



## ASOCIACIONES MINERALÓGICAS DE ARCILLAS DEL PALEÓGENO DE CUENCA AUSTRAL, SU SIGNIFICADO PALEOCLIMÁTICO Y EL LÍMITE PALEOCENO/EOCENO<sup>1</sup>

Norberto MALUMIÁN<sup>2</sup>, Andrea CARAMÉS<sup>2</sup> y Héctor MARTÍNEZ<sup>2</sup>

**ABSTRACT.** CLAY MINERAL ASSOCIATIONS OF THE PALEOGENE FROM THE AUSTRAL BASIN, PALAEOCLIMATIC SIGNIFICANCE AND THE PALEOCENE/EOCENE BOUNDARY. The clay mineral associations from the Upper Cretaceous up to the lower Neogene in the Austral Basin (southernmost South America) exhibit changes, most of which can be related to climatic factors. The kaolinite content in the Danian (Cerro Dorotea Formation and basal "Magallanes inferior") is correlated with the relatively warm, wet climate. These climatic conditions were accentuated close to the Paleocene/Eocene boundary being represented by a kaolinite peak near Cerro Dorotea (early Paleocene)/Río Turbio (middle-early late Eocene) unconformable formational contact. This remarkable kaolinite content, widely extended and traceable in subsurface, was favored by a mid-Paleocene uplift that gave rise to an extended and regional unconformity. The decreasing kaolinite content during the middle Eocene, recorded in lower members of both the Río Turbio and La Despedida formations, is related to the global cooling trend. The widespread abundance of smectite during the late middle Eocene-lowermost Oligocene, is related to a relatively warm climate and alternating wet and dry seasons. During the late Eocene-early Oligocene (San Julián, Río Leona and Cabo Peña Formations, and La Herminita beds) kaolinite was not recorded or is very scarce. A marked decrease of smectite that was replaced by illite-clorite is recorded in the Tierra del Fuego Island (Cabo Peña Formation, Glauconítico A and La Herminita beds) and in the Santa Cruz Province (upper member of the San Julián Formation) which bear the foraminiferal cold water *Spirosigmoinella-Martinottiella* Assemblage of Antarctic character and is coeval with a conspicuous increase of frequency of *Nothofagidites*. In the latest early Miocene (Monte León, Centinela, Carmen Silva, and Cabo Domingo Formations), a widespread episode of abundance in smectite occurs; this also includes a minor kaolinite content in the upper levels of the Monte León Formation. This episode could be related to the maximum warmth in the Neogene close to the early/middle Miocene boundary.

**KEY WORDS.** Clay. Paleogene. Austral Basin. Paleocene/Eocene. Palaeoclimate.

**PALABRAS CLAVE.** Arcillas. Paleógeno. Cuenca Austral. Límite Paleoceno/Eoceno. Paleoclima.

### INTRODUCCIÓN

El objetivo del trabajo es el análisis de las asociaciones minerales de arcillas paleógenas de la cuenca Austral, enmarcado en un cuadro paleoclimático brindado por los resultados del Ocean Drilling Program, y basado en un esquema bioestratigráfico resultado del estudio de los foraminíferos. Particularmente se trata al Paleógeno y al límite Paleoceno/Eoceno reconocido en el área de Río Turbio.

Se investigó la composición y asociación de arcillas de 22 testigos de las perforaciones D-60, AD-2 y AD-1 provenientes de la Formación Río Turbio; dos de la perforación AD-1 y cinco muestras de inyección de la perforación T-136 (figura 1) provenientes de la Formación Cerro Dorotea; y dos muestras de afloramientos de la Formación Cerro Cazador. El contenido micropaleontológico, estratigrafía y marco geológico se detallan en

Malumián y Caramés (1997). Se cuenta además con datos previos obtenidos de estudios bioestratigráficos, particularmente del área fueguina de la cuenca Austral.

La metodología consistió en preparar las muestras obteniendo en suspensión la fracción arcilla menor a 4 µm, pipetear la suspensión sobre porta-objetos de vidrio, dejar secar de manera de lograr muestras orientadas, y efectuar tres difractogramas de cada una, el primero sobre muestra normal o sin tratamiento, el segundo sobre muestra glicolada o sea expuesta en ambiente de glicol en un desecador a 40°C durante 24 horas en estufa, y el tercero sobre muestra calcinada en mufla a 550°C durante dos horas. Obtenidos los difractogramas se procedió a la identificación cualitativa de los minerales de arcilla. Evaluaciones semicuantitativas de cada mineral de arcillas deben considerarse en forma relativa al total de minerales de arcilla, y apreciativa, ya que se calculan sobre la base de las intensidades de los picos de difracción mediante la medición del área encerrada bajo los picos. Los difractogramas se efectuaron con un equipo Phillips modelo PW1010, usando radiación de Cu Kα (longitud de onda: 1,54Å) con una velocidad de registro de 2 grados 2θ por minuto.

<sup>1</sup>Contribución a los Proyectos IGCP 301 Paleógeno de América del Sur y 308 Límite Paleoceno/Eoceno.

<sup>2</sup>Dirección Nacional del Servicio Geológico y Universidad de Buenos Aires. Tte. de Fragata Benito Correa 1194, 1107 Buenos Aires, Argentina.

Las muestras de afloramientos y perforaciones del área del yacimiento Río Turbio fueron colectadas entre los años 1987 y 1989 por N.M. y A.C. Los testigos corona y recortes de inyección provienen de perforaciones de la empresa Yacimientos Carboníferos Fiscales. Las muestras provenientes de la Isla Grande de Tierra del Fuego se colectaron en diferentes oportunidades y están vinculadas a estudios micropaleontológicos.

#### EL SIGNIFICADO PALEOAMBIENTAL DE LAS ARCILLAS

*Esmectita:* La generación de esmectita es favorecida por un clima cálido asociado con estaciones húmedas y secas alternantes (Paquet, 1970). Aunque puede proceder de la meteorización de material volcánico, las esmectitas paleocenas y eocenas de la Antártida y también de casi todas

las regiones atlánticas no fueron consideradas como resultado de este proceso ya que las variaciones de su abundancia carecen de toda relación con la presencia y fluctuación de los componentes volcánicos a través de la columna sedimentaria (Robert, 1980, 1987; Chamley, 1989).

*Illita, clorita y arcillas interestratificadas:* La illita y la clorita se derivan de la erosión de las rocas madres y/o de suelos pobremente desarrollados. Se forman en áreas de relieves pronunciados donde la erosión mecánica intensa reduce el desarrollo de suelos, especialmente durante periodos tectónicos activos. También, en áreas frías y/o desérticas donde las bajas temperaturas y/o las escasas precipitaciones reducen la velocidad de la meteorización química (Millot, 1970; Campbell y Claridge, 1982). La illita y la clorita, a veces asociadas con arcillas interestratificadas (illita-esmectita y clorita-esmectita), tienden a formarse en climas húmedos templados donde las temperaturas bajas y la humedad permiten una hidrólisis moderada (Chamley, 1989).

