

Asociación Geológica Argentina

REVISTA



Tomo XXXII - N° 1

Enero - Marzo

Buenos Aires 1977

This One



EDAFOGENESIS Y PALEOSUELOS DE LA FORMACION TEFRICA RIO PIRECO (HOLOCENO).

Suroeste de la Provincia del Neuquén, Argentina

HAROLDO A. LAYA

Resumen

Han sido estudiados cuatro perfiles representativos a lo largo de una transecta con decrecimiento abrupto de las lluvias y la mayor variación vertical de los depósitos piroclásticos postglaciales en el oeste de la región patagónica. Los dos objetivos básicos del estudio fueron: a) la caracterización estratigráfica, mineralógica y petrográfica de los miembros que forman los depósitos téfricos de la región del Nahuel Huapi, y b) estudiar la edafogénesis de estos suelos como una función del clima. Este informe brinda resultados del estudio de campo, con análisis mineralógicos, geoquímicos y edafocímicos, para suplementarlos. Bajo el punto de vista geoquímico se ha demostrado que las cenizas son de composición riodacítica (Miembro Lago Espejo y más modernos), e incrementan en basicidad con la profundidad. Sin embargo, los distintos tefras han sido separados principalmente sobre la base de su composición de minerales pesados y livianos. La composición granulométrica de los sucesivos piroclastos, se pudo distinguir lo suficiente como para separarlos. Los depósitos muestran también diferencias en la capacidad de intercambio catiónico. Considerando la climo-secuencia, los cambios en las propiedades de los suelos están relacionados con cambios en la lluvia anual. Las diferencias más obvias fueron con respecto al pH y la saturación con bases. Ambos mostraron un incremento general en las regiones menos húmedas. Basado en estas observaciones, los suelos de las áreas más húmedas se clasificaron como Udortente Thapto Andino y los perfiles más secos como Ustortente Thapto Andico, según la Séptima Aproximación de los Estados Unidos de América.

1. Introducción

Además de las superficies extensas con tobas, principalmente desde el Terciario al Pleistoceno, Argentina tiene una distribución importante de materiales piroclásticos postglaciales inconsolidados. Estos se extienden desde la Cordillera de los Andes, donde actúan como el material originario de los suelos, Monteith y Laya (1967) y Laya (1969, a, b, c, d 1970 y 1975), hasta casi

Abstract

Four representative profiles along a transect with strong decrease in rainfall and the greatest vertical variation of the postglacial pyroclastic deposits in west Patagonia Region has been studied. The two basic objectives of the study were: a) the stratigraphical, mineralogical and petrographical characterization of the members forming the tephra deposits in the Nahuel Huapi region, and b) to study the pedogenesis of these soils as a function of climate. This is mainly a field study with mineralogical, geochemical and pedochemical analysis performed to supplement the field observations. Geochemically, it has been shown that the ashes are rhyodacitic in composition (Lago Espejo tephra and younger ones) and increase in basicity with depth. However, the various deposits have been separated on the base of their heavy and light mineral composition. The granulometric composition of the successive pyroclastics were distinct enough to separate them. The deposits also showed differences in cation exchange capacity. Considering the climo-sequence, the changes in soil properties were shown to be related to the rainfall. The most obvious changes were with respect to pH and base saturation, both of which showed a general increase in the drier areas. Based on these observations, the soils of the wetter areas were classified as Thapto Andic Udorthents and the drier profile as Thapto Andic Ustorthents.

todo el resto del país. En este último caso, muy frecuentemente están presentes como distinto grado de contaminación en los suelos formados sobre distintos materiales originarios. Muchos de estos depósitos volcánicos tienen sus fuentes en las montañas andinas, principalmente en Chile, donde están localizados los volcanes que integran la "Zona Volcánica Circumpacífica". Los vientos fuer-

tes que usualmente soplan desde el oeste hacia el este, llevan buena parte de estas cenizas depositándolas en Argentina. Entre muchos otros, la erupción del Volcán Quizapú (o Descabezado) en 1932 ilustra bien este fenómeno. Cenizas de esta erupción han caído en Argentina cubriendo un área de aproximadamente 250x1.500 km, y los depósitos oscilan entre 10 a 1 cm de espesor (en una zona cordilleana angosta, bastante más). Estas cenizas también se depositaron en Uruguay y el suroeste de Brasil, a más de 2.000 km del foco de emisión. Consecuentemente, la caracterización de los distintos depósitos de ceniza, tan cerca de las fuentes como sea posible, es imprescindible para correlacionar su influencia en numerosos suelos de Argentina.

Montheith y Laya (op. cit.), dejaron en claro la necesidad de incrementar los estudios sobre el tema que se trata, por la razón principal de que como resultado de la contaminación con ceniza en otros suelos, el medio ambiente edafogénico será parcial o completamente cambiado. También es necesario estudiar las distintas unidades térficas en mayor detalle, para poder estar realmente

habilitados en su empleo correlativo con otras áreas, como guías para interpretaciones cronológicas (tepsrocronología), así como para respaldar estudios de edafogénesis, erosión por el viento, etc.

El objetivo de este estudio ha sido la caracterización mineralógica y fisicoquímica de estos depósitos. Por esta razón, se tomaron muestras de una secuencia de suelos y materiales subyacentes. La sección se extiende desde las partes más altas de las montañas andinas (Portezuelo Puyehue) hacia el este, con una variación marcada tanto vertical como horizontal. Verticalmente, los numerosos depósitos con suelos enterrados intercalados, son muy conspicuos. En un sentido horizontal hay una producción de lluvia, con un máximo cercano a las montañas más altas y decrecimiento progresivo hacia el este. La toma de muestras fue favorecida por la construcción de una ruta nueva hacia Chile.

Los cuatro perfiles estudiados comprenden la parte superior, entre 1,50 a 2,0 m, de todas las muestras coleccionadas durante el Proyecto de FAO-INTA \diamond . Las capas inferiores no han sido estudiadas en detalle todavía, aunque como referencia general puede consultarse el trabajo de Auer (op. cit.).

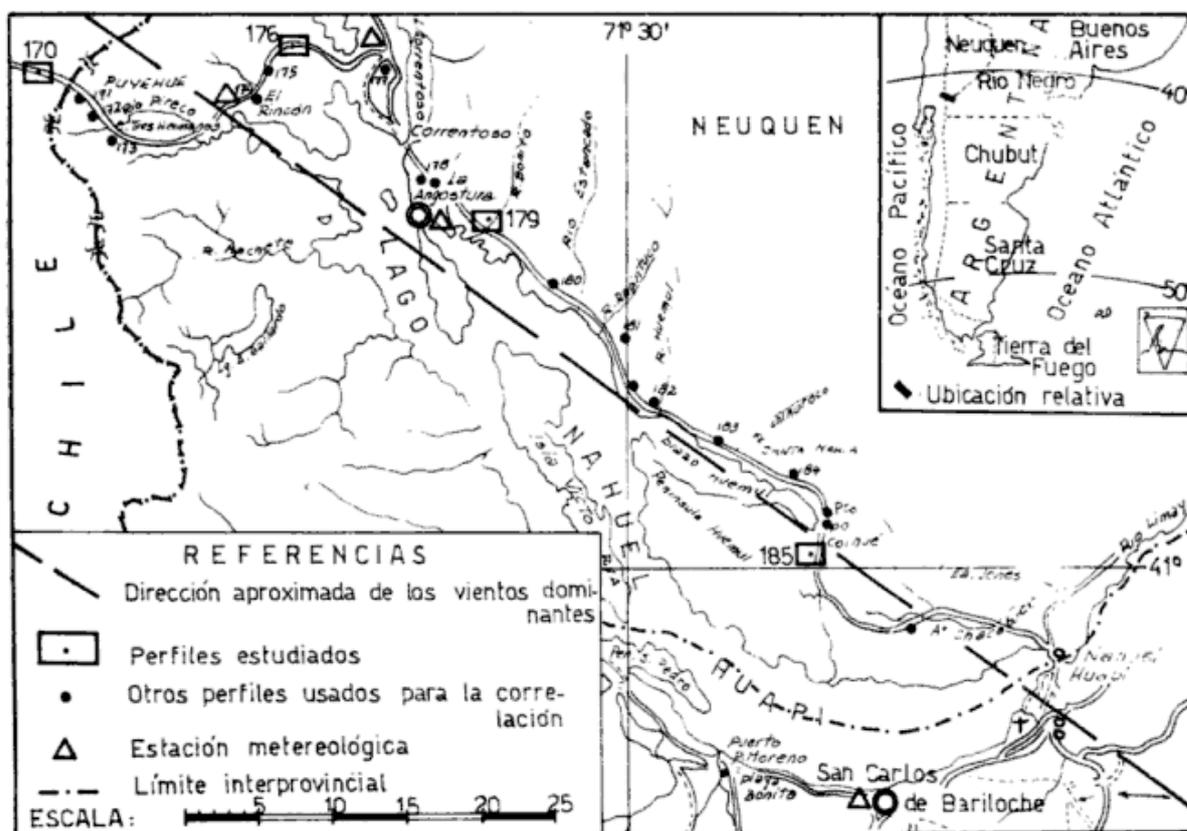


Fig. 1.— Mapa que muestra la ubicación de los perfiles y las estaciones meteorológicas. El mapa pequeño inserto en la parte superior derecha, muestra la posición relativa.

2. Generalidades

2.1 LOCALIZACIÓN. Todos los suelos estudiados están localizados a lo largo de una transecta con origen en Port. Puyehue (Chile) al NO del Lago Nahuel Huapi, hasta el extremo SE del mismo lago (fig. 1). Para una ubicación más detallada, ver: 3.32.

2.2. CLIMA. La información sobre el clima de la región estudiada, es escasa y difícil de obtener. En la Tabla I se da un resumen de la información climática. Las figuras de precipitación han sido obtenidas en las estaciones más cercanas a los perfiles. Pero como se producen variaciones considerables sobre espacios breves, también se incluye un cálculo de las precipitaciones en el área cercana a los perfiles del suelo, determinado por la experiencia; este último se indica entre paréntesis.

Además de la información de la precipitación, es oportuno mencionar aquí la importancia de las nevadas en esta región. Como las nevadas no se incluyen en la Tabla I, se agregan los siguientes datos estimados: oscilan entre 200-300 cm en las áreas occidentales, hasta 20-40 cm en las áreas orientales.

El régimen de humedad avanza desde un tipo Ustíco en la parte oriental a uno Udico, y culmina en un régimen Perúdico en el extremo occidental.

El régimen de temperatura de la región es más cálido que el Orvíco. Además, se experimentan marcados cambios estacionales en las precipitaciones, especialmente en los sectores orientales.

* Proyecto FAO-INTA para Investigaciones sobre Ovinos en la Patagonia, Centro Regional Patagónico, EERA S. C. de Bariloche del INTA, Pcia. de Río Negro.

2.3 VEGETACIÓN. De acuerdo con Cabrera (1956), el área queda incluida en la Provincia Subantártica, Distrito Valdiviano. La vegetación se compone de un bosque denso, con una muy compleja cantidad de especies. De todas maneras en áreas con promedio de lluvia relativamente elevado, son características especies como *Nothofagus antarctica*, *N. Dombevi*, *N. Pumilio*, *Chusquea culen*, etc. En áreas con decrecimiento de lluvias son importantes especies como *Libocedrus chilensis* y *Maitenus boaria*. Hacia los sectores semiáridos ya predomina la vegetación xerófila y la transición es bastante abrupta hacia especies como *Embothrium coccineum*, *Mulinum spinosum*, *Stipa* sp., etc.

2.4 GEOLOGÍA y RELIEVE. Si se dejan de lado los depósitos téfricos (para esto, ver 3.2), las rocas subyacentes están compuestas esencialmente por formaciones volcánicas espesas de edad Terciaria y Cuaternaria (andesitas, brechas volcánicas, tobas, etc.) y de otras más antiguas, principalmente plutonitas ácidas. Los depósitos glaciales del Pleistoceno son conspicuos y también muy importantes. Estos últimos están compuestos de sedimentos caóticos, con erráticos comunes, compuestos por fragmentos finos hasta muy gruesos con matriz de arena gruesa.

Esta región, como el resto de los Andes Patagónicos, muestra una gran cantidad de lagos de origen glaciario. También un relieve rejuvenecido, originado en la actividad anterior e intensa de glaciares numerosos, sólo mitigado en parte por depósitos recientes coluviales y de cenizas volcánicas. Los picos más altos sobrepasan los 2000 m sobre el nivel del mar y a corta distancia, el tronco del fondo de los valles oscila entre 800 y 1000 metros. Entonces, son comunes en el área, montañas con pendientes de 40 a 60

Nº	Localidad	Altura s.n.m.	Anual	Temperatura Media		Lluvia Media Anual	
				Mes más calor (enero)	Mes más frío (julio)	Años	mm
1	El Rincón -Perfil 170	850	8.5	15.5	3.3	2	4.166 (4.600)
2	Lago Espejo -Perfil 176	900	—	14.9	3.5	15	2.086 (2.500)
3	Villa La Angostura -Perfil 179	800	—	15.1	3.5	9	1.783 (1.900)
4	S. C. de Bariloche	853	8.4	14.7	2.6	30	1.062 (1.200)

por ciento y aún con paredes rocosas verticales. La inclinación cambia abruptamente al pie de las pendientes, principalmente compuestas por sedimentos coluviales glaciales o fluvio-glaciales, con depósitos piroclásticos sobrepuestos.

2.5 CONTRIBUCIONES PREVIAS. La contribución principal sobre el tema que se trata fue la de Auer (1950 y 1956). En su primer informe cubrió una región amplia cercana a la Cordillera de los Andes, desde la Latitud de 54°S hasta 39°S, a lo largo de más de 1700 km. Auer estudió las capas de ceniza volcánica basado en las nueve regiones volcánicas propuestas por Salmi (1941). En este trabajo, destaca la importancia de los depósitos piroclásticos como indicadores para la correlación estratigráfica de los diferentes eventos producidos durante el Holoceno, basado en datos químicos y petrográficos de las cenizas y principalmente análisis de polen. Como resultado, produjo algunas contribuciones sobre la edad y composición de las distintas erupciones (ver Tabla II). Auer fue quien por primera vez señaló la presencia de suelos enterrados e interestratificados en los depósitos de cenizas volcánicas post-glaciales. Sin embargo, esto fue sólo una evaluación preliminar de la situación.

Uno de nuestros objetivos es correlacionar el estudio presente con las contribuciones de Auer, aunque él prestó menor atención a las capas más modernas que aquí se tratan.

3. Material y métodos

3.1 TRABAJO DE CAMPO. El trabajo de campo se desarrolló durante el verano de los años 1968/69. Aún habiendo realizado los controles y toma de muestras antes de poder consultar bibliografía específica sobre el tema, en general, hubo mucha coincidencia con los numerosos trabajos realizados por los neocelandeses. Entre otros, pueden citarse a Vucetich (1968) y Vucetich y Pullar (1973).

Todos los perfiles usados para la correlación fueron seleccionados tomando en consideración los factores siguientes:

a) Sitios con gradientes suaves (2 a 3%); en tal topografía se considera que fue nula la redistribución de los depósitos de ceniza.

b) Sin o muy leve perturbación por el factor antrópico.

c) Las muestras fueron tomadas de cortes recientes al costado del camino, en la mayoría de los casos. Debido a que la parte

superior de los cortes del camino están usualmente disturbadas por maquinarias, la descripción de esta parte se realizó en pozos del bosque adyacente.

d) Sitios bien drenados.

Para la descripción de los perfiles, se usaron los métodos convencionales según el Handbook 18 del U.S.D.A. (1951). Los colores fueron siempre determinados en húmedo, empleando la carta para colores del suelo Munsell.

3.2 TRABAJO DE LABORATORIO.

3.21 *Petrografía de la ceniza y el lapilli*. Excepto el horizonte orgánico superficial y el delgado subsuperficial, se estudiaron todos los horizontes y capas en secciones delgadas, empleando un microscopio petrográfico. Para esto, se seleccionó ceniza gruesa y lapilli considerado típico para cada horizonte o capa.

3.22 *Separación de minerales pesados y livianos*. De la fracción entre 50 a 420 micrones, se separaron los minerales pesados y livianos, usando bromoformo con una gravedad específica de 2,8. Ambas fracciones se montaron sobre portaobjetos para el recuento con el microscopio petrográfico. Para diferenciar los feldespatos —Ca de los feldespatos —K, la fracción liviana fue impregnada de acuerdo con el método de Bailey y Stevens (1960). El procedimiento de recuento consistió en atravesar los portaobjetos en líneas. Cada mineral "tocado" por el centro de la cruz del ocular fue identificado y contado. En primer lugar, se contaron cien minerales, entre opacos y transparentes. Después, se continuó el recuento de minerales transparentes solamente, hasta llegar a cien nuevamente. Esto brindaría una estimación de los tipos diferentes de minerales livianos. En este método se empleó ácido cítrico 1N y los granos de la muestra se agitaron con una máquina vibradora ultrasónica. Este proceso dispersa las granos y también remueve los revestimientos, excepto el vidrio. Por esta razón, los minerales están usualmente rodeados por un revestimiento de vidrio delgado e irregular, entonces el resultado sobre la cantidad total de minerales pesados de cada horizonte, según se muestra en las Fig. 4-5-6-7, tendrá un poco de incremento con respecto al porcentaje real.

A efectos de mostrar, tanto como sea posible, la composición real de los minerales livianos y pesados, hemos empleado aquí las consideraciones siguientes:

a) *Para minerales livianos*. Si se cuentan los cristales verdaderos, solamente se estimarán las plagioclasas, las que formarán el 100%. Un estudio preliminar de la fracción liviana mostraba la presencia de otras partículas (como vidrio y fragmentos asociados), las cuales debido a su cantidad importante, han merecido una identificación y estimación precisa. Por esta razón un sistema similar al empleado en Japón (Yamanaka et al. 1964), ha sido aquí evaluado. Las principales subdivisiones de la fracción liviana (Wentworth et al, p. 46-50), se brindan a continuación:

- 1) "vidrio", compuesto de vidrio, en 75% en volumen, por lo menos;
- 2) "cristal-vidrio", fragmento conteniendo entre 50 y 75% de vidrio;
- 3) "vidrio-cristal", el contenido de cristales oscila entre 50 y 75%;
- 4) "cristal", contiene más de 75% en volumen de cristales.

Como han sido estudiadas varias muestras de cada miembro y resulta poco práctico ilustrar a todas las muestras, los datos que componen cada miembro, representan un promedio para todas las muestras que lo integran. En el texto se indica, algún rasgo particular distintivo de cualquier capa individual dentro de un miembro. Debido a su similitud general y edad reciente, las capas guías de ceniza Lago Totoral y El Rincón así como el horizonte orgánico delgado incluido, se representan como una sola tefra ("zona superior").

3.23 *Análisis fisicoquímicos y químicos*. Para los análisis fisicoquímicos de rutina se usaron los métodos standard del laboratorio de Suelos del Instituto de Geología de Gante (Bélgica). Para los *análisis totales*, se aplicaron los métodos usados por Eswaran (1970), en el análisis total de cenizas de "vidrio". Para la determinación de los índices de refracción, se emplearon muestras de ceniza volcánica con contenidos escasos de cristales. El control se realizó usando la serie de líquidos standard del R.P., Gargille Laboratories, N.Y., con una precisión de 0,002.

4. Resultados y discusión

4.1 *DISTRIBUCIÓN DE LAS TEFRAS Y PROBLEMAS ASOCIADOS*. La totalidad del área desde Port. Puyehue en el NO, hasta el perfil 185, está cubierta por depósitos piroclásticos.

La mayor parte de las capas de piroclastos persisten hacia el Este, pero son más someras y de composición más fina (Fig. 2). Por otra parte y en la misma dirección, hay un incremento de arenas eólicas mezcladas con el material volcánico.

En este trabajo se mencionan los depósitos de piroclastos diferenciados, indistintamente como tefra(◇) o *miembro*, con los nombres formales propuestos. Así, podemos nombrar la Tefra Lago Espejo o bien al Miembro Lago Espejo.

Podemos distinguir claramente los hechos siguientes:

a) Debido a sus aspectos morfológicos concentrados, es posible hacer una distinción precisa de las numerosas capas, así como correlacionar con seguridad las distintas unidades téfricas.

b) Algunas de las capas guías, se adelgazan hacia el Este más rápidamente que otras y finalmente pueden desaparecer. Un ejemplo puede verse en la vecindad del arroyo Ragintuco, donde el Miembro Lago Espejo no puede ser localizado •.

c) Los intervalos entre los ciclos más activos de las distintas erupciones, contienen períodos de relativa tranquilidad, indicados por la acción más efectiva de los procesos formadores de los suelos, donde principalmente se detecta un incremento en el contenido de materia orgánica en la parte superior de cada miembro sobrepuesto.

d) Es probable, que ante la caída de las cenizas de edad intermedia y antigua, se haya producido la destrucción total o parcial del bosque.

e) Los estratos más bajos de la formación volcánica yacen en una discontinuidad muy marcada sobre las rocas que forman la topografía postglacial, pero también pueden estar entremezclados en la parte superior de los depósitos glaciarios.

f) El sustrato rocoso, está completamente no meteorizado debido a la exaración glaciaria y a la superposición inmediata de las cenizas volcánicas.

g) La distribución uniforme de la For-

(◇) Para el uso y forma de delimitar las tefras, término originalmente definido por Thorarinsson en 1954 como "... todos los materiales volcánicos clásticos los cuales durante una erupción son transportados desde el cráter a través del aire... ", ver a Vucetich y Pullar (op. cit.), p. 750-51 y subsiguientes.

• Aunque puede aparecer aisladamente en sectores más orientales.

mación Río Pireco está restringida principalmente a la parte inferior suave y al pie de las pendientes y aún es común sobre las pendientes intermedias (Laya, 1970) bajo la presencia de un bosque denso. Donde el bosque es escaso o desaparece, sólo se encuentran relictos compuestos principalmente de los miembros inferiores. Los depósitos de ceniza también están presentes comúnmente entre o sobre depósitos fluviales y lacustres.

h) El Miembro inferiores (Luego Mascardi) está compuesto exclusivamente por cenizas y puede contener una capa discontinua compuesta de lapilli y bloques, los intermedios (Río Blanco y Río Pereyra) son muy gruesos, y los superiores (Lago Espejo y Puyehue) están formados principalmente por cenizas con un incremento en el contenido de lapilli hacia los perfiles del Oeste.

4.2 UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS Y SUELOS ENTERRADOS (Laya, 1971). La Tabla II muestra la designación propuesta para los depósitos piroclásticos en esta región, basado en las consideraciones previas y de acuerdo con el Código de Nomenclatura Estratigráfica (1972). También se hace un intento para correlacionar estas unidades, con las capas guías de Auer. Esto resulta sencillo en las tefras subyacentes e intermedias, pero muy difícil en las superiores.

Los límites entre los miembros diferenciados están formados por suelos enterrados o bien por un cambio muy distintivo en el tamaño o color de los depósitos.

El paleosuelo Puyehue, también incluye restos carbonosos que no han sido datados todavía. Mientras tanto, hasta el horizonte oscuro con restos carbonosos contenido en el Miembro Río Pereyra, son muy notables las diferencias respecto de la edad consignada por Auer.

4.21 *Descripciones generales.* Los diferentes miembros de la Formación Río Pireco, son descritos aquí desde los más antiguos a los más modernos, de acuerdo con la nomenclatura propuesta en la Tabla II.

Miembro Lago Mascardi. Estos materiales constituyen los depósitos de ceniza, formadores de los suelos actuales, más importantes en toda la región patagónica, excepto para el sector que aquí se trata en particular, y algo más al norte.

Capa Inferior. Esta capa consiste de cenizas de tamaño y color uniformes. Los colores varían desde pardo amarillento oscuro a pardo (10 YR 4/4 y 4/3).

Capa Intermedia. Comparada con la anterior, esta capa tiene una distribución muy limitada y discontinua. Los principales componentes son lapilli gris claro (10YR 7/1)

Tabla II

Nomenclatura Propuesta	Edad(◇) (años)	Nomenclatura antigua según Auer (1950)	Edad (años)
FORMACION RIO PIRECO			
—Miembro Arroyo Ancantuco			
—Capa Lago Totoral	15		
—Horizonte orgánico enterrado			
—Capa El Rincón	54	Capa Nº IV (●)	
—Paleosuelo Correntoso		Capa Nº III (●)	1.500/800
—Miembro Lago Espejo	> 200	Capa Nº II (●)	4.000/300
—Paleosuelo Angostura			
—Miembro Río Pereyra (∞)	1.624 ± 84	Capa Superior (Escoriácea)	8.500
—Miembro Río Blanco		Capa Inferior (o de "arroz")	a 8.800
—Paleosuelo Puyehue			
—Capa Superior		Capa "02"	10.500
—Capa Intermedia		Capa "0"	a
—Capa Inferior		Capa "01"	10.800
		Capa Nº I	
		Capa "0"	

(◇) Año de referencia: 1975 — (∞) Datación por medio de C14 de una muestra de restos vegetales carbonizados. Fecha: 351 ± 84 años de nuestra era. Analista: M. Deuchot, I.R.P.A. Bruselas, Bélgica, 28-12-71. Corresponde al Perfil 177, intercalación oscura dentro del Miembro Río Pereyra.

(●) Estas capas, no pudieron ser correlacionadas con el presente estudio.

y algunos bloques pequeños. Sin embargo, los lapilli están algo meteorizados y consecuentemente el color de toda la capa es pardo amarillento a pardo (10YR 6/6, 7.5YR 4/4). Los lapilli rompen fácilmente bajo presión leve.

Capa Superior. Las características de los depósitos de la capa superior son muy similares a aquellos de la Capa Inferior. El color de las cenizas es pardo oscuro (10YR 3/3).

—*Paleosuelo Puyehue.* En la parte superior, este paleosuelo es usualmente negro (10YR 2/1) y gradualmente pasa a pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2). Tiene una textura franco arenosa y estructura débil a moderada en bloques subangulares.

Miembro Río Blanco. Este miembro está constituido por lapilli y ceniza subordinada, color blanco a pardo amarillento claro (10YR 8/1 y 6/4). También hay fragmentos escasos y negros de obsidiana. En Patagonia, aparece en las mismas áreas que el Miembro Lago Mascardi, pero a menudo es muy fino o aún falta completamente.

Miembro Río Pereyra. La parte superior de este miembro es uno de los materiales formadores de suelos en el área estudiada. Se compone mayormente de lapilli y bloques. En las partes más orientales del área, la ceniza gruesa es dominante (Perfil 185). Contrasta fuertemente con el Miembro Río Blanco, debido a que los colores de todos estos depósitos piroclásticos son pardo rojizo oscuro a negro (5YR 2/2 y 2/1) y menos comúnmente rojizo oscuro a gris muy oscuro (5YR 3/2, 10YR 3/1).

Desde el Perfil 170 hasta el 179, contiene una capa de ceniza intercalada, con colores negros (10YR 2/1, 7.5YR 2/0). Debido tal vez al tamaño pequeño de sus granos, en esta capa de ceniza pudieron conservarse algunos relictos orgánicos como fragmentos de ramas carbonizadas en el Perfil 177 y otros. Hacia el oeste, en la zona con precipitaciones muy elevadas, los lapilli pueden también incluir lentes someros de ceniza ferruginosa poco endurecidos, con colores pardo rojizo (2.5YR 2/4).

—*Paleosuelo Angostura.* Ver: 4.3.

Miembro Lago Espejo. Consiste en depósitos de lapilli y cenizas muy distintivas y bien estratificadas. Las capas superiores son de color pardo oscuro a negro. Las inferiores, son pardo muy pálido a grisáceo. Estos depósitos están presentes en el sector noroeste del Lago Nahuel Huapi. El origen de la estratificación perfecta es todavía incierto.



Fig. 3. — Vista general a la altura del Perfil 171. El Miembro Lago Mascardi está enmascarado por el coluvio reciente. Todo el perfil tiene algo más de 10 m de espesor. 1) Miembro Río Pereyra; 2) Miembro Río Blanco; 3) Posición del Miembro Lago Mascardi.

De acuerdo con Auer (1950, p. 66, Fig. 12), “debería ser producido por agua”. Otra posibilidad podría ser que las cenizas de este miembro hayan sido acumuladas por una sucesión de erupciones relativamente pequeñas y repetidas, eventualmente depositadas bajo condiciones de lluvias muy fuertes y abundantes. En este sentido, actualmente para esta área, no son raras lluvias mensuales de alrededor de 700 a 900 milímetros, una o dos veces por año. Una capa fina regularmente disturbada podría indicar procesos de crioturbación, pero hay que notar, que las capas suprayacentes y el paleosuelo subyacente, permanecen sin disturbar.

—*Paleosuelo Correntoso.* El pie de los árboles del bosque actual, están regularmente asentados sobre este suelo enterrado. Después de estimar los anillos anuales de los troncos de dos árboles representativos, se conoce que la edad de este suelo es mayor de 200 años.

Miembro Arroyo Ancantuco.

Capa El Rincón. Muestra regularmente una buena selección por gravedad, con ceniza sobrepuesta a lapilli. Estos depósitos se originaron en la erupción del Volcán Los Azufres en el año 1921 (Staffen, 1921. Ver: Amer,

1950), según datos compilados a través de antiguos pobladores de la zona así como de los archivos del diario La Nación, desde el 14/12 al 25/12/21.

—*Horizonte orgánico enterrado.* Materia orgánica sin o parcialmente descompuesta. Se reconocen fácilmente, fragmentos de hojas y ramas.

Capa Lago Totoral. Ceniza volcánica originada en erupciones producidas inmediatamente después del terremoto que devastó la región del sur de Chile, durante el mes de mayo de 1960. Probablemente a partir del Volcán Puyehue, aunque también otros volcanes cercanos entraron simultáneamente en actividad. Información de pobladores de la zona y archivo del diario La Nación, día 25/5/60.

A través de las tefras descritas, y particularmente en las más modernas, existen evidencias de caídas de ceniza otras que las descritas, las que se despreciaron porque en esta zona son de muy débil expresión.

Resulta evidente también, que para el definitivo entendimiento de la correlación de estas cenizas con las fuentes de origen, deben realizarse trabajos en conjunto con investigadores chilenos.

4.2.2. *Capas de ceniza como indicadores.* Desde el perfil 185 hacia las regiones orientales, las capas de ceniza Lago Totoral y El Rincón aparecen en forma discontinua, pero siempre están presentes localizadas en mallines. El incremento en la *aridez y los vientos fuertes, remueven y mezclan* estos materiales. Sin embargo, es posible también, encontrarlos todavía "in situ" al pie o dentro de algunas plantas xerofíticas como *Mulinum spinosum* (Neneo), *Chuquiraga* sp., etc., porque estas plantas tienen una buena conformación para preservar estas capas de la erosión. Esto prueba que las regiones orientales están sujetas a procesos eólicos concentrados (Tricart, 1968). Los mallines, son también ambientes favorables para desarrollar horizontes engrosados, principalmente porque retardan el movimiento de las partículas o bien actúan como trampa para su captación. A la fecha de realizados nuestros controles, hemos comprobado engrosamientos arenosos superiores a 70 centímetros en 47 años entre las Capas El Rincón y Lago Totoral, y de unos 20 centímetros sobrepuestos a las cenizas de Lago Totoral (erupción de 1960), lo que implica una relación de acumulación de más de dos centímetros por años. El área de estos ejemplos, está localizada cerca de la estación del

ferrocarril de Clemente Onelli, a más de 130 kilómetros al este de la ciudad de San Carlos de Bariloche.

Hay todavía muchos otros problemas por resolver, con la probable ayuda de capas guías de ceniza como una herramienta. Por ejemplo, estas capas están comúnmente intercaladas a lo largo de todo el país, en suelos con distinto grado de edafogénesis. Además, algunos pocos datos informados por estudios previos (FAO, 1967, etc.) en la Provincia de Buenos Aires, a más de 1000 kilómetros de las montañas andinas, muestran que los fragmentos de vidrio componen alrededor del 60 por ciento de la fracción liviana de suelos Brunizen (Argiudoles y suelos asociados). En un trabajo reciente de Laya y Pazos (1975), y aunque todavía no se efectuaron los recuentos, los vidrios junto con las plagioclasas, se estima siguen en importancia a la presencia del cuarzo, en muestras de suelos sobre materiales loesoides tomadas a unos 10 kilómetros al Norte de la ciudad de Carmen de Patagones. En principio, parecen vincularse a las cenizas del Miembro Río Pereyra.

4.2.3 *Descripciones petrográficas.* Las descripciones que siguen están referidas a los perfiles números: 170-176-179.

4.2.3.1 *Miembro Arroyo Ancantuco.* Las Capas Lago Totoral y El Rincón, están formadas por depósitos de ceniza del tipo "vidrio". En secciones delgadas, los piroclastos consisten casi exclusivamente de vidrio incoloro con una textura pumícea bien desarrollada. La plagioclasa fragmentada es dominante. También hay algunos cristales de hiperstena, augita y opacos. Estos últimos están presentes en los fragmentos de vidrio o como granos aislados. En ambos casos, son escasos y gradan entre 0.5 a 1,5 mm. Las inclusiones de apatita y vidrio en las plagioclasas son muy comunes. Raramente, han sido observados fenómenos de desvitrificación en el vidrio, y están limitados a las paredes de algunas vesículas. Excepcionalmente, los depósitos de ceniza pueden contener algunos piroclastos masivos de vidrio. Estos últimos contrastan fuertemente con los otros fragmentos pumíceos, debido a sus colores parduzcos y formas subredondeadas. Usando la línea de Becke, los índices de refracción son siempre más bajos que el Bálsamo de Canadá.

4.3.2 *Paleosuelo Correntoso.* Aunque en este paleosuelo es dominante la ceniza vítrea con textura pumícea bien desarrollada, hay también una cantidad importante de vidrio

pardo oscuro, escasamente vesicular o aún completamente masivo. Esto último muestra a menudo esferulitas distintivas. En algunos casos, el vidrio es enteramente opaco. Como en el Miembro Arroyo Ancantuco, los fenómenos de desvitrificación están confinados a las paredes de las vesículas. Comparado con el miembro anterior, este paleosuelo exhibe la misma asociación mineral, pero hay un incremento en el contenido de fenocristales, microlitos y cristalitas. Ellos están localizados principalmente en fragmentos vítreos que gradan desde "cristal-vidrio" hasta "cristal". Las inclusiones de opacos en fenocristales, son comunes. Cristales de Olivina (Fosterita?) con indicios de alteración, están presentes raramente. El Perfil 185 muestra algunas diferencias, principalmente debido a la presencia de una cantidad creciente de fragmentos de rocas volcánicas con estructura pilotaxítica. Estos pueden ser de composición andesítica pero también traquítica. Los fragmentos de rocas plutónicas ácidas, también son comunes. En este último caso, excepto el cuarzo, los feldespatos y biotitas están meteorizados moderadamente.

4.2.3.3 *Miembro Lago Espejo*. Si efectuamos una evaluación de conjunto, a pesar de diferencias pequeñas entre las distintas capas que lo integran, muestra una similitud muy grande con el Paleosuelo Correntoso. Sus materiales tienen un porcentaje intermedio referido al contenido de cristales, con respecto al Miembro Arroyo Ancantuco y al Paleosuelo citado. Son semejantes a los anteriormente descritos en cuanto a que los cristales de hornblenda son raros y siempre se presentan como granos aislados o bien incluidos en fragmentos distintos que el vidrio. En la capa inferior, se perciben más cristales de olivina, localizados especialmente en fragmentos volcánicos holocristalinos pero también como granos incluidos en fragmentos de vidrio o aún aislados.

4.2.3.4 *Paleosuelo La Angostura*. Comparado con los miembros sobrepuestos, el Paleosuelo La Angostura muestra rasgos contrastantes. Está mayormente formado por depósitos de ceniza del tipo "cristal-vidrio". En sección delgada los piroclastos consisten de vidrio vesicular, dominante pardo muy oscuro a opaco. Los fenocristales agrietados de plagioclasa son frecuentes. Los cristales de olivina son también comunes, y la hiperstena, la augita y los opacos, son escasos. Los cristales están principalmente presentes en los fragmentos de vidrio y también como granos aislados. En ambos casos son comunes y con

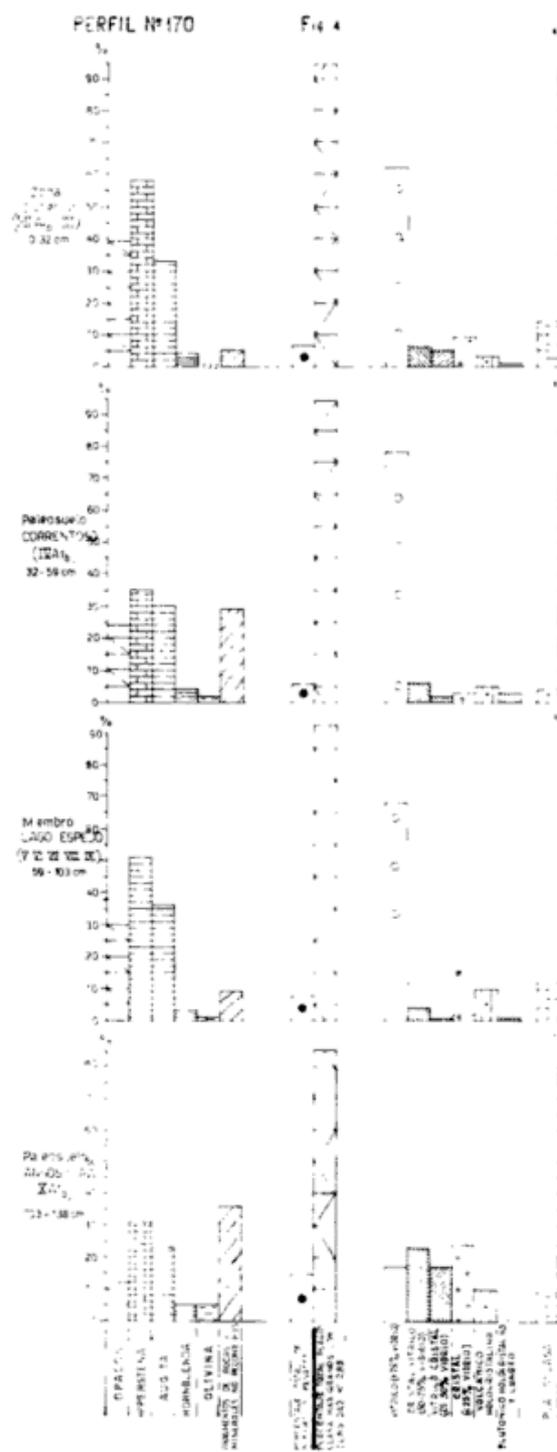


Figura 4

un tamaño medio de menos de un milímetro. Las inclusiones de vidrio en plagioclasas así como opacos en fenocristales diferentes, también son comunes. Los procesos de desvitrificación se han observado frecuentemente en las paredes de vesículas y también como esferulitas conspicuas. Hay también fragmentos de roca volcánica con textura pilotaxítica. Para el Perfil 185, son válidas las descrip-

ciones ya dadas en el Paleosuelo Correntoso (ver: 4.2.3.2). Al usar la línea de Becke, los índices de refracción son más altos que el Bálsamo de Canadá, excepto en escasas cenizas ricas en cristales incoloros o parduzco claros.

4.2.3.5 *Miembro Rio Pereyra.* Tiene en general la misma composición que el Paleosuelo La Angostura. Además de los fragmentos de roca volcánica hay exclusivamente piroclastos muy oscuros a opacos de "cristal-vidrio" y "vidrio-cristal". Debido al alto contenido de microlitos y cristalitos, fue difícil medir la línea de Becke, pero aparentemente los índices de refracción son mayores que en el Bálsamo de Canadá.

