ESTRATIGRAFIA DE LOS DEPOSITOS CENOZOICOS DE LA REGION DE CHIUCHIU-CALAMA, DESIERTO DE ATACAMA

JOSE A. NARANJO S.
ROLAND P. PASKOFF

Inst. Invest. Geol., Casilla 10465, Santiago, Chile
Dept. de Geogr., Univeristé de Tuniz, Tunez

RESUMEN

La estratigrafía del Cenozoico de la región comprendida entre Chiuchiu y Calama (22° 20'-22° 27' sur) está representada por tres unidades sedimentarias relacionadas, discordantemente, entre sí, cuyas edades van desde el Mioceno Inferior (?) al Pleistoceno Inferior (?). Ellas son las formaciones Calama, El Loa y Chiuchiu. Estas unidades representan hitos en la evolución tectónica y climática de la alta Cordillera Andina en el Norte Grande de Chile.

ABSTRACT

The Cenozoic stratigraphy of the region located between Chiuchiu and Calama (22° 20'-22° 27' S) is represented by three unconformably related sedimentary units, with ages ranging from the Lower Miocene (?) to the Lower Pleistocene (?). Those units constitute the Calama, El Loa, and Chiuchiu formations and they represent outstanding features in the tectonic and climatic evolution of the high Andean Range of the Chilean "Norte Grande".

INTRODUCCION

En el norte de Chile (18°-27°sur), contemporáneamente con el solevantamiento de la Cordillera Andina, se acumularon grandes volúmenes de productos volcánicos y materiales epiclásticos. En una etapa inicial de estudios, fueron agrupados bajo el nombre general de Formación Riolítica (Brüggen, 1950), siendo definidos, posteriormente, con denominaciones locales, a medida que progresaban los levantamientos geológicos: Formación Altos de Pica (Galli y Dingman, 1962), Formación Oxaya (Salas *et al.*, 1966), etc. Durante los últimos veinte años, se han datado, radiométricamente, ignimbritas muy características del volcanismo cenozoico de esta parte de los Andes, con resultados que van desde los comienzos del Mioceno al Cuaternario

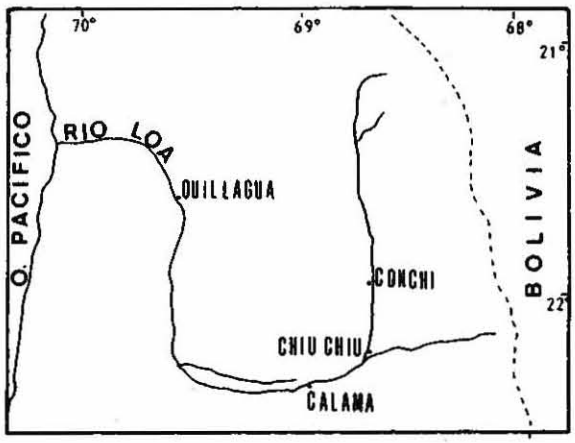

FIG. 1. Mapa de localización.

