una evolución del cli-  
ma hacia un desecamiento.

intercalada en los niveles altos de la unidad, en los  
alrededores de Conchi.

La presencia de la Formación El Loa indica un  
nuevo período de acumulación, diferente del anter-  
rior, por cuanto en ella predominan los materiales

#### DEPOSITOS EVAPORITICOS ROSADOS (FORMACION EL BATEA)

Con el nombre de Formación El Batea se pro-  
pone denominar, formalmente, a una secuencia de  
limos, niveles yesíferos y arenas, de colores rosado  
y blanco, expuestos en una potente acumulación,  
que constituye el cerro homónimo, ubicado unos  
12 km al sureste de la confluencia de los ríos Loa  
y San Salvador (Fig. 6).

Estos depósitos constituyen el relleno parcial de  
cuencas labradas a causa de la erosión vertical, en  
los sedimentos de las unidades cenozoicas preexis-  
tentes: formaciones Calama y El Loa. Por otra  
parte, la Formación El Batea también se presenta  
“lateralmente truncada” por los rellenos multico-  
lores que constituyen la Formación Quillagua (ver  
más adelante).

La Formación El Batea está ampliamente dis-  
tribuida al norte del río San Salvador, entre los ce-  
rros de Montecristo y el río Loa, y en los alrede-  
ros de la confluencia de éste con el San Salvador.  
Ha rellenado la extensa y profunda depresión ex-  
cavada en la Formación El Loa, con un espesor tal  
que, localmente, permitió cubrir por algunos me-  
tros, las calizas superiores de esta formación.

El cerro El Batea, lugar tipo, ofrece un corte de  
alrededor de 100 m de potencia, que da una buena  
idea de la litología de esta unidad, a pesar de es-  
tar incompleto, pues su parte superior está trunca-  
da por un depósito de rodados aluviales. Conside-  
rando la homogeneidad de la secuencia, es posi-  
ble caracterizarla en forma generalizada: la consti-



FIG. 3. Río San Salvador, vista panorámica hacia el noroeste, desde 8 km al oriente del campamento Km 44. A: Cerro 1520; B: Gravas de origen torrencial (Formación Calama); C: Areniscas calcáreas (Formación El Loa) y D: Depósitos evaporíticos rosados, que cubren a la Formación Calama y se encajonan en la Formación El Loa.