4.2.4. *Índice de refracción del vidrio.* La determinación de la composición del vidrio a partir del índice de refracción es, entre otros, un método para obtener una estimación rápida en el contenido de SiO₂. Por este motivo hemos utilizado muestras de las capas de Lago Totoral, El Rincón y del Miembro Lago Espejo y Paleosuelo Correntoso. Como ya se explicó, los depósitos subyacentes han incrementado el contenido de cristales. Así, es difícil o aún indetectable la dirección principal de la línea de Becke, en otros miembros que los especificados.

La Capa Lago Totoral tiene índices de alrededor de 1,504 y por lo menos 69 % de SiO₂ (ver: Moorhouse, 1959, p. 203). La Capa El Rincón muestra diferencias con el nombrado, oscilando en 1,509-1,510 y SiO₂ alrededor de 68,5 %. Finalmente, aún el Paleosuelo Correntoso y el Miembro Lago Mascardi proporcionan valores similares de alrededor de 1,505 a 1,506 con porcentajes intermedios en el contenido de SiO₂.

Estos resultados muestran un alto contenido de SiO₂, similar en todos los depósitos nombrados, de carácter consecuentemente ácido.

4.2.5. *Minerales pesados y livianos.* En las figuras 4, 5, 6, y 7, podemos ver los principales resultados sobre minerales pesados y livianos. En los diagramas comparativos se pueden destacar algunas diferencias. Aunque pocas capas individuales pueden mostrar diferencias relativamente marcadas en el porcentaje total de minerales pesados, entre 15% (170, VI-XA11b; 176, V-VII; 179, III) hasta menos de 3 % (170, III) en casos extremos, el porcentaje usual contenido, oscila entre 6 y 10 %.

Como los minerales pesados forman una fracción menor de todos los minerales, la

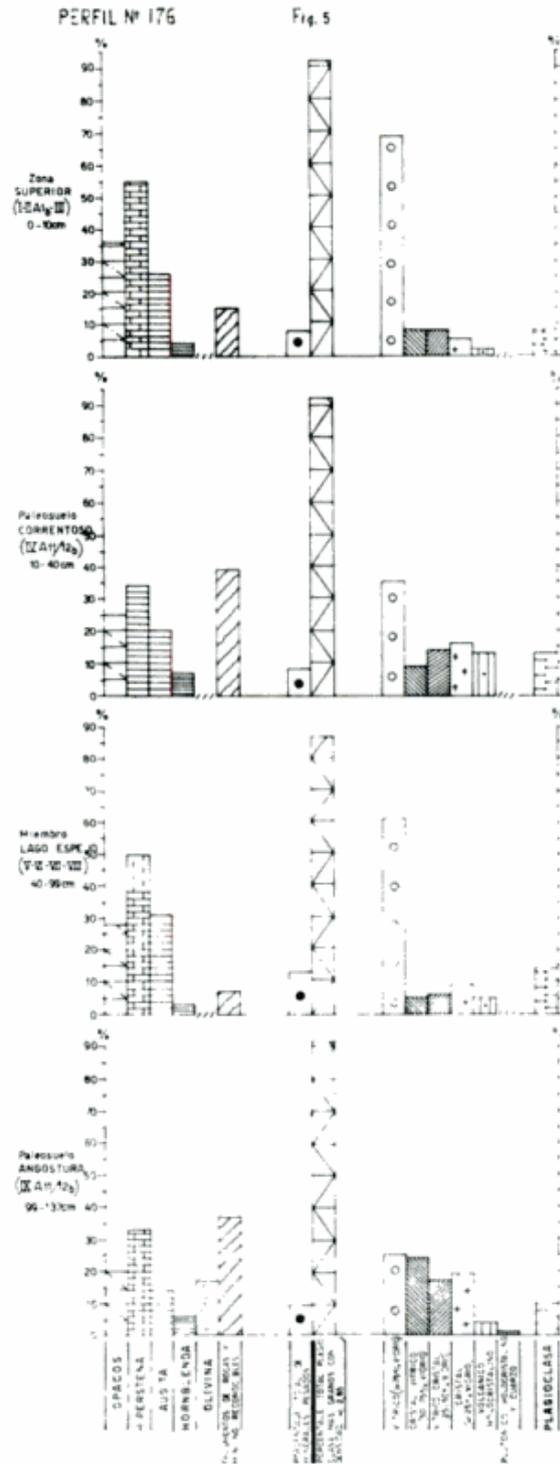
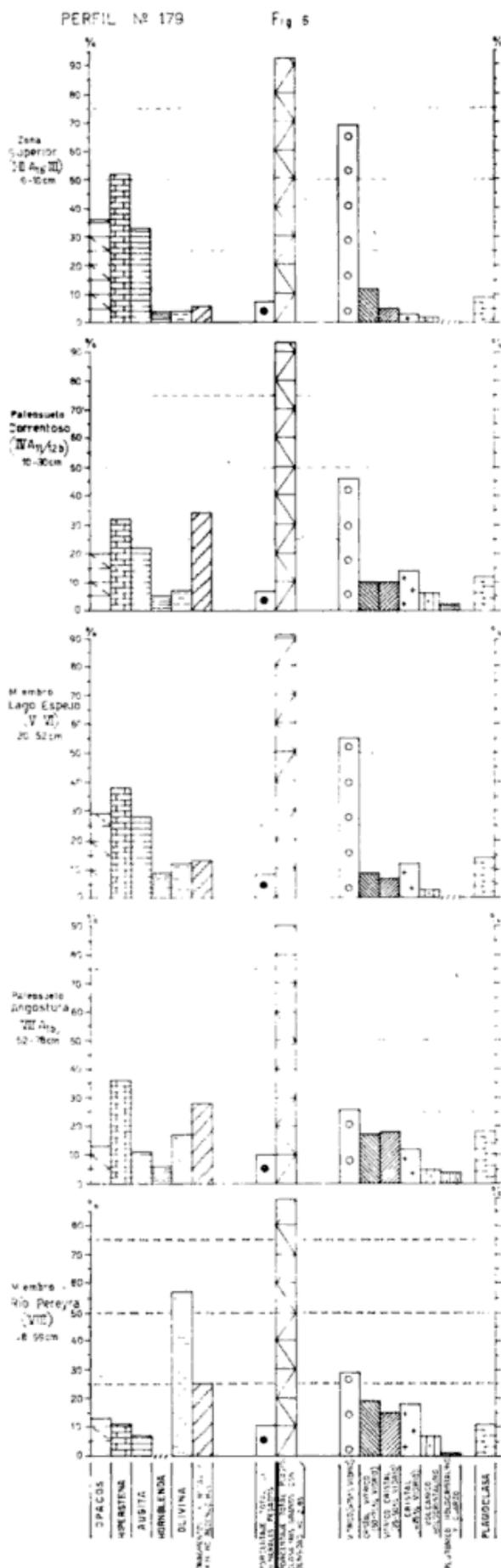


Figura 5

fracción de minerales livianos será más indicativa.

4.2.5.1 *Minerales pesados.* La composición de minerales pesados perceptibles es bastante simple: opacos, piroxenos (hiperstena, augita), anfíboles (hornblenda), olivina y los fragmentos que se designaron como "minerales no reconocidos y fragmentos de roca". Hay



que tener en cuenta que la hornblenda no ha sido detectada nunca en ningún tipo de piroclasto (ver: 4.2.3). Por esta razón, su presencia puede ser debida a contaminación a partir de otras fuentes que no sean las materias expelidas volcánicas.

En todos los perfiles, excepto en el 185, podemos correlacionar fácilmente el contraste vertical en la composición. En el último perfil hay leves diferencias verticales y no siempre se corresponde con los otros perfiles (170, 176, 179), que están estrechamente relacionados entre sí.

En los perfiles 170/76/79, los opacos son menos importantes, especialmente en el Paleosuelo La Angostura y en el Miembro Río Pereyra (el último sólo fue estudiado en el Perfil 179) donde sólo contienen entre 10 a 20 %. Por el contrario, en el Miembro Arroyo Ancantuco alcanzan un promedio de 30 a 40 %. El Paleosuelo Correntoso y el Miembro Lago Espejo tienen valores intermedios. De este modo, los opacos decrecen gradualmente en profundidad. Entre los transparentes, hiperstena y augita son dominantes, y el primero es bastante más alto que el contenido de augita. En el Miembro Arroyo Ancantuco es de alrededor del 30 % más y entre 5 a 20 % en los otros miembros y paleosuelos. En el Perfil 179, la olivina muestra un incremento gradual en profundidad que va de 0 a 5 % pero cuando se alcanza el Miembro Río Pereyra, se evidencia un cambio abrupto con un contenido de olivina más alto. Esto sugiere un medio de separación del Miembro Río Pereyra respecto de los miembros más jóvenes y es un argumento más que soporta las evidencias de los resultados de campo, donde ya se habían notado diferencias macroscópicas contrastantes. En ambos paleosuelos, Correntoso y La Angostura los "minerales no reconocidos y los fragmentos de roca", también tienen un aumento relativo, tal vez determinado por un incremento de los procesos de formación del suelo.

Con respecto al Perfil 185, los opacos también han disminuido en profundidad pero con porcentajes menos contrastantes. Los piroxenos mantienen sus proporciones con cantidades más bajas, y también son dominantes a través de todo el perfil. Hay una distribución más uniforme de hornblenda y olivina y también porcentajes más altos. Los "minerales no reconocidos" son bastante unifor-

Figura 6

Tabla III (◇)

	MIEMBRO LAGO TOTOTAL		MIEMBRO EL RINCON	
	Capa I Perfil 170	Capa I Perfil 176	Capa I Perfil 179	Capa III Perfil 170
SiO ₂	68.75	68.00	69.50	69.25
Al ₂ O ₃	13.78	14.00	13.78	14.00
Fe ₂ O ₃	4.63	5.04	4.63	4.55
FeO				
MgO	0.75	0.85	0.73	0.72
CaO	2.29	2.56	2.20	2.19
Na ₂ O	4.58	4.54	2.80	2.67
K ₂ O	2.82	2.55	0.64	0.64
TiO ₂	0.68	0.76	4.55	4.51
P ₂ O ₅	0.14	0.20	0.15	n.d.
MnO	0.12	0.13	0.12	0.12
H ₂ O+	0.78	n.d.	0.82	n.d.
H ₂ O—				
Totales	99.32	98.63	99.92	98.55

(◇) Laboratoristas J. Vanhende.

4.3 Características de los suelos

4.3.1 *Rasgos distintivos principales.* Hasta el Perfil 181, la morfología de suelos está caracterizada por una sucesión alternante de productos piroclásticos y suelos enterrados débilmente evolucionados. Los últimos también están compuestos exclusivamente por cenizas, pero con colores relativos mucho más oscuros, debido al incremento abrupto en el contenido de materia orgánica. Los colores son contrastantes entre cada capa u horizontes. La parte superior de los perfiles está integrada generalmente, con horizontes O1 y también O2 pobremente evolucionados. Las texturas son franco arenosas o más gruesas y raramente más finas. En las cenizas más antiguas (Miembro Lago Mascardi) se pueden apreciar propiedades tixotrópicas y una sensación levemente grasosa al tacto, probablemente debida a un enriquecimiento en el contenido de alofano.

Las capas de ceniza pueden formar una estructura masiva, pero más comúnmente de grano simple. La estructura alcanza a ser débilmente desarrollada en bloques subangulares medios, tanto en el paleosuelo Angostura como en el Correntoso, pero principalmente en el primero de los nombrados. Hasta aquí las raíces y raicillas tienen su mayor densidad, después se vuelven escasas o prácticamente ausentes debido al tamaño muy grueso de los materiales.

Si como siempre, comparamos los perfiles

diferentes desde el NO al SE, podemos decir que hasta el Perfil 177 los suelos están en un estado húmedo y aún mojado a través de todo el año. Los siguientes (178 a 181) se presentan húmedos a moderadamente húmedos. En la parte inferior del Miembro Lago Espejo hay una capa delgada (5 a 8 cm) y más compacta, con alto contenido de limo, por esta razón comúnmente se le sobrepone una capa de agua "colgada", débilmente desarrollada. En todos los perfiles, los horizontes de los suelos no muestran enriquecimientos iluviales.

Los paleosuelos Correntoso y La Angostura, se unen a la altura del Perfil 181, manteniendo las características ya mencionadas, hasta el Perfil 184.

Hay diferencias morfológicas fundamentales a partir del último perfil nombrado. Debido al incremento en la acción sólica, los horizontes sobrepuestos a la Capa Lago Totoral, son suelos (4 a 6 cm y más) y de textura arenosa. Además y debido al mismo proceso, el horizonte orgánico entre las capas Lago Totoral y El Rincón, ha sido reemplazado por un horizonte A1 engrosado. Los colores en la zona superior de cenizas son semejantes, pero los restantes son comúnmente pardo grisáceos muy oscuros (10YR3/2), pasando gradualmente en horizontes profundos a pardo o pardo oscuro (10YR 4/3 y 3/3), debido a la influencia de las cenizas del Miembro Lago Mascardi. Los suelos tie-

nen estructuras muy débiles y en horizontes superficiales y algunos subsuperficiales se presentan sin estructuras. En esta área, en lugar del sustrato rocoso, las cenizas se superponen y aún entremezclan a sedimentos glaciarios o fluvio-glaciarios. Por lo tanto, y asumiendo el avance de procesos erosivos debido al decrecimiento en la cobertura vegetal del bosque, comienza a destacarse otro rasgo distintivo, como es la presencia de fragmentos de rocas mezclados, principalmente compuestos por plutonitas ácidas con diferentes grados de meteorización. En la parte intermedia de los perfiles, aunque con espesor y tamaño menor y aún mezclados, los materiales del Miembro Río Pereyra son todavía claramente diferenciables.

4.3.2 Descripción de perfiles

4.3.2.1 Perfil número 170

- a. Información sobre el sitio
- a.1 — Clasificación: Udortente Thapto Andico
- a.2 — Localización: Latitud 40°41'S; Longitud 71°57'O. Portezuelo Puyehue (Chile), a menos de 3 kilómetros del límite con Argentina.
- a.3 — Clima: De acuerdo con Koppen (Ver: Tavernier, 1971), Cfc: templado; la temperatura media del mes más frío, es mayor que menos 3°C; continuamente lluvioso.
- a.4 — Vegetación: Bosque denso; *Nothofagus anctartica* (Ñire), *N. dombayi* (Cohihue), etc.
- a.5 — Elevación: Alrededor de 1.200 metros sobre el nivel del mar.
- a.6 — Posición en el paisaje: Ladera de valle. Parte inferior, gradiente 2 a 3 %.
- b. Información general sobre el suelo
- b.1 — Material originario: Depósitos piroclásticos (cenizas, lapilli, etc.).
- b.2 — Drenaje: Bien drenado. Capa de agua "colgada" sobrepuesta a capas VI y VII.
- b.3 — Condiciones de humedad: Totalmente húmedo a mojado.
- b.4 — Erosión: No se aprecia.
- c. Descripción del perfil
- 01 5-0 cm — Hojarasca
- I 0-10 cm — Gris claro (10YR 6/1); textura muy gruesa, sin estructura; muy friable; lapilli muy abundante, fino y grueso; raíces escasas; límite abrupto y suave.
- IIAlb 10-14 cm — Negro (10YR 2/1); demasiado contenido de materia orgánica para control de textura; bloques subangulares, medios, muy débiles; muy friable; lapilli común; raíces abundantes; límite claro y suave.
- III 14-32 cm — Pardo pálido (10YR 6/3) parte exterior, a gris claro (10YR 7/2) en el interior; muy grueso; sin estruc-

- tura; friable; lapilli muy abundante; raíces comunes; límite abrupto y suave.
- IVAlb 32-59 cm — Pardo muy oscuro (10YR 2/2); tamaño de arena media a fina; granular a bloques subangulares, finos, muy débiles; friables; lapilli común; raíces abundantes; límite abrupto y suave.
- V 59-77 cm — Pardo pálido (10YR 6/3); muy grueso; sin estructura; friable; lapilli muy abundante raíces muy escasas; límite abrupto y suave.
- VI 77-88 cm — Capa oscura; ceniza fina alternando con gruesa; masivo; muy firme; raíces muy escasas; límite abrupto y suave.
- VII 88-93 cm — Gris oliva claro (5Y 6/2); ceniza fina; masivo; muy firme; no hay o muy escasas raíces; límite abrupto y suave.
- VIII 93-98 cm — Gris claro (10YR 7/2); muy grueso; grano simple; muy friable; lapilli muy abundante; no hay raíces; límite abrupto y suave.
- IX 98-103 cm — Gris claro (10YR 6/-) parte externa, gris (5Y 5/1) en el interior; ceniza fina a gruesa; masivo; firme; lapilli escasos; no hay raíces; límite abrupto y suave.
- XAlb 103-138 cm — Pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2); arenoso franco; bloques subangulares, finos, débiles; friable; lapilli escaso, sin raíces; claro-suave.
- XI(◇) 138-173 cm — Pardo amarillento oscuro (10YR 3/4); muy grueso; sin estructura; muy friable; lapilli muy abundante; fragmentos de rocas escasos.

Nota: I: Capa Lago Totoral; II: Horizonte orgánico enterrado; III: Capa El Rincón; IVAlb: Paleosuelo Correntoso; V hasta IX: Miembro Lago Espejo; XAlb: Paleosuelo La Angostura; XI: Miembro Río Pereyra (parte superior).

4.3.2.2 Perfil número 176

4.322 — Perfil número 176

- a. Información sobre el sitio
- a.1 — Clasificación: Udortente Thapto Andico
- a.2 — Localización: Latitud 40°41'S; Longitud 71°46'O. Alrededor de 15 kilómetros al NO de la localidad de Villa La Angostura.
- a.3 — Clima: Bajo la clasificación de Koppen, el área tendría el Cfc: templado; temperatura del mes más frío, mayor que menos 3°C; continuamente lluvioso.
- a.4 — Vegetación: Bosque denso; *Nothofagus anctartica*, *Chusquea culen* (Coligue), etc.
- a.5 — Elevación: Alrededor de 920 metros sobre el nivel del mar.

(◇) No se dispuso de muestra durante esta parte del trabajo.

- a.6 — Posición en el paisaje Ladera de valle; parte baja a media, con menos de 3%.
- b. Información general sobre el suelo
- b.1 — Material originario: Depósitos piroclásticos (cenizas, lapilli, etc.).
- b.2 — Drenaje: Bien drenado.
- b.3 — Condiciones de humedad: totalmente a muy húmedo.
- b.4 — Erosión: No se aprecia.
- c. Descripción del perfil
- 01 2-0 cm — Hojarasca
- I 0-4 cm — Gris oscuro (10YR 4/1) a gris (10YR 5/1); arena gruesa; sin estructura; friable; lapilli muy abundante; raíces escasas; lim. abrupto-suave.
- IIA1b 4-6 cm — Pardo muy oscuro (10YR 2/2); arena media a fina; bloques subangulares, finos débiles; friable; lapilli escaso; raíces comunes; abrupto-suave.
- III 6-10 cm — Gris claro (10YR 6/1) a gris parduzco claro (10YR 6/2); matriz tamaño de arena; bloques subangulares, finos muy débiles; friable; lapilli muy abundante; raíces escasas; límite abrupto y suave.
- IVA11b 10-14 cm — Negro (10YR 2/1); arenoso franco; bloques subangulares, medios, moderados; friable; lapilli escaso; raíces abundantes; lim. claro y suave.
- IVA12b 14-40 cm — Pardo muy oscuro (10YR 2/2); arenoso franco; bloques subangulares, medios, débiles a moderados; friable; lapilli escaso; raíces abundantes; límite gradual y ondulado.
- V 40-49 cm — Pardo muy pálido (10YR 7/4) a gris claro (10YR 7/1); textura muy gruesa; sin estructura; lapilli muy abundante; raíces escasas; límite gradual y ondulado.
- VI 49-71 cm — Gris claro a oscuro (10YR 4/2, 3/1, 4/1, etc.); texturas interestratificadas desde arena fina hasta arena gruesa; sin estructura singenética: laminar gruesa); friable; límite abrupto y suave.
- VII 71-82 cm — Colores diferentes, desde blanco hasta casi negro (10YR 7/1, 4/1, 2.5TR 2/1, etc.); texturas interestratificadas desde arena fina hasta arena gruesa; estr. singenéticas laminar gruesa); friable; abrupto y suave. VII; lapilli escaso; no hay raíces; límite claro y suave.
- IXA11b 99-104 cm — Negro (10YR 2/1); arenoso franco; bloques subangulares, finos, débiles; friables lapilli escaso; no hay raíces; límite claro y suave.
- IXA12b 104-137 cm — Negro a pardo muy oscuro (10YR 2/1, etc.); arenoso a arenoso franco; bloques subangulares, finos, débiles; firme a friable; lapilli escaso; no hay raíces; límite claro y suave.
- 4.3.2.3 Perfil número 179
- a. Información sobre el sitio
- a.1 — Clasificación: Udortente Thapto Andino
- a.2 — Localización: Latitud 40°48'S; Longitud 71°37'O. Alrededor de 5 kilómetros hacia el Este de la localidad de Villa La Angostura.
- a.3 — Clima: Cae de la clasificación de Koppen; la temperatura del mes más frío en más alta que menos 3°C; verano seco.
- a.4 — Vegetación: Bosque denso. *Nethofagus anctartica*, *Libocedrus chilensis* (Ciprés), etc.
- a.5 — Elevación: Alrededor de 830 metros sobre el nivel del mar.
- a.6 — Posición en el paisaje: Ladera de valle; parte baja y media, gradiente 2 a 3%.
- b. Información general sobre el suelo.
- b.1 — Material originarios. Depósitos piroclásticos (cenizas, lapilli, etc.).
- b.2 Drenaje: Bien drenado.
- b.3 — Condiciones de humedad: totalmente húmedo.
- b.4 — Erosión: No se aprecia.
- c. Descripción del perfil
- 01 3-0 cm — Hojarasca.
- I 0-2 cm — Gris claro (10YR 7/1); arena fina; bloques subangulares, finos, muy débiles; muy friable; raíces escasas; lapilli abundante; abrupto y suave.
- IIA1b 2-5 cm — Pardo muy oscuro (10YR 2/2); franco con alto contenido de M.O.; bloques subangulares, medios, débiles; muy friables; raíces escasas; abto-ondul.
- III 5-10 cm — Gris pardusco claro (10YR 6/2); arena fina; grano simple; muy friable; raíces comunes; límite abrupto y suave.
- IVA11b 10-22 cm — Pardo oscuro (10YR 3/3); arenoso franco; bloques subangulares, finos, débiles; friable; lapilli escaso; raíces abund.; límite claro-suave.
- IVA12b 22-30 cm — Pardo (10YR 4/3); arena fina; bloques subangulares, finos, muy débiles; friable; lapilli abundante; raíces comunes; límite claro y suave.
- V 30-42 cm — Gris oscuro (10YR 4/1) a gris muy oscuro (10YR 3/1); arenoso franco; sin estructura; muy friable; lapilli y raíces escasas; abrupto y suave.
- VI 42-52 cm — Amarillo pálido (2.5Y 7/4) a gris parduzco claro (2.5Y 6/2); franco arenoso muy fino; sin estructura; friable; lapilli abundante; raíces escasas; límite abrupto y suave.
- VIIA1b 52-78 cm — Pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2); arenoso fino a arenoso franco; bloques subangulares, finos, débiles; firme a friable; lapilli escaso; no hay raíces; límite claro y ondulado.

- VIII 78-99 cm — Pardo oscuro (10YR 3/3); arena muy gruesa; sin estructura; friables; lapilli común; no hay raíces; límite abrupto y suave.
- IX(◇) 99-164 cm — Pardo rojizo oscuro (5YR 2/2), etc.; textura muy gruesa; lapilli muy abundante.

- VC2 56-82 cm — Pardo muy oscuro (10YR 2/2); arenoso muy fino; masivo y friable; lapilli fino común; raíces escasas; límite gradual y suave.
- VC3(◇) Pardo oscuro (10YR 3/); arenoso fresco; masivo y firme; raíces muy escasas; escasos fragmentos de rocas graníticas subredondeadas; límite gradual y suave.

4.3.2.4 Perfil número 185

- a. Información sobre el sitio
- a.1 — Clasificación: Ustortente Thapto Andico
- a.2 — Localización: Latitud 40°59'S; Longitud 71°21'O. Sector oriental del Brazo Huemul del Lago Nahuel Huapi, a unos 17,5 km al NNO de S.C. de Bariloche.
- a.3 — Clima: Csc, según la clasificación de Köppen; la temperatura del mes más frío es superior a menos 3°C; verano seco.
- a.4 — Vegetación: Bosque escaso, arbustiva y de estepa. *Maitenus bearis* (Maitén), *Libocadrus chilensis*, *Embothrium coccineum* (Notro), *Barberis* sp., etc.
- a.5 — Elevación: Alrededor de 840 metros sobre el nivel del mar.
- a.6 — Posición en el paisaje Al pie de ladera de valle; gradiente 3 a 4%.
- b. Información general sobre el suelo.
- b.1 — Material originario: Depósitos piroclásticos, mezclados parcialmente con otros materiales de origen eólico.
- b.2 — Drenaje: Bien a algo excesivamente drenado.
- b.3 — Condiciones de humedad: (A)-II, secos; IIIA1b, etc., moderadamente húmedos.
- b.4 — Erosión: Horizontes engrosados debido a la acción eólica. Susc. erosión eólica.
- c. Descripción del perfil
- (A) 0-3 cm — Pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2); arenoso franco; grano simple; suelto; raíces comunes; límite abrupto y ondulado.
- II(◇) 3-5 cm — Gris claro (10YR 6/1); arenoso muy fino; grano simple; blando; raíces escasas; límite abrupto y ondulado.
- IIIA1b 5-11 cm — Pardo muy oscuro a pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/1,5); arenoso franco; bloques subangulares, medios, débiles; friable; raíces abundantes; límite claro y ondulado.
- IV 11-15 cm — Pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2). Debido a la textura muy gruesa y a la mezcla con ceniza muy clara, resulta difícil describir color.
- VA1b 15-23 cm — Negro (10YR 2/1); arenoso franco a franco arenoso; bloques subangulares, finos, moderados; a débil; friable a firme; lapilli fino muy escaso; raíces muy escasas; límite claro y suave.
- VG1 23-56 cm — Pardo muy oscuro (10YR 2/2); arena muy fina; masivo y friable; lapilli común; escasas raíces; límite gradual y suave.

4.3.3 Análisis físicoquímicos

Los resultados de la granometría y físico-químicos componen cuatro tablas que no se acompañan por razones de espacio.

La granometría indica una textura uniforme general, oscilando principalmente entre franco arenoso a arenoso franco. Hay también unas pocas capas franco limosas. El Perfil 185 es de textura uniforme y totalmente franco arenosa. La fracción de arena es dominante, pero algunas veces la fracción de limo se torna importante en algún lugar o aún puede ser predominante. Los suelos son pobres en contenido de arcilla y no hay rasgos de iluviación distintiva; a pesar de este hecho, el contenido de arcilla generalmente muestra un leve incremento (1 a 3 %) en ambos paleosuelos: Correntoso y La Angostura.

El pH del agua generalmente oscila entre 4.9 a 6.5 como los valores extremos para todos los suelos, y el pH H₂O es siempre más alto que el pH/ClK. Los suelos son de medio a fuertemente ácidos, y ligeramente ácidos a través de todo el Perfil 185. Los perfiles 170/76/79, muestran un pH casi uniforme en sentido vertical, y en el Perfil 185 hay un leve incremento en profundidad (6 a 6.5). En sentido longitudinal, hay un incremento general de alrededor de una unidad desde el extremo Oeste al Este.

La C.I.C. es baja, oscilando entre 4 y 14 meq/100 gr de suelo. En sentido vertical y debido al incremento de materia orgánica y contenido de arcilla, nuevamente los valores más altos aparecen en los paleosuelos Correntoso y La Angostura. La C.I.C. también aumenta de Oeste a Este en la transecta. También se distingue una diferencia contrastante en saturación con bases de los paleosuelos (7-20 % término medio), respecto de los miembros vecinos (55-80 y aún más como término medio). Obviamente, la característica más contrastante es el contenido de materia orgánica entre los suelos

(◇) No se dispuso de muestra en el momento de realizar este estudio.

enterrados respecto de las capas de ceniza intercaladas. En el Perfil 185, la mayoría de estas características están atenuadas y aún en pocos casos invertidas. Como conclusión, los resultados del análisis fisicoquímico son interesantes al menos desde dos puntos de vista:

- a. — Como un medio para caracterizar cada una de las tefra y paleosuelos;
- b. — Para mostrar el efecto del clima en algunas de las propiedades fisicoquímicas.

Varios de los miembros pueden ser distinguidos basándose en las siguientes características que se resumen de las tablas de análisis fisicoquímicos. Desde el punto de vista granométrico, varios de los miembros muestran algunas diferencias. El Miembro Arroyo Ancantuco en general tiene un bajo contenido de arcilla, en limo y arena los contenidos son muy similares. En la fracción de arena, predomina la arena gruesa. El Paleosuelo Correntoso presenta un patrón similar, aunque las fracciones más finas de arena son ligeramente más altas. Al final de las secuencias, perfiles 179 y 185, estas diferencias se tornan menos marcadas debido a una posible intermezcla de los depósitos, principalmente en el último nombrado. El Miembro Lago Espejo muestra el contenido más bajo de arcilla entre todos los suelos estudiados, pero tiene un remarcable contenido elevado de limo. El Paleosuelo La Angostura tiene una composición granométrica diferente; hay casi una misma cantidad de todos los tamaños de fracciones. El Miembro Río Pereyra, que ha sido estudiado sólo en el Perfil 179, tiene una textura altamente contrastante como se aprecia por el contenido muy elevado de arena gruesa. Estas conclusiones sobre la granometría, surgen además, de histogramas que tampoco se incluyen por razones de espacio.

El pH, en general no muestra muchas variaciones entre los distintos depósitos, aunque se puede notar un decrecimiento leve en los suelos enterrados. Lo mismo ocurre con la saturación con bases, pero en una forma más notable. Las propiedades del intercambio catiónico de los depósitos, pueden mostrar también, diferencias contrastantes. Algunas de ellas se indican en la Tabla 3 bis, para los perfiles 170 y 176 (en Meq/100 gr de suelo).

Tabla III bis

Unidades	Perfil 170	Perfil 176
Miembro Arroyo Ancantuco	3.9	3.9
Paleosuelo Correntoso	9.7	10.8
Miembro Lago Espejo	1.8	1.5
Paleosuelo La Angostura	7.8	10.0

Con el propósito de ilustrar las diferencias arriba mencionadas, no se han incluido los horizontes orgánicos muy someros.

Como se han extraído muestras de perfiles en áreas con diferencias marcadas en precipitación, ciertas propiedades del suelo mostrarán cambios distintivos. Pero como los perfiles mismos son heterogéneos en un sentido vertical (debido a la diferencia de edad y composición mineralógica), será difícil comparar los perfiles como un todo. Por esta razón, sólo se ha empleado el Paleosuelo Correntoso para mostrar la influencia de las diferentes precipitaciones. Esta unidad ha sido seleccionada debido al hecho de que está presente en todos los perfiles. La C.I.C. de este horizonte, aunque la textura permanece prácticamente igual, muestra un incremento gradual en las áreas más secas, en alrededor de 9,7 Meq/100 gr de suelo a 12 Meq/100 gr de suelo. Otras dos propiedades, que son directamente dependientes de la precipitación, muestran cambios notables. La primera es la saturación con bases, que es inferior al 20 % en los tres perfiles con regímenes de humedad Udico a Perudico. En el Perfil 185, sin embargo, que tiende a estar en un régimen de clima Ustico, la saturación en bases de este suelo enterrado llega a más del 50 %. Estos cambios de la saturación en bases se repiten también en los cambios de pH, que oscila entre 4.9 a 6.2. El complejo de intercambio varía desde la saturación con Hidrógeno, a un caso en el que el Calcio se vuelve muy significativo. El Magnesio también muestra una leve tendencia a aumentar, cuando la precipitación es más baja.

De estas consideraciones, resulta obvio que el uso de información fisicoquímica para caracterizar los distintos depósitos, se vuelve bastante complicado.

4.3.4 Clasificación

La clasificación de estos perfiles presenta bastante problema por varias razones:

- a. Estos depósitos son muy recientes;

- b. Muchas capas de ceniza, que han sido caracterizadas geológicamente, están superpuestas como discontinuidades litológicas;
- c. La presencia de suelos enterrados, que han sido considerados como paleosuelos.

Debido a que los depósitos superficiales son muy recientes, no se pueden correlacionar con los Andosoles de los Japoneses y tampoco con los Andepts de la Séptima Aproximación. En consecuencia, éstos han sido considerados como suelos muy recientes y clasificados en la 7ª Aproximación como Entisoles. A un nivel de Suborden, al vez puedan estar bien entre los Ortentes. Como prevalece una diferencia climática, aquellos de los regímenes húmedos Udico y Perudico han sido considerados como pertenecientes al Gran Grupo de los Udortentes, mientras que el Perfil 185 ha sido colocado entre los Ustortentes. Considerando la 7ª Aproximación al nivel de Subgrupo, existen dos alternativas: Típica o Andica. La Séptima Aproximación establece varios requerimientos para un subgrupo Andico que necesita más trabajo analítico. Como estos no fueron hechos en el presente estudio y más aún, los depósitos de ceniza más superficiales son muy recientes, los suelos no pudieron ser considerados como pertenecientes al Subgrupo Típico. Asimismo, como hay distintos paleosuelos con propiedades ándicas, los suelos pudieron finalmente ser mejor clasificados como: *Udortente Thapto Andico* (perfiles 170/76/79) y *Ustortente Thapto Andico* (P. 185).

4.3.5 *Fertilidad*. En el trabajo de Monteith y otros (1969), se incluyeron muestras de los cuatro perfiles presentados aquí, para realizar algunos estudios preliminares sobre el problema de la fertilidad. Sus resultados muestran una respuesta favorable al Fósforo en los perfiles 170, 176 y 179. El Perfil 185, debido tal vez a su mayor distancia de las fuentes volcánicas y/o por contaminaciones originadas en acciones cólicas, también muestra una respuesta notable al Azufre.

El balance catiónico ideal del complejo del suelo: Ca/Mg/K del 75/18/7, es casi alcanzado con cifras de 75/13/10 para el Perfil 170, y 76/12/12 para el Perfil 176; hay sin embargo una leve deficiencia en Magnesio. Esta deficiencia en Mg está aún mejor expresada en los perfiles números 179 y 185.

4.3.6 *Problemas prácticos*. Toda la transecta está incluida en la región que compren-

de el Parque Nacional Nahuel Huapi. De acuerdo con la información proveniente de las características mencionadas recientemente, en las secciones 2.4 y 4.3.1, y sumando la experiencia recogida en el trabajo de campo, se concluye que existe una susceptibilidad alta a la erosión, principalmente por el agua en áreas con porcentaje elevado de precipitaciones. A pesar de esto, no hay prácticamente indicios de erosión a partir de las áreas occidentales y hasta las cercanías del Perfil 185. La razón principal es muy probablemente debida, al control que ejercen las autoridades del Parque Nacional. Con todo esto, por una u otra razón, la deforestación se torna cada vez más importante en nuestros días. Desde este punto de vista, es necesario agregar que la deforestación sin un programa debidamente planificado de conservación del suelo, tendrá en esta región consecuencias extremadamente peligrosas.

5. Conclusiones

Los resultados petrográficos y mineralógicos de los perfiles estudiados muestran una correlación completa, principalmente en lo que se refiere a los límites estratigráficos entre cada tefra o miembro propuesto, que forman en su conjunto los depósitos piroclásticos de la Formación Río Pireco. Los mismos resultados se obtuvieron del análisis fisicoquímico comparativo para certificar la presencia de paleosuelos intercalados. Los depósitos más modernos, como el Miembro Arroyo Ancantuco (Capas Lago Totoral y El Rincón) y el Miembro Lago Espejo, están dominados por cenizas volcánicas ácidas del tipo "vidrio", riodacíticas. Por el contrario, el Miembro Río Pereyra muestra cenizas más básicas con un alto incremento en el contenido de cristales incluidos. Debido a sus composiciones mineralógicas, el Paleosuelo Correntoso está vinculado con el Miembro Arroyo Ancantuco y el Miembro Lago Espejo, y el Paleosuelo La Angostura al Miembro Río Pereyra.

Los suelos en general y también los paleosuelos están desarrollados débilmente, con texturas franco arenosas dominantes. La materia orgánica, el contenido de arcilla, el pH, la C.I.C., la saturación en bases y la presencia de diferentes cationes, también muestran variaciones distintivas tanto en el sentido vertical como en el longitudinal. Esto último puede ser debido a la presencia de suelos enterrados intercalados con los depó-

sitos de piroclastos, o bien por el cambio de precipitaciones, con cantidades muy altas hacia el Oeste de la transecta comparado con un decrecimiento abrupto en los perfiles orientales.

6. Agradecimientos

Estoy profundamente agradecido al Profesor C. Sys y al Dr. H. Eswaran por asistirme y brindar críticas valiosas, en todas las etapas de preparación de este trabajo. También aprecio con gratitud especial la ayuda recibida por el Dr. P. De Paepe en los estudios petrográficos.

También aprovecho la oportunidad para expresar mi especial gratitud al Profesor R. Tavernier y miembros de su equipo en el International Training Centre for Post Gra-

duate Soil Scientists, Gante, Bélgica, por el curso excelente ofrecido, así como por asistirme en una u otra oportunidad durante mi programa de investigación.

No puedo olvidar al Profesor Dr. N. Monteith (University of New England, Australia), quien sugirió las ideas iniciales para este estudio, así como su asistencia continua durante y después del trabajo de campo.

Quedo reconocido al Ing. Nava quien me proveyó los datos meteorológicos de la localidad de El Rincón, coleccionados personalmente por él, y también a los técnicos del Parque Nacional Nahuel Huapi por la estimación de los anillos anuales de árboles.

Finalmente, estoy extremadamente agradecido al INTA, EERA Bariloche y a la Office de la Cooperation au Développement", Bélgica, quienes financiaron el estudio presente en sus distintas etapas.

Lista de trabajos citados en el texto

- Auer, V., 1950. Las capas volcánicas como base de la cronología postglacial de Fuegopatagonia. Rev. Inv. Agr. III (2): 49-208; y Publ. 9, INTA, ISA, Bs. As.
- 1956. The Pleistocene of Fuego-Patagonia. Part I: The ice and interglacial ages, Ann. Ac. Sci. Fennicae, S.A., III, Geologica-Geographica.
- Bailey, E. H. and Stevens, R. E., 1960. Selective stining of K-geldspars and plagioclase on rock slabs and thin sections. Am. Mineralogist 45: 1010-1025.
- Cabrera, A. J., 1956. Esquema fitogeográfico de la República Argentina. R.M.L.P., VIII, Bot. 33.
- Comité Argentino de Nomenclatura Estratigráfica, 1972. Código de Nomenclatura Estratigráfica. Asoc. Geol. Arg., Serie "B" (Did. y Compl.), nº 2, Bs. As.
- Eswaran, H., 1970. Pedogenesis of basaltic soils in tropical areas. Univ. of Ghent, D. Sc. Thesis. F.A.O., 1967. Meeting of the Soil Correlation Committees for South America. Held in Buenos Aires.
- Fisher, R. V., 1966. Rocks composed of volcanic fragments and their classification. Earth Sc. Reviews, 1: 287-298.
- Laya, H. A., 1969a. Cartografía expeditiva de suelos y sus relaciones genéticas. Zona de Río Pico y área de influencia. Chubut. Actas Va. R.A.C.S., Santa Fe.
- 1969b. Cartografía de los principales grupos de suelos y sus relaciones genéticas. Región de Trevelín-Esquel, Chubut. Actas Va. R.A.C.S., Santa Fe.
- 1969c. Cartografía de los principales grupos de suelos y sus relaciones genéticas. Región de Junín y San Martín de los Andes (Neuquén). Actas Va. R.A.C.S., Santa Fe.
- 1969d. Cartografía expeditiva de los suelos del valle del Río Manso Superior (Río Negro). Actas Va. R.A.C.S., S. Fe; RIA, S.3, V. VIII, 4 (1971), Bs. As.
- 1971. Unidades litoestratigráficas y paleosuelos asociados en los depósitos piroclásticos del NO de la Patagonia. En "Resúmenes", V Congr. Geol. Arg.
- 1975. Algunos ejemplos del control de los materiales originarios sobre la edafogénesis en la Patagonia y Tierra del Fuego. En "Resúmenes", de la 7ª R.A.C.S., B.Blanca. Trabajo completo en prensa.
- Laya, H. A. et. al., 1970. Relevamiento semidetallado de los suelos con fines de riego en el área de El Bolsón y Mallín Ahogado, Río Negro. Resumen en F.A.O. En "Resúmenes" de la 7ª R.A.C.S., B.Blanca. Trabajo completo en prensa.
- Laya H. A. y Pazos, M.S., 1975. Horizontes B2t discontinuos. Estudio Micromorfológico. I: Extremo Sur del Partido de Patagones, Bs. As. En "Resúmenes" de la 7ª R.A.C.S., B.Blanca. Trabajo completo en prensa.
- Monteith, N. y Laya, H. A., 1970. Estado actual y programa general de la cartografía y clasificación de los suelos en la Patagonia. Actas 6ta. R.A.C.S., en Rev. Agr. del NO. Argentino, Un. Nac. Tucumán, Fac. Agr. y Zoot., V. VII (1-2).
- Monteith, N. et. al., 1969. Resultados de ensayos de invernáculos para orientación de deficiencias minerales en suelos de la Patagonia. Actas 5ta. R.A.C.S. S.Fe.
- Moorhouse, W. W., 1959. *The study of rocks in thin sections*. Harper & Broth., N.Y.