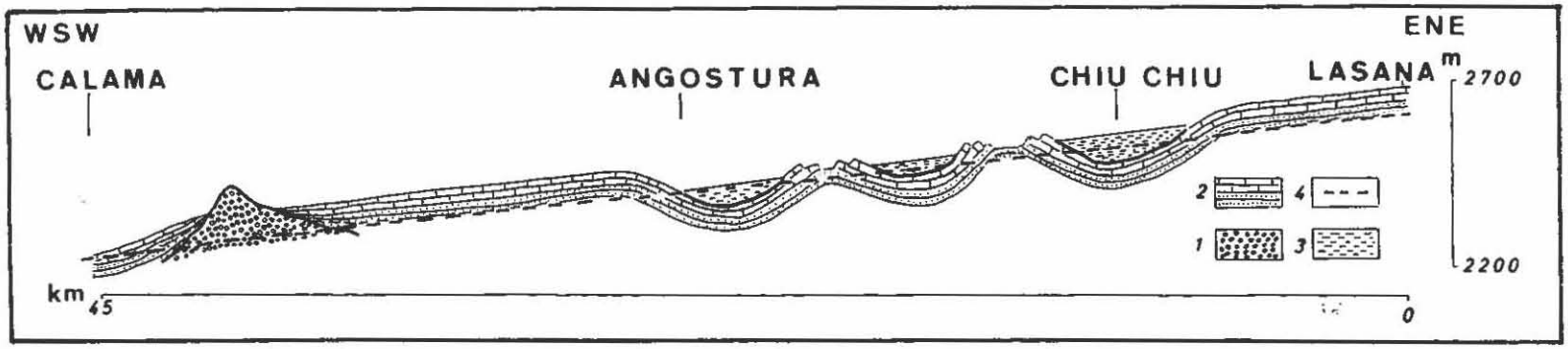

FIG. 2. Corte esquemático e interpretativo de las diferentes formaciones sedimentarias cenozoicas, que afloran en la región de Chiuchiu-Calama. 1. Formación Calama; 2. Formación El Loa; 3. Formación Chiuchiu; 4. Lecho actual del río Loa.

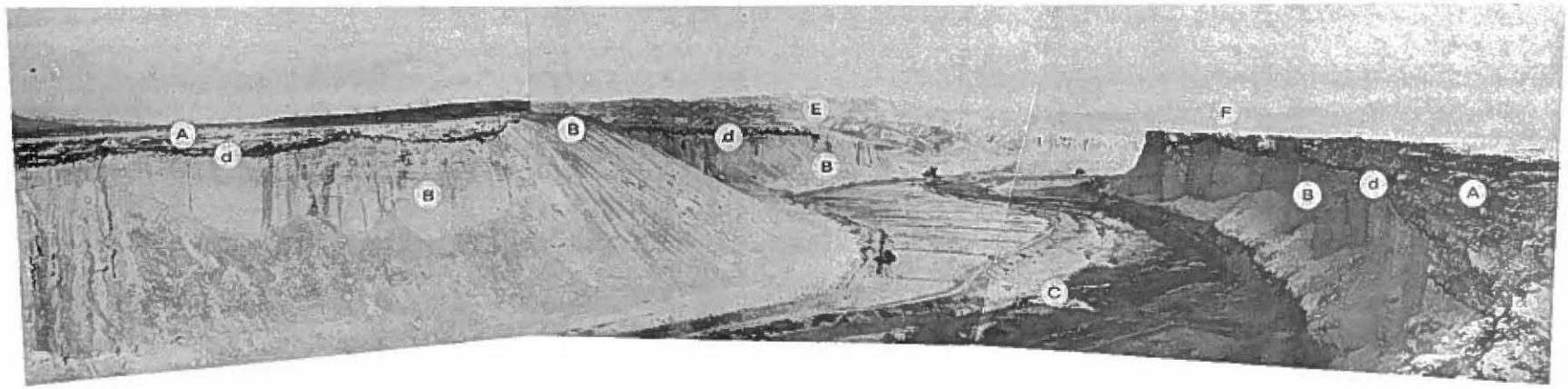

FIG. 3. Vista panorámica hacia al sur y oeste del río Loa: relación discordante (d) entre la Formación El Loa (A) y la formación Calama (B), como testigos remanentes (Cerro Calama: E). Se aprecia el lecho actual del río Loa (C) al este de la ciudad de Calama (F).

(Mortimer, 1973; Baker, 1977). Sin embargo, hasta la fecha, no había sido posible distinguir, dentro de estas acumulaciones, unidades estratigráficas independientes, separadas claramente por discordancias, capaces de enmarcar etapas en la evolución tectónica de los Andes en el Norte Grande.

Desde este punto de vista, la cuenca hidrográfica del río Loa (Fig. 1), que es el único curso de agua perenne y exorréico del desierto chileno, representa un área privilegiada. Las laderas de su valle encajonado ofrecen interesantes secciones, especialmente en la región comprendida entre Chiuchiu y Calama, situada al pie de la Alta Cordillera. En este sector, es posible identificar tres unidades cenozoicas distintas (Fig. 2).