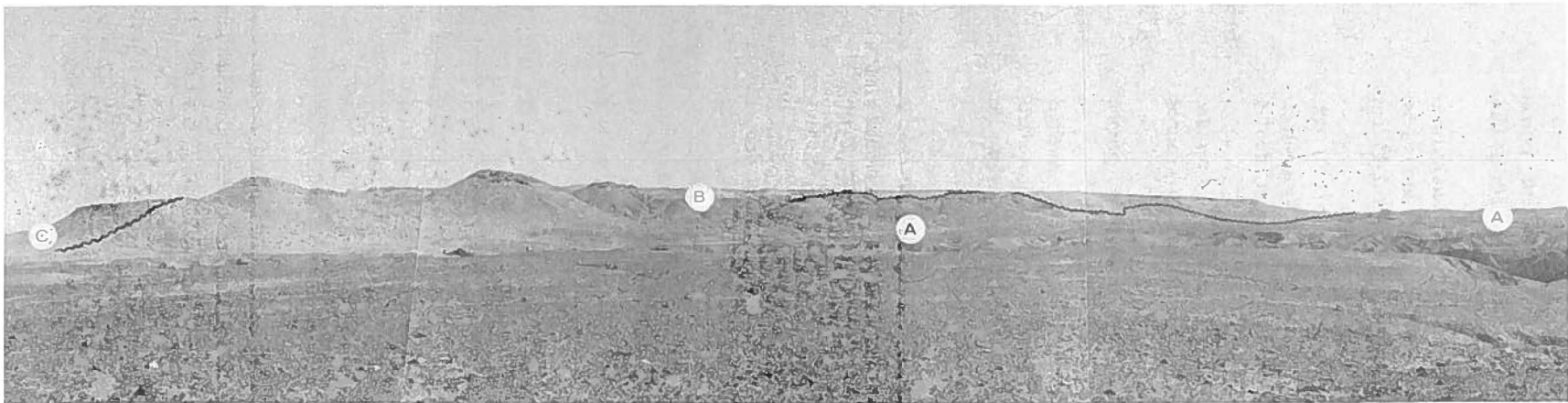


FIG. 4. Desde 5 km al oriente del campamento Km 44, vista al oeste: Gravas de origen torrencial (Formación Calama) (A), cubiertas con discordancia de erosión por las areniscas calcáreas (Formación El Loa) (B), en las que se encajona la Formación El Batea (C).



FIG. 5. Corte al este del puente Posada, cruce camino Chuquicamata-Tocopilla con el río Loa: deformaciones, probablemente debidas a una tectónica de tipo gravitacional, en areniscas calcáreas y calizas silíceas de la Formación El Loa, cubiertas discordantemente por limos multicolores y arenas gruesas de la Formación Quillagua.

tuyen, principalmente, capas de arena media a gruesa, de 25-50 cm de espesor, con estratificación cruzada, color gris pardo, con lentes de 30 cm de limos y yeso blanco; capas de 5-10 cm de arena gruesa, parda clara, con escasos fragmentos angulosos de variada litología, menores de 0,5 cm de diámetro; capas de limos y limos arenosos de 3-10 cm, colores pardo-rojizo y gris; limos con abundantes cristales entrecrecidos de yeso blanco, de 2-3 cm, y lentes de arena con espesores de 20 cm, con cristales re trabajados de yeso. La ocurrencia de niveles evaporíticos de yeso, que son más comunes hacia arriba, indican un medio de depositación lacustre para esta unidad. El color rosado de los niveles

y lentes de limo dan, a la secuencia, la coloración predominante.

Como es el caso de las formaciones anteriores, la Formación El Batea también ha sido erosionada, antes de la depositación de la unidad siguiente. Sus sedimentos blandos han favorecido la elaboración de pedimentos, por erosión areal, y su disecación en profundas quebradas, por erosión vertical.

Los antecedentes disponibles, sólo permiten asignar a la Formación El Batea una edad relativa. Su posición estratigráfica entre las formaciones El Loa y Quillagua permite asignarle, tentativamente, una edad pliocena.

#### FORMACION QUILLAGUA

Rieu (1975) fue el primero en identificar esta formación, que aflora típicamente en los alrededores de Quillagua y que es claramente distinguible de la Formación El Loa. Está constituida por diatomitas, limos multicolores, arenas finas y cenizas volcánicas, en capas alternadas de espesores variables. Según este autor, la regularidad de su estratificación se ve perturbada por fenómenos de disolución y cristalización de sales solubles (yeso y halita). Algunos cortes permiten observar su relación

estratigráfica basal. A la latitud de la Oficina Salitrera María Elena, las laderas verticales del valle del río Loa, con un encajonamiento de unos 40 m, muestran los sedimentos finos, compactos, parduzcos del miembro inferior de la Formación El Loa (coba), cubiertos, con discordancia de erosión, por diatomitas y limos multicolores, típicos de la Formación Quillagua.