- Salmi, M., 1941. Die postglazialen eruptionsschichten Patagoniens und Feurlands. Ann. Ac. Sc. Fennicae, A., Helsinki.
- Tavernier, R., 1971. Lectures on Climatology Classification, I.T.C., Ghent, Belgium.
- Tricart, J. L. F., 1968. Geomorfología y Edafología, ISA, INTA, Bs. As.
- U.S.D.A., Soil Survey Staff, 1951. *Soil Survey Manual*, Handbook 18, Mayo 1962.
- 1967. *Soil Classification, a comprehensive System, 7th Approximation*. Dep. Agr., Washington, y anexos hasta marzo de 1967.
- Vucetich, C. G., 1968. Soil age relationships for New Zealand based in tephrochronology. Trans., 9th Int. C. S. Sc., IV: 121-129, Australia.
- Vucetich, C. G. and Pullar, W. A., 1973. Holocene tephra formations erupted in the Taupo Area, and interbedded tephras from other volcanic sources. New Zealand Soil Bureau Publication 677. Repr. from New Zealand J. of Geol. and Geoph., 16 (3).
- Wentworth, Ch and Williams, H., 1932. The classification and terminology of the pyroclastics rocks. Bull. Nat. Res. Council, 89: 19-53.
- Williams, H., Turner and Gilbert, 1954. *Petrography. An introduction to the study of the rocks in thin sections*; S. Francisco, U.S.A.
- Yamanka, K. et. al., 1964. Volcanic ash soils in Japan. Min. Agr. For. Japanese Governm.

Recibido: diciembre 18, 1975; noviembre 30, 1976.

**NUEVAS PUBLICACIONES ESPECIALES
DE LA
ASOCIACION GEOLOGICA ARGENTINA**

Serie "B" (Didáctica y complementaria)

Nº 4

**CATALOGO DE EDADES RADIMETRICAS DETERMINADAS PARA LA
REPUBLICA ARGENTINA. II AÑOS 1974-1976 y
CATALOGO DE EDADES RADIMETRICAS REALIZADAS POR INGENIEROS Y
SIN PUBLICAR**

E. Linares

En preparación:

Serie "A"

Monografía Nº 2

ROCAS PIROCLASTICAS. INTERPRETACION Y SISTEMATICA

M. E. Teruggi, M. M. Mazzoni, L. A. Spalletti y R. R. Andreis

Monografía Nº 3

**GEOLOGIA DE LA REGION DE SAN CARLOS DE BARILOCHE. UN
ESTUDIO DE LAS FORMACIONES Terciarias
DEL GRUPO NAHUEL HUAPI.**

F. González Bonorino

ACERCA DE LA PALEOGEOGRAFIA NEOCOMIANA EN LA REGION AL SUR DE COPIAPO, (Provincia de Atacama - Chile)

EDUARDO ABAD ESCOBAR

Instituto de Investigaciones Geológicas de Chile.

Resumen

Un cambio de facies representado por una relación de engranaje de rocas sedimentarias calcáreas marinas con rocas volcánicas y sedimentarias continentales que ocurre en la región de Copiapó permite bosquejar un esquema paleogeográfico para el Neocomiano que indica:

1. Una zona volcánica andesítica al oeste emplazada sobre un alto fondo marino de la cual centros eruptivos, algunos de ellos determinados en mapeos geológicos de la región, habrían formado un archipiélago de islas pequeñas de dirección general NS y la presencia de una tierra emergida baja, quizás una isla mayor, en la zona de Copiapó al norte.

2. Una zona sedimentaria marina marginal al este con una posible línea de costa oriental ubicada aproximadamente en la longitud 70°W con una dirección aproximada NNE limitada por tierras emergidas constituidas por rocas pertenecientes al sistema Jurásico.

Es un intento de actualización de los esquemas anteriores considerando informaciones recientes.

Introducción

En el levantamiento geológico regional, escala 1:100.000, de 3.600 km² de una zona ubicada entre las ciudades de Copiapó y Vallenar, provincia de Atacama, latitudes 28°S y 28°30'S y longitudes 70°W y 70°45' W, en el extremo sur del Desierto de Atacama, (Fig. 1), se mapeó una franja de 29 km de largo por 5 a 20 km de ancho de rocas estratificadas correspondientes a la serie neocomiana, comprendida en una franja mayor que va desde el NE de la ciudad de Copiapó hacia el S hasta La Serena, 300 km aproximadamente, de rumbo NNE constituida principalmente por sedimentos calcáreos marinos con intercalaciones de rocas volcánicas continentales.

Un análisis general de la distribución de estas rocas y considerando estudios de otros investigadores en zonas adyacentes correspondientes a la misma franja de afloramientos han permitido hacer algunas reflexiones sobre

Abstract

The intertonguing relationship of some facies changes in marine calcareous sedimentary rocks with continental sedimentary and volcanic rocks, which occurs in the Copiapó region, allow to outline a paleogeographic sketch for the Neocomian times, as follows:

a) An andesitic volcanic zone to the west, seated on a high ocean floor from which eruptive centers, some of them determined by geological mapping of the region, would have formed an archipelago of small islands trending north-south, and the presence to the north of a low emerged land, perhaps a major island, in the Copiapó zone.

b) A marginal marine sedimentary zone to the east, with a possible eastern shoreline, approximately located at 70° W longitude with an approximate NNE trend limited by emerged lands constituted by Jurassic rocks.

A tentative reinterpretation of the old schemes, is made based on the new facts.

la paleogeografía neocomiana en los alrededores de la ciudad de Copiapó y hacia el sur. Debido a la falta de estudios de facies detallados, las ideas esbozadas aquí se plantean como una hipótesis de trabajo para el Neocomiano de la provincia de Atacama.

Geología General del Neocomiano de Copiapó

La serie neocomiana entre las latitudes 27°S y 28°S está constituida por sedimentitas calcáreas marinas, principalmente calizas, y vulcanitas y sedimentitas continentales que se han agrupado en 2 unidades geológicas mayores: Grupo Chañarcillo (Segerstrom y Parker, 1959; Segerstrom y Ruiz, 1962), y Formación Bandurrias (Segerstrom, 1960a).

El grupo Chañarcillo está constituido por 5 formaciones: Punta del Cobre (Segerstrom

y Ruiz, 1962), Abundancia, Nantoco, Totoralillo y Pabellón (Biese Nickel, 1942; Corvalán 1955 y 1974), y representa las facies marinas del neocomiano en la región estando constituida por: en la base lavas, algunas aparentemente submarinas, con intercalaciones sedimentarias, calizas, areniscas, calizas arcillosas, intercalaciones de ftanita y pedernal, conglomerados y brechas hacia la parte superior. Se le ha asignado una edad valanginiana superior a barremiana y quizás aptiana por estudios paleontológicos (Biese, *op. cit.*; Tavera, 1956; Corvalán, *op. cit.*). Su espesor es de 2.000 m aproximadamente (Corvalán, *op. cit.*).

La Formación Bandurrias está constituida por lavas y brechas volcánicas de composición variable entre andesita y traquita de sodio con locales intercalaciones sedimentarias calcáreas y en la parte superior abundantes capas de arenisca roja que localmente tiene estratificación cruzada, con espesores variables entre 3.000 m al noreste de Copiapó, y 0 m en lugares donde se acuña (Segerstrom, 1960. a.). Presenta una relación de engrane en todos sus niveles estratigráficos con el grupo Chañarcillo que representa un cambio de facies lateral marino a continental hacia el norte y hacia el oeste de Copiapó, (Segerstrom, 1960. a y 1963.a), superponiéndose en algunos casos la facies continental a la marina. Se le asigna una edad valanginiana a aptiana o algo más joven por estudios paleontológicos y correlaciones (Segerstrom, *op. cit.*). En algunos de los estratos marinos intercalados se encontraron ammonites correspondientes a *Paracrioceras andinum* (Gerth), entre otros fósiles de menor importancia, que indica una edad hauteriviana. Representa las facies continentales del Neocomiano.

Geología del Neocomiano entre las latitudes 28°S y 28°15'S (Fig. 1).

Las rocas estratificadas neocomianas de esta área afloran en una franja de rumbo NNE de importante continuidad geográfica, lo que sumado a su esquema estratigráfico ha permitido la correlación de las unidades establecidas con las definidas más al norte en Copiapó. El hallazgo de algunos fósiles y las correlaciones autorizan a asignarle con mucha seguridad las edades correspondientes. Presentan la siguiente distribución estratigráfica *generalizada* de abajo hacia arriba, (Fig. 2 y 3):

- a₁ Andesitas, riolitas, brechas andesíticas y riolíticas y conglomerados. Su-

prayera una interstratificación de andesitas, brechosas algunas con calizas oscuras en un engrane que representa un cambio de facies desde el oeste al este desapareciendo las vulcanitas en esa dirección y hacia arriba transformándose en una secuencia de calizas. Tiene un espesor estimado superior a 1.000m. Corresponde al engrane de la Formación Bandurrias con las Formaciones Punta del Cobre, Abundancia y Nantoco.

- a₂ 1.000 m de andesitas, andesitas brechosas y tobas brechosas con clastos andesíticos. Se correlaciona a la Formación Bandurrias.
- a₃ 1.150 m de calizas y areniscas calcáreas con una fauna de equinodermos, pelecípodos, foraminíferos, briozoos y braquiópodos. Es notable el desarrollo de brechas con cemento calcáreo y clastos andesíticos subangulares de tamaño medio en la base y brechas con cemento calcáreo y clastos de calizas en el techo. Ocasionalmente intercalaciones de pedernal. Se correlaciona con las Formaciones Abundancia y Nantoco, aquí es denominada sólo Formación Nantoco.
- a₄ 200 m de calizas arcillosas con algunas intercalaciones de rocas andesíticas verdes. Se correlaciona con la Formación Totoralillo.
- a₅ 800 m de calizas y areniscas calcáreas con intercalaciones de lutitas verdes en la parte superior, pedernal en la base y hacia arriba. Tiene una fauna constituida por *Pecten* y *Agria* (*Agriopleura*) común en el Barremiano de la Formación Pabellón de Copiapó. Se correlaciona a dicha formación. La base de esta serie no está expuesta y el techo se encuentra truncado por la discordancia del Cretácico superior (Formación Cerrillos).

En la zona noroeste del área y relacionado a las rocas volcánicas en el sector donde se evidencia el engrane con las calizas, Cerro Pajaritos, (Fig. 1) las andesitas no tienen estratificación, excepto algunos contactos irregulares y difusos, están en parte silicificadas, biotizadas, albitizadas, sericitizadas, cloritizadas y alteradas a calcita, y cruzadas por filones irregulares de microdiorita, andesita y pórfidos dioríticos. Estas rocas se han correlacionado con otras similares detectadas por sondeos efectuados en el yacimiento

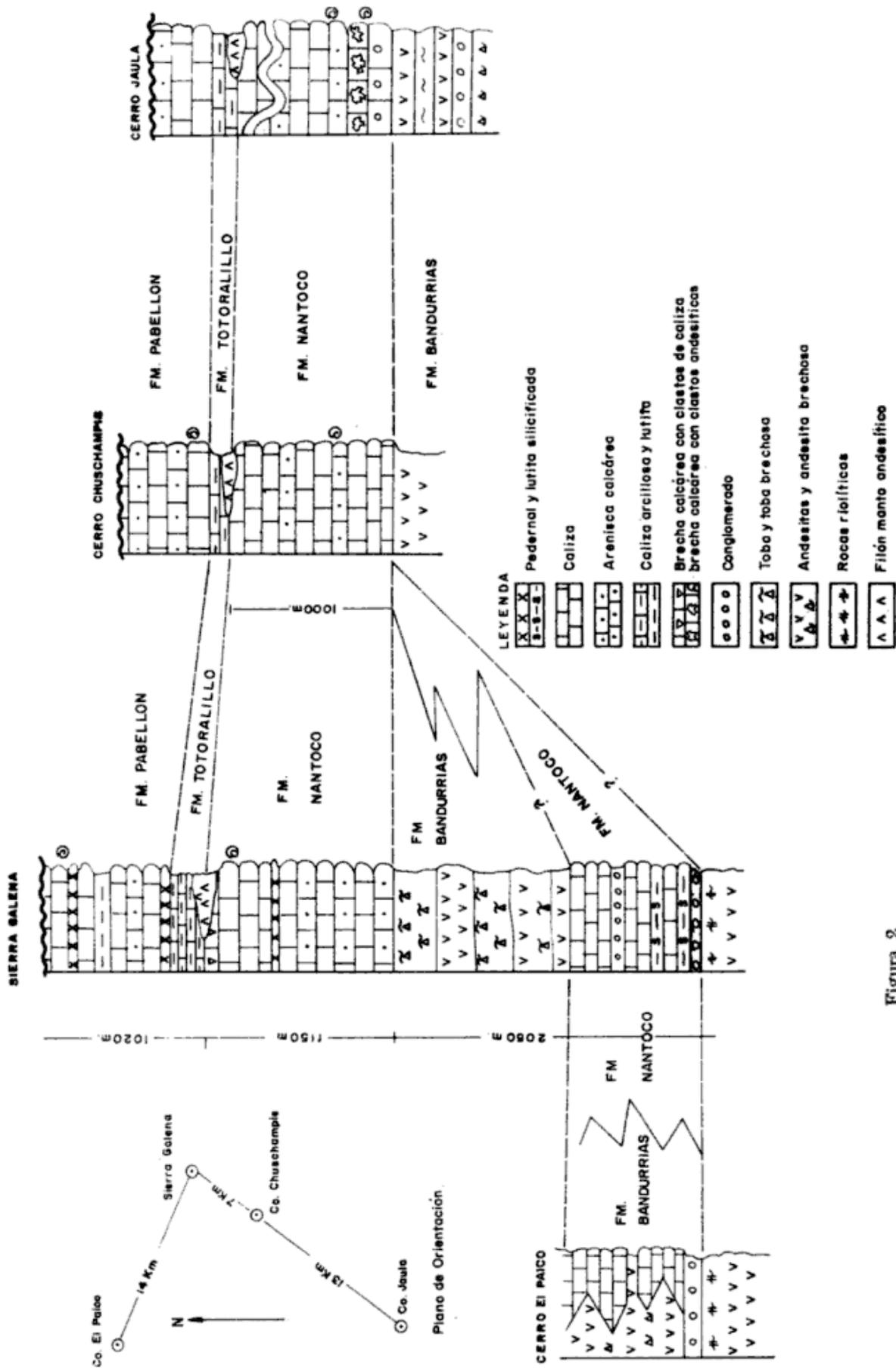


Figura 2

de hierro Boquerón Chañar 5 km más al sur e interpretado como intrusivos de poca profundidad relacionados a los centros efusivos de las lavas de esta edad (A. Moraga, en Ortiz, Moraga y Rivadeneira, 1969), interpretación compartida por el autor del presente trabajo.

Hacia el sur del Cerro Pajaritos, sobresalen al relleno aluvial que forma el Llano de Algarrobal, como altos topográficos formando pequeñas lomas, afloramientos de rocas ígneas correspondientes a pórfidos tonalíticos, microdioritas y andesitas porfídicas alterados y sin estructuras visibles que se interpretan como intrusivos subvolcánicos relacionados a centros efusivos de las vulcanitas neocomianas semejantes al Cerro Pajaritos.

Los estratos neocomianos están intruidos por un complejo diorítico-tonalítico del que 2 dataciones K/Ar dieron $95,5 \pm 1,5 \times 10^6$ y $106,9 \pm 1,7 \times 10^6$ años que lo ubica en el Turoniano, (Farrar, Clark, *et al.*, 1970).

La estructura general es monoclinial variando los manteos entre 0° y 35° al E y los rumbos se acercan idealmente a NNE.

Hay 2 direcciones de fracturamiento NW y NE, siendo ésta la de mayor importancia ya que grandes fallas normales de este sistema dieron origen a una cuenca estructural, Llano de Algarrobal, donde se encuentra situado el yacimiento de hierro Boquerón-Chañar encajado en rocas volcánicas bajo 300 m de aluvio.

Condiciones de depositación y paleogeografía. Discusión.

Las litofacies y biofacies observadas en la serie indican una asociación de plataforma de poca profundidad. Una actividad volcánica prevalanginiana formó la base de la serie y fue seguida por una depositación de bancos de carbonatos en un ambiente infralitoral a circalitoral de lecho inestable en una cuenca marginal (según Krumbein y Sloss, 1969, capítulo 13). La sedimentación se producía hacia el este mientras en el oeste se mantenía la actividad volcánica.

Los afloramientos correspondientes a los centros efusivos siguen una línea de sensible orientación NS a NNE, (Fig. 1), continuando hacia el sur entre las latitudes $28^\circ 15' S$ y $28^\circ 30' S$, Cuadrángulo Estación Chacritas (Conn, 1974), su relación espacial con el sector donde se evidencia el engrane que indica el cambio de facies insinúa una línea

de costa de igual dirección que debe bosquejarse aproximadamente en la longitud $70^\circ 40' W$. Habría estado interrumpida en algunos lugares continuando el ambiente marino hacia el oeste considerando que no hay evidencias de que los centros efusivos estuvieran en una tierra continua ya que todo vestigio de rocas neocomianas hacia el occidente ha sido erosionado de aquí al norte y al sur del paralelo $28^\circ 15' S$ y al oeste del meridiano $70^\circ 45' W$, (al noroeste de Vallenar), se encuentran sedimentitas calcáreas suprayacentes a rocas volcánicas con una fauna neocomiana que fue correlacionada a las formaciones marinas de Copiapó, (Muñoz-Cristi, 1958). Además el cambio de facies lateral no es continuo y es observable claramente solo en una parte de esta región. El estudio de 3 perfiles establecidos de norte a sur en el Cuadrángulo Estación Algarrobal (Fig. 2), muestran facies basales diferentes, conglomerados que cambian a calizas silicificadas y pedernal, calizas y brechas de cemento calcáreo con microfacies muy litorales, en una distancia total de 25 km que indican variaciones que pueden traducirse en una costa accidentada sujeta a cambios geográficos en pequeñas distancias. Es posible establecer además, que las lavas intercaladas y/o que engranan con las sedimentitas no presentan características de depositación submarina.

Se sugiere así que los centros efusivos fueron altos topográficos formando pequeñas islas esparcidas que emergían del fondo del mar. Siguiendo la dirección de éstas posiblemente existía un alto fondo marino que habría dado el ambiente litoral donde se depositaron calizas con intraclastos de menor tamaño que los encontrados en las rocas que se formaron en las costas isleñas y allí se depositaron los conglomerados produciéndose también el engrane con las lavas con ocasión del derrame de ellas.

La línea de costa oriental se situaría al oeste de la longitud $70^\circ 5' W$, sector de la mina Amolanas, limitada por una zona topográficamente alta desde el Jurásico, como ha sido insinuado por Segerstrom (1959), considerando que no hay afloramientos de rocas neocomianas al este del meridiano $70^\circ 20' W$, que seguramente se acuñan, encontrándose allí rocas del Jurásico inferior, Formación Lautaro (Segerstrom, 1959), cubiertas directamente y en discordancia por rocas del Cretácico superior, Formación Hornitos (Segerstrom, 1959), (Figs. 4 y 5).

Segerstrom, (1959 y 1968), sugirió que la depositación de las sedimentitas neocomianas

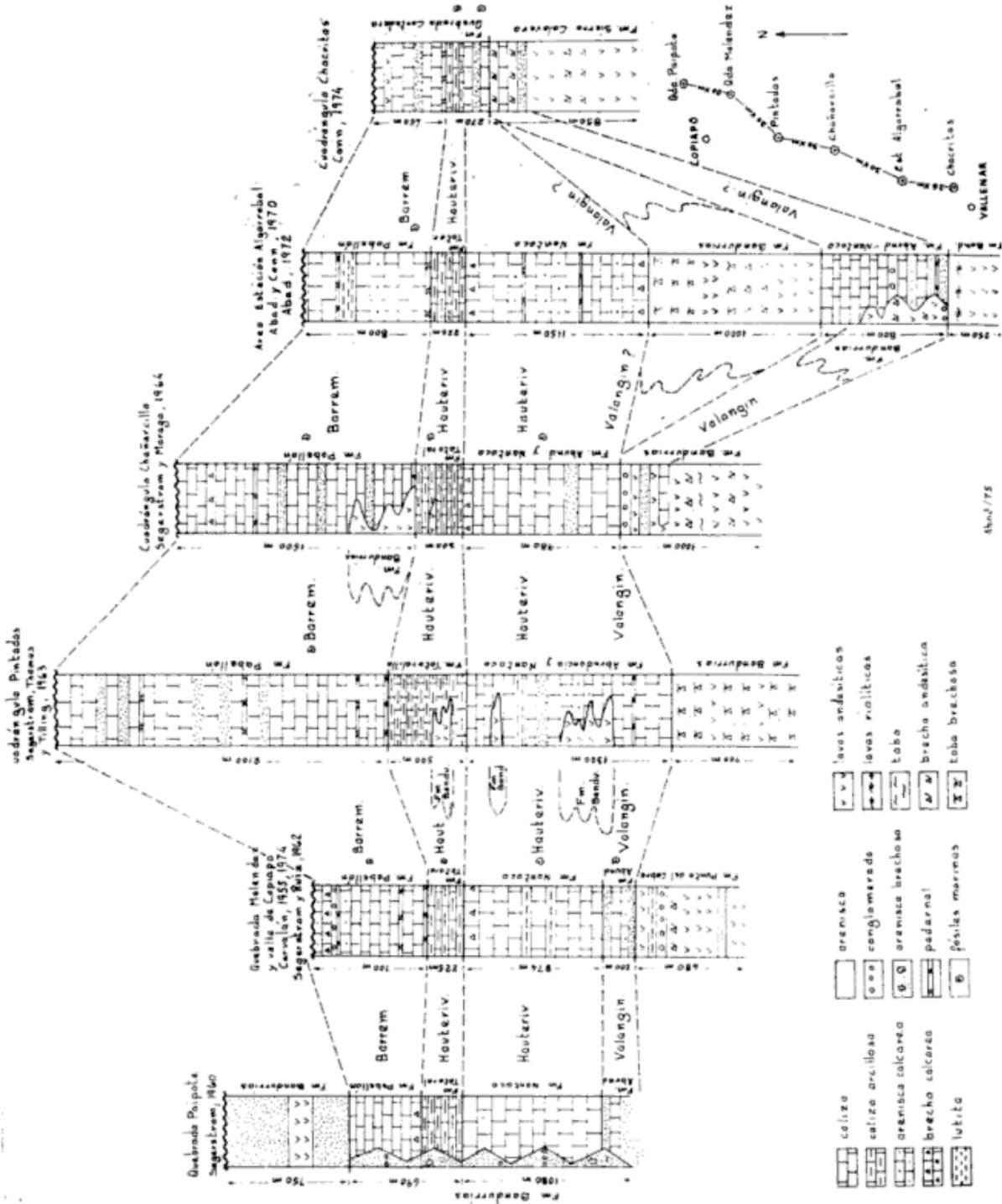


Figura 3

se produjo en un brazo de mar angosto que avanzó de oeste a este.

La situación paleogeográfica se mantiene hacia el norte hasta Copiapó. En el Cuadrángulo Estación Algarrobal, zona considerada principalmente hasta ahora, es evidente el cambio de facies solo en la mitad inferior de la serie pero tiene variaciones en la dirección mencionada manifestándose el engrane en todas las formaciones del Grupo Chañarcillo tomando diversas actitudes, profusa en algunas zonas y desapareciendo totalmente en otras, (Segerstrom, 1960.a, 1963.b, 1968, Segerstrom y otros, 1959, 1962, 1963, 1964), encontrándose en estas sólo las secuencias de calizas. Generalmente, las litofacies y los espesores tienen variaciones que son significativas sólo a nivel local y que indican en general diferentes lugares de depositación tanto en profundidades como relativo a ubicación de los centros efusivos y/o tierras emergidas, (Fig. 3).

Inmediatamente al norte de Copiapó las condiciones habrían cambiado encontrando una tierra emergida baja que en algunas ocasiones pudo haber sido parcialmente invadida por el agua del mar formando una gran isla o una península y quizás las dos en edades diferentes ubicadas frente a Caldera, (Figs. 4 y 5). Esto está sugerido por los hechos siguientes:

1. Al noreste de Copiapó el cambio de facies marino a continental se produce de sur a norte y de este a oeste (Seegerstrom, 1960 y 1963.b), ubicándose al norte la Formación Bandurrias netamente continental sólo con algunas pequeñas intercalaciones de sedimentos marinos.
2. Las partes inferior y media ocupan aproximadamente la posición estratigráfica del grupo Chañarcillo y la superior es más alta (Seegerstrom, 1963.b), Corvalán (1974), mostró que hay un aumento de la razón clástica de sur a norte en la Formación Pabellón.
3. Hacia el norte de Copiapó el Grupo Chañarcillo está totalmente ausente encontrándose en su lugar sólo la Formación Bandurrias hasta el Cuadrángulo Quebrada Salitrosa (A. Moraga, 1965), en la latitud 27°S y longitud 70°W donde aparecen las intercalaciones calcáreas marinas nuevamente pero el cambio a la facies marinas se produce ahora hacia el norte ya que en la región de Puerto Hundido, al este

de Chañaral, en la Quebrada de El Salado aparecen paquetes de sedimentos calcáreas aflorando como unidades (Montti, S., 1973).

Al noreste de Copiapó cerca del paralelo 27°S y al W del meridiano 70°W, en la región de Puquios, Quebrada Paipote existen rocas calcáreas con una fauna fósil del Neocomiano (Davidson 1974, información verbal) e inmediatamente al norte, Hoja Inca de Oro (A. Thomas, IIG, en preparación), hay intercalaciones calcáreas en la serie continental. Esto indicaría que posiblemente hubo un estrecho que comunicaba hacia el norte donde continuaba el ambiente marino o existían golfos abiertos hacia el norte y hacia el sur que permitieron la depositación de rocas marinas en estos lugares (cambios de facies de este a oeste). El estrecho seguramente existió sólo durante una parte del Neocomiano desapareciendo en el Barremiano porque los antecedentes sugieren una regresión que comenzó en esta edad y sucedió de norte a sur en esta zona. Conn (1974), dio algunas ideas que apoyan este esquema.

En la región de Potrerillos, al este de Chañaral, la serie neocomiana tiene importantes afloramientos de facies marina, Quebrada Asientos, Formación Pedernales (Harrington, 1962; García, 1967; Tobar y Frutos, 1973), pero sus litofacies son diferentes, mucho más arcillosas y los fósiles indican una edad titoniana-neocomiana. Posiblemente hayan existido dos grandes bahías, una al norte en la región del río El Salado que se desarrolló primero a fines del Jurásico, y otro al sur de Copiapó que comenzó en el Valanginiano, las que habrían estado unidas por el Estrecho de Puquios entre el Valanginiano y Barremiano.

Al sur de Copiapó no se han encontrado fósiles pre-Valanginianos pero siempre hay una base volcánica que sugiere entonces que la base de la Formación Bandurrias representa el lapso Titoniano a Valanginiano.

Así como Segerstrom indica que la Formación Bandurrias cubre el Grupo Chañarcillo al noreste de Copiapó, Conn (1974) cerca de Vallenar encontró rocas volcánicas en la parte superior de éste. Considerando además la edad turoniana de los intrusivos que afectan la serie se puede concluir que la cuenca neocomiana sufrió una regresión marina a fines del Barremiano continuando una depositación continental que puede haberse mantenido hasta el Aptiano o Cenomaniano? donde llegó a su fin la cuenca neocomiana.

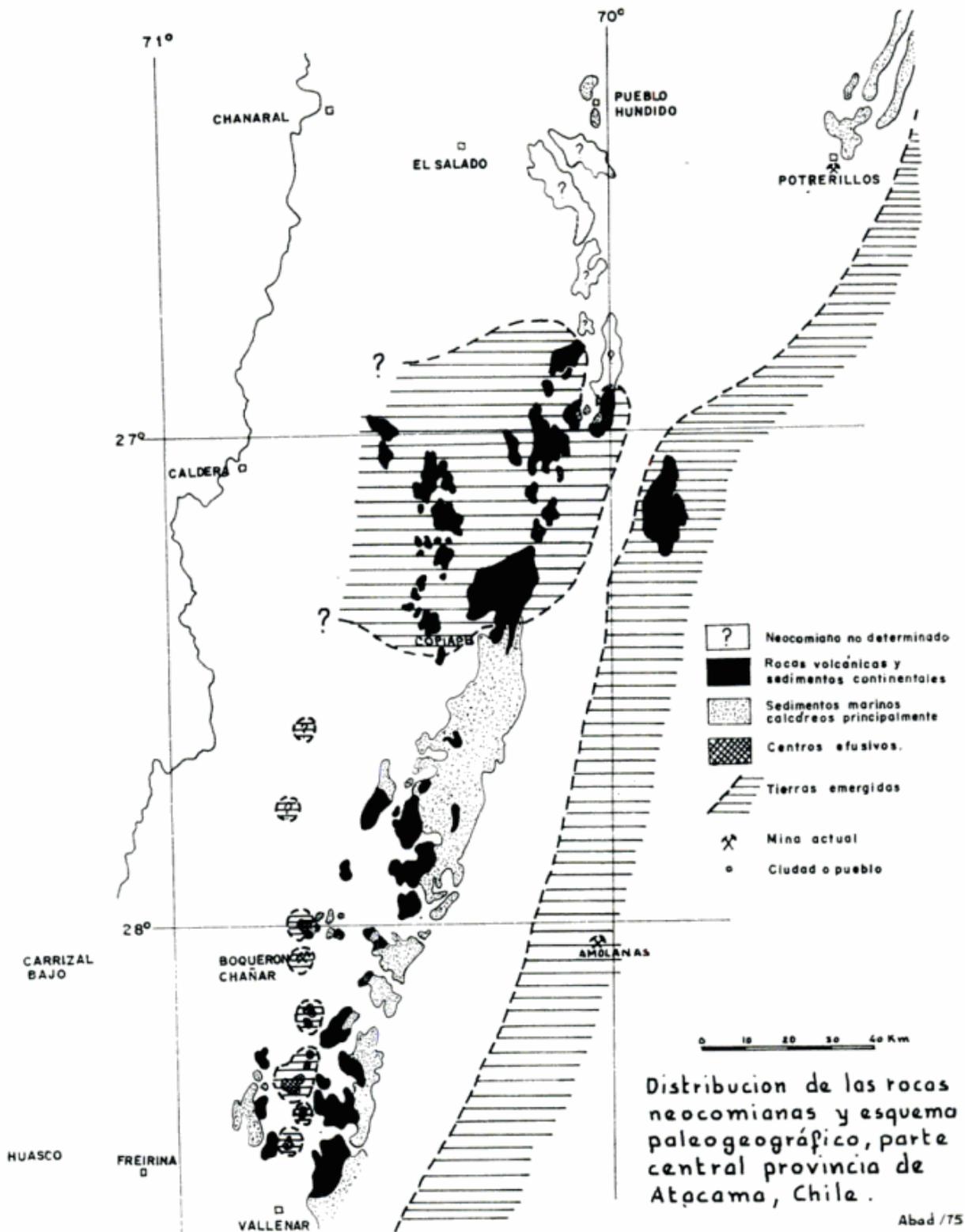
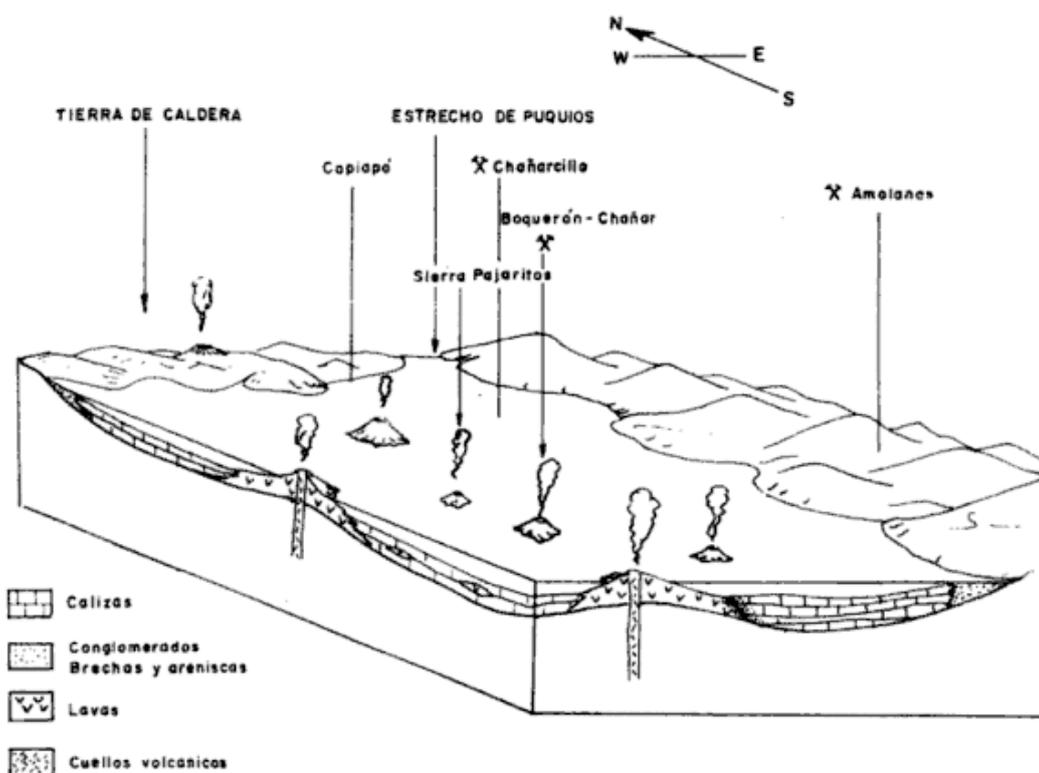


Figura 4



ESQUEMA PALEOGEOGRAFICO ENTRE LAS LATITUDES 27° S Y 28° 30' S
NORTE DE COPIAPO AL NORTE DE VALLENAR.

Abad / 73

Figura 5

Conclusiones

Se sugiere así un esquema paleogeográfico para la parte central de la provincia de Atacama, Copiapó al sur, durante el Neocomiano caracterizado por:

1. Un arco de islas volcánicas formando un archipiélago ubicado sobre un alto fondo marino de dirección sensiblemente NNE y una zona sedimentaria marginal al este en una gran bahía que se extendía de Copiapó al sur.
2. La Bahía de Copiapó habría estado limitada al norte por tierras bajas, Tierra de Caldera, que formaba una gran isla por lo menos desde del Valanginiano superior al Hauteriviano superior y luego como una península.

El límite oriental habría estado aproximadamente en la longitud 70°5'W, mina Amolanas, formado por tierras altas del Jurásico.

3. La Bahía de Copiapó habría estado unida a la Bahía del Salado, ubicada al norte por un estrecho en la zona de Puquios desde el Valanginiano superior al Hauteriviano superior.
4. La serie neocomiana tiene una base volcánica continental que representa por lo menos el lapso Titoniano-Berriasiense. Una regresión que comenzó en el Barremiano de dirección NS y EW habría terminado con la depositación marina dando paso a una exclusivamente continental que debe haberse mantenido hasta el Albiano-Cenomaniano?

Lista de trabajos citados en el texto

- Abad, E. E., 1975 — Geología del Cuadrángulo Estación Algarrobal y de la Hoja Quebrada Las Cuñas, Provincia de Atacama, Chile. Escala 1:100.000. Instituto de Investigaciones Geológicas, Santiago. Publicación en preparación.
- Abad, E. E., 1975 — Geología de la Pre-Cordillera al noreste de Vallenar, entre los paralelos 28°S y 28°30'S. Escala 1:100.000. Tesis para optar al título de geólogo. Universidad de Chile, Santiago. En preparación.
- BieseNickel, W., 1942 — La distribución del cretáceo inferior al sur de Copiapó. Anales del Primer Congreso Panamericano de Ingeniería de Minas y Geología, II: 429-466. Santiago de Chile.
- Clark, A. M., Farrar, E., Maynes, S. J., Quirt, S., Conn, H., Zentilli, M., 1970 — K-Ar Chronology of granite emplacement and associated mineralization, Copiapo mining district, Atacama, Chile. Economic Geology, 65.
- Conn, D. H., 1974 — Geología de la hoja Chacritas, Provincia de Atacama, Chile. Escala 1:50.000. Tesis de prueba para optar al título de geólogo. Universidad de Chile, Santiago.
- Corvalán, D. J., 1955 — El sistema cretáceo en la Provincia de Atacama. Instituto de Investigaciones Geológicas. Inédito. Santiago.
- Corvalán, D. J., 1974 — Estratigrafía del Neocomiano Marino en la región al sur de Copiapó, Provincia de Atacama. Rev. Geológica de Chile N° 1. Santiago.
- Krumbein, W. C., y Sloss, L. L. 1969. Estratigrafía y Sedimentación. Primera Edición en Español. UTEHA. México.
- Montti, C., 1973 — Estudio hidrogeológico de la Cuenca del Río Salado, Provincia de Atacama. Memoria de Prueba para optar al título de geólogo. Universidad de Chile, Santiago.
- Moraga, Aldo, 1965. Geología del Cuadrángulo Quebrada Salitrosa. Instituto de Investigaciones Geológicas. Inédito. Santiago.
- Moraga, A., Ortiz, F. y Rivadeneira, M., 1969 — Exploraciones Geológicas, Geofísicas y por sondeos en el yacimiento de Hierro "Boquerón Chañar", Provincia de Atacama, Chile. I.
- Muñoz Cristi, J., 1958 — Reconocimiento Geológico en la parte SW e la Provincia de Atacama. Instituto de Geología, Universidad de Chile, Pub. N° 11. Santiago, 4 figs., 22 fotografías, 1 tabla, 1 mapa geológico.
- Segerstrom, K., 1959 — Geología del Cuadrángulo Los Loros. Instituto de Investigaciones Geológicas, Carta Geológica de Chile. I (1), 1 mapa. Santiago.
- Segerstrom, K. y Parker, R. L., 1959 — Geología del Cuadrángulo Cerrillos; Instituto de Investigaciones Geológicas, Carta Geológica de Chile, I (2). 1 mapa, Santiago.
- Segerstrom, K., 1960. Geología del Cuadrángulo Quebrada Paipote. Instituto de Investigaciones Geológicas, Carta Geológica de Chile. II (1). 1 mapa. Santiago.
- Segerstrom, K., y Ruiz Fuller, C., 1962 — Geología del Cuadrángulo Copiapó. Instituto de Investigaciones Geológicas, Carta Geológica de Chile. III (1). 1 mapa. Santiago.
- Segerstrom, K., Thomas, H. y Tilling, R. L., 1963a — Geología del Cuadrángulo Pintadas. Instituto de Investigaciones Geológicas. Carta Geológica de Chile, Carta N° 12. 1 mapa. Santiago.
- Segerstrom, K., 1963 b — Engranaje de Sedimentos calcáreos con rocas volcánicas y clásticas en el Neocomiano del Geosinclinal Andino. Sociedad Geológica de Chile, Symposium sobre el Geosinclinal Andino, 1962, N° 1. 5 figs. Santiago.
- Segerstrom K., y Moraga Brito, A., 1964 — Geología del Cuadrángulo Chañarillo. Instituto de Investigaciones Geológicas, Carta Geológica de Chile, Carta N° 13. 1 mapa. Santiago.
- Segerstrom, K., 1968 — Geología de las hojas Copiapó y Ojos del Salado. Instituto de Investigaciones Geológicas. Bol. N° 24. 1 mapa. Santiago.
- Tavera, J., 1956 — Fauna del Cretáceo inferior de Copiapó. Instituto de Geología, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile. Pub. N° 9. Santiago.