GRAVAS DE ORIGEN TORRENCIAL (FORMACION CALAMA)

Inmediatamente al este de Calama, aflora una potente acumulación de rodados, que forma una colina sobresaliente (Cerro Calama) de la meseta tabular en la cual se encajona el río Loa. La base de esta unidad está constituida por volcanitas andesíticas, asignables a la Formación Moctezuma (Harrington, 1961), de edad jurásica inferior a media, y su techo corresponde a las calizas de la Formación El Loa, depositadas con discordancia angular (Fig. 3).

La distribución de la formación Calama es bastante restringida, reconociéndose solamente en el cerro homónimo, adyacente a la ciudad, y en los alrededores del cerro Milagro, al noreste de la misma. Los rodados que constituyen los depósitos son de variados tipos litológicos, subangulosos a subredondeados, y de diversos tamaños, hasta 15-20 cm de diámetro. En general, se presentan con abundante matriz arenosa, acumulados sin una estratificación nítida y parcialmente alterados. Estos depósitos son de origen torrencial, generados como consecuencia del último gran solevantamiento de los Andes.

La formación Calama tiene un espesor expuesto de 120 m y presenta características muy análogas con acumulaciones detríticas que incluyen intercalaciones de ignimbritas, las que han podido ser datadas, radiométricamente, en la parte sur del desierto de Atacama (Gravas de Atacama; Mortimer, 1973). Sugiriendo una posible correlación con dichos depósitos, la formación Calama, cuya existencia se propone aquí por primera vez, podría ser atribuida al Mioceno Inferior a Medio. Esta unidad ha sido profundamente disecada, antes que se depositara la Formación El Loa, quedando sólo vestigios de ella.

SEDIMENTOS ROJOS Y CALIZAS LACUSTRES (FORMACION EL LOA)

Esta unidad fue descrita primeramente por Wetzel (1927) como "los depósitos de aguas estancadas diluviales de la cuenca del Loa". La parte baja de la formación corresponde a estratos regulares de 5-15 cm, de limos y arcillas, color pardo-rojizo, que constituyen un depósito homogéneo, conocido con el nombre de "coba" (Brüggen, 1950). Por encima, yace una secuencia de materiales gruesos —areniscas, brechas y conglomerados— cuya sección más alta corresponde, generalmente, a sedimentitas calcáreas lacustres que, en la literatura, han recibido la designación de "Calizas del Loa" (Fuenzalida *in* Hoffstetter *et al.*, 1957). Estas calizas dan su impronta al paisaje desértico del valle y han sido explotadas industrialmente; son en parte silíceas, y afloran en potentes bancos, generalmente horizontales, cuyos espesores sobrepasan los 10 m y, localmente, alcanzan hasta 20 m. En ellos hay conchas de moluscos de agua dulce.

Considerando la lenticularidad de algunos niveles de esta formación, sólo es posible estimar un espesor medio expuesto de ella entre 50 y 100 m.

La Formación El Loa, que incluye también niveles ignimbríticos intercalados en la parte alta, representa el testimonio de una importante fase morfogénica de acumulación, probablemente ligada a una degradación del clima, hacia una aridez más marcada. A consecuencia de esto, se habría producido una paralización del escurrimiento, incapaz de transportar su carga aluvial sobre una gran distancia. La génesis de las sedimentitas calcáreas, lacustres, implica un desecamiento del clima y no, como se ha sostenido ocasionalmente (Fuenzalida *in* Hoffstetter *et al.*, 1957) una época pluvial.