*Caolinita:* La caolinita usualmente se forma en áreas continentales moderadamente cálidas, húmedas y bien drenadas donde la precipitación y la lixiviación asociada propician la meteorización química. Los elementos solubles son preferencialmente lixiviados, y persisten la sílice y el aluminio residual que están involucrados en la formación de caolinita (Millot, 1970). La formación de caolinita es favorecida en áreas corriente arriba de cuencas de avenamiento y en regiones que han sido elevadas, condiciones generalmente presentes durante los primeros estadios de formación de océanos o en márgenes activos (Chamley, 1989). Durante niveles bajos del nivel del mar, el mayor relieve de las cuencas de avenamiento favorece la formación de caolinita, especialmente durante condiciones cálidas y húmedas (Robert y Chamley, 1990).

#### LA VARIACIÓN COMPOSICIONAL DE LAS ASOCIACIONES DE ARCILLAS DEL CRETÁCICO SUPERIOR Y PALEÓGENO EN EL ATLÁNTICO SUR

Los estudios del Ocean Drilling Program brindan un marco general sobre la variación composicional de las arcillas en el entorno de la Patagonia y proveen información sobre la evolución climática y la circulación oceánica en el área antártica adyacente al mar de Weddell. En ellos se reconoció una amplia distribución de abundante esmectita pedogénica durante el Cretácico y Paleógeno temprano, interpretada como producto del dominio de climas globalmente cálidos con períodos alternantes húmedos y áridos (Robert y Maillot, 1990).

En el análisis las asociaciones de minerales de arcillas del Cretácico Superior y Paleógeno del Atlántico Sur y de los océanos australes, no se reconoció caolinita en los sedimentos maastrichtianos de la elevación de Maud, Antártida, pero sí en el Paleoceno y Eoceno de los sitios de latitudes mayores al Escudo de Malvinas. La primera aparición corresponde a las asociaciones del Paleoceno más temprano (aprox. 65 a 64 Ma), en un período de

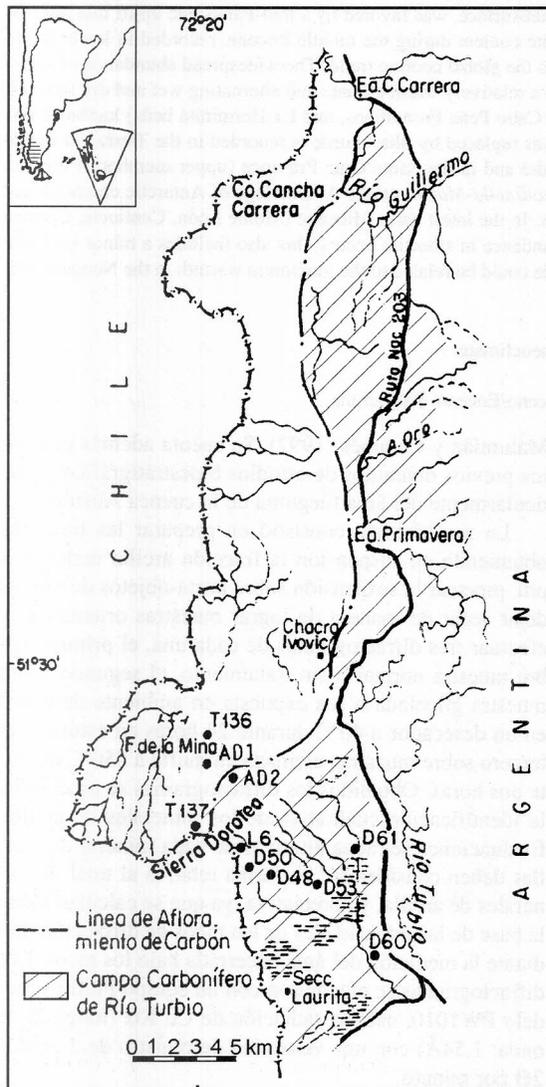


Figura 1. Mapa de situación. Localidades y perforaciones estudiadas. / Location map showing localities studied and wells.

aguas intermedias frías (relativamente alto  $\delta^{18}\text{O}$  de los foraminíferos bentónicos) y previo a la tendencia de calentamiento de las aguas superficiales (bajos valores de  $\delta^{18}\text{O}$  de los planctónicos). Durante el Paleoceno tardío y Eoceno temprano (aproximadamente 59 a 52 Ma), coincidentemente con datos isotópicos que señalan la máxima calidez de las aguas superficiales e intermedias en los océanos australes, en la Antártida occidental se desarrollaron suelos caoliníticos. El contenido de caolinita muestra un pico a los 57,3 Ma, próximo al límite Paleoceno/Eoceno (Robert y Kennett, 1992). Robert y Maillot (1990) sobre la base de un 5% de caolinita en el Paleoceno más temprano hasta un pico del 20% en el límite Paleoceno-Eoceno, en el mar de Weddell, opinan que en ese período hubo un aumento de humedad y precipitaciones.

Según Robert (1987) y Robert y Maillot (1990), los márgenes pasivos subsidentes del Atlántico Sur y océanos australes durante el Paleógeno generalmente carecieron de mucho relieve continental y su morfología no favoreció el desarrollo de suelos caoliníticos para este período.

Robert y Kennett (1992) interpretaron que la caolinita debe haberse originado en la Antártida y su restricción areal es el resultado de una marcada pluviosidad durante el Paleoceno/Eoceno en relación con las áreas de menores latitudes. Consideran que la gran pluviosidad es el resultado de temperaturas cálidas globales que aumentaron el transporte de calor latente hacia el polo, compensando el déficit de calor de la Antártida en relación con los trópicos; y que si bien la primera aparición de caolinita no coincide con valores isotópicos de oxígeno en foraminíferos que indiquen una tendencia a temperaturas cálidas de las aguas, su aparición señala un aumento de humedad. El proceso de calentamiento perduró hasta alrededor de los 52 Ma; luego, la disminución de la cantidad de caolinita y de las precipitaciones inferidas junto con el enfriamiento de las aguas superficiales e intermedias marcan el final del calentamiento en el Eoceno temprano en altas latitudes. Al final del Eoceno medio (aprox. 41 Ma), el aumento del contenido de illita (y clorita y arcillas interestratificadas) sugiere desarrollo local de suelos pobremente meteorizados en la Antártida, favorecidos por un enfriamiento de los océanos australes.

#### CONDICIONES PALEOCLIMÁTICAS EN EL CRETÁCICO TARDÍO Y PALEÓGENO DE LA CUENCA AUSTRAL

##### DATOS OCEANOGRÁFICOS ADYACENTES

La mayor cantidad de datos absolutos se han reunido en la región del mar de Weddell (Kennett y Barker, 1990). Un amplio espectro de testimonios sedimentológicos, bióticos e isotópicos obtenidos del Leg 113 indican que el enfriamiento secuencial y el desarrollo criosférico de la Antártida y mares circundantes durante el Cenozoico afectaron profundamente la circulación oceánico/atmosférica, sedimentos y biotas.

La distribución de foraminíferos planctónicos durante el Campaniano temprano indica la mayor expansión de

la faja climática tropical y quizás las más altas temperaturas del período Cretácico. Las altas temperaturas son reconocibles por la diversidad de foraminíferos planctónicos bicarenados en altas latitudes y el bajo gradiente de diversidad hacia los polos en relación con el mismo gradiente para el Campaniano tardío y Maastrichtiano. Durante el Campaniano tardío y Maastrichtiano la ausencia de especies carenadas, las especies endémicas en altas latitudes, los altos gradientes latitudinales de diversidad y estudios isotópicos sugieren temperaturas más bajas (Krashennikov y Basov, 1986; Huber, 1992).