Recibido: septiembre 20, 1975.

RESTOS DE LEPIDOSIRENIDAE (OSTEICHTHYES, DIPNOI) DEL GRUPO HONDA (MIOCENO TARDIO) DE COLOMBIA. SUS DENOTACIONES PALEOAMBIENTALES

PEDRO BONDESIO * y ROSENDO PASCUAL **

* División Paleontología Vertebrados, Facultad de Ciencias Naturales y Museo de la Universidad Nacional de La Plata.

** *Ibidem* y Miembro de la Carrera del Investigador Científico del CONICET.

Resumen

Se describen placas dentarias de Lepidosirenidae (Dipnoi) procedentes de distintos niveles del Grupo Honda (*sensu* Stirton) del Mioceno tardío, de La Venta bad-lands (Colombia). Diferencias morfológicas menores y un mayor tamaño en relación con la viviente *Lepidosiren paradoxa* son difíciles de evaluar taxinómicamente. Por esta razón las placas dentarias fósiles son asignadas a *Lepidosiren sp.* Sobre la base de los requerimientos ecológicos conocidos de los Lepidosirenidae vivientes, los autores llegan a la conclusión que el lugar de depositación de las capas de Honda de La Venta bad-lands pudo haber sido una ancha y relativamente plana llanura de inundación. Esto está confirmado por los estudios sedimentológicos de Fields. Si esos niveles representan al Mioceno tardío, de acuerdo a sus mamíferos fósiles (Edad Friasense) la Cordillera Oriental pudo no estar sobreelevada. Muy probablemente entonces el presente valle superior del Magdalena, o parte de él, representó la parte oeste de "Los Llanos" de Colombia.

Abstract

Lepidosirenidae (Dipnoi) tooth-plates from different levels of the late Miocene Honda Group (*sensu* Stirton) located at La Venta bad-lands (Colombia) are described. Minor morphological differences and a bigger size in relation to the South American living *Lepidosiren paradoxa* are taxonomically difficult to evaluate. For this reason the fossil tooth plates are assigned to *Lepidosiren sp.* On the basis of the known ecological requirements of living Lepidosirenidae the authors arrive at the conclusion that the site of deposition of the Honda beds from La Venta bad-lands must have been a broad, relatively flat flood-plain. This is confirmed by the sedimentological studies by Fields. If those levels represent the late Miocene according to its fossil mammals (Friasian age) the Cordillera Oriental was not yet uplifted. Very probably then the present upper Magdalena Valley, or part of it, represents a western part of the Colombian "Los Llanos".

1. Introducción

Es ésta una nueva contribución de los autores (*v.* Fernández, Bondesio y Pascual, 1973; Pascual y Bondesio, 1975) al conocimiento de los peces pulmonados (Osteichthyes, Dipnoi) fósiles de América del Sur. El material esquelético aquí estudiado es en su gran mayoría de placas dentarias de la viviente familia afro-sudamericana (Lepidosirenidae), proviene del alto río Magdalena (Colombia), pertenece al Museum of Paleontology of California, Berkeley, University of California, EE.UU., y nos fue cedido para su estudio por el Dr. Joseph Gregory, por mediación de nuestro colega y amigo Larry Marshall.

El especial interés de estos peces pulmonados se basa en sus particulares requerimientos ecológicos, fundamentalmente conocidos en sus detalles adaptativos por el estudio de

la fisiología respiratoria de los representantes vivientes (*cf.* Thomson, 1968a, 1968b, 1969a, 1969b) y comprobada en tan antiguos representantes del Pérmico por lo menos (Romer y Olson, 1954). Por tales razones el conocimiento de su dispersión en el tiempo y en el espacio provee una inigualable información sobre la evolución de los eco-ambientes sudamericanos, mucho más certera que la de otros vertebrados coetáneos puesto que su biotopo es más específico. Por las mismas razones son muy buenos indicadores paleoclimáticos y paleogeográficos cuando se analiza su distribución geográfica durante la última parte del Mesozoico y la primera parte del Cenozoico, lapso en el que se manifiestan los fenómenos precursores de la actual situación geográfico-climática. De tal manera la

presencia de Lepidosirenidae en sedimentos miocénicos de Colombia, en un territorio con ambientes inapropiados para la vida de los representantes vivientes (*v.gr.* clima semiárido según Fields, 1959:407-409), es de alguna manera parangonable con el caso de registros similares del Eógeno del N.O. argentino (*v.* Fernández, Bondesio y Pascual, *op. cit.* Fig. 1) y donde el clima actual es árido y la región muy alta; su confrontación permite conocer los efectos del diastrofismo andino en la modificación de los ambientes naturales, en dos distintos momentos del Terciario y en dos distantes lugares de la cordillera andina.

Abreviaturas usadas UCMP = University of California, Museum of Paleontology, Berkeley; MLPZV = Museo de La Plata, División Zoología Vertebrados.

II. Procedencia estratigráfica. Antecedentes

La primera cita de numerosos dientes de Lepidosirenidae en sedimentos del Mioceno tardío de Colombia fue realizada por Stirton (1953b: 612). Se trata de las placas dentarias que motivan este trabajo y provienen de distintos niveles del Grupo Honda (*sensu* Stirton 1953a: 265-268; 1953b:614), aflorantes en el área de los afluentes orientales del río Magdalena situada entre la población de Villavieja y Cerro Gordo (*v.* Lám. IB). El resto de los vertebrados colectados en esta área y de la serie de unidades litoestratigráficas del Grupo Honda fueron caracterizados por Stirton como "La Venta fauna" para diferenciarlos de otras "tafofaunas" ("Coyaima fauna" y "Carmen de Apicalá fauna") registradas en otras regiones relativamente próximas y de unidades que él consideró integrantes del mismo Grupo Honda; según los mamíferos en ellas registrados su antigüedad relativa, comparada con la convencional antigüedad de las Edades-mamífero reconocidas en Patagonia, se extenderían entre el Oligoceno tardío ("Coyaima fauna") y el Mioceno tardío ("La Venta fauna" y "Carmen de Apicalá fauna").

La nomenclatura y la terminología de las unidades litoestratigráficas cenozoicas continentales de Colombia han sido muy variables según los autores. Sus asignaciones cronológicas han sido inciertas (*v.* Julivert, 1973: 152), aunque sus correlaciones regionales relativamente logradas (*v.* van der Hammen, 1958). En muchos aspectos representan un

caso muy similar al ocurrido en Argentina (*v.* Pascual et al, 1965), aunque en este caso sin un control palinológico. Por tal razón resultó explicable que Stirton (1953b) usara en Colombia "unidades faunísticas", con la pretensión de que fueran independientes tanto de las unidades litológicas como de las temporales; pero, como lo aclarara recientemente Tedford (1970: 674), lo hizo en el entendimiento de que los restos fósiles registrados son sólo ejemplos de la fauna "...living in the specific place and time...", por lo que la significación temporal que pretendió eludir Stirton está implícito y por eso es insoslayable (*v.* Tedford, *op. cit.*: 673-682). Las tres "faunas" registradas en el Grupo Honda presentan tal grado de identidad taxinómica que cronológicamente representan estados sucesivos dentro del mismo segmento temporal, que por sus mamíferos se correlacionan con las Edades Colhuehuapense (Oligoceno tardío) y Friasense (Mioceno tardío), con un "aparente" hiato intermedio representado en la región meridional sudamericana por la Edad Santacrucense (Mioceno temprano). Sin embargo, las correlaciones con las Edades-mamífero del sur sudamericano con sólo aproximadas dado que los vertebrados registrados debieron ser representantes de unidades paleobiogeográficas distintas y muy probablemente de un grado de contemporaneidad con las patagónicas sólo relativo; así lo ratifica la presencia de numerosos nuevos géneros y familias del Oligoceno y del Mioceno de Patagonia, conviviendo con otros de familias (*v.gr.* Myrmecophagidae, Leontinidae, Isotemnidae?) y aún de órdenes (*v.gr.* Primates, Condylarthra) de mamíferos que habían "desaparecido" muy anteriormente o poco antes —geológicamente hablando— de las altas latitudes sudamericanas. Otros taxa de vertebrados registrados concuerdan en tal indicación, entre los que también se cuentan peculiares familias (*v.gr.* Sebecidae, Crocodilia. Véase Langston, 1965) no registradas en Patagonia ni en otras partes de la región meridional sudamericana después del Eoceno (*v.* Gasparini, 1972). Además, los vertebrados representan parte de una biocenosis no registrada en la misma época de la región austral, con una mezcla de tipos pastadores y silvícolas, indicadores de condiciones ambientales más típicamente intertropicales.

Stirton (1953b:614) ha señalado que los fósiles registrados en la región de "La Venta badlands" no acusan diferencias evolutivas apreciables desde la base hasta el tope de

la sección reconocida. Las placas dentarias de *Lepidosirenidae* aquí estudiadas así lo confirman, pues provienen de casi todas las unidades que desde abajo hacia arriba integran localmente el Grupo Honda (*v. Fields, op. cit.*). Maguer las particulares características de los vertebrados de "La Venta fauna" (*v. Kraglievich, 1928; Cabrera, 1929; Botero Arango, 1936; Stehlin, 1939; Mook, 1941; Royo y Gómez, 1942a, 1942b, 1945; Stirton y Savage, 1950; Reinhart, 1951; Savage, 1951a, 1951b; Stirton, 1951, 1953a, 1953b; McKenna, 1956; de Porta, 1961, 1962; Estes y Wasserburg, 1963; Langston, 1965; Hershkovitz, 1970; Hoffstetter, 1970*), ésta es —como lo señalaran ya Stirton y Fields— correlacionable por sus mamíferos con la Edad Friasense reconocida en Patagonia, y convencionalmente asignada al Mioceno tardío. Oportuno es destacar que aunque existe cierto consenso sobre la antigüedad relativa y correlaciones de las Edades mamífero de la Argentina (*v. Pascual et al., 1965; Patterson y Pascual, 1972; Pascual y Odreman, 1971, 1973*) sus exactas asigna-

ciones al "standard" europeo ha sido convencional; sin embargo, dataciones isotópicas de ciertas muestras de sedimentos de las formaciones mamalíferas patagónicas, como de rocas volcánicas estratigráficamente relacionadas (inéditas en su mayoría), confirman las dataciones basadas en sus mamíferos. Precisamente la datación isotópica de una ignimbrita intercalada en los niveles superiores de una de las formaciones de la Edad Friasense (Formación Collón Curá de Neuquén) ratifican su asignación al Mioceno tardío (11 ± 1 m.a., *fide E. González Díaz, in litt.*).

El estudio geológico de la región comprendida entre el Cerro Gordo y la Quebrada de La Venta (próxima a Villavieja), donde afloran las unidades que localmente componen el Grupo Honda y de donde fueron exhumadas las placas dentarias de *Lepidosirenidae* aquí estudiadas (*v. Lám. IB*), fue realizado por Fields (*op. cit.*). La sucesión de las unidades litoestratigráficas por él reconocidas está indicada en el cuadro de página 413, que transcribimos agregando un número de orden a cada una:

Pleistoceno Mesa Conglomerates

Disconformity

Miocene	<ol style="list-style-type: none"> 12. Las Mesitas Sands and Clays 11. Upper Red Bed 10. Unit Between Upper and Lower Red Beds 9. Lower Red Bed 8. Unit Between Ferruginous Sands and Lower Red Beds 7. Ferruginous Sands 6. Unit Above Fish Bed 5. Fish Bed 4. Unit Below Fish Bed 3. Monkey Unit 2. Cerbatana Gravels and Clays (Including San Nicolás Clays) 1. El Líbano Sands and Clays 	Honda group ± 704 meters
---------	--	-----------------------------

Unconformity

Jura-Triassic ? Payandé group
+ 100 meters

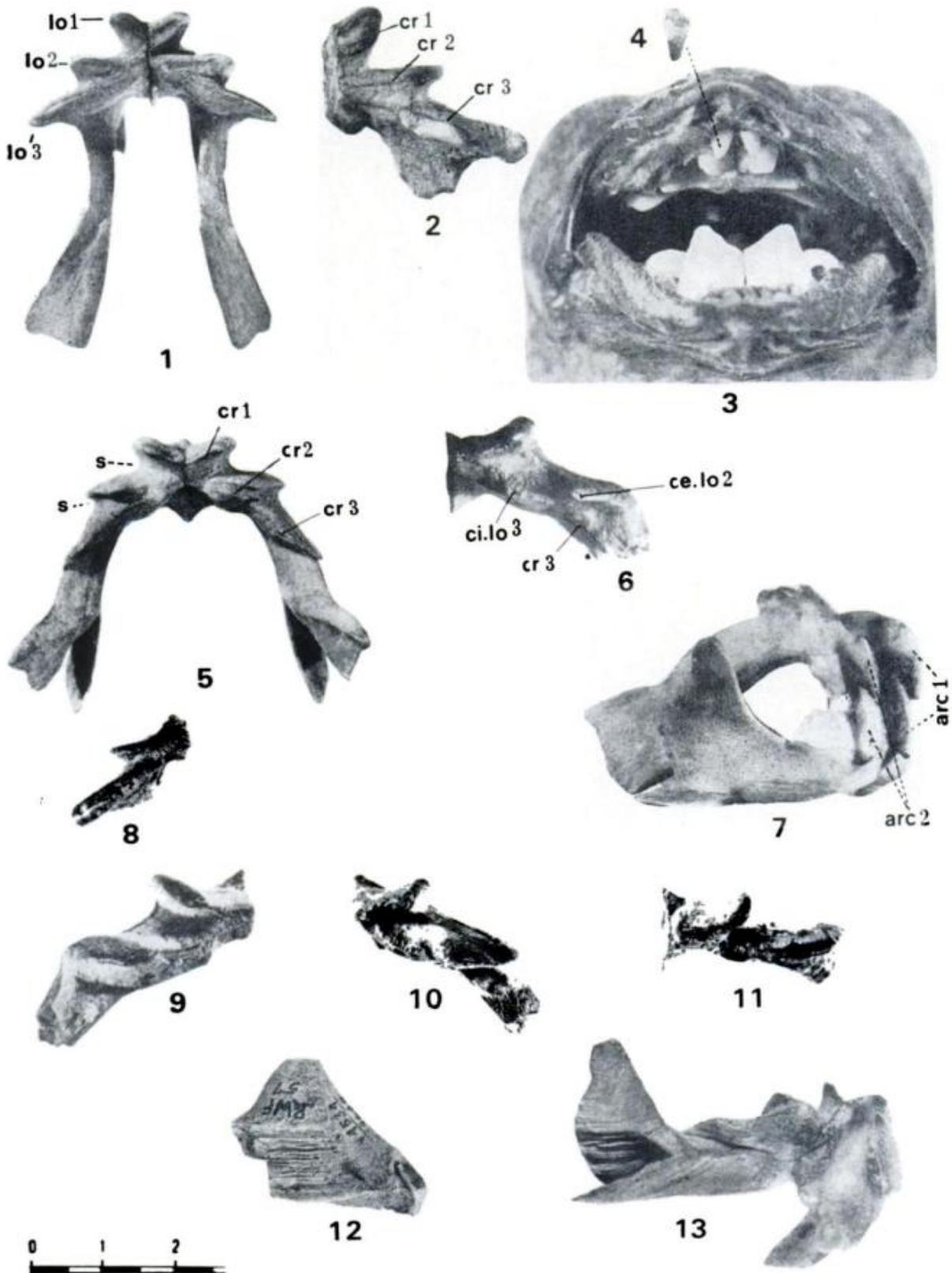


LÁMINA I.—Vistas comparadas de placas dentarias de un espécimen actual de *Lepidosiren paradoxa* con sus homólogas de *Lepidosiren sp.* del Mioceno tardío (Grupo Honda) de Colombia. 1. Vista inferior de los pterigoides con sus placas dentarias. 3. Vista anterior de la boca abierta mostrando la parte anterior de las placas dentarias. 5. Vista superior de la mandíbula inferior con sus placas dentarias. 7. Vista lateral del pterigoides y mandíbula con sus placas dentarias en oclusión. 13. Mandíbula inferior. Vista interna de la rama izquierda. (Figs. 1, 5, 7, y 13 MLPZV 20-X-30-2. Fig. 3, MLPZV 2-III-44-20). 2. UCMP nº 114273, vista inferior de placa pterigoidea

Las placas dentarias de los *Lepidosireniidae* aquí descritas provienen de los niveles 2), 5) y 11), es decir tanto de los niveles inferiores y medios cuanto de los superiores. Desde el punto de vista ambiental esta característica del registro indica la prosecución ininterrumpida de condiciones básicamente similares en el área actual del Magdalena medio y alto en el lapso que abarca la depositación de los espesos sedimento que integran el Grupo Honda.

III. Clasificación, material asignado y procedencia

1. Clasificación

Clase OSTEICHTHYES Howes, 1894

Subclase DIPNOI Müller, 1846

Familia LEPIDOSIRENIDAE Bonaparte, 1837

Género y especie *Lepidosiren* sp.

2. Material asignado

Son placas dentarias superiores e inferiores, un diente vomerino y un fragmento basal de rama ascendente izquierda de la mandíbula, cuya identificación y número de registro son: UCMP. Números 39645, 113727, 113728, 113729 y 114275 = placas dentarias inferiores derechas; UCMP. Números 38015, 114274, 38899 y 114272 = placas dentarias inferiores izquierdas; UCMP. Número 114273 = placa dentaria superior izquierda; UCMP. Número 39645 = diente vomerino derecho y fragmento basal de rama ascendente de la mandíbula izquierda del mismo individuo de la placa dentaria inferior derecha; UCMP. Número 113730 = fragmento de placa dentaria indeterminada.

3. Procedencia geográfica y estratigráfica

Área de los afluentes orientales del río Magdalena situada entre la población de Villavieja y Cerro Gordo, Departamento de Huila, República de Colombia. Grupo Honda, niveles "Cerbatana Gravels and Clays" (UCMP, N° 39645), "Fish Bed" (UCMP,

N° 113727, 113728, 113729, 113730, 38015) y "Upper Red Bed" (UCMP, N° 114272, 114273, 114274, 38899 y 114275).

IV. Descripción

Convenciones nomenclatorias. Como no existe una convencional nomenclatura de los detalles morfológicos de las placas dentarias de los *Dipnoi* (*Lepidosirenidae*) proponemos la siguiente, que identificaremos con las siglas que se indican en cada caso (v. Lám. I, figs. 1, 2, 5, 6 y 7): *cr* = cresta; *arc* = arista columnar; *s* = surco; *ce* = cúspide externa; *ci* = cúspide interna; *lo* = lóbullo. La identificación de cada uno de los accidentes morfológicos se hace ordinalmente, de delante hacia atrás (v.gr.: *cr* 1, *cr* 2, *cr* 3).

Los caracteres diferenciales que remarcamos a continuación surgen de la comparación con un solo ejemplar (MLPZV N° 20-X-30-2) de la única especie reconocida: *Lepidosiren paradoxa* Fitzinger 1837, cuyo único dato de procedencia conocido es simplemente "Alto Amazonas, Brasil".

No existen estudios comparados de ejemplares de diversas procedencias geográficas del continente, ni morfológicos ni biológicos de otra naturaleza; menos aún se han estudiado los límites de variación morfológica de las placas dentarias y su eventual correspondencia a taxa diferentes. Tales razones nos impiden evaluar taxinómicamente las diferencias que remarcamos entre las placas fósiles del Mioceno de Colombia y las del ejemplar actual de comparación, por lo que hemos eludido su asignación específica. Oportuno es destacar que en el material del Eógeno del NW argentino que describimos en otro trabajo (v. Fernández, Bondesio y Pascual, *op. cit.*) no observamos diferencias morfológicas con el mismo ejemplar de comparación, razón que nos llevó a referirlo a la misma especie, i.e. *Lepidosiren paradoxa*.

Respecto del ejemplar de *Lepidosiren paradoxa* (MLPZV N° 20-X-30-2, Lám. I, figs. 1, 5, 7 y 13), proveniente del "Alto Amazonas" de Brasil, las placas dentarias del Mioceno de Colombia se diferencian por ser

izquierda. 4. UCMP n° 39645, vista anterior del diente vomerino derecho. 6. UCMP n° 113728, vista superior de placa dentaria inferior derecha. 8. UCMP n° 38015, vista superior de placa dentaria inferior izquierda. 9. UCMP n° 38899, vista superior de placa dentaria inferior izquierda. 10. UCMP n° 113727, vista superior de placa dentaria inferior derecha. 11. UCMP n° 39645, vista superior de placa dentaria inferior derecha. 12. UCMP n° 39645, vista interna de un fragmento posterior de rama mandibular izquierda. Todas del Grupo Honda (ver III, 3). Ver punto IV del texto para el significado de las abreviaturas.

de tamaño doble o poco menos (cf. Lám. II). En muy pocos casos el tamaño es similar (cf. figs. 5 y 8 de la Lám. II).

En general las inferiores se diferencian porque: (1) la cresta del *lo* 3 nace en una prominente *ci* y alcanza poco desarrollo posterior (Lám. I, fig. 6); (2) la *cr* 2 termina externamente por una muy prominente *ce* (Lám. I, fig. 6); (3) en algunos casos la *ci* del lóbulo 3 tiende a conectarse con la *ce* del lóbulo 2 [(v.gr. CUMP 113727 (fig. 10), CUMP 113728 (fig. 6) y CUMP 39645 (fig. 11)], por medio de una cresta; (4) el grado de convergencia lingual y anterior de las tres crestas es más marcado (Lám. I, fig. 6, CUMP 113728); (5) en relación con las precedentes características morfológicas las superficies masticatorias de los lóbulos diferencian destacadas cúspides en lugar de continuas crestas lofoides, especialmente una *ce* en el *lo* 2 y una *ci* en el *lo* 3 (Fig. 6, Lám. I).

De las placas dentarias superiores contamos con un sólo ejemplar (UCMP 114273, Lám. I, fig. 2), el que presenta menores diferencias con el ejemplar de la especie viviente mencionado *supra*; aparte de su mayor tamaño sólo se distingue porque sus lóbulos son menos comprimidos y consecuentemente sus crestas son menos cortantes.

La placa dentaria vomerina derecha (UCMP 39645, cf. figs. 3 y 4, Lám. I) no se diferencia morfológicamente de la del espécimen actual de *Lepidosiren paradoxa*; como estaba adosada a la placa dentaria inferior derecha que lleva el mismo número muy probablemente perteneció al mismo individuo. Bajo el mismo número y probablemente perteneciente al mismo individuo existe un trozo posterior de rama mandibular izquierda, también morfológicamente indistinguible de la especie actual, salvo por su mayor tamaño (cf. Lám. I, figs. 12 y 13).

La oclusión de las placas dentarias superiores e inferiores (v. fig. 7, Lám. I) y el mecanismo de aprehensión y masticación en la especie viviente ya fueron sintéticamente tratados por los autores, como también las pocas experiencias que se tienen sobre su dieta y preferencias alimentarias (Fernández, Bondesio y Pascual, *op. cit.* 164-165). Las más prominentes cúspides de las placas inferiores de *Lepidosiren sp.* de Colombia seguramente responden a alguna dieta alimentaria específica, imposible de reconocer.

V. Discusión y conclusiones

La falta de estudios biológicos comparados de ejemplares de poblaciones de distintas procedencias de la única especie actual reconocida, unido a la braditélica evolución de los Dipnoi (v. Westoll, 1949) nos impide evaluar taxinómicamente las diferencias que hemos reconocido en las placas dentarias fósiles de Colombia. Por otro lado algunos autores han establecido que las placas dentarias de los Dipnoi resultan inapropiadas para subdivisiones taxinómicas (v. Olson y Daly, 1962: 376). Muy probablemente las diferencias apuntadas (v.gr. escaso desarrollo del lóbulo tercero y cresta correspondiente de las placas dentarias inferiores) señalen su pertenencia a una especie distinta de la viviente *Lepidosiren paradoxa*. Entre el material estudiado sólo hemos reconocido una talla mayor de las placas dentarias provenientes de la "Upper Red Bed" de Fields (*op. cit.*), cuya significación taxinómica no podemos evaluar por las mismas razones.

Desde el punto de vista ambiental las condiciones imperantes durante el tiempo de depositación de las unidades del Grupo Honda de "La Venta bad-lands" no debieron haber variado fundamentalmente. La presencia de restos de Lepidosirenidae tanto en los términos inferiores ("Cerbatana Gravels and Clays") como en los superiores ("Upper Red Beds") de este Grupo ratifican las conclusiones de Fields, esto es, que se depositaron sobre amplias y relativamente chatas llanuras de inundación. Es lógico aceptar con Fields las sugerencias de Butler (1942) de que estos depósitos se extendieron sobre parte del territorio actualmente ocupado por la Cordillera Oriental, y que las condiciones ambientales reinantes entonces en la región de La Venta fueron parecidas a aquellas de Los Llanos actuales; muy probablemente esta región debió de actuar entonces con "...le caractère d'avant fosse" como Los Llanos actuales (v. Julivert, *op. cit.*: 148). Si así fue, en este sector por lo menos la "Cordillera Oriental" no estaba diferenciada como tal y difícilmente esta región pudo haber actuado como una depresión intermontánea, como parece sugerirlo Hoffstetter (1970:932). A esta última conclusión llegó van der Hammen (1958: 124), para quien los movimientos tectónicos-orogénicos del principio del Oligoceno tardío (su fase Proto-Andina) resultaron en el levantamiento de la Cordillera Oriental; a partir de este momento habría comenzado, según él, la subsidencia de los "Valles Inter-

andinos del Magdalena y del Cauca" con una sedimentación en ellos que perduró durante todo el Mioceno. De tal manera los sedimentos del Grupo Honda de "La Venta badlands" se habrían depositado en este "valle interandino", diferenciado al Oeste de la ya emergida Cordillera Oriental. Sin embargo, es difícil imaginar la diferenciación en estos valles de amplias y relativamente chatas llanuras de inundación como las inferidas por Fields, y ratificadas por la presencia de restos de *Lepidosirenidae*.

Tanto Butler como Fields y van der Hammen concuerdan en que los rasgos estructurales mayores fueron producidos en épocas post-miocénicas, de manera que "En el principio del Plioceno fueron plegados los sedimentos en los valles interandinos del Magdalena y del Cauca, y se termina prácticamente el ciclo de sedimentación terciario" (van der Hammen, 1958: 125). Fue entonces cuando el "...primordial Magdalena River took its present drainage pattern" (Fields, *op. cit.*: 432). La discordancia erosiva que afecta el techo del Grupo Honda en el valle del Magdalena así lo certifica; sobre esta discordancia se depositaron sedimentos con alto contenido de material piroclástico ("Gigante Tuffs"), los cuales no han sido registrados en el área de La Venta, pero que Fields (*loc. cit.*) interpretara como originarios de volcanes situados en la Cordillera Central. Importa destacar que según este último autor los minerales y los clastos y rodados del Grupo Honda de La Venta habrían tenido sus áreas de origen en el Sur y en el Oeste. La presencia de elementos volcánicos (tufitas, pumicitas y vidrios volcánicos) en la parte más superior ("Unit between Upper and Lower Red Beds" de Fields) son testigos del vulcanismo instalado entonces en la Cordillera Central (*v. Julivert, op. cit.*: 153). De tal manera es lógico inferir que la región de La Venta, por lo menos, formó parte de los límites occidentales de Los Llanos colombianos. Los acontecimientos diastróficos que sucedieron parecen haber sido la causa de los decisivos cambios ambientales, inapropiados para las exigencias ecológicas de los *Lepidosirenidae* y de muchos de los demás vertebrados con ellos registra-

dos (*v. Stirton, op. cit.*); al parecer estos cambios estuvieron aliados a los más decisivos solevantamientos de la Cordillera Oriental, conducentes a la situación actual.

Es importante destacar que estas fases diastróficas y los subsecuentes cambios ambientales son correlacionables y comparables con los acaecidos en la región patagónica argentina después del solevantamiento de ese sector de la Cordillera Andina. Hemos interpretado a éste como uno de los más destacados efectos del diastrofismo andino, cuyas consecuencias en la evolución y dispersión de la biota, mejor conocidos en los mamíferos, son claramente reconocibles en esta parte austral del continente sudamericano (*v. Pascual y Odreman, 1971: 396-398; 1973: 323-324*). La relación filética de muchos de los mamíferos subrecientes de Las Antillas con representantes registrados en el Mioceno tardío de América del Sur nos llevó a postular que los procesos diastróficos (orogénesis y vulcanismo) de ese entonces crearon situaciones físicas (*v.gr.* cadenas de islas) que permitieron la emigración hacia esas islas actuales de algunos selectos mamíferos de abolengo sudamericano (*v. Simpson, 1956*); tal emigración debió de ser accidental, por rutas marítimas y muy probablemente por medio de "balsas naturales" ("waif immigrants"), ya directamente del continente sudamericano ya de América Central, o del probable archipiélago que representaba a esta última en ese lapso (*v. Pascual y Díaz de Gamero, 1969: 377-378*).

Agradecimientos. Nuestro agradecimiento al Dr. Joseph D. Gregory Director del Museum of Paleontology, Berkeley (University of California) por cedernos el material aquí estudiado. Igualmente a nuestro colega Larry G. Marshall por su mediación en este préstamo. A la Dra. Armonía Alonso de Aramburu, Jefa de la División Zoología Vertebrados del Museo de La Plata, agradecemos la consulta del material actual de sus colecciones. Una vez más deseamos destacar la eficaz colaboración de los señores Martín Galván, Luis Ferreyra y Ricardo Tremouilles, autores de la preparación, fotografías y dibujos respectivamente.

Lista de trabajos citados en el texto

- Botero Arango, G., 1936. Bosquejo de Paleontología Colombiana. *An. Esc. Nac. Minas*. Medellín, 35: 1-86.
Butler, J. W., 1942. Geology of Honda District, Colombia. *Bull. Amer. Assoc. Pet. Geol.*, 26: 793-837.

- Cabrera, A., 1929. Un astrapotérido de Colombia, *Physis* (Rev. Asoc. Arg. Cienc. Nat.), IX (34): 436-439. Buenos Aires.
- De Porta, J., 1961. Algunos problemas estratigráficos-faunísticos de los vertebrados en Colombia (con una bibliografía comentada). *Univ. Industrial de Santander, Public. Científicas. Bol. de Geol.*, 7: 83-104. Bucaramanga, Colombia.
- 1962. Edentata Xenarthra del Mioceno de La Venta (Colombia. I. Dasypodoidea y Glyptodontoidea. *Bol. Geol., Bucaramanga*, 9: 5-43.
- Estes, R. y R. Wasserburg, 1963. A Miocene toad from Colombia, South America. *Breviora*, 193: 1-13.
- Fernández, J., P. Bondesio y R. Pascual, 1973. Restos de *Lepidosiren paradoxa* (Osteichthyes, Dipnoi) de la Formación Lumbreira (Eógeno, Eoceno?) de Jujuy. Consideraciones estratigráficas, paleoecológicas y paleozoogeográficas, *Ameghiniana*, X (2): 152-172.
- Fields, R. W., 1957. Hystricomorph Rodents from the Late Miocene of Colombia, South America. *Univ. of Calif. Publ. In Geol. Sci.* V. 32, nº 5: 273-404, plate 36,35 figs.
- 1959. Geology of the La Venta Badlands, Colombia, South America. *Univ. of Calif. Publ. In Geol. Sci.* 32 (6): 405-444, plates 37-40, 2 figs, 2 maps.
- Gasparini, Z. B. de., 1972. Los Sebecosuchia (Crocodilia) del territorio argentino. Consideraciones sobre su "status" taxonómico. *Ameghiniana* (Rev. Asoc. Paleont. Arg.), IX (1): 23-24. Buenos Aires.
- Hammen, Th. van der, 1958. Estratigrafía del Terciario y Maestrichtiano continentales y tectogénesis de los Andes Colombianos. *Bol. Geol., Serv. Geol. Nac.*, vol. 6, Nº 1-3: 67-128. Bogotá.
- Herskovitz, P., 1970. Notes on Tertiary platyrrhini monkeys and description of a new genus from the late Miocene of Colombia. *Folia Primatol.*, 12: 1-37.
- Hoffstetter, R., 1970. Vertebrados Cenozoicos de Colombia. *Actas IV Congr. Latinoamer. Zool., Paleontología Sudamericana*, II: 931-954. Caracas.
- Julivert, M., 1973. Les traits structuraux et l'évolution des Andes Colombiennes. *Rev. de Géogr. Phys. et de Géol. Dynam.*, (2), XV (1-2): 143-156. Paris.
- Kraglievich, L., 1928. Sobre el supuesto *Astrapotherium christi* Stehlin, descubierto en Venezuela (*Xenastropotherium* n. gen.) y sus relaciones con *Astrapotherium magnum* y *Uruguaytherium beaulteui*. Buenos Aires, *La Editorial Franco*: 1-16, 2 figs.
- Langston, W., 1965. Fossil crocodylians from Colombia and the Cenozoic history of the Crocodilia in South America. *Univ. Calif. Publ. in Geol. Sci.*, 52: 1-168.
- McKenna, M. C., 1956. Survival of Primitive Notoungulates and Condylarths into the Miocene of Colombia. *American Journal of Science*, 254: 736-743.
- Mook, C. C., 1941. A new fossil crocodylian from Colombia: *U. S. Nat. Mus. Proc.*, 91 (3122): 55-58. Washington.
- Olson, E. C. y E. Daly, 1972. Notes on *Gnathorhiza* (Osteichthyes, Dipnoi). *Journ. Paleont.*, 46 (3): 371-376.
- Pascual, R. et al., 1965. Las Edades del Cenozoico mamalífero de la Argentina, con especial atención a aquellas del territorio bonaerense. *Anal. Com. Inv. Cient. Prov. Buenos Aires*, 6: 165-193. La Plata.
- Pascual, R. y M. L. D. de Gamero, 1969. Sobre la presencia del género *Eumegamys* (Rodentia, Caviomorpha) en la Formación Urumaco del Estado Falcón (Venezuela). Su significación cronológica. *Asoc. Venez. de Geol. Min. y Petróleo. Bol. Inf.* 12 (10): 369-388.
- Pascual, R. y O. Odreman Rivas, 1971. Evolución de las comunidades de los vertebrados del Terciario argentino. Los aspectos paleozoogeográficos y paleoclimáticos relacionados. *Ameghiniana*, VIII (3-4): 372-412. Buenos Aires.
- 1973. Las unidades estratigráficas del Terciario portadoras de mamíferos. Su distribución y sus relaciones con los acontecimientos diastróficos. *Actas del V Congreso Geológico Argentino*. III: 293-338.
- Pascual, R. y P. Bondesio, 1975. Notas sobre vertebrados de la frontera cretácica-terciaria. III. Ceratodontidae (Peces Osteichthyes, Dipnoi) de la Formación Coli-Toro y de otras unidades del Cretácico tardío de Patagonia y Sur de Mendoza. Sus implicancias paleobiogeográficas. *VI Congreso Geológico Argentino*. Bahía Blanca. Peia. Buenos Aires. (En prensa).
- Patterson, B. y R. Pascual, 1972. *The fossil Mammals Fauna of South America*. En "The Evolution of Mammals on Southern Continents". A. Keast, F. C. Erk and B. Glass edit.: 247-309. State Univ. of New York Press, Albany.
- Reinhart, R. H., 1951. A new genus of sea-cow from the Miocene of Colombia. *Univ. Calif. Publ., Bull. Dept. Geol. Sci.*, 28: 203-214.
- Romer, A. S. y E. C. Olson, 1954. Aestivation in a Permian lungfish. *Breviora* 30: 1-8.
- Royo y Gómez, J., 1942a. Contribución al conocimiento de la geología del valle superior del Magdalena (Departamento de Huila). *Min. Minas y Petrol., Serv. Geol. Nac., Compilación de los Estudios Geológicos Ofic. Colombia*. 5:268-271.
- 1942b. Un nuevo crocodílido fósil del Huila. *Ibidem*, 5: 325-326.

- 1945. Los vertebrados del Terciario continental Colombiano. *Rev. Acad. Colomb. Cienc. Exact. Fisico-Quím. y Nat.* 4 (24): 496-511.
- Savage, D. E., 1951a. A Miocene phyllostomatid bat from Colombia, South America, *California Univ., Dept. Geol. Sci. Bull.*, 28 (12): 357-366.
- 1951b. Report on fossil vertebrates from the upper Magdalena valley, Colombia. *Science*, 114 (2955): 186-187.
- Simpson, G. G., 1956. Zoogeography of West Indian Land Mammals. *Amer. Mus. Nat. Hist.*, nº 1759: 1-28. N. York.
- Stehlin, H. G., 1939. Ein Nager aus dem Miozän von Columbien. *Eclog. Geol. Helv.*, 32 (2): 179-183.
- Stirton, R. A., 1951. Ceboid monkeys from the Miocene of Colombia. *Univ. Calif. Publ., Bull. Dept. Geol. Sci.*, 28 (11): 315-356.
- 1953a. A new genus of interatheres from the Miocene of Colombia. *Univ. Calif. Publ. in Geol. Sci.*, 29 (6): 265-348.
- 1953b. Vertebrate paleontology and continental stratigraphy in Colombia. *Bull. Geol. Soc. Am.*, 64: 603-622.
- Stirton, R. A. y D. E. Savage, 1950. A new monkey from the La Venta Miocene of Colombia. *Comp. Estud. Geol. Ofic. Colombia*, VIII: 345-356. Bogotá.
- Tedford, R. H., 1970. Principles and Practices of Mammalian Geochronology in North America. Reprinted from: *Proceedings of the North American Paleontological Convention*. September 1969, Part F 666-703. Published November 27, 1970.
- Thomson, K. S., 1968a. Lung ventilation in Dipnoan fishes. *Postilla* (Peabody Mus. Yale Univ.), 122: 1-6.
- 1968b. Experiments on Lungfish Respiration. *Discovery*, 4 (1): 13-18.
- 1969a. The Biology of the lobe-finned fishes. *Biol. Rev.*, 44: 91-154.
- 1969b. Gill and Lung Function in the Evolution of the Lungfishes (*Dipnoi*). *Forma et Functio*, 1: 250-262.
- Westoll, T. S., 1949. On the evolution of the Dipnoi. In: *Genetics, Paleontology, and Evolution* (Edit. by G. L. Jepsen, E. Mayr y G. G. Simpson): 121-184. Princ. Univ. Press.

Recibido: enero 14, 1976.