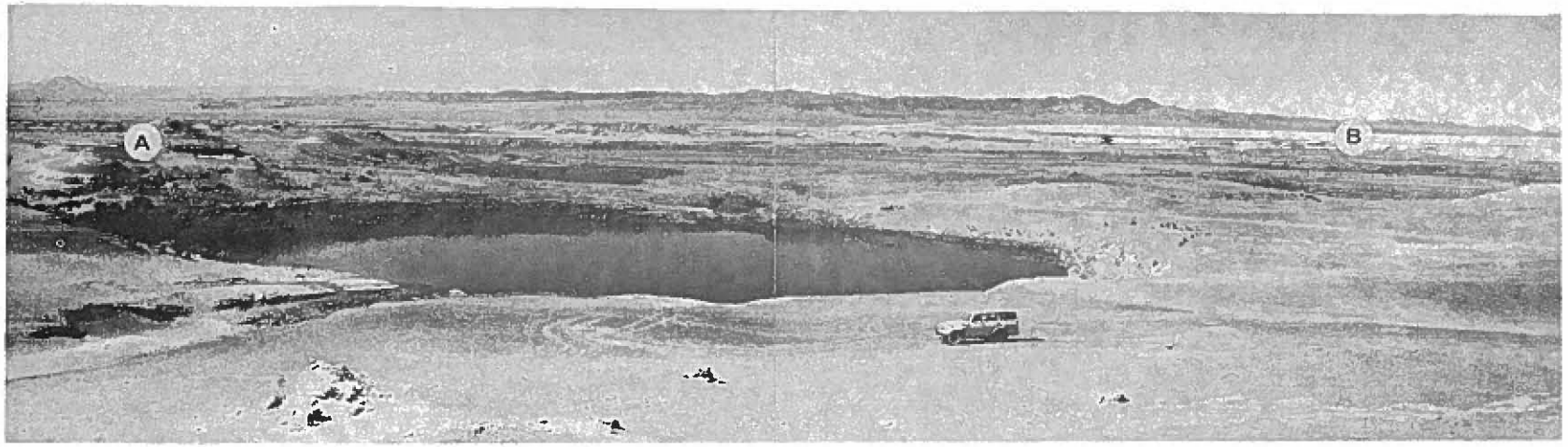

FIG. 4. Al este de Chiuchiu, dolina-pozo (Laguna de Chiuchiu), en capas de limos y arcillas multicolores de la formación homónima (A), por disolución cárstica de las calizas de la Formación El Loa infrayacente, que aflora también hacia el sur (B).

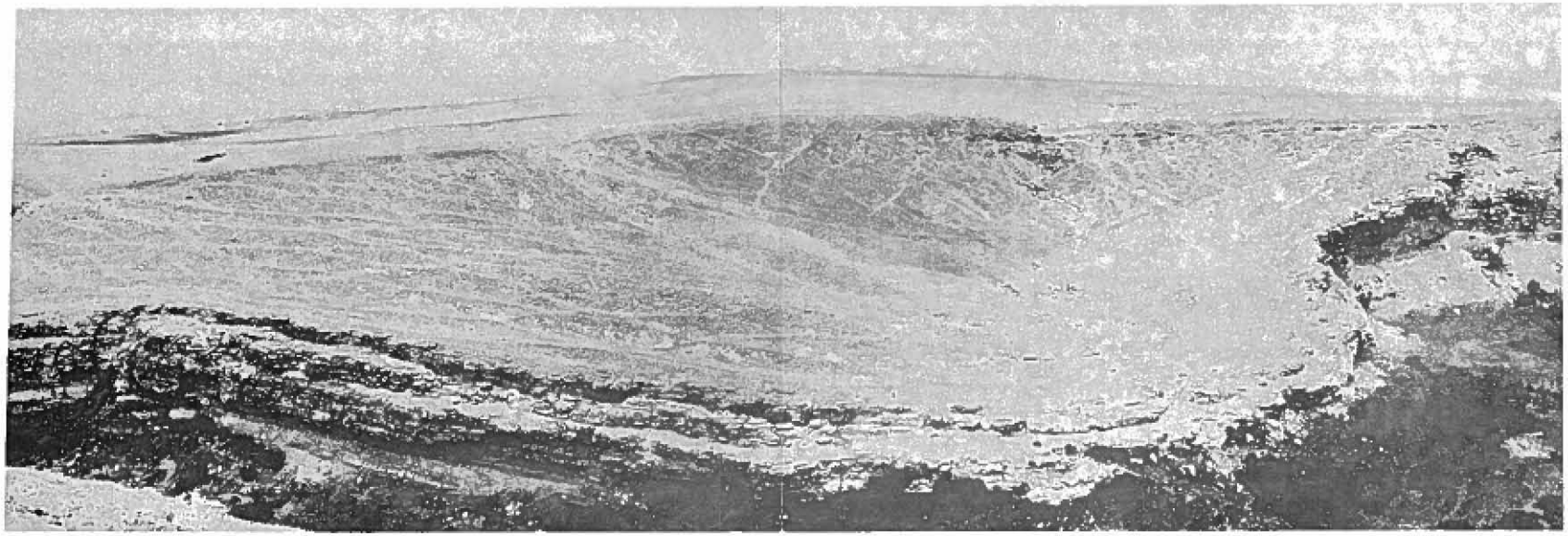

FIG. 5. Al oeste de Angostura, flanco sur del río Loa, dolina-artesa en la Formación El Loa.