Para el límite Cretácico-Paleógeno los datos más cercanos provenientes de análisis isotópicos sobre nannoplancton calcáreo y foraminíferos planctónicos y bentónicos en la elevación Maud, indican que unos 200.000 años antes del límite las aguas superficiales de la Antártida redujeron su temperatura unos 3°C, y que tal reducción continuó unos 100.000 años después del límite (Stott y Kennett, 1990). Después del límite K/P las aguas tuvieron aproximadamente a 9-10°C; luego, a los 63 Ma en el Paleoceno medio, representan el comienzo de una tendencia global de calentamiento que tuvo su clímax en el Eoceno temprano (Kennett y Barker, 1990; Kennett y Stott, 1990; Stott *et al.*, 1990).

Los poco diversos pero abundantes grupos de discoasterídeos y esfenolitos indicadores de aguas cálidas en asociaciones dominadas por taxones de altas latitudes y agua fría, y los valores isotópicos del oxígeno sugieren que durante el Paleoceno superior las condiciones eran templado cálidas a subtropicales frías; mientras que, según los gradientes de diversidad de foraminíferos planctónicos y bentónicos, existió una termoclina definida (Pospichal y Wise, 1990; Kennett y Barker, 1990).

Los testimonios paleoclimáticos indican claramente un enfriamiento global con inicio del desmejoramiento en el Eoceno medio temprano (49,5 Ma) y aumento de aridez durante el Eoceno medio y nuevamente a través del límite Eoceno/Oligoceno y el Oligoceno temprano, con caídas marcadas de temperatura a los 41, 43 y a aproximadamente a los 36 Ma. Para el Oligoceno temprano existieron capas de hielo significativas en la Antártida causadas por la aislación térmica de la región polar austral debido al flujo de corrientes frías entre la recientemente separada Antártida y Australia.

El Eoceno medio-Oligoceno temprano fue un período crítico en la historia de la Tierra en que cambios mayores en la circulación oceánica y el clima global se reflejan en notables recambios en biotas marinas y terrestres que acaecieron en un intervalo de aproximadamente 10 m.a. La mayor ola de extinción tuvo lugar al fin del Eoceno medio. Las especies altamente diversificadas y adaptadas a climas cálidos fueron las primeras víctimas. El Paleógeno puede ser visto como un intervalo de transición durante el cual el clima de la tierra gradualmente cambia de esencialmente cálido y uniforme en el Cretácico Tardío, a más frío y heterogéneo en el Neógeno. El Eoceno ha sido denominado la "casa dudosa", período intermedio entre la "casa cálida" y la "casa de hielo". En

términos más específicos el Paleógeno ha tenido un propio y más complicado microclima con un óptimo cálido anómalo que duró unos 4-5 m.a. durante el Eoceno temprano. Este óptimo fue seguido por un enfriamiento escalonado durante el resto del Paleógeno, reflejado en la distribución biogeográfica del plancton marino y en los isótopos estables.

#### INDICADORES CLIMÁTICOS EN LA CUENCA AUSTRAL

En la cuenca Austral se registran foraminíferos planctónicos carenados en un nivel ampliamente extendido sobre toda la cuenca y datado principalmente por ammonites en el Santoniano tardío-Campaniano temprano (cf. Malumián y Masiuk, 1978; Malumián, 1978). El último nivel cretácico con especies bicarenadas, termofílicas, reconocido en Tierra del Fuego, es asignable al Campaniano temprano (cf. Malumián y Náñez, 1996).

No existen mayores indicadores directos sobre el clima del Daniano de la cuenca Austral. Sin embargo se pueden extender condiciones climáticas parasubtropicales (cf. Romero, 1986) de la adyacente cuenca del Golfo, ya que no hubo mayor gradiente de temperatura entre las aguas de las cuencas atlánticas argentinas danianas (Malumián y Caramés, 1995). Según registros de vertebrados y vegetales de la adyacente cuenca del Golfo San Jorge, el paleoclima paleoceno fue parasubtropical. Durante el

Paleoceno-Eoceno temprano se produjo el máximo avance hacia el sur de la flora tropical (Menéndez, 1971) y se reconocen foraminíferos carenados en cuenca Austral.

Durante el Eoceno temprano prevaleció el ambiente cálido en la cuenca del Golfo con indicadores bióticos de diferente tipo (cf. Pascual, 1984; Romero, 1979, 1986), y en la Patagonia se reconoce la flora de Laguna del Hunco, con hojas de bordes enteros y carente de *Nothofagus*.

En el Eoceno medio, en cuenca Austral, se reconoce la paleoflora "mixta" con gran porcentaje de hojas de borde entero (cf. Romero, 1986) y troncos con anillos estacionales (Brea, 1993).

Para el Eoceno tardío se verifica un ingreso de aguas frías en Tierra del Fuego (Olivero y Malumián, en prensa) y para el Oligoceno temprano se extienden aguas frías de carácter subantártico-antártico cuyos foraminíferos son reconocidos como Asociación de *Spirosmoillina*-*Martinottiella* (Malumián y Náñez, 1991, 1996).

En la secuencia paleógena del subsuelo de la Isla Grande de Tierra del Fuego, particularmente ilustrativo es el porcentaje relativo del polen de *Nothofagus*, uno de los principales componentes de los bosques australes, referenciales en la estimación del advenimiento del clima presente (figura 2). El contenido de *Nothofagidites* muestra un claro patrón con mínimo en el Eoceno temprano, y un marcado incremento en el Eoceno medio tardío con altos contenidos a partir del Eoceno tardío. Así también, el continuo registro de carbón, iniciado con los conspicuos