UNIVERSIDAD DE SAN PABLO
Instituto de Geociencias
Departamento de Paleontología y Estratigrafía

En el Instituto de Geociencias de esta Universidad será realizado los días 8 y 9 de diciembre de 1977 una

REUNION DE PALEOBOTANICOS Y PALINOLOGOS

El Departamento de Paleontología y Estratigrafía del Instituto de Geociencias de la Universidad de San Pablo organiza esta reunión con el objeto de comunicar los resultados de investigaciones y realizar debates y conferencias sobre problemas científicos de la paleobotánica y palinología desde el Precámbrico hasta nuestros días. Para mayores informaciones dirigirse a:

Departamento de Paleobotánica y Palinología
Instituto de Geociencias - USP
Caixa postal 20899
01000 - San Pablo - Brasil

BUCHITAS DE LA ISLA VICECOMODORO MARAMBIO SECTOR ANTARTICO ARGENTINO *

ARMANDO C. MASSABIE ° y JORGE R. MORELLI °

* Departamento de Ciencias Geológicas, Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad de Buenos Aires.

Resumen

Se caracterizan buchitas provenientes de dos afloramientos de una localidad de la isla Vicecomodoro Marambio, Sector Antártico Argentino, así como también las rocas sedimentarias y eruptivas implicadas. Además se analizan los fenómenos de fusión y transformación que dieron lugar a la formación de esas rocas. En un caso las buchitas se presentan en areniscas carbonáticas en contacto con diques, ocupando una faja cercana a un metro de espesor. Se componen de granos relicticos de cuarzo, plagioclasa y circon, aislados en una base vítrea portadora de mullita o sillimanita y de tridimita. El otro afloramiento corresponde a rocas subvolcánicas con estructura brechosa, entre cuyos fragmentos participan xenolitos de areniscas carbonáticas, en las cuales se ha producido la formación de buchitas, y en las que habría tenido lugar una miscibilidad parcial de líquidos basálticos y de fusión de la arenisca.

Geológicamente estas rocas se localizan en relación con diques de composición basáltica olivínica con afinidades alcalinas, de edad pliocena (6.8 ± 0.5 m.a.) que cortan sedimentitas del Grupo Marambio, atribuido al Cretácico superior. Ambas entidades tienen gran desarrollo en las vecinas islas Cerro Nevado, Cockburn, James Ross, Vega y otras próximas, lo cual señala la probabilidad de la existencia en ellas de otras manifestaciones de estas rocas, cuyo hallazgo podría contribuir al mejor conocimiento de estos fenómenos de marcado interés petrológico.

1. Introducción

La isla Vicecomodoro Marambio se halla ubicada al este de la península Antártica, en el Sector Antártico Argentino. Forma parte de un grupo de islas de disposición general semicircular y tiene por vecinas próximas hacia el norte, oeste y sudoeste a las islas Cockburn, James Ross y Cerro Nevado, respectivamente. Al naciente se halla flanqueada por el mar de Weddell.

En la isla Vicecomodoro Marambio afloran sedimentitas marinas estratificadas, fosilíferas, de edad cretácica superior (Campaniano-

Abstract

Buchites from two outcrops in Vicecomodoro Marambio (Seymour) island, Sector Antártico Argentino as well as implicated sedimentary and eruptive rocks are characterized. The fluxion and transformation phenomena which produced these rocks are also analyzed. In an outcrop the buchites occupy a belt about a meter wide in contact with dikes, composed of relict quartz, plagioclase, and zircon grains inserted in a glassy matrix with mullite and/or sillimanite and tridymite. The other exposure consist of brecciated subvolcanic rocks, with xenolites of carbonatic sandstones in which buchites have been formed and where a partial miscibility of basaltic liquids and melted sandstone has taken place. These rocks are localized geologically in relation with olivine basaltic dikes of alkaline affinities of Pliocene age (6.8 ± 0.5 m.y), which are intruded in the Marambio Group, assigned to the Upper Cretaceous. Both units are widespread in the nearer islands such as Cerro Nevado (Snow Hill), Cockburn, James Ross, Vega and others. This situation suggests the possibility of finding other buchite outcrops, which may contribute to a better knowledge of this petrologically interesting phenomenon.

Maestrichtiano) en disposición homoclinal con inclinación próxima a 10° al naciente **. Ellas han sido divididas en las Formaciones López de Bertodano y Sobral que pertenecen al Grupo Marambio (Massabie *et al.* en prensa).

Se superpone a la entidad anterior, en marcada discordancia angular, la Formación La Meseta, constituida por una secuencia de ambiente mixto en actitud subhorizontal que aflora en la mitad noreste de la isla. Abunda aquí también el material fosilífero que apunta

* Trabajo publicado con anuencia de las autoridades del Instituto Antártico Argentino, D.N.A.

** Los datos estructurales están referidos al norte magnético de enero de 1974.

a una edad eocena-miocena (Massabie *et al.*, *op. cit.*).

En la mitad sudoccidental de la isla, el Grupo es atravesado por un juego de diques de posición subvertical y rumbo noreste, de composición basáltica olivínica con afinidades alcalinas. La edad de estas intrusiones menores es Pliocena, de acuerdo a la datación Ar-K realizada en el Instituto de Geocronología y Geología Isotópica (INGEIS) sobre roca total (6.8 ± 0.5 m.a.) en una muestra proveniente del Filo Negro, edad que por otra parte, concuerda con la asignada a rocas de otros afloramientos del Grupo Volcánico James Ross (Nelson, 1966) en las islas vecinas (Rex, 1972; Baker *et al.*, 1973).

Las buchitas se presentan en relación con los cuerpos de rocas subvolcánicas pliocenos, que cortan las sedimentitas del Grupo Marambio. En el punto H23 (Fig. 1), se han formado en inmediata cercanía al contacto con la diabasa, sobre areniscas carbonáticas. En las proximidades al punto H15 (Fig. 1) las buchitas se produjeron sobre xenolitos de caja que forman una brecha en la diabasa.

Una exposición de buchitas de características similares a las señaladas para este último afloramiento, se presenta además en el cerro Geoantar (Fig. 1).

El hallazgo de estas rocas surgió durante una de las campañas realizadas con el objeto de llevar a cabo los planes de investigación geológica del Sector Antártico Argentino, que encara el Instituto Antártico Argentino en el denominado Proyecto Geoantar*.

Como parte del estudio de la isla Vicecomodoro Marambio los autores estaban abocados a un reconocimiento detallado de las rocas subvolcánicas allí aflorantes, con el objeto de establecer su caracterización petrográfica y sus relaciones con las rocas encajantes. La observación en el campo de brechas en las que participan fragmentos de caja a modo de xenolitos dentro de los diques, sugirió la idea de que el magma original pudiera haber sido modificado en al-

* Campaña 1973/74 IAA en colaboración con FCN-UBA y CNEA de la cual participaron los siguientes geólogos: Massabie, A.C.; Morelli, J. R.; Rinaldi, C. A. y Rosenman, H.

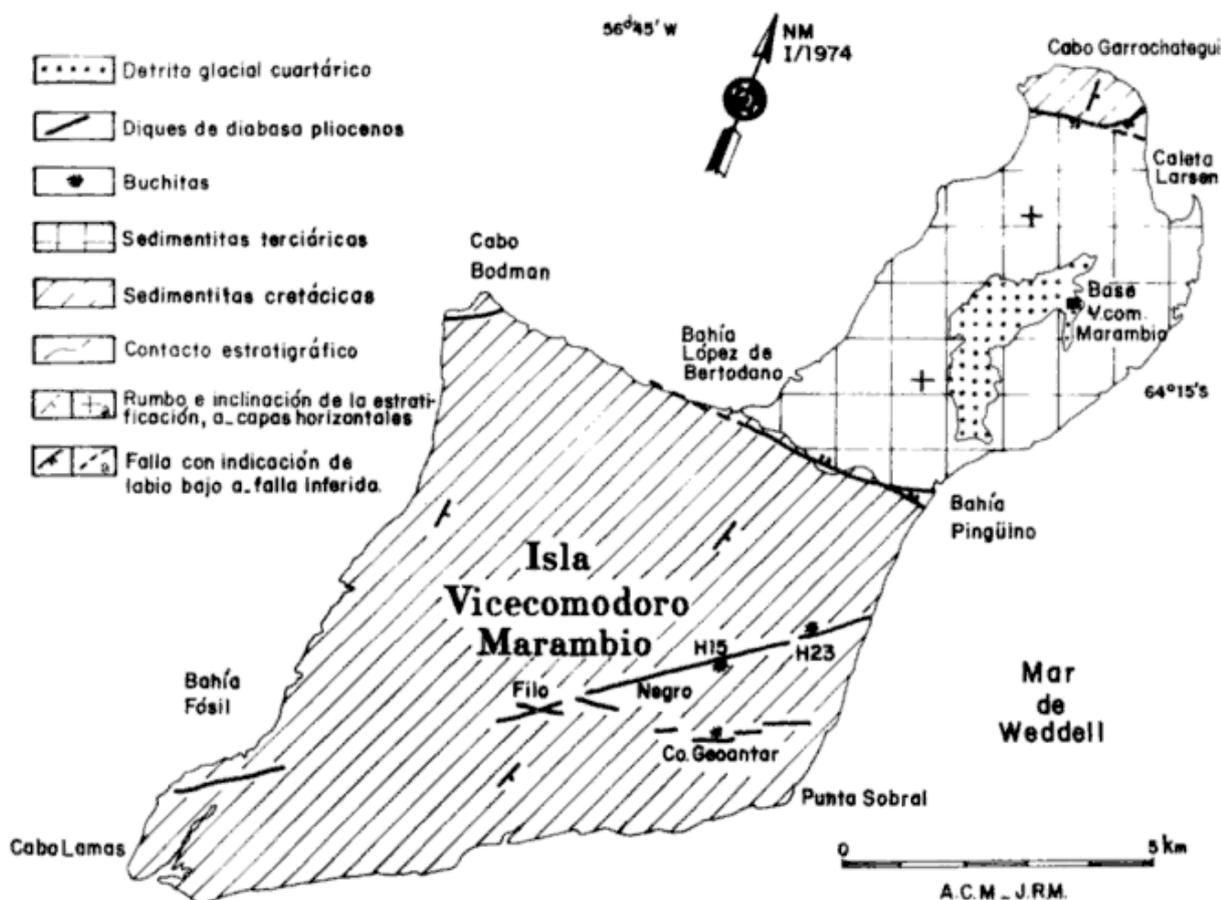


Fig. 1. — Bosquejo geológico de la isla Vicecomodoro Marambio con la ubicación de afloramientos de buchitas.

guna medida por fenómenos de asimilación. Se planteó así el interés de muestrear en detalle lugares que pudieran ser críticos, para ayudar a un mejor entendimiento de la evolución petrológica de estas rocas, cuyo conocimiento es importante dado el gran desarrollo del vulcanismo terciario en la región.

II. Localización geológica de los afloramientos

A unos 3 km al noroeste de punta Sobral aflora un dique diabásico de rumbo noreste-suroeste y posición subvertical, cuyo espesor varía entre 7 y 2 m y alcanza un desarrollo longitudinal aflorante de 6.5 kilómetros. Morfológicamente determina un filo de perfil transversal subredondeado que actúa como divisoria de aguas local. Este accidente topográfico se identifica en el mapa de la isla con el nombre de Filo Negro, (Fig. 1).

Del cuerpo principal del dique se desprenden con rumbo e inclinación variable a modo de apófisis, ramificaciones de menor espesor, algunas de las cuales adoptan la posición de mantos subconcordantes con las sedimentitas encajantes, que en el lugar inclinan 8 a 12° al naciente.

En la composición de la caja se destaca la participación de areniscas calcáreas de grano medio que han tenido importante intervención en la formación de las buchitas. Las areniscas son macizas, de color gris verdoso claro. Su textura es clástica, de esqueleto abierto, formado por 70 % de granos angulosos bien seleccionados y escasos clastos redondeados de segundo ciclo. Los granos son de cuarzo, feldespatos, líticos (cuarzo policristalino, vulcanitas y esquistos) y láminas de biotita desferrizada. El material ligante (30 %) es cemento carbonático, que en algunos casos corroe a los clastos, con esporádicos parches cloríticos y pelotillas de glauconita.

En las proximidades del punto H15 (Fig. 1) el dique, de 6 m de potencia presente estructura brechosa, con tabiques de caja de 3 a 10 m de largo por 0,50 a 3 m de espesor, constituidos por areniscas lajosas y calizas grises parcialmente modificadas. Los fenómenos de pirometamorfismo que dieron lugar a la formación de buchitas, se manifiestan aquí en los trozos de caja incluidos en el dique.

Por otra parte, en las cercanías del punto H23 (Fig. 1), las buchitas están localizadas

en la caja, en una faja de 0,90 m de espesor paralela al contacto. La roca de caja está constituida por areniscas calcáreas. El dique de 3 m de espesor total es allí macizo, con una zona de 0,25 m de ancho de estructura marcadamente amigdaloida adosada al contacto.

III. Descripción de las rocas

a) Afloramiento H 23

En el afloramiento H23 el dique presenta una zona central constituida por una diabasa de color negro, levemente amigdaloida, lo cual contrasta con la marcada presencia de amígdalas en la zona marginal.

La textura de la roca es microporfírica, con microfenocristales euhedrales a subhedrales de olivina parcialmente alterados a serpentina y mineral opaco, a los que se asocia escaso carbonato. Estos microfenocristales constituyen aproximadamente un 15 % del volumen total de la roca.

La pasta es esencialmente intergranular a intersertal, aunque en partes aumenta el tamaño de grano para dar textura ofítica. En ella participan labradorita (55 %) y titanogaugita (20 %). Este último mineral en algunos casos está cribado por granos diminutos de material opaco, con pérdida de la coloración característica del piroxeno titanífero. Intersticialmente se presentan minerales opacos de hábito cúbico y acicular, agregados de color verdoso (serpentina?) y carbonato, que en conjunto forman el 10 % restante.

Las escasas amígdalas observadas están ocupadas por carbonato y material verdoso, al cual en algunos casos se asocia escasa analcima.

En la zona marginal la roca posee mayor cantidad de amígdalas de formas irregulares, de 1 a 0,2 cm de diámetro, en las cuales el relleno parcial o total está dominado por carbonato con textura botroidal y en mosaico y en cantidad subordinada thomsonita.

La olivina se halla prácticamente ausente exceptuados escasos pseudomorfo de carbonato y opacos según olivina. La textura de la pasta es aquí algo más gruesa y se hace entonces común la relación ofítica entre labradorita sódica y titanogaugita. Intersticialmente aumenta el contenido de minerales opacos.

El contacto con la roca de caja es neto. En una faja de aproximadamente 40 cm de

espesor la caja, en inmediata cercanía con el dique, ha sido convertida en una buchita de color gris oscuro con textura blastopsamítica (Lámina I, Fig. 2). Posee escasas vesículas y amígdalas, estas últimas rellenas por carbonato y ceolitas.

La fracción clástica relictica forma un 40 % del volumen total. Está constituida por granos de 0,2 mm de diámetro promedio. Participan de su composición cuarzo, plagioclasa, escaso circón y líticos (cuarzo policristalino).

La forma de los clastos es por lo general irregular. En algunos casos se conservan formas redondeadas de origen detrítico, pero predominan formas combinadas resultantes de la acción corrosiva de los procesos piro-metamórficos, que dan lugar a engolfamientos y bordes difusos. Además, los granos de plagioclasa presentan frecuentemente estructura en panal de abeja, que progresa desde sus bordes hasta en algunos casos ocuparlos totalmente.

La fracción clástica está inserta en una base vitrocrystalina, producto de la fusión parcial y neomineralización a partir de la sedimentita original.

La base vitrocrystalina es predominantemente vítrea (aproximadamente 85 %), con coloración de pardo claro a pardo oscura hasta incolora. El índice de refracción del vidrio es $n = 1,50$.

La neomineralización está representada por cristales aciculares de muy pequeño ta-

maño de mullita o sillimanita* y de tridimita, esta última con sus característicos maclado y forma de cuña.

Estos minerales se hallan dispersos o formando haces en el seno de la mesostasis vítrea y también en cristales de menor tamaño concentrados a modo de corona en torno a los clastos relicticos.

La faja buchítica de la inmediata cercanía al contacto pasa hacia afuera a otra de proximadamente 50 cm de espesor, en la cual la transformación piro-metamórfica de la arenisca ha sido menos intensa.

En esta faja exterior la buchita es de color gris claro, maciza. La estructura es también blastopsamítica, pero con una mejor conservación del aspecto clástico original. Los granos relicticos de tamaño promedio algo mayor, aumentan su participación en el volumen total de la roca (60 %). Ambas características sugieren que la fusión ha sido menor.

El material vitrocrystalino intersticial se caracteriza por un desarrollo incipiente de la neomineralización, lo cual dificulta la determinación precisa de la o las fases cristalinas como mullita y tridimita.

En la mesostasis vítrea hay pequeñas y escasas cavidades ocupadas por ceolita fibrosa,

* De acuerdo a Deer, Howie y Zussman (1962), la determinación acabada entre mullita y sillimanita requiere la realización de diagramas de rayos X en cristal único, o bien análisis del espectro de absorción infrarrojo.

LÁMINA I



Fotografía 1. — Textura blastopsamítica en buchita del afloramiento H23. En la base vítrea se destacan pequeños cristales aciculares de mullita o sillimanita y/o tridimita. Sin analizador.

Fotografía 2. — Buchita del afloramiento H15. A, vidrio pardo claro; B, vidrio amarillo verdoso; C, arenisca carbonática. El vidrio amarillo verdoso se intercala entre el vidrio pardo claro y la arenisca. Sin analizador.

similar a la que se halla en las amígdalas de la zona interna.

El índice del vidrio es $n = 1.50$.

b) *Afloramiento H 15*

En el afloramiento H 15 el dique está constituido por una diabasa de color gris oscuro, afanítica, levemente bandeada, de estructura amígdaloide, con cavidades de 1 mm de diámetro máximo.

La textura es microporfírica con escasos microfenocristales de olivina reemplazados totalmente por minerales opacos, serpentina y natrolita.

La pasta es ofítica con variaciones a tipos intergranular e intersertal. De la misma participan labradorita sódica, titanogaugita y abundante material opaco intersticial. La mayor concentración del mineral opaco en fajas determina el bandeo observable en muestra de mano.

Las amígdalas, de formas irregulares y ovoides, están ocupadas por minerales opacos y abundante natrolita, a los que ocasionalmente se asocia carbonato. Algunas de ellas poseen un reborde serpentínico.

En algunas muestras la textura es parcialmente glomeroporfírica, con fenocristales de olivina y otros de plagioclasa de menor tamaño, ambos alterados.

La pasta es microgranosa muy fina, compuesta principalmente por microlitas de clinopiroxeno verdoso (diópsido?) y magnetita, a los que acompaña escasa plagioclasa y material de alteración verdoso (clorita).

Se destaca la presencia de xenocristales de cuarzo corroídos, con coronas formadas por pequeños cristales de hábito acicular y prismático, comparables ópticamente al piroxeno del resto de la pasta. Estos pequeños cristales están asociados a clorita. En estas coronas es característica la ausencia de magnetita.

En algunos sectores de la pasta se observan agrupaciones de piroxeno y clorita similares a las coronas, que pueden ser interpretadas como un extremo del proceso en el cual el xenocristal de cuarzo ha sido completamente asimilado.

Pequeñas cavidades se encuentran ocupadas por un mineral fibroso radiado (clorita) y parches de carbonato radial, asociado a analcima.

El dique adquiere estructura brechosa por la presencia de inclusiones de rocas de caja, a modo de xenolitos de areniscas y calizas parcialmente modificados.

Entre las inclusiones de caja que forman la brecha se procuró seleccionar muestras representativas. Una de ellas es una arenisca de grano mediano de color gris claro, con abundantes parches ahusados (filetes) de material negro vesicular de aspecto vítreo.

La textura es clástica de esqueleto abierto, con cemento carbonático (25 %). Los granos angulosos y de tamaño homogéneo son de cuarzo, plagioclasa, líticos (Cuarzo policristalino, esquistos y vulcanitas) pelets glauconíticos y escasa laminillas de mica.

La arenisca está en partes invadida por material volcánico a modo de parches, de textura porfírica, formados por escasos fenocristales de plagioclasa y amígdalas rellenas por carbonato y escaso material opaco. El vidrio es muy límpido, de color pardo claro (algo más oscuro cerca de las amígdalas) y su índice de refracción es $n = 1.59$.

En torno a los parches con material vítreo descritos se hallan zonas heterogéneas, las cuales, si bien polarizan la luz finamente, tienen textura fluidal muy amígdaloide que denuncia su carácter vítreo. Son de color amarillos verdoso y tienen numerosas impurezas que les confieren un micro relieve característico. Además poseen también fenocristales de plagioclasa y su índice de refracción es menor que el del vidrio pardo claro. Se reconocen en ellas filetes de flujo entre los cuales se ubica analcima. Este último mineral forma también parches irregulares asociado a carbonato.

Entre el vidrio amarillo verdoso y la arenisca calcárea se interpone discontinuamente analcima.

El contacto entre los dos vidrios descritos es neto. En un caso se observó una tablilla de plagioclasa implantada simultáneamente en ambos, atravesando el contacto.

Por disminución de la fracción clástica relictica concomitante con aumento del material vítreo amarillo verdoso se llega a una roca constituida esencialmente por éste último, en la cual el vidrio pardo claro límpido así como plagioclasa-titanogaugita en relación ofítica, forman parches aislados.

Es de destacar la presencia de material clástico relictico, corroído y dispersado en el vidrio amarillo verdoso, el cual no se presenta en el vidrio pardo claro. Determinaciones de índice de refracción en los parches de vidrio pardo claro dieron un valor $n = 1,61$; mientras que las mediciones realizadas en el vidrio amarillo verdoso permitieron establecer un límite máximo de $n = 1,58$, con valores

intermedios hasta un mínimo próximo a $n = 1.56$.

Se obtuvieron también muestras de calizas macizas de color gris oscuro. Su textura es heterogénea con sectores minoritarios, 30%, compuesto por carbonato parduzco rico en material ferruginoso opaco y escasos granos terrígenos (15%), (principalmente cuarzo mono y policristalino y pagioclasa) y pelets de glauconita.

La mayor parte de la roca (70%) está constituida por carbonato con parches intersticiales progresivamente más límpidos y con mayor concentración de material opaco. En estos sectores se presenta vidrio con formas de filetes de flujo escoriáceos o semejantes a tablillas de plagioclasa, así como también a granos de cuarzo. Este material vítreo, de formas y tamaños variables confiere irregularidad a la microtextura de estos sectores. Granos terrígenos coexisten con el material vítreo, si bien el aumento de este último implica generalmente la disminución de los primeros.

La coloración de las pequeñas porciones vítreas varía de incolora a pardo clara. En algunas se detectó la presencia de minerales de hábito acicular, no determinables por su pequeño tamaño.

El índice de refracción de estas porciones vítreas varía entre $n = 1.51$ y $n = 1.55$. Los valores más bajos corresponden a las variedades incoloras, en tanto que los más altos se obtuvieron en formas escoriáceas de color pardo.

A modo de hipótesis de trabajo se interpreta que la caliza se habría transformado, debido al calentamiento causado por la diabasa, produciéndose fusión incompleta (localizada *in situ*), de granos terrígenos, acompañada por recristalización del carbonato pardo, lo cual condujo a la eliminación de sus impurezas para dar carbonato límpido de grano más grueso.

IV. Consideraciones sobre las observaciones realizadas

De acuerdo con el concepto empleado por distintos autores que se han ocupado del tema, por ejemplo Seare, (1962) y Tomkeieff, (1940), el término buchita puede ser correctamente aplicado a cualquier roca que haya sido total o parcialmente vitrificada, debido a altas temperaturas causadas por un cuerpo ígneo. La roca buchitizada puede haber sido

incluida en el cuerpo ígneo volcánico o subvolcánico), a modo de xenolito, o bien puede ser parte de la caja *in situ* (véase Willie, 1961, págs. 2-3).

Algo más restrictivo sería el concepto de Thomas (1962), pgs. 240-241), quien coincide en señalar que las buchitas estarían compuestas esencialmente por vidrio, pero agrega en la definición la participación de una o más fases cristalinas características, tales como sillimanita, cordierita, etcétera.

Los autores estiman que esta restricción no es conveniente, dado que la formación de fases minerales características está principalmente controlada por la velocidad de enfriamiento posterior a la fusión, la cual puede variar en una misma localidad y llevar a la coexistencia de tipos con o sin neomieneralización.

En cuanto a la génesis Thomas (op. cit.) destaca que "ellas se producen por simple fusión y subsecuente consolidación del material sedimentario con o sin mezcla de material magmático provisto por la roca ígnea invasora".

Respecto de las condiciones fisicoquímicas imperantes durante el proceso, éstas corresponderían a las propias de la facies de sanidinita (Fyfe, Turner y Verhoogen, 1958).

Si se tiene en cuenta que el concepto de metamorfismo es restrictivo en cuanto a señalar la conservación del estado sólido durante los procesos de transformación, la buchitización escaparía al campo estrictamente metamórfico, dado que la participación de una fase fundida es esencial al proceso. Empero la restricción del campo del metamorfismo en cuanto al mantenimiento del estado sólido se puede entender, como una necesidad de limitarlo con relación al campo de la anatexis que por su localización geológica implica a la vez que altas temperaturas, altas presiones. En cambio la localización geológica de las buchitas en el ámbito de hornfels de altas temperaturas y bajas presiones, lleva a considerar a éstas rocas como casos particulares de metamorfismo térmico (pirometamorfismo).

En la isla Vicecomodoro Marambio las buchitas en el afloramiento H15 son xenolitos parcialmente fundidos, estériles en cuanto a fases cristalinas características derivadas del material vítreo (véase págs. 3 y 5 a 8).

Por otra parte en el afloramiento H23 la buchitización ha operado sobre la caja, en contacto tajante con la diabasa. En este caso se ha producido la formación de nuevas fa-

ses minerales características (mullita y tridimita), cristalizadas directamente del fundido, sin contaminación magmática (véase págs. 3 a 5).

En las buchitas descritas en este trabajo participa de la fracción clástica relictica principalmente cuarzo con evidencias texturales de fusión. A ello se agrega, en el afloramiento H23, la formación de vidrio cuyo índice de refracción $n = 1,50$ corresponde de acuerdo a Mathews (1951) a una composición rica en sílice.

Esta evidencia de "fusión" de cuarzo, plantea la conocida cuestión de que las temperaturas a las cuales se emplazan rocas diabásicas no son suficientes para producirla. Numerosos autores que se han ocupado del tema, entre otros Thomas (1922) y Willie (1961), postulan que la fusión es facilitada por la presencia de materiales fundentes. En los casos aquí estudiados el fundente habría sido proporcionado por el cemento carbonático de las areniscas afectadas.

El material vítreo se produjo principalmente a partir de la fusión parcial de areniscas carbonáticas. En el afloramiento H23 (buchitas en la caja), el vidrio es homogéneo, tanto en coloración como en su índice de refracción ($n = 1,50$). Este último evidencia alto contenido en sílice, lo cual adicionado a las relaciones de campo (contacto neto) estarían señalando la ausencia de contaminación por material magmático.

Por otra parte en las buchitas del afloramiento H15 (xenolitos), los vidrios son heterogéneos. Esta heterogeneidad está manifiesta tanto en variaciones de color como texturales y en los índices de refracción que fluctúan entre $n = 1,56$ y $n = 1,61$.

El último valor anotado corresponde a porciones de vidrio pardo límpido con fenocristales de plagioclasa, que tiene contactos netos con el resto del material vítreo de índices menores. De acuerdo a Mathews (op. cit.) el valor máximo obtenido reflejaría una composición mucho menos silicea que aquella del afloramiento H23, lo cual pondría en evidencia un extremo de contaminación basáltica. Los índices de refracción menores, corresponden a porciones de vidrio con contactos levemente transicionales entre sí.

Esta variación prácticamente continua de índices, se puede interpretar como indicadora de que no se alcanzó una total homogeneización parcial, entre fundidos de la arenisca y líquidos magmáticos.

Valores más bajos de índices de refracción,

$n = 1,51 - 1,55$ se encontraron en porciones puntuales vítreas, localizadas en xenolitos de caliza.

En cuanto a la neomineralización ella no se manifiesta en el afloramiento H15, mientras que en el afloramiento H23, a partir de los fundidos de roca de caja, se han formado mullita y tridimita como fases cristalinas características. Esta asociación corresponde a la facies de hornfels sanidínico (Fyfe, Turner y Verhoogen, 1958). La paragénesis hallada es comparable a la que se produciría de una asociación cuarzo-feldespática, en la cual falta sanidina y se presenta mullita, lo cual evidencia carencia de potasio y riqueza en alúmina.

En conjunto las rocas que forman los cuerpos ígneos no muestran mayores efectos de asimilación. Sin embargo, a partir de la presencia de relictos de xenolitos de cuarzo digeridos, variedades petrográficas atípicas pueden ser interpretadas como productos de diferenciación del tipo magmático principal por asimilación de rocas de caja.

Esto se pone de manifiesto en el afloramiento H15, por la presencia de especímenes rocosos de pastas de grano muy fino, de composición ankaramítica, con xenocristales de cuarzo (véase pág. 6). En ellos la cristalización masiva del piroxeno pudo estar inducida por el requerimiento de calor necesario para la disolución del cuarzo.

En la isla Vicecom. Marambio las buchitas se presentan en relación con los cuerpos de rocas subvolcánicas pliocenas, asimilables al Grupo Volcánico James Ross, que cortan las sedimentitas cretácicas del Grupo Marambio.

Dado que las entidades mencionadas tienen amplio desarrollo en las vecinas islas Cerro Nevado, Cockburn, James Ross, Vega y otras próximas, ubicadas al este de la Península Antártica, es de señalar la gran probabilidad de encontrar en ellas otras localidades con rocas de este tipo. Tal es el caso del hallazgo de buchitas en la isla Cerro Nevado (Medina, 1975), las cuales se localizan en relación con las mismas entidades geológicas que controlan su presencia en la isla Vicecomodoro Marambio.

Al respecto vale recordar las buchitas de un afloramiento cercano a la Base Conjunta Teniente B. Matienzo (Llambías y Leveratto, 1966). Pese a que de ellas no se conoce información geológica, podría estimarse sobre la base del conocimiento regional de la comarca su vinculación con las rocas aquí estudiadas.

V. Conclusiones

Las observaciones y consideraciones realizadas en los capítulos precedentes, ameritan ser sintetizadas en las siguientes conclusiones.

a) Se describen ejemplos de buchitas formadas a expensas de xenolitos y de roca de caja *in situ*.

b) Dado que las temperaturas extremas conocidas para un magma basáltico son del orden de 1300°C (Turner y Verhoogen, 1963), las evidencias de "fusión" de cuarzo detectadas, implicarían la acción de fundentes, que en este caso, habría sido el cemento carbonático de las areniscas afectadas.

c) En la buchita formada en la caja (afloramiento H23), el carácter homogéneo del vidrio y su composición rica en sílice, adicionado a las relaciones de campo, sugieren falta de contaminación por el magma basáltico.

d) En el afloramiento H15, la heterogeneidad textural y composicional de los vidrios, en las buchitas generadas a expensas de xenolitos de caja, que varía desde tipos altamente silíceos hasta otros basálticos, puede interpretarse como una miscibilidad al menos parcial, entre los fundidos de la arenisca y líquidos magmáticos.

e) Las buchitas formadas en la caja, son

portadoras de mullita y/o sillimanita y tridimita, de neoformación a partir del fundido. En el caso de las buchitas desarrolladas sobre los xenolitos, no se ha detectado la presencia de neomineralización determinable a nivel microscópico.

f) En conjunto las rocas que constituyen los cuerpos ígneos no muestran efectos de asimilación de importancia mayor. Sólo se han detectado localmente variedades ankaramíticas con relación al tipo principal, cuya composición corresponde a rocas basálticas olivínicas con afinidades alcalinas.

g) El amplio desarrollo del Grupo Volcánico James Ross y las sedimentitas cretácicas, ambos implicados en la formación de las buchitas estudiadas, sugiere la probabilidad de hallar otras localidades con esta clase de rocas en el Grupo de Islas Ross y aledaños.

VI. Agradecimientos

Se desea dejar constancia del agradecimiento al Instituto Antártico Argentino, por los medios necesarios para el traslado y realización de trabajos de campo.

Se agradece especialmente al Dr. Bernabé J. Quartino por la lectura crítica del original.

Lista de trabajos citados en el texto

- Baker, P.; González Ferran, O. y Vergara Martínez, M., 1973. Poulet Island and the James Ross Island Volcanic Group. Br. Antarc. Surv., Bull, 32, Londres.
- Deer, W.; Howie, R. & Zussman, J., 1962. Rock Forming Minerals, Longmans, Londres.
- Massabie, A.; Morelli, J.; Rinaldi, C. y Roseman, H., 1975. Geología de la isla Vicecomodoro Marambio, Sector Antártico Argentino. En prensa.
- Fyfe, W.; Turner, F. and Verhoogen, J., 1958. Metamorphic reactions and metamorphic facies. Geol. Soc. América. Men. 73. New York.
- Llambías, E. y Leveratto, M., 1966. Buchitas en basaltos del volcán Payun Matru, Mendoza, y de la Base Conjunta Tte. B. Matienzo, Sector Antártico Argentino. Rev. Asoc. Geol. Arg. XXI (2), Buenos Aires.
- Mathews, W., 1951. A useful method for determining approximate composition of fine-grained igneous rocks. Am. Mineral. 36 (1-2).
- Medina, F., 1975. Contribución al conocimiento geológico del extremo noreste de la isla Cerro Nevado, Grupo de islas Ross, Sector Antártico Argentino. Trabajo final de licenciatura, F. C. E. y N., U.B.A., inédito.
- Nelson, P., 1966. The James Ross Island Volcanic Group of northeast Graham Land. Sci. Rep. Br. Antarc. Surv., 54, Londres.
- Rex, D., 1972. K-Ar age determinations on volcanic and associated rocks from the Antarctic Peninsula and Dronning Maud Land. En Antarctic Geology and Geophysics, Adie, R., Editor.
- Searle, E. 1962. Quartzose xenoliths and pyroxenes aggregates in the Auckland basalts. N. Z. J. Geol. Geophys., 5.
- Thomas, H., 1922. On certain xenolithic Tertiary minor intrusions in the Island of Mull (Argyllshire). Quart. Jour. Geol. Soc. London, 78.
- Tomkieteff, S., 1940. The dolerite plugs of Tiveragh and Tivebullagh near Cushendall, Co. Antrim, with a note on buchite. Geol. Mag. 77, Londres.
- Turner, F., Verhoogen, J., 1963. Petrología ígnea y metamórfica, Omega, Barcelona.
- Wyllie, P., 1961. Fusion of Torridonian Sandstone by a Picrite Sill in Soay (Hebrides). Jour. Petrol., 2, Oxford.

Recibido: enero 10, 1976.

GEOLOGIA: ¿PROTOCIENCIA, ESPECULACION O CIENCIA?

A. C. RICCARDI

Facultad de Ciencias Naturales y Museo de la Universidad Nacional de La Plata.

Resumen

No existen evidencias como para sostener que la metodología de la Geología sea fundamentalmente diferente de la del resto de las disciplinas científicas. Las diferencias existentes sólo lo son de grado, y niegan el supuesto carácter paradigmático de la Física dentro de la Ciencia, de manera tal que se hace necesario definir la metodología en forma más amplia y pragmática sin entrar a detallar métodos, secuencias o procesos lógicos ideales. La Geología, como la Física y la Química, no es solamente una disciplina observacional y descriptiva, sino que al igual que aquellas también es teórica y experimental. Teóricamente al geólogo le es igualmente posible explicar y predecir. Prácticamente puede hacer lo primero con mayor exactitud, e intenta mejorar lo segundo. La inducción y la analogía no le garantizan a la Geología, ni a las demás ramas de la ciencia, la obtención de hipótesis, leyes y teorías. En la metodología de la Geología, como en la de todas las demás disciplinas, es de fundamental importancia la lógica que rodea la aceptación de las hipótesis: entre varias se acepta provisionalmente la que haya pasado las contrastaciones más rigurosas, y se la elimina o reemplaza cuando se la puede sustituir por otra más contrastable. La comunidad geológica, como todas las comunidades científicas, no actúa según pautas o métodos definidos; sus actitudes y reacciones no sólo son definidas por factores internos sino por las influencias filosóficas, históricas, políticas y económicas de la sociedad humana en general.

El objetivo de la Geología, al igual que el de todas las demás disciplinas científicas, es fundamentalmente cognoscitivo. Consecuencia inmediata de este objetivo es que, bien empleado por técnicos y políticos, puede ayudar al hombre en el control y aprovechamiento del medio ambiente. La Geología no sólo comprende una parte histórica que trata de construir una crónica de configuraciones únicas, sino que además, y para poder llevar esto a cabo, posee una teoría en la cual juegan un papel primordial tipos que sí son reproducibles en el espacio y el tiempo. Por ello las explicaciones geológicas también hacen uso de hipótesis, leyes y teorías. Es un error sin embargo, creer no sólo que la meta de la Geología y de la ciencia en general es lograr *enunciados de leyes* similares a los que son comunes en la Física, sino también sostener que la Geología *no* intenta obtener *leyes objetivas universales*. El grado de universalidad de los enunciados legaliformes está en relación inversa con la complejidad de los hechos que ellos pretenden sistematizar. La Geología, que se ocupa de hechos más complejos

Abstract

There is no evidence to regard the methodology of geology as fundamentally different from that of other scientific disciplines. The existing differences are only of degree and, therefore, do not support the assumed paradigmatic character of physics within science. Consequently it is necessary to define the methodology of science in a more pragmatic way. Geology, like physics and chemistry, is not only observational and descriptive, but also theoretical and experimental. From a *logical* point of view, geologists can explain and predict with the same accuracy; in practice however they are able to produce better explanations than predictions. Induction and analogy do not guarantee to obtain hypothesis, laws and theories. In general, the most important factor in the methodology of science is the logic inherent in the acceptance of hypothesis: out of the several proposed, those that survive the most rigorous tests are accepted; subsequently however, some of these may be eliminated or replaced by other more testable hypothesis. The geologic community, as all other scientific communities, does not act according to a fixed set of rules and methods. Its general behavior is defined not only by internal factors but also by the philosophical, historical, political and economic factors that prevail in human society at a given time. The basic goal of geology, and of all other scientific disciplines, is cognitive. The achieved knowledge, when wisely applied by technicians and politicians, can help mankind to control and improve its own successful evolution. Geology is not only historical, in the sense that it attempts to build a descriptive chronicle of single configurations and events, but also, and in order to be able to do that, has a theory which incorporates important types of configurations and events that recur in space and time. Thus, explanation in geology is grounded in hypothesis, laws and theories. It is a mistake, however, to assume that the goal of geology, and science in general, is to obtain law statements similar to those of physics, but also to assert that geology does not attempt to derive objective laws. The degree of universality of any law statement is inversely related to the complexity of the facts it attempts to systematize. Geology, in usually dealing with facts more complex than those of physics, has few universal statements and more empiric generalizations and probabilistic laws; these categories, however, seem to be the most usual in science in general. Therefore, because the starting points are different, it is improper to compare the success of disciplines like physics and chemistry with those of geology in

que la Física, tiene menos enunciados de carácter universal y más generalizaciones empíricas o leyes probabilísticas, categorías estas dos que parecen ser el tipo más común dentro de la ciencia en general. En consecuencia no se pueden establecer grados de desarrollo o carácter científico de las diferentes disciplinas sobre la base del aparente éxito en la obtención de enunciados de tipo universal, pues los puntos de partida no son comparables. El objetivo de la Geología, como el de toda la Ciencia, es explicativo, y para ello las hipótesis, leyes y teorías sólo son un medio. La reducción de la Geología a la Física o la Química no parece momentáneamente posible, pues cuando los mismos fenómenos son explicados en términos y leyes físicos y químicos se habla de Física o Química y no de Geología. En el estado de conocimientos presente para dar cuenta de hechos y regularidades geológicas es necesario usar, además de hipótesis, leyes y conocimiento correspondientes a otros campos de la ciencia, términos geológicos y teorías que hagan uso de éstos. Estas deben ser compatibles con las leyes físicas y químicas, pero ello no significa que su falsación implique la de estas últimas. La madurez de la Geología se puede determinar por su posesión de una teoría unificadora compleja, con gran poder explicativo, que es aceptada como paradigma de su actividad por prácticamente toda la comunidad geológica.