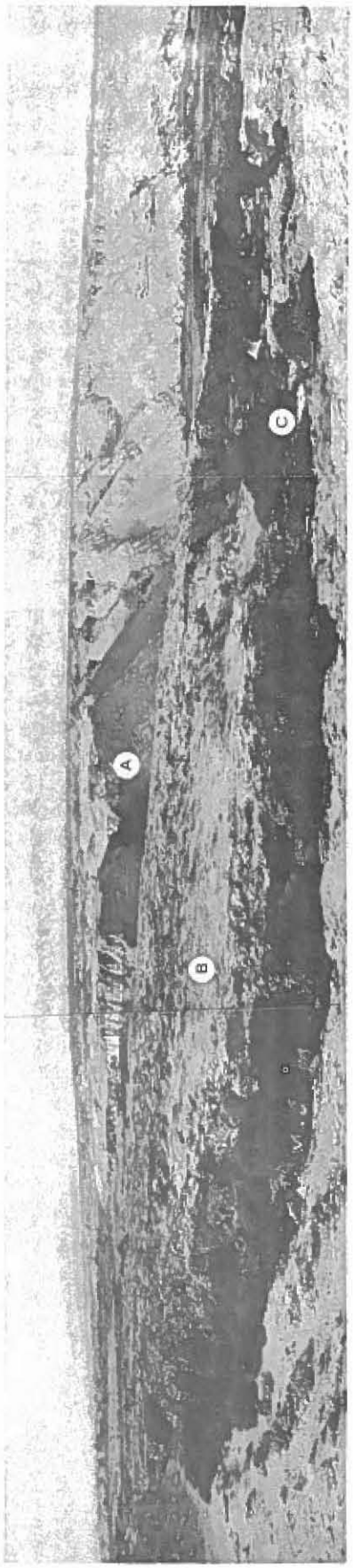

FIG. 6. En Vega Redonda, al oeste de Calama, resurgencia de travertino (B), encajonada en la Formación El Loa (A). A su vez, el lecho actual del río (C) está encajonado en el abanico de travertino.

La Formación El Loa tiene una amplia distribución a través del trayecto del río Loa. Sin embargo, su relación estratigráfica basal se ha reconocido sólo en los alrededores de Calama, donde sobreyace, con discordancia angular, a la formación homónima. Su techo lo constituyen los limos y arcillas multicolores de la formación Chiuchiu, a los cuales infrayace, discordantemente.

La edad de las capas que constituyen la Formación El Loa ha sido discutida como cuaternaria (Wetzel, 1927), luego como pliocena (Brüggen, 1950; Hollingworth, 1964); en la actualidad se le asigna, al menos en parte, una edad prepliocena (Bobenrieth, 1980; Boric, 1980). Un nivel de ignimbrita, intercalado en los niveles altos de la formación, el cual aflora en los alrededores de Conchi, ha sido datado radiométricamente por el método K-Ar (en biotita), obteniéndose una edad de 8,6 m.a. (Baker, 1977).

La Formación El Loa se presenta deformada, reconociéndose flexuras aguas arriba de Chiuchiu y entre Angostura y Calama; sin embargo, es entre Angostura y Chiuchiu donde presenta la mayor deformación, en numerosos domos y cubetas. Las evidencias de terreno descartan la posibilidad de relacionar estas complejas estructuras de la Formación El Loa con una tectónica regional. Interpretaciones hechas para la formación de domos de sal en la Formación San Pedro (Terciario), cerca de San Pedro de Atacama, sugieren que este tipo de estructuras son el resultado de compresiones horizontales, producidas por el deslizamiento gravitacional de capas no consolidadas, depositadas en una cuenca localmente subsidente (Dingman, 1962). Fenómenos hidroeólicos, típicos de la morfogénesis en las regiones áridas, han erosionado las bóvedas de los domos, generando depresiones cerradas.