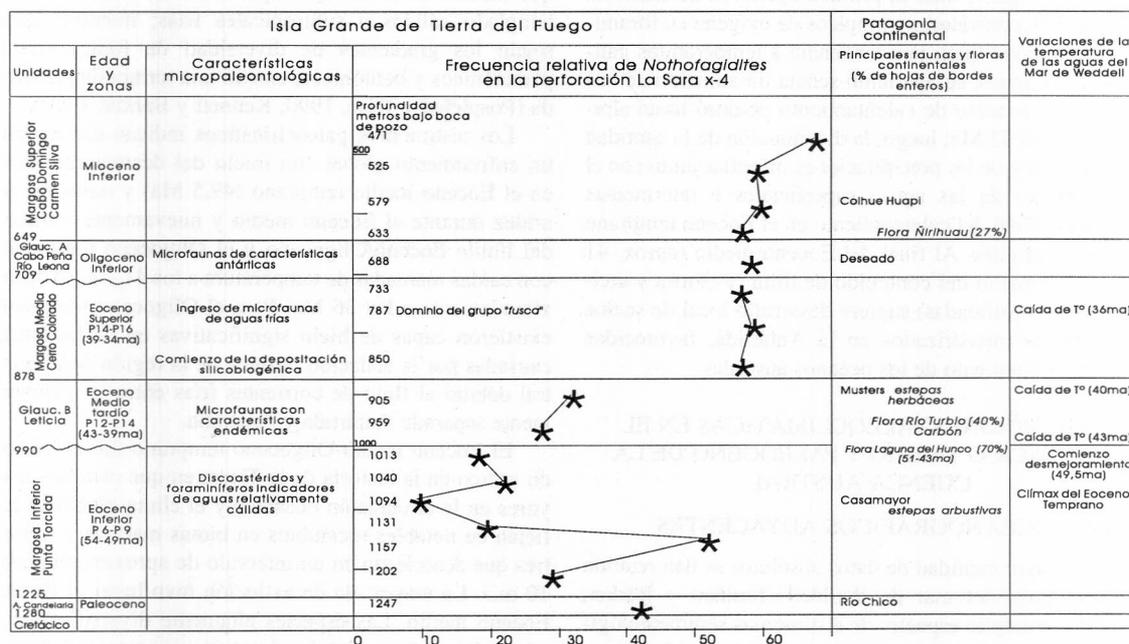


Figura 2. Frecuencia relativa de *Nothofagidites* en la perforación La Sara x-4, Isla Grande de Tierra del Fuego. Unidades de subsuelo según comunicación verbal de S. Kozłowski; edad y zonas de foraminíferos equivalentes según Olivero y Malumián (en prensa), y frecuencia relativa de *Nothofagidites* según Menéndez y Caccavari (1975). / Relative frequency of *Nothofagidites* in the La Sara x-1 well, Isla Grande de Tierra del Fuego. Subsurface units after verbal communication of S. Kozłowski; age and foraminiferal zones equivalences after Olivero and Malumián (in press), and relative frequency of *Nothofagidites* after Menéndez and Caccavari (1975).

niveles de arcillas carbonosas y pequeños niveles de carbón en la Formación Cerro Dorotea indican la alta pluviosidad desde el Daniano que culmina en el Eoceno medio tardío cuando se depositaron unas 323 millones de toneladas de carbón. En el Oligoceno se reconoce carbón de origen palustre en la Formación Lista y en la Formación Río Leona, particularmente en la última se acumularon siete millones de toneladas de lignito de origen parálico en el subsuelo del área del curso medio del río Santa Cruz, donde engrana con el miembro superior de la Formación San Julián. La Formación Río Leona contiene los últimos mantos de carbón y cierra el ciclo antrágico del Paleógeno.

#### LAS ASOCIACIONES DE ARCILLAS DE LA CUENCA AUSTRAL

En la provincia de Santa Cruz, Iñíguez Rodríguez y Decastelli (1984), en los argilominerales de cinco pozos distribuidos en sentido NW-SE en la cuenca Austral, reconocieron tres asociaciones, dos de las cuales corresponden al Cretácico tardío y Paleógeno: La asociación A, (superior) que comprende principalmente las Formaciones Santa Cruz y miembro superior de la Formación Magallanes o sus equivalentes, caracterizada por un contenido de esmectita superior al 80%, asociada a illita y clorita; la asociación B (media) que abarca principalmente el miembro inferior de la Formación Magallanes y a la parte superior de la Formación Palermo Aike o sus equivalentes, compuesta por proporciones variables de esmectita inferiores al 80%, acompañada por clorita, illita y caolinita; y la asociación C (inferior) que incluye a la parte media inferior de la Formación Palermo Aike con una asociación compuesta por el interestratificado illita-esmectita y clorita. En la división estratigráfica se estima que la Formación Magallanes inferior incluiría a las Formaciones Cerro Dorotea y Río Turbio; y la Formación Magallanes superior, a las Formaciones Río Leona, San Julián y Monte León. De acuerdo con los valores sobre la caolinita brindados por estos autores y las equivalencias de las unidades estratigráficas adoptadas en el presente trabajo, en el subsuelo pueden reconocerse dos conspicuos niveles con caolinita, uno en la parte inferior de la Formación Magallanes inferior, correlacionable con las Formaciones Cerro Dorotea-Río Turbio y otro en la base de las Arcillas Fragmentosas y en el contacto entre las Formaciones La Anita-Chorrillo.

Iñíguez Rodríguez y Decastelli (1987) al extender el estudio a un mayor número de perforaciones de la provincia de Santa Cruz, observan que la argilozona "B" no está presente invariablemente en todas las perforaciones haciéndolo en aquellas donde la columna sedimentaria es muy potente, aunque inclusive en estos casos su desarrollo es muy pobre. En el área aledaña comprendida entre lago Argentino y Río Turbio, Iñíguez Rodríguez *et al.* (1989) y Manassero *et al.* (1990) reconocen dos asociaciones minerales, una rica en illita y caolinita en la Formación

La Anita, y otra rica en esmectita y zeolitas en todas las unidades cretácicas y paleógenas restantes. Indican también que la primera asociación de arcillas acompaña detritos provenientes del área cratónica y granitos del sector noroeste de la cuenca y la segunda, detritos derivados de vulcanitas de un arco magmático situado al oeste de las formaciones. Interpretan así que el principal control en la composición de las arcillas fue el área de origen, en coherencia con las petrofacies de areniscas (Manassero y Macellari, 1987; Manassero, 1988).

Por otra parte, existen antecedentes inéditos (*cf.* Roellig, 1980, 1986; Martínez, 1986, 1989, 1991, 1992) de composición de arcillas de niveles precisados con estudios bioestratigráficos basados en foraminíferos. Para la perforación SC-1, se tienen dos valores para las Arcillas Fragmentosas (figura 3) que indican un 10% de caolinita en los niveles más antiguos y el aumento de la esmectita del 80 al 90% y de la illita del 5 al 10% hacia términos más jóvenes; tres valores coincidentes del 95% de esmectita y 5% de caolinita, de los cuales dos corresponden a niveles danianos (Formación Campo Bola) y otro del Eoceno medio (Formación Man Aike), y dos valores para la Formación Río Leona, con 100% de esmectita (Malumián *et al.*, 1971; con edades modificadas según Malumián y Nández, 1989). Otros dos valores en el Eoceno medio, de 92% de esmectita y 8% de caolinita se encuentran en el SC-2 (Riggi, 1979). La Formación Man Aike (Eoceno medio), en la parte septentrional de la cuenca Austral, presenta dominante esmectita (95-100%), y valores de caolinita inferiores al 4% (Malumián, 1990b).

En la Formación San Julián la caolinita presenta valores muy bajos o está ausente. Sus dos miembros se diferencian netamente por las asociaciones mineralógicas, el miembro Gran Bajo por el dominio absoluto de la esmectita, y miembro Meseta Chica por la illita que alcanza proporciones de hasta el 40%. A lo largo de toda la Formación Monte León (Mioceno inferior) la caolinita presenta valores inferiores al 5% excepto un pico de 15% en su parte superior, y la asociación está dominada por esmectita acompañada por illita y arcillas interestratificadas que no muestran relación con la composición de las sedimentitas (Di Paola y Marchese, 1973). Es particularmente interesante este estudio pues fue basado en muestras recogidas por Bertels, quien en 1977 y 1980 da a conocer los foraminíferos. Una distribución similar de la caolinita se encuentra en la Formación Monte León en la perforación SC-2, donde en cinco niveles contiene esmectita que varía del 70 al 100%, illita del 2 al 12% y caolinita del 6 al 18%, esta última con su mayor valor en los niveles superiores (Riggi, 1979).