Bajo la denominación de "Principios" geológicos se han incluido enunciados correspondientes a categorías diferentes, e.g. métodos de trabajo, leyes y axiomas generales de la ciencia. El Principio del Uniformismo se relaciona con una serie de conceptos que deben ser diferenciados: 1) el axioma de legalidad es una hipótesis metafísica, que presupone la existencia de un ordenamiento universal, que además, admite no sólo la existencia de regularidades que varían con el tiempo sino la existencia de otras cuyos efectos no han sido detectados por el hombre; 2) "actualismo" que establece que los enunciados legaliformes y las propiedades del universo no han variado con el tiempo; pese a que en gran medida su fundamentación se halla en la Geología y la Paleontología, también tiene vigencia en las demás disciplinas científicas, donde se da por sentado; 3) la constancia y uniformidad espacio-temporal de la materia y los enunciados de leyes no significan las de las diferentes configuraciones y procesos del Universo; y los procesos universales son irreversibles por más que muchas configuraciones geológicas no muestren evidencias de variaciones seculares definidas; 4) la metodología basada en el *actualismo* es sólo una de las que los geólogos usan en la reconstrucción de la historia de la Tierra.

Introducción

Al finalizar el año 1974 las asociaciones geológica y paleontológica de nuestro país completaron la impresión de un total de 40 volúmenes —29 y 11 respectivamente— de sus revistas periódicas.

Una inspección de los mismos revela la falta de contribuciones en las que se trate

de la formulación de universal statements. Hypothesis, laws and theories are only tools devised to systematize our knowledge of the universe. The reduction of geology to physics and chemistry does not appear to be totally possible at the present time. In order to explain geological facts and regularities it is necessary to use, besides hypothesis, laws and knowledge from other fields of science, theories and terminology strictly geological. These must be compatible with the laws of physics and chemistry, but the falsifiability of the former does not imply the falsifiability of the latter. The maturity of geology lies in its complex theory which is accepted as the paradigm of activity for almost all the geologic community.

Under "Geologic Principles" have been included statements of different categories, i.e. techniques, laws, and general axioms of science. The uniformitarian principle includes different concepts: 1) the "legality axiom", which is a metaphysical hypothesis that assumes the existence of an universal order, and furthermore, that accepts not only the existence of regularities which change with time, but the existence of others still unknown to the human race; 2) "Actualism" which asserts that the law statements and the properties of the universe have not changed through time. Even if the factual proofs are mainly in the field of Geology it is assumed in all the scientific disciplines; 3) the permanence and uniformity of the properties of matter and law statements in space and time does not imply the same for configurations, intensities and rates of the processes that existed through earth history. The universal processes are irreversible in spite of the fact that many of the configurations of the earth do not show evidences of secular changes; 4) the methodology based in actualism is only one of those used in the earth and planetary sciences to explain different configurations and events.

de alguna manera de los fundamentos de las ciencias geológicas.

Pese a que este fenómeno es común a las restantes publicaciones argentinas de la especialidad, no es probable que ello refleje la ausencia en nuestro medio de una problemática que subyace toda actividad científica.

Posiblemente ello se deba a la existencia de una serie de factores, de índole diversa, entre los cuales quizás jueguen un papel preponderante la complejidad y carácter filosófico de muchos de los problemas a discutir, que han llevado a considerar este tema como propio de los filósofos de la ciencia, restringiendo su tratamiento, dentro del campo geológico, a la reflexión e intercambio de ideas a nivel personal.

No obstante esto, parece esencial que una comunidad científica y profesional ponga en claro —o por lo menos lo intente— la naturaleza de los conceptos, problemas, métodos, razonamientos y objetivos de la actividad que desarrolla. Que establezca —o trate de hacerlo— qué diferencias guarda ésta con las de otras disciplinas científicas, y cuál es su posición y perspectivas dentro del conjunto general de la ciencia.

El tratamiento de estos temas no sólo ha sido descuidado en nuestro medio, sino en el ámbito internacional en general, y ello es particularmente notable cuando se establecen comparaciones con la Física, la Química o la Biología.

Tal como lo ha señalado Mackin (1963, p. 137, nota 2 al pie) la Geología casi no es mencionada en la literatura dedicada a la historia y filosofía de la ciencia. De allí que se considera que todavía “debe aclarar la singularidad de su aproximación, demostrar que ha contribuido con ideas de interés para todas las ciencias y formular y nombrar éstas como principios o conceptos específicos” (Hagner, 1963, p. 240). En definitiva, pareciera haber una “necesidad obvia para el pensamiento fundamental acerca de la Geología” (Hagner, *op. cit.*, p. 241).

La principal justificación de estos objetivos se encuentra tal vez en la importancia que ellos revisten para el planteamiento adecuado de los métodos y finalidades de la enseñanza de las ciencias de la Tierra. Así lo entendió la *Geological Society of America* al decidir, tomando en cuenta la recomendación efectuada por una comisión que investigara el estado de la educación en la Geología, que la estructura lógica de ésta tendría que ser reexaminada “desde sus cimientos” (Albritton, 1963b, p. v), y que el tema de la asamblea conmemorativa de su 75 aniversario fuera la *Filosofía de la Geología*.

Como Kitts (1974, p. 1) ha señalado, en los años transcurridos desde la publicación del volumen resultante de esa reunión, la teoría de la Nueva Tectónica Global ha producido una revolución en las ciencias de

la Tierra que ha traído aparejados no sólo la introducción de nuevos temas y métodos de estudio, sino también la modificación, a veces substancial, de los ya existentes. Paralelamente, la sociedad humana ha llegado a un momento de su desarrollo en el cual sus diferentes sectores, y en especial los intelectuales, se encuentran abocados, consciente o inconscientemente, a un examen crítico de sus respectivas actividades.

A la luz de todos estos cambios resulta evidente que la necesidad, señalada más arriba, de esclarecer la metodología y los objetivos de la Geología en relación con los de otras disciplinas científicas, se ha vuelto más manifiesta.

La mayor parte de los tópicos que se considerarán a continuación —especialmente los de orden metodológico— han sido objeto de estudio y discusión por más de dos milenios; por ello conviene aclarar, como ya lo hiciera Gilbert (1886, p. 284) hace casi un siglo, que *in the statement of these considerations it is impossible to avoid that which is familiar, and even much that is trite... I shall merely attempt to outline certain familiar principles, the common property of scientific man, with such accentuations of light and shade as belong to my individual point of view*. Discusiones más exhaustivas y adecuadas sobre la epistemología de la ciencia en general pueden hallarse en la bibliografía mencionada en el texto.

1. Ciencia, protociencia, especulación

Quienquiera que se preocupe por revisar la literatura pertinente encontrará que las diferencias de opiniones que caracterizan a muchos de los problemas de la filosofía de la ciencia comienzan al intentar definir qué es lo que se entiende por ciencia (cf. Popper, 1962, p. 51; Simpson, 1963a).

Pese a que el problema es complejo, razón por la cual cualquier respuesta que pretenda ajustarse a la realidad debe ser acompañada por una serie de explicaciones complementarias, existe un concepto, no siempre definido con exactitud, que explícita o implícitamente, ha influido en las discusiones de muchos de los trabajos previos de naturaleza similar.

Es por ello que, como punto de partida, se adoptará una definición que aparentemente responde a dicho concepto, dejando en claro, sin embargo, que ello no implica aceptar su

validez y que posteriormente se discutirán sus alcances.

Según Bunge (1969a, p. 32) Ciencia "es una disciplina que utiliza el método científico con la finalidad de hallar estructuras generales (leyes)", debiéndose destacar que, pese a que manifiesta que "el blanco primario de la investigación científica es el *progreso del conocimiento*" remarca que lo que se busca "es establecer mapas de las *estructuras (leyes)* de los varios dominios fácticos" (p. 45) (ver también Braithwaite, 1968, p. 1).

Ese autor ha señalado también "que cuando las técnicas científicas se aplican a la consecución de datos sin hallar estructuras generales se consigue ciencia embrionaria, *protociencia*", y que "cuando el objetivo perseguido es el de la ciencia madura, pero... no se utilizan su método ni sus técnicas..." se está ante la *especulación acientífica* (Bunge, 1969a, p. 45).

De allí que el análisis de la Geología con el objeto de determinar su carácter implica, si se aceptan los conceptos mencionados, establecer si su metodología realmente es científica y si ha logrado hallar estructuras generales (leyes).

II. Metodología

Una de las cuestiones que ha ocupado la atención de muchos científicos, desde el momento mismo en que las diversas disciplinas comenzaron a diferenciarse, ha sido el saber si hay una o varias metodologías; interrogante éste íntimamente vinculado con el problema de definir si hay una o varias ciencias (Siever, 1968, p. 70).

La respuesta, tanto en el campo de la Geología como en el de la Paleontología, ha consistido mayormente, como se verá, en tratar de demostrar que éstas son diferentes, en cierta medida, de otras ramas de la ciencia tales como la Física y la Química, debido a que se ocupan de hechos históricos.

De acuerdo con esta concepción, que ha sido sostenida repetidamente por Simpson (1963b, 1964, 1970a) y Kitts (1963a, b; 1974) (ver también van Bemmelen, 1960), la metodología de las "ciencias históricas" sería diferente de la de las "no históricas".

Para Simpson (1970a, p. 90) el procedimiento general de las primeras consistiría en: 1) obtención y ordenamiento de datos; 2) determinación de procesos actuales; 3) confrontación de (1) y (2). Este método,

basado en el *uniformismo* o *actualismo*, sería esencialmente retrodictivo, pues trataría de inferir las causas a partir de los resultados, y diferiría de las explicaciones hipotético-deductivas (secuencia hipótesis-predicción-experimento), que caracterizarían a las "ciencias no históricas", debido a que estas últimas se basarían en la repetición de eventos mientras que aquel sólo explicaría sucesos o configuraciones únicas.

Kitts (1963b, 1974) por su parte ha considerado que en la Geología lo común es efectuar generalizaciones a partir de observaciones, las que podrían ser universales, estadísticas o nómicas, según fuesen respectivamente de carácter universal, casi universal, o comprendiesen también una explicación relativa a los eventos excepcionales. El método sería así de tipo inductivo, pese a que las generalizaciones se formularían de manera tal que no violasen las leyes de la Física y la Química y a que, en algunos casos, serían deducibles de éstas. En su posición parcialmente inductivista este esquema no difiere de los descritos por Johnson (1933) y van Bemmelen (1960) (ver también Cloud, 1970b).

Pese a que las distinciones hechas por los autores mencionados no son siempre claras, podría concluirse que las ciencias "históricas", entre las que se contaría la Geología, serían esencialmente observacionales y tenderían a obtener generalizaciones, usualmente en forma inductiva, y a explicar sucesos y configuraciones históricas mediante retrodicciones. Las "no históricas", típicamente representadas por la Física, tratarían de demostrar experimentalmente la validez universal de ciertas hipótesis, de manera tal que tendrían un carácter netamente predictivo y su método sería hipotético-deductivo.

Aunque la posible existencia de diferentes metodologías está íntimamente relacionada con la posible división de las ciencias en función de diferentes objetivos, tema éste que será tratado más adelante, resulta conveniente hacer algunos comentarios con respecto a ciertos puntos puestos de relieve en la exposición precedente. Cabe sí aclarar, sin embargo, que en la exposición que sigue se halla implícito el concepto de que a la Geología compete el estudio de las configuraciones y procesos pasados, presentes (y futuros) del planeta Tierra.

La idea de que la Geología es esencialmente observacional y descriptiva, a diferencia de la Física que sería eminentemente experimental y teórica, se basa en razones

como las expuestas. A pesar de que tanto Simpson (op. cit.) como Kitts (op. cit.) han reconocido su carácter mixto (ver también Whewell, 1847, 1857).

Es cierto que uno de los objetivos de aquella es la reconstrucción de las diferentes configuraciones que se han sucedido en la historia de la Tierra, y que la complejidad de las mismas hace imprescindible dedicar esfuerzos relativamente grandes a la observación, descripción y ordenamiento de datos. Pero ello no faculta a efectuar una distinción entre ciencias observacionales (y descriptivas) y experimentales (y teóricas), pues la observación y la descripción son comunes a todas las disciplinas científicas. Las diferencias que se pueden establecer son sólo de grado y dependen usualmente del estado de desarrollo de los temas que ocupan a una comunidad de estudiosos en un momento determinado.

Tal como lo ha expresado Popper (1972, p. 308-312; ver también Gilluly, 1963; Siever, 1968; Medawar, 1969), toda observación es una percepción planificada y preparada y va siempre precedida por un problema, una hipótesis, o algo teórico y especulativo pues "sólo mediante hipótesis aprendemos qué tipo de observaciones tenemos que hacer, hacia dónde debemos dirigir nuestra atención y en qué hemos de interesarnos". Las observaciones y descripciones implican una selección de variables pertinentes como evidencias positivas o negativas para un problema originado en un cuerpo previo de conocimientos. De no ser así, tales observaciones se efectuarían por el mero hecho de hacerlas, lo que daría como resultado una maraña —nunca completa— de información. Ya Darwin (*In F. Darwin y Seward, 1903, p. 195; cf. Medawar, 1969, p. 11*) señalaba con respecto al supuesto carácter observacional de la Geología, lo extraño que resulta que no se comprenda que todas las observaciones, para ser de utilidad, deben apoyar o negar algún punto de vista.

No obstante lo apuntado, es conocido que hay quienes se dedican a observar y describir fenómenos sin plantearse si los mismos corroboran o no las hipótesis o teorías a la luz de las cuales han sido registrados, negándose así la posibilidad de llegar a mejorar éstas o de introducir otras nuevas. Pero esto en definitiva tal vez no sea más que una de las consecuencias negativas de lo que Kuhn (1970) ha denominado "ciencia normal", esto es, en la definición de dicho autor, la que sólo efectúa investigaciones basadas en

concepciones establecidas y universalmente aceptadas por una comunidad científica como base de su actividad —i.e. paradigmas— contribuyendo a aumentar el alcance y precisión de las mismas, aunque sin introducir innovaciones.

De igual manera que la naturaleza de las configuraciones que estudia la Geología no faculta a sostener que es una disciplina exclusivamente observacional, la complejidad y, en ocasiones, no reproducibilidad de los experimentos naturales de los que aquellas son resultantes, no justifica sostener que no es experimental.

En este sentido la diferencia con la Física y la Química radicaría en que éstas tratan usualmente con experimentos de pocas variables, aislados del ambiente, y reproducibles. En las ciencias de la Tierra, en cambio, al igual que en la Biología, mayormente se estudian sistemas abiertos, con gran número de variables, cuyas condiciones en muchos casos, no son reproducibles.

La realidad indica, sin embargo, que existen numerosos tipos de experimentos, y que aun en la Física y la Química no sólo se encuentran los más simples, que se repiten casi diariamente, sino aquellos de naturaleza más compleja que, pese a que en principio existe la posibilidad de repetirlos, sólo se efectúan una sola vez (cf. Ziman, 1968, p. 34).

Los geólogos por su parte, si bien estudian configuraciones aparentemente únicas, pueden reconstruir, sobre la base de las mismas y su confrontación con ciertas hipótesis y teorías, los experimentos ocurridos en el gran laboratorio de la naturaleza (cf. Bradley, 1963; McKelvey, 1963; Watson, 1966).

Además, estudian *clases* de eventos —y sus resultados— que se repiten constantemente, o pueden hacerlo, y que son los que justifican en definitiva la posibilidad de utilizar circunstancias actuales para explicar la historia del planeta. Paralelamente, y hasta donde ello es posible sin que los problemas dejen de ser significativos para el nivel de análisis propio de la disciplina, hacen uso de modelos experimentales mediante técnicas de laboratorio (cf. Simpson, 1963b, p. 39; 1964, p. 144-147).

En consecuencia, pretender que la Geología no es experimental significa enfatizar ciertos aspectos metodológicos en detrimento de los restantes, y aceptar que los experimentos por excelencia son aquellos más comúnmente utilizados en la Física y la Química. Tal concepción constituye una parcialización de la realidad, pues, como lo ha expresado

Siever (1968, p. 74) la ciencia experimental es de muchas clases y aunque los controles y la habilidad para observar diferentes partes de un experimento pueden variar, su naturaleza es la misma dondequiera que uno los observe.

Vinculada con el supuesto carácter observacional de la Geología se encuentra la idea de que ésta va en sus razonamientos, de los hechos a las generalizaciones teóricas, en una secuencia que incluiría: 1) la observación y registro de hechos; 2) su análisis y clasificación; 3) la obtención de generalizaciones mediante inferencias inductivas; 4) su contrastación posterior con nuevos hechos (cf. Johnson, 1933; Bradley, 1963).

La validez, en general, de tal tipo de inducción ha sido puesta en duda con argumentos muy convincentes, desde Hume en adelante, por numerosos filósofos de la ciencia (cf. Hempel, 1966; Popper, 1962, 1972; Hull, 1974), quienes han sostenido que las hipótesis y leyes, ya sean de tipo universal o probabilístico, deben diferenciarse de las generalizaciones accidentales, y que no existe ningún procedimiento mediante el cual las primeras puedan ser formuladas automáticamente a partir de un conjunto de datos. Una hipótesis o una teoría son construidas sobre la base de conceptos nuevos que no han sido usados previamente en la descripción de los datos originales; "no son *derivadas* de los hechos observados, sino *inventadas* para dar cuenta de ellos" (Hempel, 1966, p. 15).

La historia de la ciencia demuestra que los científicos descubren hipótesis de muchas maneras diferentes, siguiendo pautas—de las cuales usualmente no son conscientes—cuyo orden y complejidad dependen de numerosos factores. Estos procedimientos son tan variados y su éxito tan imprevisible que es poco lo que puede decirse con respecto a los mismos, salvo que ninguno puede garantizar la obtención de resultados válidos, y que éstos pueden serlo independientemente de cómo se los obtuvo (cf. Young, 1951; Hull, 1974). Esto se encuentra magníficamente ejemplificado en la descripción de los hechos que condujeron al descubrimiento de la estructura molecular del ADN por J. D. Watson y F. H. Crick (Watson, 1968), y en la influencia que ejercieron la formación intelectual y determinadas lecturas en las concepciones de Hutton sobre la Tierra y el Universo (McIntyre, 1963). Lo expuesto también es válido con respecto a la suposición de que las hipótesis se producen por analogías (cf. Gilbert, 1896; McIntyre, 1963), ya

que éstas, incluso cuando emplean modelos (cf. Harré, 1970), requieren la existencia previa de aquéllas.

Es evidente pues, que la forma en que se originan las hipótesis y teorías no puede ser utilizada para caracterizar a la ciencia ni para establecer diferenciaciones dentro de ella. Como se verá, esto último tampoco es posible sobre la base de supuestas asimetrías entre explicaciones y predicciones.

Según Hempel (1966) las explicaciones y predicciones se obtienen mediante inferencias hechas a partir de hipótesis (o leyes) y un conjunto de condiciones iniciales. Dichas inferencias pueden ser deductivas o inductivas. En las primeras se usan hipótesis o leyes supuestamente universales, se va de lo general a lo particular, y si las premisas son verdaderas la conclusión también lo es. En las segundas (estadístico-probabilísticas) se va de lo particular a lo general, y en ellas la verdad de las premisas *no* garantiza la de la conclusión (aunque ésta puede ser verdadera con un alto grado de probabilidad). Así la capacidad explicativa o predictiva estaría directamente relacionada con el grado de aproximación de la inferencia al ideal deductivo (cf. Hempel, 1966; Hull, 1974). Es de notar que aun en los más elementales razonamientos estadísticos intervienen hipótesis estadísticas, a partir de las cuales el proceso es estrictamente deductivo, de manera tal que la inferencia estadística sería un ejemplo más—un tanto peculiar si se quiere—del método hipotético-deductivo (Profesor J. Bosch, *in litt.*, 1976).

Este modelo asume que explicación y predicción presentan las mismas características lógicas, pese a que la primera se relaciona con el pasado y la segunda con el futuro. O sea que existiría una simetría entre explicar y predecir. Ello se basa en que tanto las explicaciones como las predicciones son hechas sobre la base de las mismas hipótesis (o leyes), de manera tal que si se conocen éstas, y las condiciones existentes en un sistema en un momento determinado, es posible inferir cualquier otro momento—pasado o futuro—del mismo (cf. Ziman, 1968, p. 41; Popper, 1972, p. 318).

El tema, sin embargo, ha sido y es objeto de debate, pues hay casos donde existe una asimetría entre predicción y explicación.

Una de las objeciones a este modelo está basada en la asimetría que existe entre causas y efectos, la que se deriva del hecho que para producir determinados efectos las causas pueden ser necesarias pero no suficientes

o suficientes pero no necesarias. Así por ejemplo, cuando una causa (X) es necesaria pero no suficiente para producir un efecto (Y), (X) puede ser inferida a partir de (Y) pero lo inverso no es posible; i.e. la existencia de vulcanismo es necesaria pero no suficiente para originar una meseta basáltica (Simpson, 1963b, p. 37). De manera similar, cuando una causa (X) es suficiente pero no necesaria para producir un efecto (Y), (Y) puede ser inferido de (X) pero lo inverso no es necesariamente correcto; i.e. si se invirtiera la dirección de rotación de la Tierra se produciría una marea gigante, pero para que suceda esto último no es necesario que ocurra lo primero (Hull, 1974, p. 94).

La primera situación justifica las inferencias con respecto al pasado, mientras que la segunda lo hace con respecto al futuro, y Scriven (1959) y Simpson (1963b, 1964 y 1970) han sostenido, que aquélla es la que se observa más corrientemente en las "ciencias históricas", como la Geología y la Paleobiología, mientras que en las "no históricas", como la Física y la Química, generalmente no existirían problemas con la asimetría entre explicación y predicción.

Es de notar sin embargo, que en el caso de la teoría de la evolución, aunque los fenómenos con causas necesarias pero no suficientes parecen constituir el tipo más común, existen ambas situaciones, y que tales circunstancias parecen ser comunes a toda la Ciencia (cf. Harré, 1968, p. 18; Watson, 1969, p. 493; Hull, 1974, p. 95).

Aunque esto no fuera así, la asimetría entre causa y efecto no necesariamente contradice la tesis sobre la simetría en la estructura lógica de las explicaciones y predicciones científicas (cf. Bunge, 1959; Hull, 1974, p. 95).

Indudablemente la tesis de la asimetría entre explicación y predicción es apoyada por casos, comunes en la Geología, en los cuales se dispone de información que, dadas sus características, permite reconstruir el pasado con un grado de detalle y certeza superior al que es posible en una predicción del futuro. Esto se debe a que se reconoce que ciertos datos actuales son al mismo tiempo un registro de sucesos pretéritos, pero en la medida en que se toman las circunstancias actuales sin considerar su carácter de registros de eventos históricos la asimetría apuntada se vuelve menos evidente (Hull, 1974, p. 96).

En consecuencia esta asimetría es más gneológica (y epistemológica) que lógica (cf.

Bunge, 1959, p. 307), y es la misma, que con diferentes grados, caracteriza a toda la Ciencia. Por ello la naturaleza de las explicaciones geológicas no es fundamentalmente diferente de la que es común a las demás disciplinas científicas (cf. Bunge, 1959, p. 330-331), y los geólogos no renuncian, pese a la complejidad de los hechos que estudian, a intentar aumentar la precisión de sus predicciones, tal como lo demuestra la aplicación de la teoría de la Nueva Tectónica Global en el pronóstico de terremotos (cf. Press, 1975; Kahle, 1974).

Resta señalar, en relación con este tema, que hay quienes sostienen que las predicciones más que establecer una relación entre presente y futuro lo hacen entre conocido y desconocido. De esta manera es posible, sobre la base de hipótesis y teorías, efectuar predicciones sobre hechos históricos desconocidos cuyo hallazgo posterior confirma las mismas (cf. Kitts, 1963a, p. 308). Pero esto tal vez no sea más que un problema de definición (cf. Mayr, 1961, p. 1504-1505) y no altera la asimetría mencionada más arriba.

En definitiva, y de acuerdo con lo expuesto, no existen evidencias como para sostener que la metodología de la Geología es fundamentalmente diferente de la del resto de las disciplinas científicas. Las diferencias existentes sólo lo son de *grado*, o énfasis, y son epistemológicamente importantes, no sólo porque permiten establecer clasificaciones provisionarias dentro del campo de la ciencia, sino también porque niegan el supuesto carácter paradigmático de la Física y conducen a definir la metodología en forma más amplia y pragmática, sin entrar a detallar secuencias o procesos lógicos "ideales". Una situación similar se presenta entre las diferentes especialidades de una misma disciplina (cf. Valentine, 1975).

Resta mencionar que tal vez uno de los elementos fundamentales del método científico sea la lógica que rodea la aceptación de las hipótesis, ya que si bien éstas pueden ser "libremente *propuestas* sólo pueden ser *aceptadas* e incorporadas al *corpus* del conocimiento... si resisten la revisión crítica" (Hempel, 1966, p. 16). Según Popper (1962, p. 41) "lo que caracteriza al método empírico es su manera de exponer a falsación el sistema que ha de contrastarse: justamente de todos los modos imaginables. Su meta no es salvarles la vida a los sistemas insostenibles, sino por el contrario, elegir el que comparativamente sea más apto, sometiendo todos a la más áspera lucha por la supervivencia". Concep-

ción ésta a la que se ajusta el método de las hipótesis múltiples de Chamberlin (1890; ver también Gilbert, 1886), que Gilbert (1896) aplicara a los problemas geológicos.

Cabe remarcar que la aceptación y grado de verificación de una hipótesis o teoría depende de que haya pasado contrastaciones muy exigentes, y aunque no se pueda justificar la pretensión de que responde a la realidad, se puede justificar el que a un nivel dado de la discusión todo indica que constituye una aproximación mejor a ésta que cualquiera de las hipótesis o teorías rivales propuestas hasta ese momento. Su eliminación y reemplazo se produce cuando se la puede sustituir por otra más contrastable (Popper, 1972, p. 84).

Es notorio sin embargo, que en muchas ocasiones este método, o cualquier otro similar (cf. Platt, 1964), no sólo no lo aplica un investigador aislado, sino prácticamente la totalidad de una comunidad científica, sin que por ello se llegue a dudar del carácter de ésta.

Tal es el caso del rechazo de la teoría de la deriva continental propuesta por Wegener, y su posterior aceptación, pues como Ziman (1968, p. 57) lo ha destacado, 1) la mayor parte de las evidencias que hoy día se utilizan en apoyo del desplazamiento de los continentes no dependen de las técnicas geofísicas, y se conocían o se podrían haber obtenido 50 años atrás; 2) la principal objeción que se planteó en aquel entonces, i.e. la carencia de una explicación que incluyese un mecanismo apropiado, subsiste en la actualidad.

Quizás ello se origine, al igual que en otros casos similares, v.gr. el descubrimiento y redescubrimiento de los experimentos de Mendel (cf. Stent, 1972) y las resistencias a la teoría de Darwin (cf. Mayr, 1972) (ver también Davis, 1926; Kuhn, 1970), en el hecho de que la ciencia es en cierta medida una empresa social (cf. Ziman, 1968) y que la comunidad científica, o "Invisible College", que la lleva a cabo está sujeta, en cada época, a un clima intelectual determinado en el cual no son menos importantes que el comportamiento de la comunidad en sí (cf. Ziman, 1968; Crane, 1972) y el conjunto de conocimientos existentes, las influencias filosóficas, históricas, políticas y económicas de la sociedad que la rodea (cf. Toulmin, 1967). Un análisis de este problema entra dentro del campo de la Sociología de la Ciencia y escapa al objetivo de este trabajo.

El caso de Wegener, citado más arriba,

no sólo es ilustrativo de la complejidad del tema, sino también de los errores a los que suele llevar la convicción de que la Física es el paradigma de la ciencia. Pues el argumento más fuerte en contra de la deriva proviene de H. Jeffreys, un matemático de la Universidad de Cambridge, quien, sobre la base de evidencias sismológicas, calculó que la Tierra era demasiado rígida como para que ella fuese posible.

Un caso similar (cf. Hallam, 1973) se encuentra en la controversia entre Lord Kelvin y los geólogos del siglo pasado, sobre la edad de la Tierra, en la cual aquél llegó a sostener que, según sus cálculos, ésta oscilaba entre 20 y 40 millones de años.

Ello demuestra en definitiva que los geólogos por el momento sólo pueden resolver los problemas del nivel de complejidad que les compete dentro de éste, haciendo uso de todos los recursos a su alcance y sin suponer la superioridad de ninguno. Particularmente perniciosa es la creencia de que el mero hecho de expresar leyes y descripciones numéricamente las convierte en proposiciones matemáticas de validez universal (cf. Harré, 1970, p. 9).

Es bueno notar finalmente que, a pesar de la resistencia que una comunidad pueda poner a determinadas innovaciones, llega un momento en que el carácter de éstas y la existencia de anomalías no explicadas con anterioridad, lleva a una serie de investigaciones extraordinarias que dan como resultado la aceptación, en lo que Kuhn (1970) ha denominado "revoluciones científicas", de un nuevo conjunto de compromisos básicos —o paradigmas—.

III. Objetivos de la Geología

De lo que se ha dicho más arriba se desprende que existe una serie de pautas metodológicas comunes a toda la ciencia, cuya aplicación es arbitrio exclusivo de los investigadores. De donde se seguiría, si se acepta la definición de Bunge (op. cit.), que la determinación del carácter científico de la Geología quedaría restringida a la comprobación de su capacidad para hallar estructuras generales (leyes).

Aunque este tema ha preocupado desde antiguo a muchos geólogos, los intentos para establecer "leyes geológicas" han ido disminuyendo, hasta casi desaparecer, en el curso del presente siglo. No son comunes los

casos como el de Bucher (1933), quien llegó a mencionar un total de 46.

De allí que se sostenga que "la geología es una de las ciencias pobres en leyes" (Bunge, 1969a, p. 358) "que todavía se halla en su fase embrionaria" (Bradley, 1963, p. 22). La conclusión sería que se trata de una Protociencia, y que se debe confiar en que "algún día envejeceremos y tendremos más leyes" (Bradley, op. cit.) para alcanzar así el rango de ciencia.

Al respecto cabe señalar que estas conclusiones reflejan una visión parcializada de la realidad. Como se verá a continuación la Geología no sólo posee características que son comunes a todas las disciplinas científicas, sino que también cuenta con elementos y un nivel de complejidad que le son propios, razón por la cual no se la puede juzgar utilizando criterios que tienen su origen y justificación en otros campos del conocimiento.

1) *Objetivo cognoscitivo*

El objetivo de la Geología, tomando en cuenta la definición de Lyell (1832), es el conocimiento del planeta Tierra, de su historia y evolución, y de los procesos que han actuado y actúan en el mismo.

Es de remarcar esta finalidad fundamentalmente cognoscitiva, dada la creencia, cada vez más amplia, de que la investigación debe estar dirigida a la obtención de resultados de utilidad práctica.

Pues si bien existe una interrelación fecunda entre ciencia pura y aplicada, es evidente que ésta, en general, ha ido a la zaga de aquélla, ya que "tiene que haber conocimiento antes de poder aplicarlo" (Bunge, 1969a, p. 43). Por eso es un error exagerar los objetivos externos de la ciencia y pretender suprimir o restringir la libertad de investigar, esto es la de "dudar de las ideas recibidas y... de intentar establecer otras nuevas, aunque no parezcan socialmente útiles". Así, por último, sólo se logra el estancamiento tecnológico (Bunge, 1969a, p. 44).

Por otra parte, en la medida en que la tecnología se ha desarrollado independientemente, sin preocuparse por entender los procesos del mundo y su impacto en ellos, el resultado ha sido finalmente negativo. A atestiguarlo contribuye el deterioro del medio ambiente (cf. Langrish, 1974).

La importancia de estos conceptos lamentablemente no ha sido siempre comprendida por quienes tienen la responsabilidad de tra-

zar la política científica y distribuir los fondos asignados a su consecución. Esta incompreensión, muchas veces basada en la ignorancia, usualmente ha conducido a la marginación del enorme potencial de objetivos de largo alcance en aras de pequeños logros inmediatos sin mayor trascendencia futura (cf. Richter, 1953).

Como bien lo ha expresado Bunge (1971, p. 47) "la utilidad de la ciencia es una consecuencia de su objetividad; sin proponerse necesariamente alcanzar resultados aplicables, la investigación los provee a la corta o a la larga". Por ello "es redundante exhortar a los científicos a que produzcan conocimientos aplicables, no pueden dejar de hacerlo. Es cosa de los técnicos emplear el conocimiento científico con fines prácticos, y los políticos son los responsables de que la ciencia y la tecnología se empleen en beneficio de la humanidad".

Esto no implica que la utilidad de algo esté en relación directa con su significación económica según los criterios casi universalmente aceptados en la sociedad contemporánea (cf. Schumacher, 1974).

La finalidad cognoscitiva es, sin embargo, común a todas las disciplinas, incluida la Geología, y en consecuencia lo suficientemente amplia como para que no pueda ser utilizada para establecer diferencias entre éstas. Recién cuando se intenta determinar el grado de sistematicidad del conocimiento —especialmente en forma de leyes—, pareciera ser posible discriminar entre campos más, y menos, científicos.

Resulta así necesario determinar si todas las disciplinas tienen un objetivo legaliforme, qué se entiende por este último, y cuál es la situación de la Geología al respecto.

2) *Objetivo legaliforme*

Como ya se ha visto, la definición de Ciencia enunciada por Bunge (op. cit.) coloca como objetivo de ésta la formulación —o el descubrimiento— de leyes.

Antes de considerar hasta qué punto ésto es aplicable al campo de la Geología corresponde primero establecer qué se entiende por *Ley*.

Según Bunge (1969a, p. 334) es "una hipótesis confirmada de la que se supone que refleja un esquema objetivo", o "es una hipótesis científica confirmada que afirma una relación constante entre dos o más variables, cada una de las cuales representa (al

menos parcial e indirectamente) una proposición de sistemas concretos" (p. 342).

El mismo autor (Bunge, 1971, p. 99) se ha encargado de aclarar, sin embargo, que "sólo unos pocos estudiosos de la ciencia concuerdan respecto de lo que designa el término 'ley' en el contexto de la ciencia" (ver también Bunge, 1960; Bradley, 1963).

Es que como Hempel (1966, p. 55) ha puntualizado, si se aplicase el término "ley" exclusivamente a enunciados que se saben verdaderos, aquellos a los que comúnmente se denomina leyes no se considerarían como tales. Por ello el mismo se emplea con cierta liberalidad a proposiciones de diferente nivel o grado de aproximación a la realidad.

Cabe remarcar aquí la diferencia entre leyes naturales, que describen hechos de la naturaleza, y leyes normativas, que comprenden las normas o convenciones establecidas por la sociedad humana. Especialmente destacable es que esta distinción implica el dualismo entre hechos y decisiones, o autonomía ética, según la cual la responsabilidad de las decisiones éticas pertenece a cada individuo y no puede ser delegada si no se quiere retornar al sometimiento a la magia tribal (cf. Popper, 1966).

Dentro de las leyes naturales debe distinguirse fundamentalmente entre lo que Bunge (1969a, p. 376-7) ha llamado "leyes objetivas", y lo que pueden denominarse "enunciados de leyes". Las primeras designan "un esquema objetivo de una clase de hechos (cosas, acontecimientos, procesos), o sea, cierta relación constante o red de relaciones constantes que se cumplen realmente en la naturaleza, las conozcamos o no" (Bunge, op. cit., p. 375). La suposición de su existencia, que se apoya en el principio de Causalidad, no es falsable, razón por la cual se la considera una hipótesis metafísica (Popper, 1962, p. 59, 230).

Los "enunciados de leyes" en cambio, son aquellos que proponen sucesivamente los científicos, en el curso de sus actividades, con el objeto de obtener "leyes objetivas", en una secuencia que se caracteriza por una aproximación cada vez mayor a ese objetivo inalcanzable (cf. Bunge, 1969a, p. 377-379). Por eso lo que usualmente se llaman "leyes" solo son hipótesis o conjeturas sobre la realidad, de las cuales jamás se puede tener la seguridad de que son absolutamente ciertas (Popper, 1972).

En el caso de la Geología, autores como Bradley (1963) y Simpson (1963b) han coincidido en concluir la casi virtual ausen-

cia de "leyes", aunque difieren en las causas a las que atribuyen este hecho, así como en sus consecuencias.

Bradley (op. cit.) ha destacado la dependencia que existiría con respecto a la Física, la Química y la Biología, así como la naturaleza —a su entender— esencialmente observacional de las ciencias geológicas, concluyendo que se encuentran "en el comienzo de una etapa de su desarrollo" (p. 22), con lo cual las redujo al rango de *Protociencias*. Posición ésta muy similar a la asumida en 1807 por los fundadores de la Geological Society of London (cf. Whewell, 1857, 3, p. 428, 518).

Simpson (op. cit.) ha remarcado en cambio su carácter complejo y considera que su objetivo es "el estudio científico pleno de las configuraciones geológicas" (p. 25), razón por la cual son históricas. En contraposición sostiene que lo immanente es propio de las ciencias "no históricas", como la Física y la Química, concluyendo que si bien la meta de éstas puede ser hallar leyes, no debe pretenderse que también lo sea la de aquéllas.

La distinción efectuada por Simpson (op. cit.) es similar a la que hiciera Nagel (1968, p. 494; ver también Smart, 1968, p. 7, 91) entre ciencia teórica e historia. Para éste "los historiadores no consideran como parte de su propósito *establecer... leyes*", y dice expresamente que "un geólogo trata de determinar, por ejemplo, el orden sucesivo de las formaciones geológicas, y lo hace en parte aplicando diversas leyes físicas a sus materiales de estudio; pero no es tarea del geólogo, *qua* geólogo, establecer las leyes de la mecánica o de la desintegración radioactiva que utiliza en sus investigaciones" (p. 495; ver también Kitts, 1963a, b, 1974).

Conviene aclarar, antes de proseguir, que lo histórico en la Geología y en la raza humana no son comparables en lo que respecta a la sistematización mediante enunciados de leyes. Pues en la historia (s. str.), es probable que las "leyes" se modifiquen con los hechos mismos. Así las predicciones en la historia humana pueden influir en la materialización de hechos que de otra manera no se hubieran producido (cf. Bunge, 1969a). Pese a ello, y al condicionamiento de las leyes naturales, la raza humana posee en todo momento la libertad de elegir que hace que su futuro sea impredecible con relativa exactitud (cf. Schumacher, 1974, p. 192). La similitud entre Geología e Historia yace quizás en que tanto los geólogos como los historiadores están interesados en determinar

el lugar y el momento en que un evento tuvo lugar, para sobre tal base construir una crónica histórica (Kitts, 1963a, p. 298).

Lo expuesto con anterioridad plantea una serie de interrogantes:

—¿Es la Geología una ciencia esencialmente observacional, que debe limitarse —por ahora— a acumular datos?

—¿Es su objetivo establecer leyes, y si lo es, de qué tipo?

—¿Es realmente, en su aspecto legaliforme, parte de la Física y la Química? ¿Cuál es su relación con éstas?

El primer punto ha sido discutido más arriba habiéndose concluido que la Geología, además de efectuar observaciones y descripciones, es una disciplina experimental y teórica, al igual que la Física y la Química, y que las diferencias existentes sólo lo son de grado.

Cabe preguntarse ahora si la circunstancia de que aparentemente no existan "leyes" propias implica, tal como pareciera desprenderse de la definición de Ciencia de Bunge (op. cit.) que la Geología todavía no ha alcanzado el rango de tal.

Para contestar esta pregunta en forma apropiada hay que considerar primero cuál es la situación de la Geología dentro del conjunto general de las disciplinas científicas.