Inmediatamente al sur de la confluencia de los ríos Loa y San Salvador se observa el encajona-

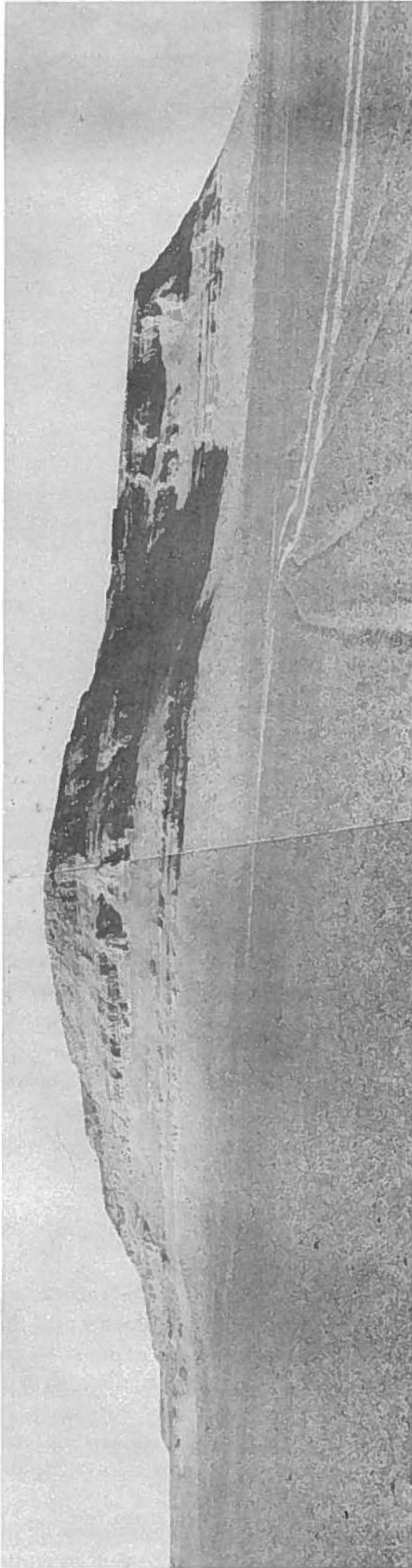


FIG. 6. Cerro El Batea, vista desde el noroeste. Está constituido por sedimentos evaporíticos rosados (Formación El Batea).

miento de esta unidad, en la Formación El Batea. Por otra parte, los sedimentos multicolores de la Formación Quillagua se presentarían cubiertos, con una relación discordante de erosión, por los depósitos salinos asignados a un paleolago ("lago salado de Soledad"; Brüggén, 1950).

La Formación Quillagua se distribuye, en la Pampa del Tamarugal, desde el norte de la localidad homónima, hasta el sur de María Elena, entre la Cordillera de la Costa y Sierra de Moreno. Su potencia varía de algunos metros a varias decenas de metros. En un corte observado unos 7 km al norte de Quillagua, en una quebrada tributaria del río Loa, se estima un espesor de más de 100 m para esta unidad. En ese sector predominan los niveles blancos de diatomitas y limos rosados, en capas que llegan a 2 ó más metros de espesor, con láminas cineríticas de arena fina, rica en biotita; se intercalan bancos de 1-2 m de gravilla gris, con matriz arenosa, capas de 30 cm de limo verde grisáceo, en parte arenoso, con intercalaciones de 2 cm de limo blanco. En forma subordinada, se reconocen estratos de limos calcáreos blanquecinos, en parte silíceos, con espesores de hasta 1 m. Hacia la parte inferior, aumentan los espesores de las capas. Localmente, se observan fenómenos de disolución y de dislocación en los bordes de las quebradas. La secuencia se presenta cubierta, con discordancia de erosión, por una costra salina de más o menos 1 m, de arena y gravillas bien redondeadas, formando paleocanales métricos, la que correspondería a remanentes depositacionales de un gran lago seco.

La Formación Quillagua tendría una edad pleistocena inferior, pues, según Rieu (1975), en sus capas se encontraron huesos de *Megatherium medinae*, que Casamiquela (1969-1970) atribuyó al Cuaternario inferior. Posiblemente, esta unidad es contemporánea a la Formación Chiuchiu, descrita en el curso medio del río Loa y asignada al Plioceno Superior-Pleistoceno Inferior (Naranjo y Paskoff, 1981). Las semejanzas litológicas entre ambas formaciones apoyan esta correlación.