En Tierra del Fuego con muestras del subsuelo, Riggi (1988) indicó que, en términos generales y en comparación con la parte septentrional de la cuenca, la esmectita es reemplazada por illita y clorita en el Cenozoico. Pero es conveniente puntualizar que careció de valores de la Margosa media y particularmente de equivalentes a la Formación Carmen Silva, que contienen muy altos porcentajes

de esmectita. Por otra parte, brindó el único valor del Eoceno inferior (Margosa inferior) sobre muestra de inyección y a una profundidad mayor a 1200 metros, pero a estas profundidades se reconocen efectos diagenéticos en la cuenca Austral (Iñiguez Rodríguez *et al.*, 1989).

En la Formación La Despedida (Eoceno medio-Eoceno tardío temprano), el miembro inferior, presenta una disminución de la caolinita desde un 25-12% en los niveles basales a un 10-7% en los niveles glauconíticos

suprayacentes (Eoceno medio) y hasta ausencia total en el miembro superior, y en el mismo sentido aumenta la esmectita (Codignotto y Malumián, 1981; Malumián, 1988, 1990a).

Dentro de la Formación Cabo Peña (Oligoceno inferior), con cuatro valores en su localidad tipo, disminuye la esmectita junto con un incremento de illita y clorita-caolinita. La esmectita compone el 80% de los minerales de arcillas en las areniscas arcillosas de la parte inferior del

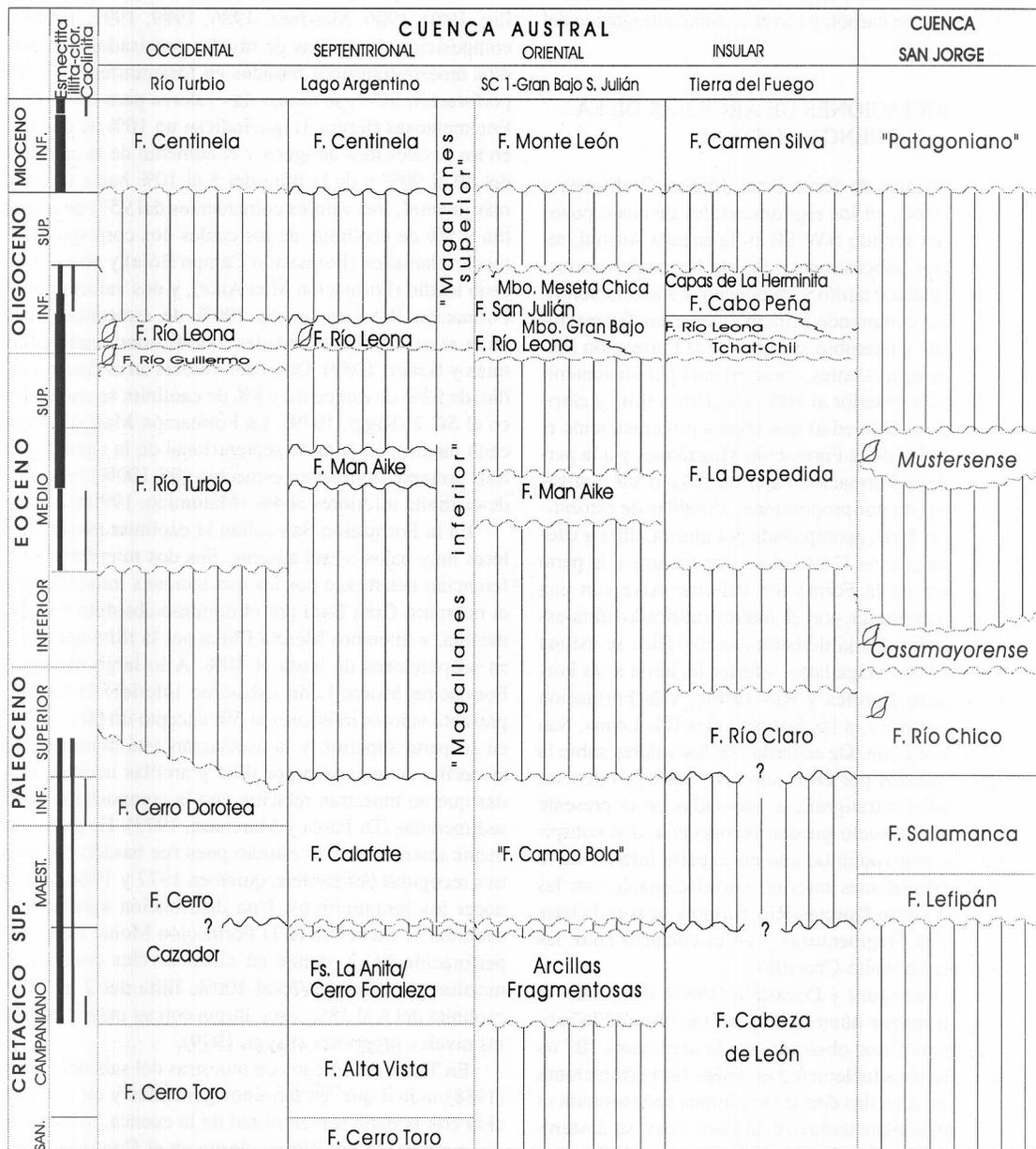


Figura 3. Cuadro estratigráfico con las unidades consideradas de cuenca Austral, y de la cuenca del Golfo San Jorge, y principales asociaciones mineralógicas. / Stratigraphic chart including stratigraphic units of the Austral Basin and relationships with the adjacent Golfo San Jorge Basin and main clay associations.