Para comenzar es necesario destacar que éstas son fruto de la especialización y de la estructura multinivel de la realidad y se ocupan de hechos de complejidades diferentes. Así los fenómenos objeto de estudio serían sucesivamente más complejos en la Física, la Química, la Geología, la Biología, y la Historia (cf. van Bemmelen, 1960; Simpson, 1963b, p. 46; Bunge, 1969a, p. 67), lo cual no significa establecer una separación neta entre las mismas, ni jerarquías simplistas con grados relativos de superioridad (cf. Bunge, 1969b).

Esta complejidad creciente de la Física a la Historia hallaría su explicación en el hecho de que a partir de aquella —que trata casi exclusivamente lo inmanente y no histórico— hay un incremento de lo configuracional e histórico, en una progresión que se caracteriza por ser composicionista ya que "examina los materiales de implicación primaria y se vigoriza en sistemas de complejidad crecientes" (Simpson, 1963b, p. 46), o a que, como señala van Bemmelen (1960), la evolución cósmica ha dado lugar a una serie de reacciones de la materia, que han originado nuevas posibilidades y factores —factores emergentes— que constituyen niveles en

los cuales las reglas y leyes de los estados más simples son válidas para los más complejos, pero no a la inversa (ver también Mayr, 1961, p. 1505; Medawar, 1969, p. 15-19; Anderson, 1972).

La importancia de lo histórico y de lo no histórico, así como el carácter de los enunciados legaliformes, posiblemente estén determinados por la relación existente entre el hombre y sus objetos de estudio. Es evidente que los enunciados y teorías físicas se han desarrollado en dimensiones donde sólo son de interés las estructuras y comportamientos más generales de la materia, y es posible, por ende, analizar y explicar éstos sobre la base de un número reducido de variables. Allí las historias individuales sólo interesan hasta cierto punto pues en la mayor parte de los casos carecen de significación. Las características de las propiedades de estos niveles se han transmitido por lógica a los enunciados que dan cuenta de ellas, y de esta manera ha sido posible establecer "leyes" que expresan, bajo ciertas condiciones, relaciones constantes de tipo casi universal.

En contraposición a éstos, existen otros niveles, como aquellos de los que se ocupa la Geología, en los cuales existe una *aparente* falta de universalidad. Esta, que en principio puede deberse a que en la observación de tipos de hechos que se caracterizan por su rareza, extensión espacio-temporal y complejidad, la humanidad no sólo está limitada intelectualmente sino también en el espacio y en el tiempo, parece ser real cuando se considera que la materia organizada en planetas sólo compone una ínfima parte del Universo (cf. Watson, 1966, 1969).

En la medida en que estas limitaciones impiden aislar las variables realmente importantes, y que el interés lleva a incrementar la especificidad de los tipos de fenómenos, se hace más difícil establecer enunciados de leyes universales.

Pese a estas diferencias es importante señalar que, como Simpson (op. cit.) lo reconoció, en las ciencias físicas "no históricas" hay atributos históricos, de la misma manera que en las "históricas" existen propiedades no históricas (ver también Bunge, 1959, p. 266). El énfasis de cualquiera de ellos depende del grado de especificación que el interés humano haga de las características de un determinado tipo de fenómeno, el cual culmina cuando se fijan sus coordenadas espacio-temporales y se lo identifica con su ejemplo. Sin embargo, así como el científico

“histórico” no puede interesarse únicamente en particularidades si es que pretende dar explicaciones, el “no histórico” no puede restringirse a lo general si es que pretende que sus leyes sean aplicables a la realidad (cf. Watson, 1969, p. 491).

La Geología, en consecuencia, y como ya lo reconociera Whewell (1847, I, p. 637, 643, 653; 1857, III, p. 401, 410, 449), no sólo comprende una parte histórica que trata de reconstruir las diferentes —y únicas— configuraciones que se han sucedido en el tiempo, sino que además —y para poder llevar ésto a cabo— posee una teoría en la que juegan un papel primordial tipos —abstracciones— que sí son reproducibles en el espacio y en el tiempo. Pues todas las configuraciones, pasadas y presentes, alcanzan cierta semejanza merced a rasgos que les son comunes. Y aunque sean aparentemente únicas, siempre pueden ser consideradas como ejemplificaciones de tipos de eventos que, teóricamente, pueden repetirse en cualquier otro lugar del Universo (cf. Watson, 1966). Los eventos absolutamente únicos, esto es los que no tienen nada en común con los demás, son indescriptibles, pues todas las descripciones y análisis se efectúan en términos de predicados, clases de conceptos o relaciones reproducibles (Kitts, 1974, p. 16).

Es por ello que las explicaciones geológicas también son del tipo en el cual las circunstancias particulares pueden ser incluídas como casos, o ejemplos, de las regularidades de la naturaleza que usualmente se describen como enunciados de leyes (Watson, 1966). En este contexto es de importancia tomar en consideración el nivel de análisis que se está empleando, pues un mismo evento puede ser tratado como un individuo con respecto a un conjunto de hipótesis (o leyes), o como un miembro de una clase en relación a otro (cf. Hull, 1974, p. 48-49). Finalmente, resulta obvio que toda explicación debe darse a la luz de alguna hipótesis (ley o teoría). Una descripción histórica en sí misma no explica los eventos que comprende (cf. Kitts, 1963a; Watson, 1969; Hull, 1974), aunque el ordenamiento de hechos en clases constituye una hipótesis acerca del mundo.

Como ya se ha dicho, el éxito de la Física se ha basado en su capacidad para reducir problemas a un nivel de simplicidad en el cual éstos pueden ser solucionados con los medios disponibles (cf. Weinberg, 1972). Esto significa generalmente tratar con sistemas cerrados de pocas variables, para así

poder establecer relaciones, entre éstas, de validez universal.

Es un error, sin embargo, creer no sólo que la meta de la Ciencia en general es lograr *enunciados de leyes* similares a los que son comunes en la Física, sino también sostener que hay disciplinas que *no* intentan obtener *leyes objetivas universales*. Desde el momento que la suposición de la existencia de éstas es básica para la actividad científica, y su inexistencia es imposible de verificar (cf. Popper, 1962, p. 192), por complejos, extensos y aparentemente únicos que sean los fenómenos que se estudian, este último propósito siempre existe, aunque en muchos casos conduzca a enunciados de leyes originados en otras disciplinas.

Ello no significa que, sobre la base de la mayor o menor proximidad a este objetivo, se puedan establecer grados en el desarrollo o carácter científico de las mismas, pues los puntos de partida no son comparables.

Por ello no es de extrañar que la Geología sea una disciplina con pocos enunciados de leyes —lo cual no implica que haya pocas leyes—, pues éstos en definitiva —según el alcance que usualmente se les atribuye— no pueden dar cuenta de los hechos complejos que trata aquella. Ya se ha visto, sin embargo, que los “enunciados legaliformes” solo constituyen una aproximación a las “leyes objetivas”, y que, en consecuencia, existe toda una gama, desde aquellos que se aproximan al ideal de la universalidad hasta las simples generalizaciones de carácter probabilístico.

En este contexto es importante destacar que si bien la Física clásica —o newtoniana— se caracterizó por enunciados casi universales, desde el desarrollo de la mecánica cuántica, y el aumento en la complejidad de los problemas en estudio, se ha producido un incremento paralelo de enunciados de tipo probabilístico. Lo cual sólo indica que no es posible obtener “leyes” más sencillas (cf. Popper, 1962, p. 193).

Estos últimos enunciados, como generalizaciones empíricas, constituyen el tipo más común en la Geología y la Biología. De allí que Bucher (1936) haya considerado que lo principal del trabajo geológico consiste en efectuar generalizaciones para obtener “leyes empíricas” cuya comprensión se debería buscar en otros niveles de complejidad. Un concepto similar ha sido expuesto por Kitts (1963b; ver también 1974), para quien estas generalizaciones serían comparables a las leyes de la Física y la Química, aunque en

muchos casos "han sido formuladas... en función de generalizaciones de alto nivel empleando las leyes de la Física y la Química" (p. 62). Por ello la Física y la Química tendrían como fin hallar leyes, y la Geología usaría de éstas como un medio para construir crónicas de eventos específicos.

Esta es una concepción errónea, pues desde un punto de vista explicativo las hipótesis, leyes y teorías son un medio para *todas* las disciplinas científicas. El hecho de que la Física, en contraste con otras ramas de la ciencia, históricamente haya tenido una mayor facilidad para expresarse legal— y matemáticamente, y que continúe haciéndolo, no significa que ese sea su objetivo.

Por ello quizás sea apropiado reconocer con Popper (1972, p. 48, 180) que en la ciencia lo que se pretende es dar explicaciones satisfactorias de la realidad. Considerando satisfactorias aquellas explicaciones que hacen uso, junto con condiciones iniciales, de conjeturas teóricas contrastables.

Directamente relacionada con lo expuesto más arriba se halla la posibilidad de que tanto la Geología como todas las disciplinas, sean en última instancia reducibles, en sus términos y leyes, a la Física y la Química. Esto es, que las explicaciones puedan buscarse mayormente —o únicamente— en niveles menos complejos, y que las teorías y leyes de un campo de la ciencia puedan considerarse casos especiales de los formulados en otros.

Si bien en algunos casos, como el de la Biología, pareciera que ello no es momentáneamente posible, tal posibilidad es, como se verá, de una significación relativa (Popper, 1962; Hempel, 1966; Anderson, 1972; Hull, 1974).

En general las ramas de la ciencia que tratan de hechos más complejos, e intentan resolver los problemas que éstos presentan, sólo pueden descomponerlos en partes con menos variables mientras ello no signifique abandonar el objetivo explicativo que tiene significación para los niveles que le son propios. Pues hablar de configuraciones geológicas en términos de los elementos más simples que las componen y de las leyes que dan cuenta de las regularidades de éstos, es hablar de Física y no de Geología (cf. Watson, 1969, p. 489). Es por ello que, aunque a veces, como en cualquier otra disciplina, se presentan fenómenos que solo pueden ser resueltos en un nivel de análisis diferente, en general para hablar de hechos y regularidades de significación en Geología es necesario

usar términos geológicos, e hipótesis (leyes y/o teorías) que hagan uso de éstos (Watson, 1969; Hull, 1974, p. 133-134).

De esta manera una disciplina científica de cierta complejidad comprende necesariamente hipótesis, leyes y conocimiento en general, correspondientes a diferentes campos de la ciencia, además del propio (cf. van Bemmelen, 1960, p. 458; Hagner, 1963, p. 240; Bunge, 1959, p. 271; 1969, p. 654). Por ello las leyes físicas y químicas son propiedad de toda la ciencia (cf. Cloud, 1970b, p. 4).

De esta manera, aceptar con Kitts (1974) que las hipótesis (y teorías) geológicas deben ser coherentes con el resto del conocimiento científico no significa sostener su reducción o subordinación a la Física y la Química, sino reconocer la unidad de la ciencia. Pese a ello, y contrariamente a lo sostenido por Kitts (op. cit.), los hechos históricos pueden falsar hipótesis (leyes y/o teorías) geológicas sin que ello signifique la falsación de aquellas leyes físicas y químicas con las que éstas son compatibles.

Las diferentes hipótesis y/o leyes, referidas a un mismo tema factual se integran usualmente en teorías, las que constituyen, en consecuencia, el producto más sofisticado de la actividad científica. En ellas hasta las generalizaciones empíricas adquieren carácter legaliforme (cf. Hempel, 1966, p. 58; Harré, 1970, p. 132; Hull, 1974, p. 71).

Las teorías ofrecen una versión sistemáticamente unificada de fenómenos completamente diversos, muestran que las leyes empíricas que tratan de explicar no se cumplen de una manera estricta y sin excepciones, sino en forma aproximada y dentro de un cierto ámbito limitado de aplicación, y, permiten predecir y explicar fenómenos que no se conocían cuando fueron formuladas (Hempel, 1966, p. 70, 76).

Es factible entonces que la madurez de una determinada rama de la ciencia deba buscarse en la existencia de una teoría unificadora, con gran poder explicativo, que sea aceptada como paradigma de su actividad por la mayor parte de los miembros de una comunidad académica (cf. Ziman, 1968; Kuhn, 1970), y que sea susceptible de reemplazo por otras con un nivel mayor de universalidad. Así el avance del conocimiento haría cada vez más borrosas las líneas divisorias entre las diferentes disciplinas.

Con relación a lo expuesto es obvio que los geólogos, no sólo han desarrollado en los últimos años una teoría de tales caracterís-

ticas, sino que desde Hutton y Lyell —esto es en los años inmediatamente posteriores a la publicación de los *Principia* de Newton, producida en 1687, hecho que marca el nacimiento de la ciencia moderna— han aceptado como propiedad común un *corpus* teórico complejo. En él juegan un papel importante, hipótesis, generalizaciones y leyes, propias y de otros niveles, que dan explicación, al parecer válida, de la historia y evolución del planeta y de los procesos que han actuado y actúan en el mismo (cf. Kuhn, 1970, p. 15). Por otra parte, la validez y universalidad de la teoría geológica depende de su capacidad de explicar, no sólo los fenómenos exclusivamente terrestres, sino también aquellos que trascienden los límites del planeta. Y el estudio de la Luna es, en tal sentido, una prueba que está siendo superada con éxito.

Resta señalar que tal vez la unidad de la Ciencia no se basa en una utópica reducción, sino en las uniformidades estructurales de los diferentes niveles de la realidad, i.e. en la existencia de conceptos, modelos y leyes similares en campos completamente diferentes (cf. Bertalanffy, 1968, 1972). Por eso quizás no sea del todo importante determinar, si la Física, o, como lo afirmó Simpson (1964, p. 107) la Biología, es la disciplina central de la Ciencia, y si la unidad de ésta debe buscarse a través de principios aplicables a todos los fenómenos, o a través de fenómenos a los cuales todos los principios son aplicables (cf. Simpson, op. cit.; Hull, 1974, p. 132). De cualquier manera, aún si fuese posible una teoría unificada de la realidad, la misma probablemente no se asemejaría a la de la Física contemporánea (Hull, 1974, p. 131).

IV. Principios

Es notorio, sin embargo, que la ausencia en la Geología de enunciados legaliformes comparables a aquellos de la Física y la Química, ha llevado a buscar otras denominaciones para las fórmulas generales que se suponen propias de ella. Así es común encontrar en los libros de texto la enunciación de *Principios*.

En general no es claro el alcance conceptual que se ha pretendido dar a este término, y ello se pone en evidencia al comprobar que bajo el mismo parecen haberse introducido enunciados correspondientes a categorías di-

ferentes, que incluyen desde métodos de trabajo hasta axiomas generales de la ciencia.

Los principios más comúnmente citados suelen ser el del *uniformismo*, y el de *superposición*, y, a veces, el de *correlación* (cf. Weller, 1960, p. 29), aunque se han mencionado muchos otros (cf. Borrello, 1961; Cloud, 1970b).

Aparentemente la mayor parte de ellos, i.e. incompleta secuencia, geografías sucesivas, evolución geológica, continuidad física y biológica, universalidad, relación bidimensional, constituyen diferentes enunciados, o enunciados parciales, de una misma teoría, e.g. de la evolución y de los geosinclinales, o pueden ser reducidos al principio del *uniformismo*.

El principio de correlación estratigráfica es, en cambio, aceptado como "ley geológica" (cf. Dunbar y Rodgers, 1957, p. 110; Bunge, 1969a, p. 358), aunque Simpson (1970a, p. 44) señala que implica una inferencia basada en los principios de uniformidad y simplicidad, y según Watson (1966, p. 181) es la expresión de leyes físicas en términos geológicos.

Evidentemente este tema necesita de un estudio detallado que esta fuera del propósito del presente trabajo. No obstante esto, resulta apropiado hacer unas breves consideraciones sobre el *principio del uniformismo* debido a que el mismo, en los últimos años, ha sido objeto de discusión, no sólo en el extranjero (Simpson, 1963b, 1970a; Gould, 1965, 1967; Hooykaas, 1970), sino también en nuestro país (Harrington, 1973).

Uniformismo (= Uniformitarianismo = Uniformitarismo)

La importancia asignada al Principio del Uniformismo en la Geología se refleja en afirmaciones como la de Longwell y Flint (1955, p. 385; cf. Kitts, 1963b, p. 62), según la cual éste "es la piedra angular de la filosofía geológica" y "posiblemente la contribución más grande que han hecho los geólogos al conocimiento científico", y en el hecho de que así parece haber sido aceptado en otras disciplinas (cf. Stebbins, 1974, p. 13).

No obstante lo expuesto, y tal como Simpson (1970a, p. 45) lo ha señalado, las opiniones al respecto parecen ser contradictorias, ya que también hay quien lo considera un principio general de la ciencia.

El problema se origina en el hecho de que este principio incluía —en las primeras oportunidades en que fue expuesto— una serie de conceptos que nunca fueron claramente dife-

renciados por Hutton. De esta manera la discusión que se originó, y que en muchos casos ha perdurado hasta la actualidad, más que debida a diferencias de opinión sobre su validez o universalidad, se debió a las diversas interpretaciones que los distintos autores daban del mismo (cf. Simpson, 1963b; Gould 1965; Albritton, 1967b; Hooykaas, 1970; Harrington, 1973).

En primer lugar, como Simpson (1970a) lo ha destacado, se debe diferenciar el concepto de *Actualismo*, aplicable a la Geología, del principio general de la ciencia que reconoce que el Universo, en lo que respecta a sus propiedades inmanentes, es un sistema único y consistente en todo momento.

Este último no es en realidad más que una expresión generalizada del principio de legalidad, y hace referencia al ordenamiento objetivo del Universo, independientemente del conocimiento que el hombre posee de éste. Es un principio ontológico propuesto y confirmado por la investigación científica (Bunge, 1969a, p. 410), o una hipótesis metafísica (Popper, 1972), y admite tanto la permanencia como la modificación, a través del tiempo, de las propiedades inmanentes del Universo, independientemente de lo que expresan los enunciados de ley y/o teorías, como manifestación del conocimiento del hombre en un momento determinado. En definitiva es la versión metafísica de una regla metodológica que establece que no debe abandonarse la búsqueda de leyes universales y de un sistema teórico coherente, y parece ser más útil que cualquier metafísica indeterminista de la índole definida por Heisenberg (Popper, 1962, p. 230-231). Ello no implica negar que el mundo está también regido por leyes de probabilidad estadística (Popper, 1972, p. 199), pues la respuesta al dilema Azar-Determinismo no parece encontrarse en ninguno de los extremos (cf. Popper, op. cit., p. 210; una discusión sobre este tema en relación con la Geología se encuentra en Krauskopf, 1968; Mann, 1970a, b, c; Simpson, 1970b; Smalley, 1970).

Este principio admite no sólo la posibilidad de regularidades que varíen con el tiempo, sino también la existencia de otras cuyos efectos no han sido detectados por la especie humana.

Uniformidad en el espacio y el tiempo se atribuye en cambio a los enunciados de leyes establecidos por ésta, lo que ha llevado a decir que "the uniformity required is not in nature's activities but in our account of them"

(Goodman, 1967, p. 94). A un concepto tal, que implica que las propiedades inmanentes del Universo no han cambiado, es aplicable la denominación de *Actualismo*. Nótese que los enunciados de leyes son una expresión de las limitaciones humanas y, en consecuencia, se modifican y reemplazan con el avance del conocimiento. Pese a ello en su momento parecen ser aplicables sin consideración de tiempo y lugar, y se les atribuye la permanencia y universalidad que se supone tienen las leyes objetivas que se tratan de obtener. Aunque la validez del Actualismo no puede probarse, su fundamentación está dada esencialmente por la geo-, bio- y astro-historia de los últimos 3.5 Ga, razón por la cual se lo ha considerado un principio histórico (cf. Simpson, 1970a, p. 63). No obstante esto, también tiene vigencia en el campo de las disciplinas donde el tiempo, si bien no tiene en general la misma importancia que en la Geología y la Paleontología o la Astronomía, está comprendido en teorías como la de la Relatividad.

Así el *Actualismo* es un principio general de la ciencia fáctica que halla su fundamentación en los aspectos históricos de algunas de las disciplinas científicas.

El mismo no es contradecido por la variación de ciertos procesos o su posible ausencia en determinadas épocas (cf. Harrington, 1973). Esto se debe a que la continuidad y uniformidad espacio-temporal atribuida a las propiedades de la materia y a los enunciados de leyes, no implica la de los diferentes procesos y configuraciones del Universo. Por el contrario, la uniformidad de las condiciones materiales y de las intensidades y velocidades de los procesos en la historia de la Tierra —o *Uniformismo Sustantivo* (cf. Gould, 1965)— no puede ser sostenida a la luz de las evidencias geológicas. Pues no sólo han existido procesos que hoy día no actúan, sino que existen otros cuya historia es muy breve. Además los que siempre han existido se han caracterizado por sus variaciones en intensidad, sin que existan evidencias de progresiones regulares —disminución o incremento— de muchas de ellas. Por ello en diferentes momentos y lugares, en la historia física del planeta, han existido cambios graduales y/o catastróficos, con toda la gama intermedia (cf. Simpson, 1970a; Hooykaas, 1970; Hendrix, 1975). Cabe acotar que esta aparente ausencia de una variación secular definida no se opone a la existencia de un proceso irreversible hacia un incremento en entropía tal como es

expresado en la 2ª ley de la termodinámica (cf. Hubbert, 1967).

Es interesante destacar que el Uniformismo Sustantivo, en cualquiera de sus manifestaciones, puede no sólo conducir a errores interpretativos, sino a retardar el progreso del conocimiento. A ello se debe problemáticamente que la hipótesis de la Deriva Continental no haya sido investigada con mayor detalle cuando fue propuesta por primera vez (Marvin, 1973, p. 38).

Según Simpson (1970a, p. 90) el *Actualismo* es esencial para efectuar inferencias históricas debido a que la interpretación del pasado involucra la confrontación del registro geológico con los procesos y circunstancias actuales.

Si bien es cierto que hay elementos que pueden ser comparados, en un grado que parece estar en relación inversa con su complejidad y edad geológica, con sus similares actuales, y que tal analogía es uno de los métodos que permite efectuar reconstrucciones históricas, también es verdad que el mismo es aplicable con ciertas limitaciones, pues en el intrincado sistema de la naturaleza productos similares pueden ser el resultado de causas diferentes y productos diferentes pueden deberse a causas semejantes (cf. Lahee, 1909, p. 562-3).

Además este método no es el único que se utiliza en la reconstrucción del pasado. De no ser así sería imposible dar explicaciones en aquellos casos en los que no existen contrapartes actuales. Tal situación suele ser común en Paleontología donde a veces se debe recurrir a modelos teóricos —paradigmas— para establecer la ecología de cierto organismo, o la función de determinado órgano, desconocidos en la actualidad (cf. Rudwick, 1964).

Por otra parte, cuando se plantea que, ya sea un modelo teórico o una relación actual entre causa y efecto, son válidos para el pasado, se está proponiendo una hipótesis a la luz de la cual se trata de explicar un hecho particular. Y ello en definitiva no difiere del método hipotético-deductivo del que hace uso toda la ciencia.

Agradecimientos

El presente trabajo, total o parcialmente, ha sido leído críticamente por: J. Bosch, Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de La Plata; M. Bunge, Instituto de Investigaciones Filosóficas, Universidad Nacional Autónoma de México; J. Crisci, Museo de Ciencias Naturales, La Plata; O. Mastromauro, Departamento de Filosofía, Universidad Nacional de La Plata; E. Musacchio, Museo de Ciencias Naturales, La Plata; J. Roetti, Consejo Nacional de Investigaciones, Argentina; G. G. Simpson, The Simroe Foundation y University of Arizona, E.E.U.U.; R. Vicencio, Department of Geology, Acadia University, Canada; R. C. Whatley, Department of Geology, University College of Wales, Reino Unido.

Los nombrados, a quienes se agradece la valiosa colaboración prestada, no necesariamente comparten las ideas expuestas. Estas, así como los errores que puedan encontrarse, son responsabilidad exclusiva del autor.

La conclusión de este análisis fue posible merced a una beca de la Fundación Guggenheim.

El autor es miembro de la Carrera del Investigador Científico del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas de la República Argentina.

Lista de trabajos citados en el texto

- Albritton C. C., ed., 1963a. *The Fabric of Geology*. Freeman, Cooper and Co., Stanford. (traducción al castellano: Cía. Edit. Continental, México, 1970).
- 1963b. Preface. In Albritton C. C., ed., *The Fabric of Geology*, pp. v-vii.
- ed., 1967a. Uniformity and Simplicity, A Symposium on the Principle of the Uniformity of Nature. *Geol. Soc. Amer. Spec. Pap.* 89: 1-99.
- 1967b. Uniformity, the Ambiguous Principle. *Geol. Soc. Amer. Spec. Pap.* 89: 1-2.
- ed., 1975. *Philosophy of Geohistory: 1785-1970*. Benchmark Papers in Geology, v. 13. Dowden, Hutchinson & Ross, Inc. Pennsylvania.
- Anderson P. W., 1972. More is different. *Science (AAAS)* 177: 393-396.
- Bemmelen R. W. van, 1960. The Scientific Character of Geology. *J. Geol.* 69: 453-463.
- Bertalanffy L. v., 1968. *General System Theory, Foundations, Development, Applications*. George Braziller New York.
- 1972. The History and Status of General Systems Theory. In Klir G. J., ed., *Trends in General Systems Theory*, pp. 21-41. Wiley-Interscience, New York .

- Borrello A. V., 1961. Los Principios Fundamentales de la Geología Histórica. *Rev. Univ. Nac. La Plata* 15: 59-75.
- Bradley W. H., 1963. Geologic Laws. In Albritton C. C., ed., *The Fabric of Geology*, pp. 12-23.
- Braithwaite R. B., 1968. *Scientific Explanation*. Cambridge University Press.
- Bucher W. H., 1933. *The Deformation of the Earth's Crust*. Princeton Univ. Press.
- 1936. The Concept of Natural Law in Geology. *Ohio J. Sci.* 36: 183-194.
- Bunge M., 1959. *Causality*. The World Publishing Co., New York.
- 1960. Kinds and Criteria of Scientific Laws. *Phil. Sci.* 28: 260-281.
- 1969a. *La Investigación Científica*. Ediciones Ariel, Barcelona.
- 1969b. The Metaphysics, Epistemology and Methodology of Levels. In Whyte L. L. et al., eds., *Hierarchical Structures*. pp. 16-28. American Elsevier Publ. Co., Inc., New York.
- 1971. *La Ciencia, su Método y su Filosofía*. Ediciones Siglo Veinte, Buenos Aires.
- Chamberlin T. C., 1890. The Method of Multiple Working Hypothesis. *Science (AAAS)* (1) XV: 92-96 (reimpreso en: 1897, *J. Geol.* 5: 837-848; 1965, *Science (AAAS)* 148: 754-759; 1975, Albritton C. C., ed., pp. 126-131).
- Cloud P., ed., 1970a. *Adventures in Earth History*. W. H. Freeman & Co., San Francisco.
- 1970b. Ordering Principles in Earth History, Introduction. In Cloud P., ed., *Adventures in Earth History*, pp. 3-12.
- Crane D., 1972. *Invisible Colleges. Diffusion of Knowledge in Scientific Communities*. Univ. Chicago Press, Chicago.
- Darwin F. y Seward A. C., eds., 1903. *More Letters of Charles Darwin*. Vol. 1. D. Appleton and Co., New York.
- Davis W. M., 1926. The Value of Outrageous Geological Hypotheses. *Science (AAAS)* 63: 463-468 (reimpreso en Albritton C. C., ed., 1975, *Philosophy of Geohistory: 1785-1970*, pp. 147-152).
- Dunbar C. O. y Rodgers J., 1957. *Principles of Stratigraphy*, J. Wiley & Sons, Inc., New York.
- Gilbert G. K., 1886. The Inculcation of Scientific Method by Example. *Am. J. Sci.* (3) 31: 284-299 (reimpreso en Cloud P., ed., 1970, *Adventures in Earth History*, pp. 24-32).
- 1896. The Origin of Hypotheses, illustrated by the Discussion of a Topographic Problem. *Science (AAAS)* 3: 1-13 (reimpreso en Albritton C. C., ed., 1975, *Philosophy of Geohistory 1785-1970*, pp. 132-146).
- Gilluly J., 1963. The Scientific Philosophy of G. K. Gilbert. In Albritton C. C., ed., *The Fabric of Geology*, pp. 218-224.
- Goodman N. 1967. Uniformity and Simplicity. *Geol. Soc. Amer. Spec. Pap.* 89: 93-99.
- Gould S. J., 1965. Is Uniformitarianism Necessary? *Am. J. Sci.* 263: 223-228.
- 1967. Is Uniformitarianism Useful? *J. Geol. Educ.* 15: 149-50 (reimpreso en Cloud P., ed., 1970, *Adventures in Earth History*, pp. 51-53).
- Hagner, A. F. 1963. Philosophical Aspects of the Geological Sciences. In Albritton, C. C., ed., *The Fabric of Geology*, pp. 233-241.
- Hallam, A., 1973. *A Revolution in the Earth Sciences, From Continental Drift to Plate Tectonics*. Clarendon Press, Oxford.
- Harré, R., 1970. *The Principles of Scientific Thinking*. Univ. Chicago Press.
- Harrington, H. J., 1973. Actualismo y Uniformitarianismo. *Rev. Asoc. Geol. Arg.* 28: 304-308.
- Hempel, C. G., 1966. *Philosophy of Natural Science*. Prentice-Hall, Inc., N. Jersey.
- Hendrix, T. E., 1975. Thresholds and Uniformity of Natural Systems. *J. Geol. Educ.* 23: 60-63.
- Hooykaas, R., 1970. Catastrophism in Geology, Its Scientific Character in Relation to Actualism and Uniformitarianism. *Ned. Akad. Wetensch., Afd. Letterkd., Meded.*, (n.r.) 33: 271-316 (reimpreso en Albritton, C. C., ed., 1975, *Philosophy of Geohistory: 1785-1970*, pp. 311-356).
- Hubbert, M. K., 1967. Critique of the Principle of Uniformity. *Geol. Soc. Amer. Spec. Pap.* 89: 3-33 (reimpreso en Cloud P., ed., 1970, *Adventures in Earth History*, pp. 33-50).
- Hull, D., 1974. *Philosophy of Biological Science*. Prentice-Hall, Inc., N. Jersey.
- Johnson, D., 1933. Role of Analysis in Scientific Investigation. *Geol. Soc. Amer. Bull.* 44: 46-493 (reimpreso en Albritton, C. C., ed., 1975, *Philosophy of Geohistory: 1785-1970*, pp. 153-185).
- Kahle, C. F., 1974. Introduction. In Kahle C. F. ed., *Plate Tectonics: Assessments and Reassessments*. *Amer. Assoc. Pet. Geol. Mem.* 23: 1-4.
- Kitts, D. B., 1963a. Historical Explanation in Geology. *J. Geol.* 71: 297-313.
- 1963b. The Theory of Geology. In Albritton, C. C., ed., *The Fabric of Geology*, pp. 49-68.
- 1974. Physical Theory and Geological Knowledge. *J. Geol.* 82: 1-23.
- Krauskopf, K. B., 1968. A Tale of Ten Plutons. *Geol. Soc. Amer. Bull.* 79: 1-17 (reimpreso en Cloud P., ed., 1970, *Adventures in Earth History*, pp. 54-70).
- Kuhn, T. S., 1970. *The Structure of Scientific Revolutions*. Univ. Chicago Press. 2ª ed. (traducción al castellano: Fondo de Cultura Económica, México, 1972).
- Lahee, F. H., 1909. Theory and Hypothesis in Geology. *Science (AAAS)* 30: 562-563.

- Langrish, J., 1974. The Changing Relationship between Science and Technology. *Nature* 250: 614-616.
- Longwell, C. R. y Flint, R. F., 1955. *Introduction to Physical Geology*. J. Wiley & Sons, Inc., New York.
- Lyell, C., 1832. *Principles of Geology*. Vol. 1. J. Murray, London, 2ª ed.
- Mackin, J. H., 1963. Rational and Empirical Methods of Investigation in Geology. In Albritton, C. C., ed., *The Fabric of Geology*, pp. 135-163.
- Mann, C. J., 1970a. Randomness in Nature. *Geol. Soc. Amer. Bull.* 81: 95-104.
- 1970b. On Randomness and Determinism: Reply. *Geol. Soc. Amer. Bull.* 81: 3187-3190.
- 1970c. Randomness in Nature: Reply. *Geol. Soc. Amer. Bull.* 81: 3195-3196.
- Marvin, U. B., 1973. *Continental Drift, the Evolution of a Concept*. Smithsonian Institution Press, Washington.
- Mayr, E., 1961. Cause and Effect in Biology. *Science (AAAS)* 134: 1501-1506.
- 1972. The Nature of the Darwinian Revolution. *Science (AAAS)* 176: 981-989.
- McIntyre, D. B., 1963. James Hutton and the Philosophy of Geology. In Albritton, C. C., ed., *The Fabric of Geology*, pp. 1-11.
- McKelvey, V. E., 1963. Geology as the Study of Complex Natural Experiments. In Albritton, C. C., ed., *The Fabric of Geology*, pp. 69-74.
- Medawar, P. B., 1969. *Induction and Intuition in Scientific Thought*. Methuen & Co. Ltd., London.
- Nagel, E., 1968. *La Estructura de la Ciencia*. Ed. Paidós, Buenos Aires.
- Platt, J. R., 1964. Strong Inference. *Science (AAAS)* 146: 347-353.
- Popper, K. R., 1962. *La Lógica de la Investigación Científica*. Editorial Tecnos, Madrid.
- 1966. *The Open Society and Its Enemies*, Vol. 1 & 2. Princeton Univ. Press, N. Jersey, 5ª ed.
- 1972. *Conocimiento Objetivo* (edición en castellano: Editorial Tecnos, Madrid, 1974).
- Press, F., 1975. Earthquake Prediction. *Sci. Am.* 232 (5): 14-23.
- Richter, C. P., 1953. Free Research versus Design Research. *Science (AAAS)* 118: 91-93.
- Rudwick, M. J. S., 1964. The inference of function from structure in fossils. *Br. J. Phil. Sci.* 15: 27-40.
- Schumacher, E. F., 1974. *Small is Beautiful*. Sphere Books Ltd., London.
- Scriven, M., 1959. Explanation and Prediction in Evolutionary Theory. *Science (AAAS)* 130: 477-482.
- Siever, R., 1968. Science: Observational, Experimental, Historical. *Am. Sci.* 56: 70-77.
- Simpson, G. G., 1963a. Biology and the Nature of Science. *Science (AAAS)* 139: 81-88 (The Lapham Hall Dedication Lectures, Univ. Wisconsin-Milwaukee).
- 1963b. Historical Science. In Albritton, C. C., ed., *The Fabric of Geology*, pp. 24-48.
- 1964. *This View of Life*. Harcourt, Brace & World, Inc., New York.
- 1970a. Uniformitarianism. An Inquiry into Principle, Theory and Method in Geohistory and Biohistory. In Hetch, M. K. y Steere, W. C., eds., *Essays in Evolution and Genetics in Honor of T. Dobzhansky*, pp. 43-96 (reimpreso en Albritton, C. C., ed., 1975, *Philosophy of Geohistory: 1785-1970*, pp. 256-309).
- 1970b. On Randomness and Determinism: Discussion. *Geol. Soc. Amer. Bull.* 81: 3185-3186.
- Smalley, I. J., 1970. Randomness in Nature: Discussion. *Geol. Soc. Amer. Bull.* 81: 3191-3194.
- Smart, J. J. C., 1968. *Between Science and Philosophy*. Random House, Inc. New York.
- Stebbins, G. L., 1974. *Flowering Plants. Evolution above the species level*. Harvard Univ. Press, Cambridge.
- Stent, G. S., 1972. Prematurity and Uniqueness in Scientific Discovery. *Sci. Am.* 227 (6): 84-93.
- Toulmin, S. E., 1967. The Evolutionary Development of Natural Science. *Am. Sci.* 55: 456-471.
- Valentine, J. W., 1975. Presidential Address: Method and Style in Paleontology. *J. Paleont.* 49: 439-444.
- Watson, J. D., 1968. *The Double Helix; A Personal Account of the Discovery of the Structure of DNA*. Atheneum, New York.
- Watson, R. A., 1966. Is Geology Different: A Critical Discussion of the "Fabric of Geology". *Phil. Sci.* 33: 172-185.
- 1969. Explanation and Prediction in Geology. *J. Geol.* 77: 488-494.
- Weinberg, G. M., 1972. A Computer Approach to General Systems Theory. In Klir, G. J., ed., *Trends in General Systems Theory*, pp. 98-141. Wiley-Interscience, New York.
- Weller, J. M., 1960. *Stratigraphic Principles and Practice*. Harper, New York.
- Whewell, W., 1847. *The Philosophy of the Inductive Sciences*. Johnson Reprint Corporation, 1967 (reimpresión 2ª ed.).
- 1857. *History of the Inductive Sciences*. Vol. I-III. J. W. Parker & Son, London, 3ª ed.
- Young, J. Z., 1951. *Doubt and Certainty in Science*. Clarendon, Oxford.
- Ziman, J., 1968. *Public Knowledge, An Essay concerning the Social Dimensions of Science*. Cambridge Univ. Press.

Recibido: marzo 3, 1976.

MÉTODOS PARA EL ESTUDIO DE LA ESTRUCTURA DE UNIDADES DE BAJO GRADO DE METAMORFISMO

RICARDO MON

Resumen

En esta comunicación se describen los métodos que se emplean para el estudio de la estructura de las unidades metamórficas de Europa central, los que, en nuestra opinión, resultan aplicables a los macizos metamórficos de la República Argentina.

Introducción

En la República Argentina afloran numerosas entidades litológicas de bajo grado de metamorfismo, tanto precámbricas como paleozoicas, que ofrecen como características comunes: litología monótona (carente de horizontes guías), escasez o ausencia de fósiles, y deformación intensa. Dentro de éstas mencionamos, como ejemplos, al basamento del noroeste argentino (formaciones Puncoviscana y Medina), parte del Ordovícico de la misma región, las unidades llamadas "pretilíticas" del borde occidental de la Precordillera, las Calizas de San Juan, etc.

Por las características apuntadas, el estudio de la estructura interna y de la estratigrafía de detalle de estas unidades resulta sumamente difícil con los métodos convencionales.

Sin embargo, se ha observado que gran parte de ellas guardan marcada similitud litológica y estructural con los macizos paleozoicos de Europa central, especialmente con aquellos que se encuentran en ambas márgenes del Rin, dentro del territorio de la República Federal de Alemania, donde numerosos investigadores, ya desde la época del recordado Hans Cloos, de la Universidad de Bonn, desarrollaron métodos adecuados para el estudio de su estructura.

El autor tuvo oportunidad de aplicarlos en un sector del macizo de la Eifel, sobre la margen izquierda del Rin, y de comprobar su utilidad para el estudio de la estructura del basamento del noroeste argentino en un trabajo realizado en la quebrada del Toro (prov. de Salta), dentro de la formación Puncoviscana. Ambos ejemplos se utilizan para ilustrar esta comunicación.

Abstract

In this paper are described the methods employed for the study of the structure of the metamorphic units of Central Europe; in our opinion, they are applicable to the metamorphic basement of Argentina.

Métodos

Los métodos estadísticos gráficos (diagramas estereográficos, rosetas, histogramas, etc.), utilizados frecuentemente para el estudio de la estructura de unidades altamente deformadas, son en general insuficientes para representarla adecuadamente. Estos sólo indican tendencias predominantes sobre la posición de los elementos estructurales de un área determinada, pero a fin de poder individualizar a cada uno de ellos, de tener una visión precisa sobre sus formas y distribución en el espacio es necesaria la elaboración de mapas.

Dentro de las rocas altamente deformadas es posible cartografiar la posición de distintos elementos estructurales tales como planos de estratificación, planos de esquistosidad, ejes de pliegues y de micropliegues, y lineaciones, especialmente las intersecciones entre planos de esquistosidad y de estratificación (ejes δ). Todos ellos proporcionan informaciones útiles para la reconstrucción de la estructura mayor del área. Conviene por razones de claridad y espacio hacer mapas independientes para cada uno de estos elementos.