Durante el Cuaternario, épocas menos áridas que la actual han favorecido el desarrollo de un modelado cárstico de dolinas, en las potentes capas calcáreas de la Formación El Loa. La red subterránea de este modelado cárstico se mantiene activa hoy en día (dolina-pozo de la laguna de Chiuchiu; resurgencias y abanicos de travertino de Ojo de Opache y Vega Redonda, aguas abajo de Calama (Figs. 4,5 y 6).

SEDIMENTOS LACUSTRES MULTICOLORES Y EVAPORITAS (FORMACION CHICHIU)

Hasta ahora, esta formación no había sido distinguida de la anterior (Brüggen, 1950). Se propone designar como formación Chiuchiu a una secuencia de limos y arcillas multicolores, bien estratificados, dispuestos horizontalmente, en los alrededores de la localidad homónima. Constituyen el relleno parcial de las cubetas generadas por plegamiento, arealmente restringido de la Formación El Loa, a la cual cubren, localmente, con discordancia angular (Fig. 7). La formación Chiuchiu se presenta disecada, también, por el encajonamiento del río Loa, existiendo restos de terrazas adosados a los depósitos de esta unidad.

Desde el punto de vista litológico, los depósitos de Chiuchiu corresponden, principalmente, a limos y arcillas, algo calcáreos, en capas alternadas de espesores variables entre menos de 5 cm hasta un metro, con una media aproximada de 5-30 cm de potencia. Son de colores grises, pardos, verdes claros y amarillentos, con intercalaciones de lentes de diatomitas y de yeso, además de niveles de unos 50 cm de cenizas y pómez, retrabajados en rodados bien redondeados, de 3 cm de diámetro. En general, los conglomerados son escasos; hacia la parte alta, la secuencia muestra una losa calcárea de espesor reducido (de aproximadamente 1 m), sin sílice. La formación Chiuchiu tiene una potencia variable, que puede alcanzar decenas de metros hasta un máximo de 50 m.

Considerando sus características litoestratigráficas, esta unidad se correlaciona con la Formación Quillagua, descrita alrededor de la localidad homónima, en el curso inferior del río Loa (Rieu, 1975). Una discordancia separa también la Formación Quillagua de la Formación El Loa.

La flexura de Angostura (Fig. 2) constituía un obstáculo para el escurrimiento de las aguas que venían de la Alta Cordillera, lo que permitió la acumulación de los depósitos de la formación Chiuchiu en un medio lacustre. Una recurrencia húmeda dio al clima un carácter, aunque no necesariamente pluvial, por lo menos más lluvioso que en la actualidad. Los depósitos evaporíticos que se observan en la parte alta de la formación, representan el desecamiento del lago, a consecuencia de una aridificación del clima.

No existen antecedentes para asignar una edad precisa a la formación Chiuchiu. Tentativamente, se la puede atribuir al Plioceno Superior-Pleistoceno Inferior, si las osamentas de vertebrados señaladas por Courty (1907) provienen de ella. Las capas de esta unidad no muestran fallas, flexuras o pliegues, sólo presentan una suave inclinación hacia la flexura de la Formación El Loa en Agostura, donde desaparecen bajo los sedimentos más recientes. Tal comportamiento sugiere la existencia de una "cuenca puntual" de subsidencia al suroeste de Chiuchiu.