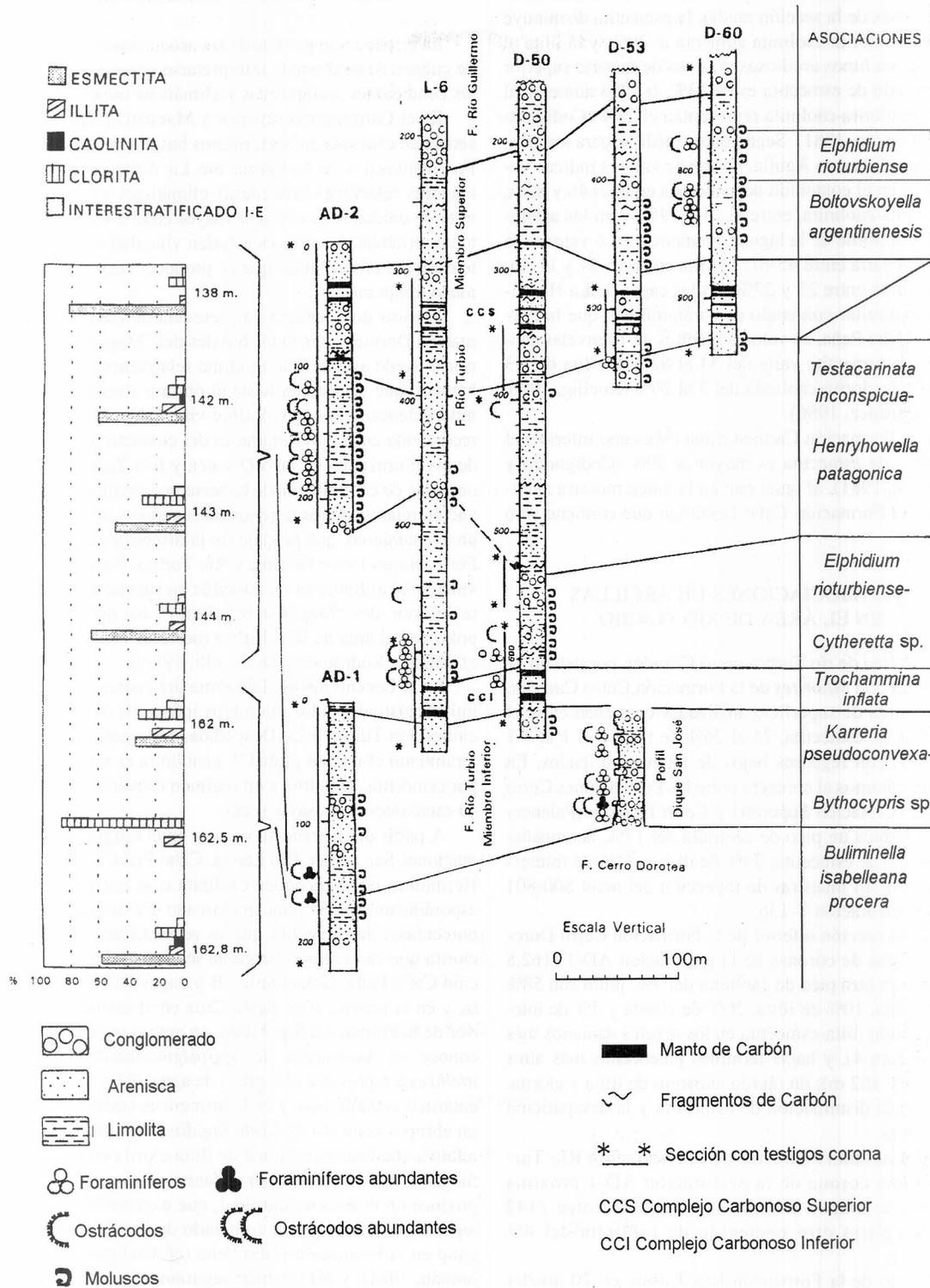


Figura 4. Esquema de correlación de perforaciones y perfiles principales, y porcentajes relativos de arcillas de los niveles 138, 142, 143, 144, 162, 162,5 y 162,8 metros bajo boca de pozo de la perforación AD-1. / Correlation of main stratigraphic sections and wells, relative percentages of clays from the levels 138, 142, 144, 162, 162.5 and 162.8 m, AD-1 well. CCI: Complejo Carbonoso Inferior; CCS: Complejo Carbonoso Superior.

perfil, clorita-caolinita el 13% e illita el 7%. En las arcillas limosas de la sección media, la esmectita disminuye al 46%, la clorita-caolinita aumenta al 29%, y la illita al 25%. En los limos arcillosos masivos de la parte superior el contenido de esmectita es de 43%, la illita aumenta al 29% y la clorita-caolinita representan el 28% (Codignotto y Malumián, 1981). Según datos inéditos para los afloramientos del cerro Aguila, un par de valores indican variaciones en el contenido de esmectita entre el 46 y 80%, y de clorita-caolinita, entre el 13 y 19%; y en los afloramientos al borde de la laguna Flamenco, en 6 valores, la esmectita varía entre 45-61; la illita entre 16-27 y la clorita-caolinita entre 23 y 27%. En las capas de La Herminita, con similar contenido de foraminíferos que la Formación Cabo Peña, en valores inéditos de 14 niveles analizados, la esmectita varía del 34 al 62%, la illita del 33 al 53% y la clorita-caolinita del 3 al 20% (Roellig, 1980, 1986; Martínez, 1986).

En la Formación Carmen Silva (Mioceno inferior) el contenido de esmectita es mayor al 90% (Codignotto y Malumián, 1981), al igual que en la única muestra analizada de la Formación Cabo Domingo que contiene sólo esmectita.

#### LAS ASOCIACIONES DE ARCILLAS EN EL ÁREA DE RÍO TURBIO

En el área de río Turbio-cerro Cazador, por debajo de los niveles con *Maorites* de la Formación Cerro Cazador, dos muestras de superficie analizadas contienen entre el 66 y 74% de esmectita, 25 al 26% de illita y el 1 al 4% de clorita, con registros bajos de interstratificados. En niveles próximos al contacto entre las Formaciones Cerro Cazador (Cretácico Superior) y Cerro Dorotea (Paleoceno), se destaca un pico de caolinita del 17%, acompañadas por 8% de esmectita, 39% de illita y 11% de interstratificados, en muestras de inyección del nivel 800-801 m de la perforación T-136.

Para la sección inferior de la Formación Cerro Dorotea, muestras de coronas de la perforación AD-1 (162,8 m), denotan otro pico de caolinita del 7%, junto con 58% de esmectita, 10% de illita, 20% de clorita y 5% de interstratificado illita-esmectita en los niveles danianos más bajos (figura 4), y hacia términos paleocenos más altos (162,5 m y 162 m), un rápido aumento de illita y clorita, junto con la disminución de esmectita y la desaparición de caolinita.

En el miembro inferior de la Formación Río Turbio, en una corona de la perforación AD-1 próxima al contacto con la Formación Cerro Dorotea (142 m), se registra otro contenido de caolinita del 4% (figura 4).

El resto de la Formación Río Turbio, en 20 niveles espaciados aproximadamente cada 15 metros de las perforaciones AD-1 y AD-2, mantiene el dominio de esmectita con aumento hacia los niveles superiores, donde alcanza valores del 99%.

#### DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La distribución general de las asociaciones de arcillas de cuenca Austral puede interpretarse como resultado de las condiciones fisiográficas y climáticas imperantes.

En el Campaniano superior y Maestrichtiano, la presencia de caolinita en los términos basales de las Arcillas Fragmentosas y en la Formación La Anita no reconoce mayores relaciones con causas climáticas, salvo que se trate de unidades de una leve mayor edad o sean producto de retrabajo, y entonces estarían vinculadas con la extensión del clima cálido que se produce hasta el Campaniano temprano.

A partir del Daniano, la presencia de caolinita (Formación Dorotea y términos basales del "Magallanes inferior") puede asociarse a un clima relativamente cálido y húmedo que se acentúa hasta el óptimo climático del límite Paleoceno/Eoceno, óptimo vinculable a la caolinita reconocida en las proximidades del contacto discordante de las Formaciones Cerro Dorotea y Río Turbio. La generación de caolinita puede haberse favorecido por la elevación relativa de los terrenos paleocenos y desarrollo de un avenamiento, que produjeron la discordancia entre las Formaciones Cerro Dorotea y Río Turbio. Este contenido vinculable al límite es reconocible en subsuelo en la parte inferior del "Magallanes inferior" en perforaciones próximas al área de Río Turbio (perforación María Inés, cf. Iñiguez Rodríguez y Decastelli, 1984).