Dada la magnitud relativamente pequeña de la mayor parte de los elementos estructurales de los macizos intensamente deformados, a fin de obtener un buen grado de información son necesarios levantamientos a escalas, que según los casos, pueden variar entre 1:5000 y 1:25.000. Teniendo en cuenta que en la Argentina los mapas topográficos a estas escalas son todavía insuficientes, éstos pueden ser reemplazados por fotografías aéreas ampliadas, con lo que se obtiene bases topográficas aceptables.

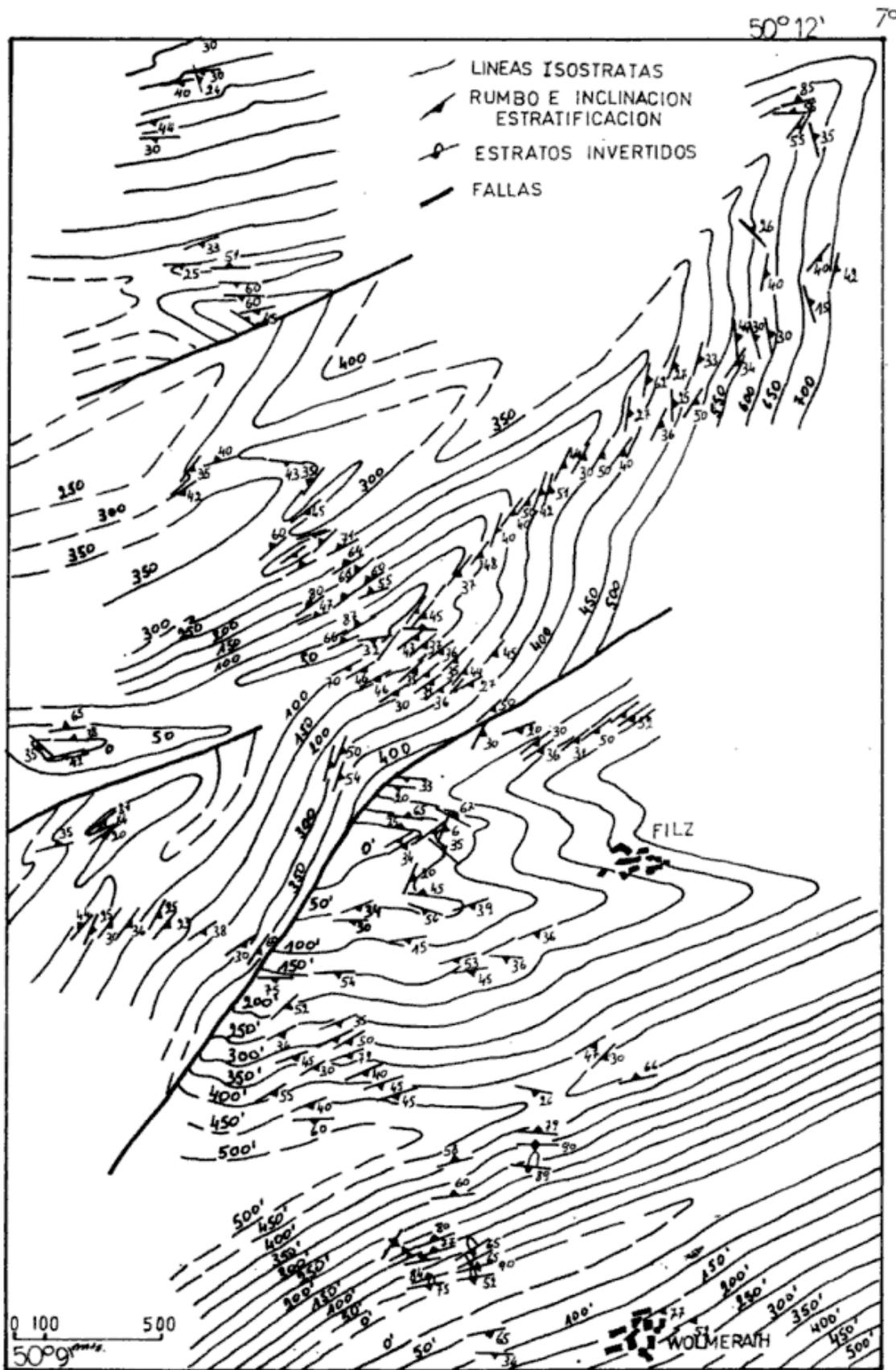


Fig. 1.

posible su unión, puede sospecharse la presencia de un accidente importante, que tendrá que ser corroborada o descartada por observaciones de campo más detalladas y un levantamiento completo de datos.

El trazado de las curvas puede iniciarse a partir de los horizontes más antiguos de la secuencia aflorante. A la primera curva se le asigna valor 0, si el módulo adoptado es 100 m, la segunda tendrá este valor, la tercera 200 y así sucesivamente. De manera que el número de curvas trazado en un sector dado permite determinar el espesor de la secuencia aflorante como asimismo la edad relativa de sus componentes (ver figuras 1 y 2), lo que representa una buena información básica para estudios estratigráficos y litológicos de detalle. Por otra parte, con este procedimiento se puede determinar la posición, dentro de la columna estratigráfica, de hallazgos paleontológicos puntuales previamente realizados.

Como es obvio, mientras mayor sea la información lito y bioestratigráfica que se disponga del área a cartografiar tanto mayor será la exactitud del mapa con curvas isostratas.

MAPAS DE ESQUISTOSIDAD O DE CLIVAJE DE ROCA

El levantamiento de mapas de esquistosidad, como complemento de los con curvas isostratas, permite, en primer lugar, descubrir la posición de las secciones invertidas, que pueden haber sido pasadas por alto en el campo por el deficiente estado de conservación de las estructuras sedimentarias. Son bien conocidas las relaciones entre estratificación y esquistosidad que indican posiciones invertidas de los estratos; éstas se encuentran claramente ilustradas en Billings (1954, p. 347 a 350).

Al superponer un mapa de esquistosidad al que contiene datos sobre la estratificación de la misma área, surgen de inmediato la posición y distribución de las secciones invertidas, lo que contribuye a una correcta interpretación de la estructura.

Por otra parte, dentro de los complejos en los que el metamorfismo ha alcanzado un grado tal en el que la estratificación ya no es observable, la esquistosidad representa un elemento fácilmente cartografiable que brinda una serie de datos de interés para el conocimiento estructural de los mismos. Por ejemplo, la posición de la esquistosidad indica la posición aproximada de los planos axiales de

los pliegues; la presencia de varios juegos de esquistosidad puede indicar la acción de varios episodios de deformación; las variaciones regionales que se verifican en la posición de la esquistosidad, de acuerdo a su configuración, pueden sugerir la presencia de rasgos tectónicos mayores tales como fallas o pliegues de magnitud regional. Obsérvese el ejemplo de la figura 3, que se refiere a un sector del macizo de la Eifel, en el que un brusco cambio en la posición del clivaje pone de manifiesto la presencia de un accidente que ha sido reconocido como de gran importancia regional.

MAPAS DE EJES δ Y DE EJES DE PLIEGUES

Las intersecciones de los planos de estratificación con los de clivaje de plano axial determinan una lineación que ha sido frecuentemente designada en la literatura tectónica como ejes δ . Estos junto a los ejes

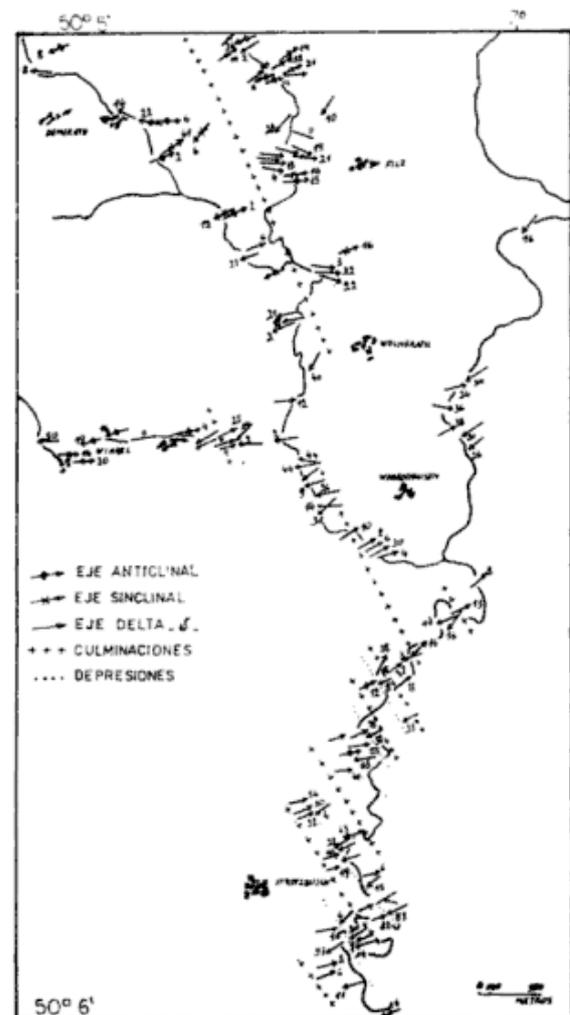


Fig. 4.

de pliegues y de micropliegues son valiosos indicadores del buzamiento general de las estructuras mayores y de los cambios que experimenta el mismo dando lugar a la presencia de culminaciones y depresiones estructurales. (Fig. 4)

La posición de los ejes δ puede ser medida en el campo o calculada utilizando la proyección estereográfica (determinando la posición de la recta que da la intersección de dos planos, el de clivaje y el de estratificación). La posición de los ejes de los micropliegues se mide directamente sobre los afloramientos. La actitud de los ejes de los pliegues mayores se determina también mediante el empleo de la proyección estereográfica.

Como en el caso de los mapas de esquistosidad, los mapas de ejes son documentos útiles en terrenos donde la estratificación no es visible o como complemento de los mapas con curvas isostratas. Por otra parte las direcciones predominantes de ejes de pliegues y de clivaje pueden utilizarse para caracterizar y diferenciar macizos de distintas edades y orígenes.

MÉTODOS ESTADÍSTICOS

Sin duda el método gráfico más apropiado para el análisis estadístico de los elementos estructurales es la proyección estereográfica, utilizando la red de proyección equiareal también llamada de Schmidt. Esta permite ubicar en el espacio a todos los elementos tanto con su rumbo como con su inclinación (o buzamiento en el caso de los ejes y lineaciones). Asimismo permite efectuar rotaciones y representar la posición que tuvieron ciertos rasgos estructurales o sedimentarios previamente a una deformación dada. Un tratamiento completo de este tema se encuentra en Badgley (1959).

Como muestra de la importancia que ha adquirido la computación electrónica de datos dentro de las ciencias geológicas, Behrens y Siehl (1975) han desarrollado un programa que permite la obtención directa de diagramas estereográficos ya dibujados, luego de haber introducido en la computadora los datos de rumbo e inclinación de las superficies de clivaje y estratificación y los rumbos y buzamientos de los ejes y lineaciones. Los diagramas de la figura 5, que pertenecen a un sector del macizo de la Eifel, han sido obtenidos por el autor, utilizando dicho programa.



Fig. 5.

Conclusiones

Las primeras experiencias realizadas en el noroeste argentino con los métodos expuestos los muestran como altamente prometedores para avanzar en el conocimiento de los complejos frecuentemente incluidos bajo la denominación general de "Basamento metamórfico", que ofrece un extenso campo de investigación poco transitado aún. En él permanecen como interrogantes aspectos fundamentales de la tectónica andina, como ser las relaciones existentes entre las estructuras antiguas y los orógenos jóvenes o la diferenciación de las unidades estratigráficas y estructurales que componen el basamento prepaleozoico. Con esta nota solo hemos pretendido mostrar algunas de las herramientas que pue-

den conducir a la resolución de estos problemas cuya importancia no es sólo académica sino también de orden práctico.

Agradecimientos: El autor desea dejar constancia de su agradecimiento a los doctores W. Meyer, P. Wurster, J. Stets, M. Behrens y A. Siehl, quienes pusieron a su disposición sus experiencias sobre la investigación estructural de macizos altamente deformados, como así también un gran volumen de información inédita, durante su estadía en el Instituto Geológico de la Universidad de Bonn (Rep. Federal de Alemania), la que pudo concretarse gracias al apoyo de la Fundación Alexander von Humboldt y de la Universidad Nacional de Tucumán.

Lista de trabajos citados en el texto

- Badgley, P. C. 1959. Structural methods for the exploration geologist. Harper y Brothers, Publ. Nueva York.
- Behrens, M. y Siehl, A., 1975. Geli 2 - ein Rechenprogramm zur Gefüge und Formanalyse. Geol Rundschau 64: 301-324. Stuttgart.
- Billings, M. P., 1954. Structural Geology. Prentice Hall, Inc. Nueva York.
- Cloos, H. 1955. Sonderband. Geol. Rundschau 44. Stuttgart.
- Meyer, W. y Pertold, Z., 1969. Strukturkartierung in ungegliederten Gesteinsfolgen. Clausthaler Tektonische Hefte 9: 249-255. Clausthal Zellerfeld (Alemania).

Recibido: marzo 30, 1976.

NOTAS BREVES

EDAD DE LOS FILONES ULTRABASICOS (ALNOITAS) DEL RIO PIEDRAS, SIERRAS SUBANDINAS DE LAS PROVINCIAS DE SALTA Y JUJUY

VICENTE MENDEZ* y LUISA MARIA VILLAR**

* Dirección general de Fabricaciones Militares.

** Servicio Minero Nacional.

En un trabajo anterior (Méndez y Villar, Los filones ultrabásicos del río Piedras, Sierras Subandinas de Salta y Jujuy, Actas VI Congr. Geol. Arg., en prensa), se dio a conocer la existencia de filones de alnoitas intruidos en las limolitas arcillosas de la Formación Lipeón, afloramientos situados en las nacientes del río Piedras, afluente de la margen derecha del río Iruya (provincia de Salta).

Los filones tienen 8 metros de espesor y cuatro kilómetros de longitud.

Las alnoitas son peridotitas micáceas construidas por biotitas, serpentina, clorita, perowskita, augita, olivina, calcita, granate del grupo de la andradita, probablemente melanita, apatita, melilita?, espinelo, leucóxeno, magnetita, titano-magnetita, pirrotina, aleaciones y sulfuros de hierro y níquel.

Por su composición están relacionadas con la familia de las *kimberlitas*.

En el trabajo mencionado, se asignaba a estas rocas una edad cretácica con reservas, razón por la cual se envió una muestra al INGEIS para su datación. Esta se realizó por el método potasio-argón sobre la biotita; los datos analíticos obtenidos son los siguientes:

K: 5,68 %

$$\text{Ar} \frac{40}{\text{RAD}} : 33,218 \times 10^{-10} \text{ mol/g}$$

$$\text{Ar} \frac{40}{\text{ATM}} : 33,218 \%$$
EDAD: 303 ± 10 m.a.

Aún siendo la biotita de estas rocas un mineral primario, la edad K-Ar debe con-

siderarse como la mínima aparente, ya que puede estar representando sistemas cerrados como respuesta a acontecimientos geológicos termales posteriores. Sin embargo, a juicio de los autores, la presencia de un definido control estratigráfico aporta elementos compatibles con una edad *carbónica*; si bien es cierto que lo correcto sería la obtención de isócronas Rb-Sr de roca total para asignar con mayor propiedad la edad magmática.

Resulta un acontecimiento singular la aparición de un magmatismo como el que generó los filones alnoíticos del río Piedras, ya que responde a un ciclo claramente diferenciado, acaecido por efectos del diastrófismo de la fase Chánica del ciclo Variscico. Las características estructurales de la sedimentación

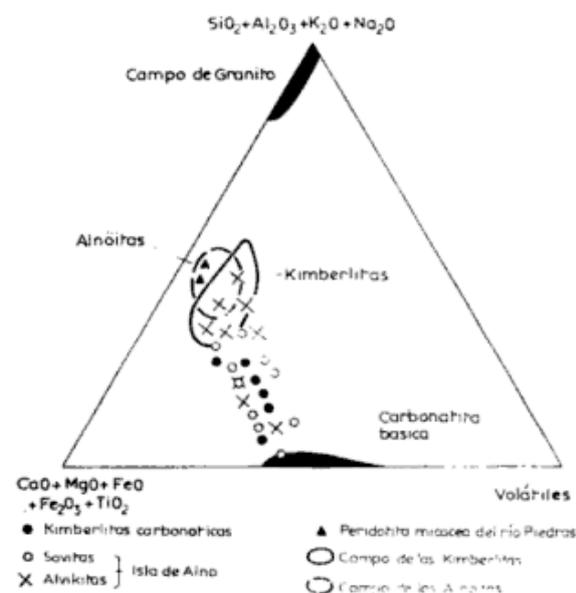
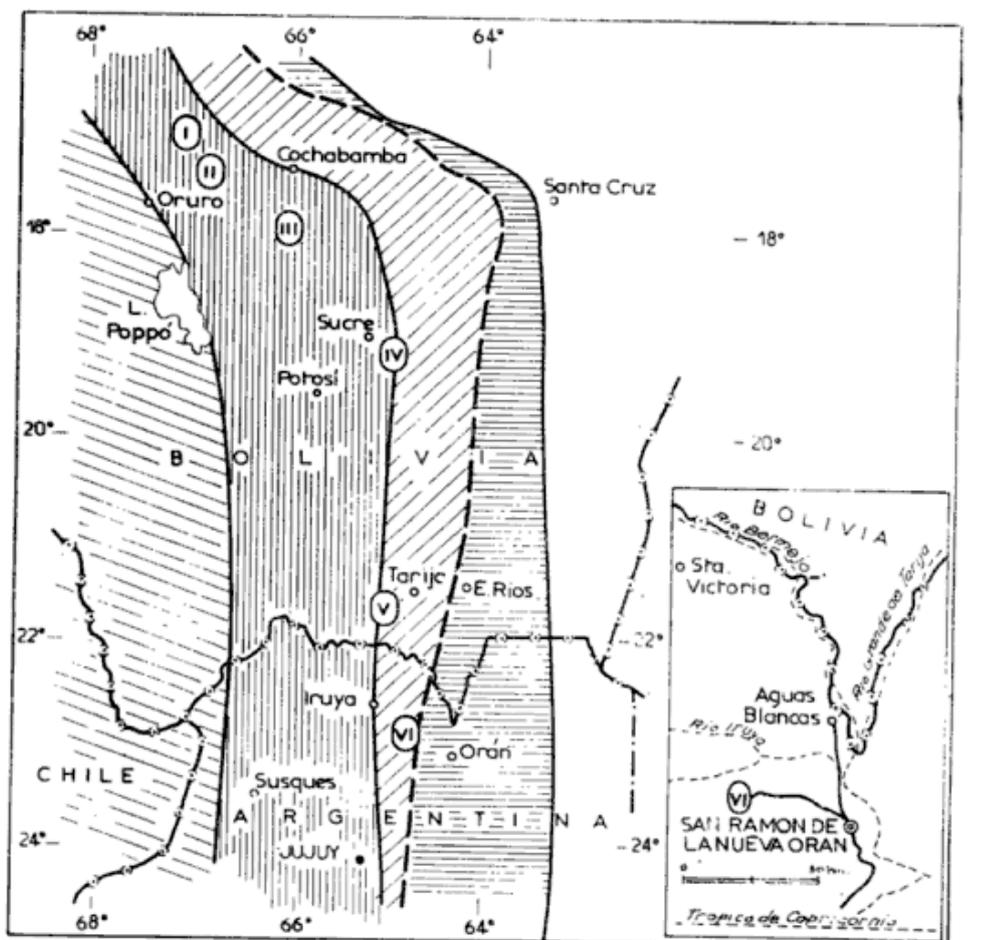


Fig. 1. — Diagrama triangular que muestra las relaciones entre las kimberlitas alnoitas y carbonatitas (de Dawson 1960).



BOLIVIA

- I Cerro Sapo
- II Conde Auque
- III Canpacayma - Machamarca
- IV Ollakasa
- V Tarija

ARGENTINA

- VI Rio Piedras

- Sierras Subandinas de Argentina y Bolivia
- Cordilleras Ext. Orientales (Bolivia) - Cordillera Oriental (Argentina)
- Cord. Altas Orientales (Bolivia) - Cord. Oriental + Puna (Argentina)
- Altiplano (Bolivia) - Puna (Argentina)
- Rocas Ultrabásicas

Escala
0 75 150 225 300km

carbónica traducen la presencia de un leve tectonismo oscilatorio (movimientos verticales de tracción), a través del cual ascendió un magma ultrabásico alcalino.

Es interesante destacar que estas rocas pueden estar relacionadas con varios afloramientos conocidos en Bolivia (véase mapa), que se presentan alineados integrando un gran arco de cizallamiento con máxima inflexión al oeste, que se observa desde el norte del paralelo Santa Cruz-Cochabamba hacia el sur, encontrándose comprendido dentro del ambiente de las cordilleras Altas

Orientales y las Serranías Subandinas de Bolivia y Argentina.

El descubrimiento de los afloramientos del río Piedras permite destacar por primera vez dos acontecimientos importantes:

- presencia de magmatismo en el ambiente de las Sierras Subandinas,
- y existencia de rocas del grupo de las *kimberlitas* en la República Argentina (véase figura 1).

Recibido: diciembre 19, 1976.

CORRECCION

Los datos analíticos presentados en el trabajo titulado "Algunas edades K/Ar para la Sierra Pintada, provincia de Mendoza", del cual son autores R. O. Toubes y J. P. Spikerman (Asoc. Geol. Arg. Rev. XXXI (2): 118-126), fueron recalculados posteriormente con mayor precisión, encontrándose algunas diferencias con respecto a los valores ya publicados. Por solicitud de los autores, los datos corregidos se presentan en el siguiente

Cuadro, donde se comprueba que para las muestras 54 y 58 no se produjeron modificaciones, mientras que en las muestras 51, 52 B y 59 las alteraciones de edad son tan pequeñas que pierden toda trascendencia, salvo por la pronunciada disminución del error analítico. Con respecto a las muestras 53 y 56, el hecho significativo es el intercambio de sus posiciones estratigráficas, aun cuando ello no afecta las consideraciones vertidas en el trabajo original.

Periodo	Material analizado	Roca	Edad (Nº de muestra) m.a.	Datos analíticos			Localidad
				K %	Ar ⁴⁰ RAD x 10 ⁻¹⁰ mol/g	Ar ⁴⁰ ATM %	
m.a. ¹							
Triásico	roca total	pórfiro riolítico	222 ± 10 (56)	4,45	18,679	17,6	SSE del Cerro Negro de las Salinas
— 230							
P	roca total	pórfiro riolítico	230 ± 10 (53)	4,34	18,899	37,8	Mesilla del Carrizalito
E sup.							
R a	roca total	pórfiro basáltico	260 ± 10 (51)	1,53	7,580	36,0	Yac. Dr. Baulies
M medio							
I	roca total	pórfiro riolítico	257 ± 10 (52B)	3,92	19,181	39,2	Cerro Bola
C 260							
O	roca total	toba cristalolítica	270 ± 10 (59)	2,45	12,663	37,3	Toba Vieja Gorda Yac. Dr. Baulies
inf.							
— 280							
Carbónico	roca total	microtonalita	285 ± 10 (54)	2,03	11,13	18,7	Aprox. 1 Km al SSE de mina El Rodeo.
— 345							
Devónico	roca total	esquisto	353 ± 15 (58)	1,92	13,27	15,7	Aprox. 1,5 Km al SE del Cerro Bola.

¹ Escala según Kulp (1961).

VII CONGRESO GEOLOGICO ARGENTINO

Auspiciado por la
Asociación Geológica Argentina

Se realizará en la ciudad de Neuquén del 9 al 15 de abril de 1978, contando con el apoyo del Gobierno de la Provincia, que lo ha declarado, mediante el respectivo decreto, de interés provincial. Las fechas para la presentación de los resúmenes y de los trabajos vencen los días 30 de julio y 30 de octubre de 1977 respectivamente.

Las cuotas de inscripción vigentes desde el 1° de diciembre hasta el 1° de marzo próximos son las siguientes:

Miembros individuales

Categoría A	\$ 5.000
Categoría B	\$ 2.000
Categoría C	\$ 2.800
Categoría D	\$ 4.000

Miembros Institucionales \$ 100.000

Miembros Benefactores \$ 200.000

Miembros Patrocinantes \$ 400.000

Las personas o entidades interesadas en concurrir y que aún no hayan recibido la segunda circular, pueden solicitarla por correspondencia a la Sede Oficial del Congreso: Maipú 645, piso 1°, 1006, Capital Federal, Argentina.

EL NUMERO 1 DE ESTE TOMO
SE TERMINO DE IMPRIMIR EL 29 DE
OCTUBRE DE 1977 EN LOS TALLERES
GRAFICOS ZLOTOPIORO S.A.C.I.F.,
SARMIENTO 3149. BUENOS AIRES,
REPUBLICA ARGENTINA.

El presente número se ha financiado
con un subsidio del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas,
que no se hace responsable del contenido del mismo.

VII CONGRESO GEOLOGICO ARGENTINO

Auspiciado por la
Asociación Geológica Argentina

Se realizará en la ciudad de Neuquén del 9 al 15 de abril de 1978, contando con el apoyo del Gobierno de la Provincia, que lo ha declarado, mediante el respectivo decreto, de interés provincial. Las fechas para la presentación de los resúmenes y de los trabajos vencen los días 30 de julio y 30 de octubre de 1977 respectivamente.

Las cuotas de inscripción vigentes desde el 1º de diciembre hasta el 1º de marzo próximos son las siguientes:

Miembros individuales

Categoría A	\$ 5.000
Categoría B	\$ 2.000
Categoría C	\$ 2.800
Categoría D	\$ 4.000

Miembros Institucionales \$ 100.000

Miembros Benefactores \$ 200.000

Miembros Patrocinantes \$ 400.000

Las personas o entidades interesadas en concurrir y que aún no hayan recibido la segunda circular, pueden solicitarla por correspondencia a la Sede Oficial del Congreso: Maipú 645, piso 1º, 1006, Capital Federal, Argentina.

EL NUMERO 1 DE ESTE TOMO
SE TERMINO DE IMPRIMIR EL 29 DE
OCTUBRE DE 1977 EN LOS TALLERES
GRAFICOS ZLOTOPIORO S.A.C.I.F.,
SARMIENTO 3149. BUENOS AIRES,
REPUBLICA ARGENTINA.

El presente número se ha financiado
con un subsidio del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas,
que no se hace responsable del contenido del mismo.

CORRECCION

Los datos analíticos presentados en el trabajo titulado "Algunas edades K/Ar para la Sierra Pintada, provincia de Mendoza", del cual son autores R. O. Toubes y J. P. Spikerman (Asoc. Geol. Arg. Rev. XXXI (2): 118-126), fueron recalculados posteriormente con mayor precisión, encontrándose algunas diferencias con respecto a los valores ya publicados. Por solicitud de los autores, los datos corregidos se presentan en el siguiente

Cuadro, donde se comprueba que para las muestras 54 y 58 no se produjeron modificaciones, mientras que en las muestras 51, 52 B y 59 las alteraciones de edad son tan pequeñas que pierden toda trascendencia, salvo por la pronunciada disminución del error analítico. Con respecto a las muestras 53 y 56, el hecho significativo es el intercambio de sus posiciones estratigráficas, aun cuando ello no afecta las consideraciones vertidas en el trabajo original.

Periodo	Material analizado	Roca	Edad (Nº de muestra) m.a.	Datos analíticos			Localidad
				K %	Ar ⁴⁰ RAD x 10 ⁻¹⁰ mol/g	Ar ⁴⁰ ATM %	
m.a. ¹							
Triásico	roca total	pórfiro riolítico	222 ± 10 (56)	4,45	18,679	17,6	SSE del Cerro Negro de las Salinas
— 230							
P E sup.	roca total	pórfiro riolítico	230 ± 10 (53)	4,34	18,899	37,8	Mesilla del Carrizalito
R a	roca total	pórfiro basáltico	260 ± 10 (51)	1,53	7,580	36,0	Yac. Dr. Baulies
M medio							
I	roca total	pórfiro riolítico	257 ± 10 (52B)	3,92	19,181	39,2	Cerro Bola
C 260							
O inf.	roca total	toba cristalolítica	270 ± 10 (59)	2,45	12,663	37,3	Toba Vieja Gorda Yac. Dr. Baulies
— 280							
Carbónico	roca total	microtonalita	285 ± 10 (54)	2,03	11,13	18,7	Aprox. 1 Km al SSE de mina El Rodeo.
— 345							
Devónico	roca total	esquisto	353 ± 15 (58)	1,92	13,27	15,7	Aprox. 1,5 Km al SE del Cerro Bola.

¹ Escala según Kulp (1961).

CORREO ARGENTINO Central B	TARIFA REDUCIDA Concesión Nº 9157
	FRANQUEO PAGADO Concesión Nº 3667

CONTENIDO

Edafogénesis y paleosuelos de la formación téfrica Río Pireco (Holoceno). Suroeste de la Provincia del Neuquén, Argentina <u>HAROLDO A. LAYA</u>	3
Acerca de la paleogeografía neocomiana en la región al sur de Copiapó, (Provincia de Atacama - Chile) <u>EDUARDO ABAD ESCOBAR</u>	24
Restos de Lepidosirenidae (Osteichthyes, Dipnoi) del Grupo Honda (Mioceno Tardío) de Colombia. Sus denotaciones paleoambientales PEDRO BONDESIO Y ROSENDO PASCUAL	34
Buchitas de la isla Vicecomodoro Marambio, Sector Antártico Argentino <u>ARMANDO C. MASSABIE Y JORGE R. MORELLI</u>	44
Geología: ¿Protociencia, especulación o ciencia? <u>A. C. RICCARDI</u>	52
Métodos para el estudio de la estructura de unidades de bajo grado de metamorfismo <u>RICARDO MON</u>	70
<i>Notas breves</i>	
Edad de los filones ultrabásicos (alnoitas) del río Piedras, Sierras Sub- andinas de las provincias de Salta y Jujuy <u>VICENTE MÉNDEZ Y LUISA MARÍA VILLAR</u>	77
Corrección	79

ASOCIACION GEOLOGICA ARGENTINA

COMISION DIRECTIVA

<i>Presidente:</i>	DR. ROBERTO CAMINOS
<i>Vicepresidente:</i>	DR. JUAN CARLOS RIGGI
<i>Secretario:</i>	DR. NORBERTO MALUMIÁN
<i>Tesorero:</i>	DR. CARLOS LEOPOLDO AZCUY
<i>Vocales:</i>	LIC. MIGUEL ANGEL ULIANA LIC. FRANCISCO E. NULLO DR. GUALTER CHEBLI
<i>Vocales suplentes</i>	DR. RICARDO VARELA LIC. ROBERTO O. GAZZANI

COMISION DE LA REVISTA Y PUBLICACIONES

Director: DR. ROBERTO CAMINOS

Miembros: LIC. FRANCISCO E. NULLO y LIC. MIGUEL A. ULIANA

DELEGADOS EN EL INTERIOR

- Delegación Bahía Blanca:* Dra. Graciela Mas, Córdoba 77
Delegación Catamarca: Dr. Gustavo Toselli, Univ. de Catamarca, 4700 Catamarca
Delegación Córdoba: Dr. Carlos Gordillo, Pellegrini y Calle 8, Suc. N° 9
Delegación Comodoro Rivadavia: Dr. Gerardo Petrarca, Distr. Geol. YPF, General Mosconi
Delegación Jujuy: Dr. Ricardo Bagalciaga, Mina Aguilar, Dto. Geología, 4634 Jujuy
Delegación La Rioja: Dr. Roberto Zolezzi, Urquiza 768, P. 9, d. 1
Delegación La Plata: Dr. Ricardo Varela, Museo de La Plata, Paseo del Bosque
Delegación Mendoza: Dr. Armando Ortega Furlotti, Azopardo 313 C.N.E.A., Godoy Cruz
Delegación Rawson: Dr. Héctor Miras, Julio A. Roca 518
Delegación Río Gallegos: Dr. Adolfo Fadrique, Casilla de Correo 246
Delegación Plaza Huincul: Dr. Italo Dalla Torre, Casa 250, Campamento Uno
Delegación Salta: Dr. José Antonio Salfity, Pasaje N. Roldán 57
Delegación San Antonio Oeste: Dra. Elena Bernabo de Greco, ITNAS - C.C. 57
Delegación San Carlos de Bariloche: Dra. Guida Aliotta, C.C. 138
Delegación Santa Fe: Dra. Hetty Bertoldi de Pomar, Grand Bourg 4352
Delegación San Juan: Dr. Juvenal Jorge Zambrano, Mendoza 389 - Sur
Delegación San Luis: Dr. Jorge Raúl Fernández Tasende, C.C. 294 - 5700
Delegación San Miguel de Tucumán: Dr. Hugo Alberto Peña, Balcarce 42
Delegación Santa Rosa: Dr. José Antonio de Ormaechea, Pasaje 2, n° 245, B° Independencia
Delegación Vespucio (Salta): Dr. Federico Madel. Distr. Geol. YPF
Delegación Neuquén: Dr. Eloy L. Depiante, Mendoza 140
Delegación Rosario: Dra. Pierina Pasotti, Av. Pellegrini 494
Delegación Plan Patagonia Comahue: Dr. Hugo D. Pezzuchi. Comodoro Rivadavia Km. 8, Barrio Don Bosco.

DELEGADOS INSTITUCIONALES EN BUENOS AIRES

- Agua y Energía:* Dr. Guillermo Turazzini (Córdoba 1345 - 7° p.)
Banco Nacional de Desarrollo: Dr. Luis Alberto Soruco (25 de Mayo 145)
Comisión Nacional de Energía Atómica: Dr. Juan Spikermann (Libertador 8250)
Comisión Nacional de Estudios Geohelíficos: Dr. Jorge F. Kimpsa (Busolini 1661, San Miguel)
Consejo Federal de Inversiones: Dr. Roberto M. Sarudiansky (San Martín 871)
Dirección General de Fabricaciones Militares: Dr. Vicente Méndez (Cabildo 63)
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales: U.B.A. Dr. Armando Massabie (Ciudad Universitaria, Pabellón 2, Núñez)
Instituto Nacional de Ciencia y Técnica Hidricas: Dr. Carlos Schroeder (Viamonte 1145 1° p.)
Museo Argentino de Ciencias Naturales: Dr. Bruno Baldis (Ángel Gallardo 470)
Obras Sanitarias de la Nación: Dra. Isolina Díaz Peña (M. T. de Alvear 1842)
Secretaría de Minería: Lic. Julio Lage (Avda. Santa Fe 1548)
Servicio de Hidrografía Naval: Lic. Gerardo Perillo (Montes de Oca 2124)
Yacimientos Carboníferos Fiscales: Dr. Federico Bergmann (Diag. Roque Saenz Peña 1190)
Yacimientos Petrolíferos Fiscales: Dr. Gualter Chebli (Diagonal Norte 777)

DELEGADOS EN EL EXTERIOR

Brasil:

- Dra. Norma M. de Melo Da Costa, Lamin. Seção de Bioestratigrafia. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, CPRM, Av. Pasteur 401 - Praia Vermelha 20000, Rio de Janeiro
Dr. I. de Madeiros Tinoco, Escola de Geología, Universidad Federal de Pernambuco, Recife. Caixa Postal 2492
Dr. Oscar Röster, Instituto de Geociencias USP, Caixa Postal 20899, 01.00 São Paulo

Chile:

- Dr. Reynaldo Charrier, Departamento de Geología. Casilla 13518, Correo 21, Santiago de Chile

Paraguay:

- Dr. Gustavo Vera Morigo, Ministerio de Obras públicas y Comunicaciones, Oliva y Alberdi 5 piso, Casilla de Correo 1662. Asunción

Uruguay:

- Dr. Graciano Elizalde, Departamento Geominero, Río Branco 1388, Montevideo otegido por derechos de autor

NORMAS Y SUGERENCIAS PARA LOS AUTORES

1. **EXTENSION.** Se recomienda que la extensión de los originales no sea mayor de treinta páginas tamaño carta dactilografiadas a doble espacio (alrededor de 10.000 palabras). Cada trabajo podrá contener hasta tres páginas impresas de ilustraciones, las que podrán consistir indistintamente en mapas, perfiles, cuadros, diagramas, fotografías, etc. Cuando se acepten trabajos más extensos en texto y/o ilustraciones los autores deberán abonar la impresión del exceso, la que se les facturará a precio de costo. Los originales, tanto del texto como de las ilustraciones, se enviarán a la Asociación Geológica en duplicado.

2. **TITULO.** Debe ser sucinto e informativo sobre el tema y la localidad a que se refiere el trabajo. Es conveniente evitar iniciaciones o agregados tales como: *Sobre la importancia de...*, o *Consideraciones sobre la importancia del hallazgo de... y sus implicancias con respecto a...* etc. Los títulos deben redactarse teniendo presente la importancia de palabras claves que ayuden al fichaje en bibliotecas y servicios de documentación.

3. **RESUMENES.** Cada trabajo se iniciará con un resumen en español con su traducción al inglés, francés o alemán, sugiriéndose el primer idioma. Debe ser comprensible en sí mismo, sin referencia al trabajo y su extensión no deberá ser mayor de 150 palabras.

4. **CONCLUSIONES.** Las conclusiones consistirán en nuevos descubrimientos, conceptos, hipótesis, hallazgos significativos, etc. Deben constituir la apropiada finalización de una obra mayor y no un simple sumario o la extensión del resumen.

5. **REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.** Conviene controlar dos veces las referencias y citas, una para comprobar que la cita tenga su correspondiente referencia, y la otra para verificar si la referencia está citada en el texto. La lista bibliográfica llevará como título: *Lista de trabajos citados en el texto*, y se confeccionará siguiendo el ejemplo del presente número, abreviando de igual manera las indicaciones de tomo (o volumen), número y página de las publicaciones citadas.

6. **ILUSTRACIONES.** Deberán ser las estrictamente necesarias para completar el texto. Los mapas, perfiles, diagramas, etc., serán dibujados sobre papel blanco cartográfico o transparente, de buen cuerpo, con tinta china. Se aconseja el dibujo en tamaño doble con respecto al de su publicación, cuidando que la dimensión de las letras y la abertura de las rastras permitan su reducción en forma legible. Los mapas y perfiles llevarán escala gráfica y, en una esquina inferior, el nombre del autor y el año de confección. Las letras deberán ser dibujadas con letrógrafo. Los mapas de ubicación que comprendan la totalidad del territorio argentino deberán incluir además el Sector Antártico, dibujado a otra escala en cualquier espacio libre. Todas las localidades mencionadas en el texto figurarán en las ilustraciones. Se recomienda el mejor aprovechamiento posible del espacio, evitando dejar superficies en blanco que puedan ser ocupadas por referencias o títulos. Es importante que el marco de las ilustraciones se adecúe a la relación de medidas de la caja: 14 x 21,5 cm. Los perfiles de largo excesivo podrán ser fraccionados y ordenados de manera que las partes resultantes no sobrepasen las dimensiones de una página. Las ilustraciones en colores, así como el exceso ocasionado por figuras de tamaño mayor que una página, que deban ser plegadas, correrán por cuenta de los autores. Las fotografías serán claras y con buen contraste, limitándose sólo al objeto que se desee ilustrar; los fósiles, muestras de mano, etc. deberán iluminarse desde el ángulo superior izquierdo.

7. **SEPARADOS.** Los autores recibirán, sin cargo, 25 separados de cada trabajo. Aquellos que deseen un número mayor deberán indicarlo claramente al enviar los originales y los mismos correrán por su cuenta a precio de costo.

Toda correspondencia para la Asociación Geológica Argentina,
deberá ser dirigida a:

MAIPU 645, piso 1º, 1006 Buenos Aires, República Argentina

La correspondencia referente a suscripciones, colecciones o números sueltos de esta Revista, deberá dirigirse a **LIBRART S.R.L., Corrientes 127, Buenos Aires, República Argentina, representantes y distribuidores para toda la República Argentina y el exterior.**