La Formación Quillagua se generó en un medio de depositación netamente lacustre, y se destaca por su buen estado de conservación. Solamente ha sido disecada por el valle del río Loa y por algunas quebradas afluentes; también se presenta parcialmente pedimentada en sectores adyacentes del marco montañoso de la Pampa del Tamarugal.

## DEPOSITOS SALINOS DEL LAGO SOLEDAD

Estos sedimentos, que fueron descritos como "Formación Soledad" por Bobenrieth (1980), incluyen a los depósitos salinos, de unos metros de espesor, fundamentalmente de anhidrita y secundariamente de yeso, cubiertos por una costra de halita. Corresponden a remanentes depositacionales y antiguas orillas lacustres; estas últimas son terrazas, escalonadas en las laderas de los cerros, que limitan la pampa de Quillagua (Fig. 7). Se trata de los testigos de diferentes niveles de un amplio paleolago, cuya profundidad alcanzó casi los 200 m (Hollingworth, 1964), descrito por primera vez por Brügggen (1950), bajo el nombre de "gran lago salado de Soledad". Su distribución sería muy amplia, a través de toda la pampa intermontana, considerando la altura de la terraza más alta.

En el faldeo oriental de los cerros de Soledad, al oeste de la Carretera Panamericana, se distinguen cuatro niveles de terrazas de borde del lago Soledad, adosadas al cerro, con variaciones de cotas

entre sí, de 30-75 m (Fig. 8); una de ellas (la segunda de arriba hacia abajo), tiene un espesor de 15 m y está constituida, principalmente, por halita y otras sales (costra), con lentes arenosos. Se observan abundantes rodados, bien redondeados, de 1-15 cm, polimícticos, que demuestran la actividad de las aguas en el borde del antiguo lago. Se destaca, además, la abundante acumulación de halita en el cerro, entre los distintos niveles de terrazas, precipitada en el faldeo, al secarse el paleolago.

La edad de los depósitos del lago Soledad sería cuaternaria, si verdaderamente éstos corresponden a aquéllos reconocidos como una costra salina que cubre, con discordancia de erosión, a los sedimentos de la Formación Quillagua. Sin embargo, las relaciones estratigráficas entre estas unidades deberían ser precisadas mediante nuevas investigaciones de terreno.

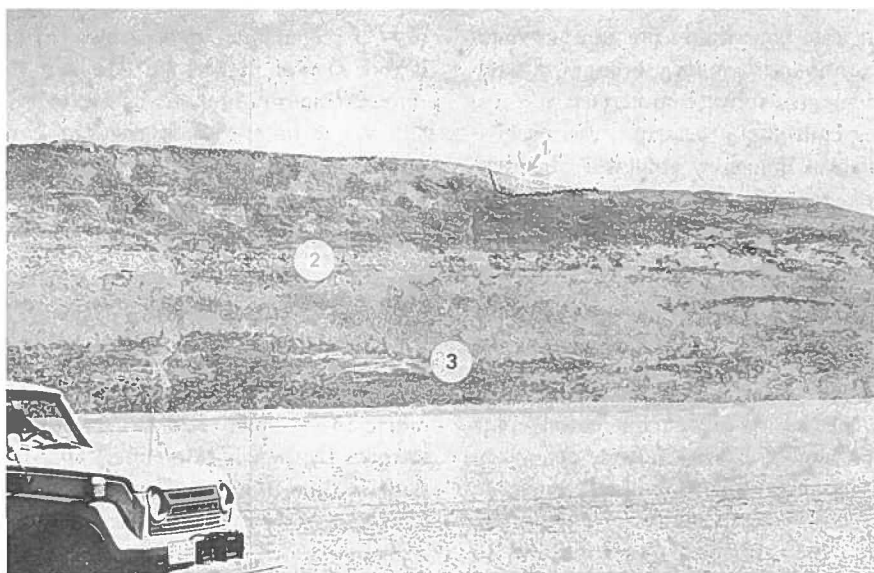


FIG. 7. Faldeo oriental, cerros de Soledad; se distinguen niveles de terrazas de borde, adosadas al cerro. Nótese nivel de acumulación, en terraza originalmente de abrasión (1).