En el Eoceno medio, la merma del contenido de caolinita registrado en los miembros inferiores de las Formaciones Río Turbio y La Despedida, acompaña el desmejoramiento climático global. La caolinita es reemplazada por esmectita atribuible a un régimen estacional marcado de estaciones lluviosas y secas.

A partir del Eoceno superior y en el Oligoceno (Formaciones San Julián, Río Leona, Cabo Peña, capas de La Herminita) no se reconoce caolinita o se encuentra muy esporádicamente. Se nota un marcado decaimiento en los porcentajes de esmectita que es reemplazada por illita-clorita que en la región fueguina se registra en la Formación Cabo Peña, Glauconítico B y capas de La Herminita, y en la provincia de Santa Cruz en el miembro superior de la Formación San Julián, en ambas regiones se reconoce la Asociación de *Spirosigmoilinella-Martinoitiella* que representa el ingreso de aguas frías de carácter antártico-subantártico, y en la primera es coincidente con un abrupto aumento de *Nothofagidites*. Por otra parte, la relativa abundancia regional de illita-clorita en el ámbito fueguino fue favorecida por el fuerte plegamiento que se produce en el Eoceno cuspidal, que expone desde basamento, manifiesto por el contenido de granos de microclino en la Formación Cabo Peña (cf. Codignotto y Malumián, 1981), y así también seguramente expuso metamorfitas de diferente grado que contribuyen al mayor contenido de illita-clorita.

En el Mioceno temprano (Formaciones Monte León y Centinela, provincia de Santa Cruz, Carmen Silva y Cabo

Domingo, Tierra del Fuego) se reestablece el dominio de la esmectita. Incluso en la primera Formación, en sus términos superiores, se reconoce un pico de caolinita que puede vincularse al óptimo climático desarrollado en el entorno del límite Mioceno temprano/medio. De esta forma, en la Isla Grande de Tierra del Fuego, se produce un contrastante cambio hacia contenidos dominantes casi absolutos de esmectita en el Mioceno temprano.

Dentro de este cuadro, se manifiesta que las asociaciones de arcillas, en la medida que respondan a cambios climáticos globales o regionales se convierten en útiles elementos de correlación climatoestratigráfica. La restringida distribución de la caolinita conforma niveles guías en la correlación, en particular en las proximidades del límite Paleoceno/Eoceno, y el incremento en el contenido de illita o illita-clorita marca el desmejoramiento climático en el Oligoceno, junto con el alzamiento tectónico.

#### AGRADECIMIENTOS

Trabajo financiado por el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas y la Dirección Nacional del Servicio Geológico. Muchas de las determinaciones roetnográficas mencionadas en el presente trabajo fueron realizadas por F. Roellig, a lo largo de varios años, y en la medida que se desarrollaban los estudios micropaleontológicos.

#### BIBLIOGRAFÍA

- Bertels, A., 1977. Estratigrafía y micropaleontología de la Formación San Julián en su área tipo, provincia de Santa Cruz, República Argentina. *Ameghiniana*, 14(1-4): 233-293. Buenos Aires.
- Bertels, A., 1980. Estratigrafía y foraminíferos (Protozoa) bentónicos de la Formación Monte León (Oligoceno) en su área tipo, provincia de Santa Cruz, República Argentina. *2º Congreso Argentino de Paleontología y Bioestratigrafía y 1º Congreso Latinoamericano de Paleontología*, 2: 213-273. Buenos Aires.
- Brea, M., 1993. Inferencias paleoclimáticas a partir del estudio de los anillos de crecimiento de leños fósiles de la Formación Río Turbio, Santa Cruz, Argentina. I. *Nothofagoxylon paraprocera* Ancibor, 1990. *Ameghiniana*, 30(2): 135-141. Buenos Aires.
- Campbell, I. B. y Claridge, G. G. C., 1982. The influence of moisture on the development of soils of the cold deserts of Antarctica. *Geoderma*, 28: 221-238. Amsterdam.
- Chamley, H., 1989. *Clay sedimentology*. Springer. 623 pp. New York.
- Codignotto, J. O. y Malumián, N., 1981. Geología de la región al Norte del paralelo 54° S de la Isla Grande de Tierra del Fuego. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 36(1): 44-88. Buenos Aires.
- Di Paola, E. C. y Marchese, H. G., 1973. Litoestratigrafía de la Formación Patagonia en el área tipo (Bajo de San Julián-desembocadura del Río Santa Cruz). Provincia de Santa Cruz. República Argentina. *5º Congreso Geológico Argentino*, 3: 207-222. Buenos Aires.
- Huber, B. T., 1992. Paleobiogeography of Campanian-Maastrichtian foraminifera in the southern high latitudes. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 92: 325-360. Amsterdam.
- Iñiguez Rodríguez, A. M. y Decastelli, O., 1984. Mineralogía y diagénesis de las arcillas de las formaciones cretácico-terciarias de la Cuenca Austral. *9º Congreso Geológico Argentino*, 3: 402-414. San Carlos de Bariloche.
- Iñiguez Rodríguez, A. M. y Decastelli, O., 1987. Estudio de la mineralogía y diagénesis de arcillas en pozos de la cuenca Austral, Provincia de Santa Cruz, Argentina. *10º Congreso Geológico Argentino*, 2: 39-42. San Miguel de Tucumán.
- Iñiguez Rodríguez, A. M., Decastelli, O. y Manassero M. J., 1989. Clay mineralogy and diagenetic changes in the Upper Cretaceous and lower Tertiary mudstones of the Austral Basin (Argentina). *Simposio sobre Recursos, Eventos y Ritmos del Cretácico de América Latina*: 195-204. Buenos Aires.
- Krashennnikov, V. A. y Basov, I. A., 1986. Late Mesozoic and Cenozoic stratigraphy and geological history of the South Atlantic high latitudes. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 55: 145-188. Amsterdam.
- Kennett, J. P. y Barker, P. F., 1990. Latest Cretaceous to Cenozoic climate and oceanographic developments in the Weddell Sea, Antarctica: An Ocean-Drilling Perspective. *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results* 113: 937-960. Washington.
- Kennett, J. P. y Stott, L. D., 1990. Proteus and Proto-oceanus: Ancestral Paleogene Oceans as revealed from Antarctic stable isotopic results; ODP Leg 113. *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results* 113: 865-880. Washington.
- Malumián, N., 1978. Aspectos paleoecológicos de los foraminíferos del Cretácico de la cuenca Austral. *Ameghiniana*, 15(1-2): 149-160. Buenos Aires.
- Malumián, N., 1988. Foraminíferos bentónicos de la localidad tipo de la Formación La Despedida (Eoceno, Isla Grande de Tierra del Fuego). Parte I: Textularina y Miliolina. *Ameghiniana*, 25(4): 341-356. Buenos Aires.
- Malumián, N., 1990a. Foraminíferos bentónicos de la localidad tipo de la Formación La Despedida (Eoceno), Isla Grande de Tierra del Fuego. Parte II: Nodosariacea, Buliminacea, Elphididae y rotalidos tuberculados. *Ameghiniana*, 27(3-4): 343-363. Buenos Aires.
- Malumián, N., 1990b. Foraminíferos de la Formación Man Aike (Eoceno, sureste del lago Cardiel), provincia de Santa Cruz, Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 45(3-4): 365-385. Buenos Aires.
- Malumián, N. y Caramés, A., 1995. El Daniano marino de Patagonia (Argentina): paleobiogeografía de los foraminíferos bentónicos. *Asociación Paleontológica Argentina. Publicación Especial 3, Paleógeno de América del Sur* (Ed. C. Náñez): 83-105. Buenos Aires.
- Malumián, N. y Caramés, A., 1997. Upper Campanian-Paleogene from the Río Turbio coal measures in southern Argentina: micropaleontology and the Paleocene/Eocene boundary. *Journal of South American Earth Sciences*, 10(2): 189-201. Exeter.
- Malumián, N. y Masiuk, V., 1978. Foraminíferos planctónicos del Cretácico de Tierra del Fuego. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 33(1): 36-51. Buenos Aires.
- Malumián, N. y Náñez, C., 1989. Asociaciones de foraminíferos del Terciario medio de la cuenca Austral: sus relaciones con eventos eustáticos globales. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 43(2): 257-264. Buenos Aires.