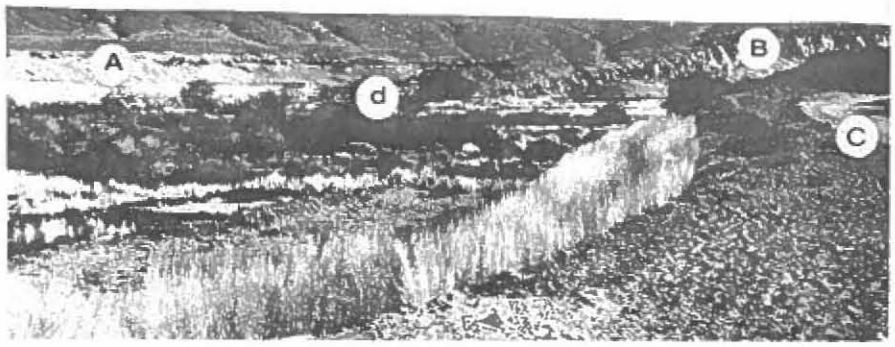

FIG. 7. Al norte de Chiuchiu, en el sector de Chacras Viejas, se observa la relación discordante (d), entre las capas horizontales, la formación Chiuchiu (A) y los estratos flectados de la Formación El Loa (B), con una potente intercalación de nivel ignimbrítico de unos 7 m de espesor. Se observa el camino de Chiuchiu a Lasana (C).

CONCLUSIONES

Las formaciones recientemente descritas, representan hitos importantes en la historia evolutiva de los Andes del Norte Grande de Chile. Dan también indicaciones acerca de la evolución climática, en la Cordillera en estas latitudes, desde fines del Terciario.

La formación Calama representaría la consecuencia directa del último gran solevantamiento de los Andes meridionales, producido, probablemente, en el Oligoceno o a principios del Mioceno (Naranjo y Paskoff, 1980). Corresponde a una formación detrítica de piedemonte, cuya depositación y su destrucción posterior indican fuertes acciones erosivas, ligadas al papel morfogénico de las aguas corrientes.

Por el contrario, la Formación El Loa implica una paralización de los escurrimientos, a consecuencia de un desecamiento climático. Las deformaciones que presentan las rocas de esta unidad se habrían producido más bien por fenómenos locales (deslizamiento gravitacional de capas no consolidadas) y no por la intervención de una fase compresiva a nivel regional.

La formación Chiuchiu sugiere una recurrencia húmeda del clima; ha sido escasamente deformada, lo que confima que los efectos mayores de la tectónica andina se manifestaron antes del Terciario superior-Cuaternario.

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.

COURTY, G. 1907. Explorations géologiques dans l'Amérique du Sud. *In* Mission scientifique de G. de Crequi-Montefort et Sénéchal de la Grange. Vol. 14, 208 p. Paris.

DINGMAN, R. J. 1962. Tertiary salt domes near San Pedro de Atacama, Chile. U. S. Geol. Surv., Prof. Pap., No. 450-D, p. 92-94.

GALLI, C.; DINGMAN, R. J. 1962. Cuadrángulos Pica, Alca, Matilla y Chacarilla, provincia de Tarapacá. Inst. Invest. Geol., Carta Geol. Chile, Nos. 7-10, 125 p.

HARRINGTON, H. 1961. Geology of parts of Antofagasta and Atacama provinces of northern Chile. Am. Assoc. Pet. Geol., Bull., Vol. 45, No. 2, p 169-197.

HOLLINGWORTH, S. E. 1964. Dating the uplift of the Andes of northern Chile. Nature, Vol. 21, No. 4914, p. 17-20.

MORTIMER, C. 1973. The Cenozoic history of the southern Atacama Desert, Chile. Geol. Soc. Lond., J., Vol. 129, Part 5, p. 505-526.

NARANJO, J. A.; PASKOFF, R. 1980. Evolución geomorfológica del desierto de Atacama entre los 26° y 33° latitud sur: revisión cronológica. Inst. Invest. Geol., Rev. Geol. Chile, No. 10, p. 85-89.

RIEU, M. 1975. Les formations sédimentaires de la Pampa del Tamarugal et le rio Loa (Norte Grande du Chili). Fr. Off. Rech. Sci. Tech. Outre-Mer, Cah., Ser. Geol., Vol. 7, No. 2, p. 145-164.

SALAS, R.; KAST, R.; MONTECINOS, F.; *et al.* 1966. Geología y recursos minerales del Departamento de Arica. Inst. Invest. Geol. (Chile), Bol., No. 21, 114 p.

WETZEL, W. 1927. Beiträge zur Erdgeschichte der mitleren Atacama. Neues Jahrb. Mineral. Geol. Palaeontol., Ser. B, No. 58, p. 505-578.