## DEPOSITOS DE TERRAZAS

La unidad estratigráfica más reciente, reconocida en la zona estudiada, corresponde a los depósitos aluviales, que constituyen dos niveles principales de terrazas en el valle del río Loa (Rieu, 1975).

Se exceptúan de esta acotación los materiales actualmente removidos por el viento y las escasas avenidas.

El nivel más alto de terraza, característico por

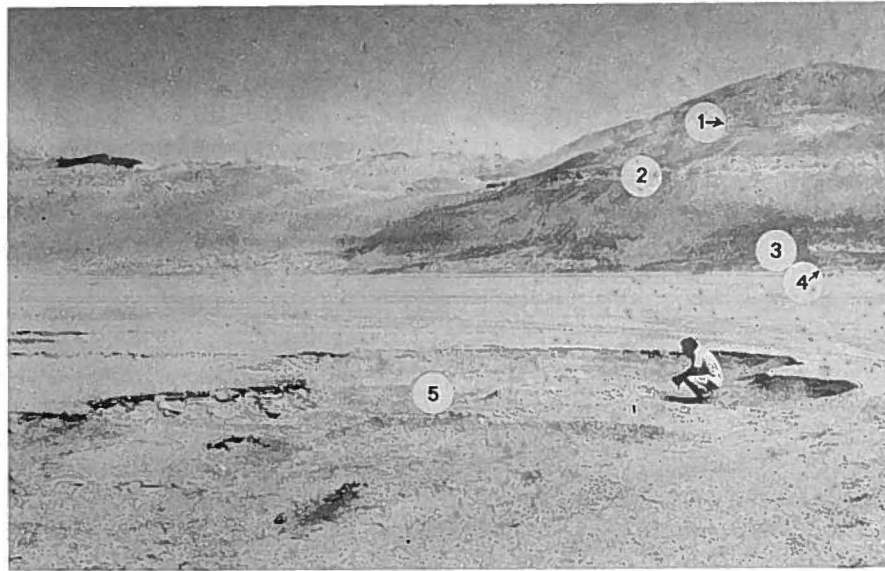


FIG. 8. Vista hacia el suroeste de la Carretera Panamericana, Cerros de Soledad: entre niveles de terraza 1 y 4 (a orillas actuales de la base) hay aproximadamente 200 m. En primer plano, "blow hole" en depósitos salinos.

su continuidad, está constituido por una acumulación, con predominio de gravas y bolones, sin que se excluyan elementos finos, como arenas y limos. El más bajo es continuo y presenta, casi exclusivamente, elementos limosos y arcillosos, finamente estratificados.

Aduciendo argumentos geomorfológicos, Rieu

(1975) asignó una edad pleistocena superior para la terraza más alta del río Loa; por otra parte, determinaciones radiométricas hechas con el método  $C^{14}$  y que ha entregado resultados entre 2.000 y 4.000 años, permitieron al mismo autor asignar la terraza más baja al Holoceno.

### CONCLUSION

La complejidad del relleno sedimentario de la Pampa del Tamarugal, en la parte que corresponde a la cuenca hidrográfica del río Loa, se debe, probablemente, a la intervención e interferencia de cambios climáticos y de movimientos tectónicos, durante el Cenozoico; teniendo, estos últimos su mayor incidencia, durante el Mioceno. Las características sedimentológicas de las diferentes unidades que intervienen, implican una depositación en un medio tipificado por la sequedad; más aún, la importancia cada vez mayor de los niveles evaporíticos en las secuencias, sugiere una aridez creciente, hasta la hiperaridez de la actualidad (Paskoff, 1977). Sin embargo, para explicar la erosión y pedimentación de una formación, antes de la depositación de la siguiente, es necesario que hayan intervenido recurrencias húmedas. Pero, estas alternan-

cias de períodos de excavamiento y etapas de acumulación, también podrían explicarse por movimientos tectónicos (Mortimer, 1980). Un solevamiento intermitente de la Cordillera de la Costa, bien podría ser capaz de crear, temporalmente, un régimen endorréico; éste originaría un relleno, que sería erosionado una vez restablecida la comunicación con el océano. Siguiendo a Rieu (1975), es razonable plantear la posibilidad que hubiesen intervenido, en forma combinada, el control climático y la tectónica (esta última, al menos en las etapas iniciales), las que serían responsables de la compleja historia evolutiva del río Loa. Es evidente la necesidad de un mapeo y un estudio sedimentológico y paleontológico detallados de las unidades cenozoicas, para aclarar las vicisitudes de esta historia.



## REFERENCIAS

- BAKER, M.C.W. 1977.** Geochronology of upper Tertiary volcanic activity in the Andes of North Chile. *Geol. Rundsch.*, Vol. 66, No. 2, p. 455-465.
- BOBENRIETH, L. 1980.** Geología de los cuadrángulos Cerro Desamparado y Cerro Soledad, Regiones de Tarapacá y Antofagasta. Memoria de Título, Univ. Chile, Depto. Geol., 171 p. Santiago.
- BORIC, R. 1980.** Geología de los cuadrángulos Estación Colupito y Toco, Región de Antofagasta. Memoria de Título, Univ. Chile, Depto. Geol., 172 p. Santiago.
- BRÜGGEN, J. 1950.** Fundamentos de la Geología de Chile. *Inst. Geogr. Militar (Chile)*, 374 p. Santiago.
- CASAMIQUELA, R. 1960-70.** Primeros documentos de la Paleontología de Vertebrados para un esquema estratigráfico y zoogeográfico del Pleistoceno de Chile. *Mus. Hist. Nat., Bol. Prehistoria de Chile*, No. 2-3, p. 65-73.
- FUENZALIDA, H. 1957.** Calizas del Loa. *In* *Lexique Stratigraphique International. Chile.* (Hoffstetter, B.; Fuenzalida, H.; Cecioni, G.; eds.), Centre de Rech. Scientifique, Vol. 5, Fasc. 7, p. 195-196.
- HOLLINGWORTH, S.E. 1964.** Dating the uplift of the Andes of northern Chile. *Nature*, Vol. 21, No. 4914, p. 17-20.
- MAKSAEV, V.; MARINOVIC, N. 1980.** Cuadrángulos Cerro de la Mica, Quillagua, Cerro Posada y Oficina Prosperidad, Región de Antofagasta. *Inst. Invest. Geol., Carta Geol. Chile*, Nos. 45-48, 63 p.
- MORTIMER, C. 1980.** Drainage evolution in the Atacama desert of northern Chile. *Inst. Invest. Geol., Rev. Geol. Chile*, No. 11, p. 3-28.
- NARANJO, J.A.; PASKOFF, R. 1981.** Estratigrafía de los depósitos cenozoicos de la región de Chiuchiu-Callama, Desierto de Atacama. *Inst. Invest. Geol., Rev. Geol. Chile*, No. 13-14, p. 79-85.
- PASKOFF, R. 1977.** Quaternary of Chile: the state of research. *Quat. Res. (Wash. Univ., Quat. Res. Cent.)*, Vol. 8, No. 1, p. 2-31.
- RIEU, M. 1975.** Les formations sédimentaires de la Pampa del Tamarugal et le río Loa (Norte Grande du Chili). *Fr. Off. Rech. Sci. Tech. Outre-Mer, Cah., Ser. Geol.*, Vol. 7, No. 2, p. 145-164.