- Malumián, N. y Náñez, C., 1991. Paleogeografía del Terciario medio del cono sur: avance de aguas antárticas. *6º Congreso Geológico Chileno, Resúmenes Expandidos*: 847-851. Viña del Mar.
- Malumián, N. y Náñez, C., 1996. Microfósiles y nanofósiles calcáreos de la Plataforma Continental. *13º Congreso Geológico Argentino y 3º Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Geología y Recursos Naturales de la Plataforma Continental Argentina*. Ramos, V. A. y Turic, M. A. (Eds.), *Relatorio 5*: 73-93. Buenos Aires.
- Malumián, N., Masiuk, V. y Riggi, J. C., 1971. Micropaleontología y sedimentología de la perforación SC-1, provincia de Santa Cruz, República Argentina. Su importancia y correlaciones. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 46(2): 175-208. Buenos Aires.
- Manassero, M. J., 1988. Petrografía y procedencia de las areniscas cretácicas superiores de la cuenca Austral Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 43(2): 175-187. Buenos Aires.
- Manassero, M. J. y Macellari, C. E., 1987. Petrografía sedimentaria de la cuenca Austral: Formación La Anita en el sector sur del lago Argentino. *10º Congreso Geológico Argentino 2*: 17-20. San Miguel de Tucumán.
- Manassero, M. J., Iñiguez Rodríguez, M. y Decastelli, O. O., 1990. Estratigrafía y argilofacies del Cretácico Superior y Terciario inferior en la cuenca Austral Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 45(1-2): 37-46. Buenos Aires.
- Martínez, H., 1986. *Estudio por difracción de Rayos X de 22 muestras arcillosas procedentes de Tierra del Fuego*. Dirección Nacional del Servicio Geológico. Buenos Aires. (Inédito).
- Martínez, H., 1989. *Estudio por difracción de Rayos X de 12 muestras arcillosas de testigos de perforaciones de la provincia de Santa Cruz*. Dirección Nacional del Servicio Geológico. Buenos Aires. (Inédito).
- Martínez, H., 1991. *Estudio por difracción de Rayos X de 10 muestras de arcillas de la perforación Adaro 1 de YCF, zona de Río Turbio, Santa Cruz*. Dirección Nacional del Servicio Geológico. Buenos Aires. (Inédito).
- Martínez, H., 1992. *Estudio por difracción de Rayos X de 10 muestras de testigos de la perforación Adaro 2, Río Turbio, Santa Cruz*. Dirección Nacional del Servicio Geológico. Buenos Aires. (Inédito).
- Menéndez, C. A., 1971. Floras terciarias de la Argentina. *Ameghiniana*, 8(3-4): 357-371. Buenos Aires.
- Menéndez, C. A. y Caccavari de Filicé, M. A., 1975. Distribución y frecuencia del polen fósil de *Nothofagus* en depósitos cretácicos y terciarios del norte de Tierra del Fuego, Argentina. *1º Congreso Argentino de Paleontología y Bioestratigrafía*, 2: 241-255. San Miguel de Tucumán.
- Millot, G. 1970. *Geology of Clays*. Springer-Verlag, 425 pp. New York.
- Olivero, E. O. y Malumián, N., en prensa. Eocene stratigraphy of Southeastern Tierra del Fuego Island, Argentina. *American Association of Petroleum Geologists, Bulletin*.
- Paquet, H., 1970. Evolution géochimique des minéraux argileux dans les altérations et les sols des climas méditerranéens et tropicaux à saisons contrastées. *Sci. Géol. Strasb. Mém.* 30: 221 pp. Strasburgo.
- Pascual, R., 1984. La sucesión de las edades-mamífero, de los climas y del diastrofismo sudamericanos durante el Cenozoico: Fenómenos concurrentes. *Anales de la Academia Nacional de Ciencias Exactas Físicas y Naturales*, 30: 15-37. Buenos Aires.
- Pospichal, J. J. y Wise, S. W., 1990. Maestrichtian calcareous biostratigraphy of Maud Rise ODP Leg 113 Sites 689 and 690, Weddell Sea. *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, 113: 465-487. Washington.
- Riggi, J. C., 1979. Estratigrafía cretácico-terciaria del subsuelo de Cabo Buen Tiempo, Santa Cruz. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 34(4): 225-270. Buenos Aires.
- Riggi, J. C., 1988. Litoestratigrafía terciaria del subsuelo fueguino. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 43(1): 106-120. Buenos Aires.
- Roellig, F. R., 1980. *Estudio por difracción de rayos X de 25 muestras arcillosas procedentes de las Hojas 64a y 65a-b, Tierra del Fuego*. Dirección Nacional del Servicio Geológico. Buenos Aires. (Inédito).
- Roellig, F. R., 1986. *Estudio por difracción de rayos X de 33 muestras arcillosas procedentes de Tierra del Fuego*. Dirección Nacional del Servicio Geológico. Buenos Aires. (Inédito).
- Robert, C., 1980. Climats et courants cénozoïques dans l'Atlantique Sud d'après l'étude des minéraux argileux (legs 3, 39 et 40 DSDP). *Oceanologica Acta*, 3: 217-232. Montreuil.
- Robert, C., 1987. Clay mineral associations and structural evolution of the South Atlantic Jurassic to Eocene. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 58: 87-108. Amsterdam.
- Robert, C. y Chamley, H., 1990. Paleoenvironmental significance of clay mineral associations at the Cretaceous-Tertiary passage. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 79: 205-219. Amsterdam.
- Robert, C. y Kennett, J. P., 1992. Paleocene and Eocene kaolinite distribution in the South Atlantic and Southern Ocean Antarctic climatic and paleoceanographic implications. *Marine Geology*, 103: 99-110. Amsterdam.
- Robert, C. y Maillot, H., 1990. Paleoenvironments in the Weddell Sea area and Antarctic climates as deduced from clay mineral associations and geochemical data, ODP Leg 113. *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, 113: 51-79. Washington.
- Romero, E. J., 1979. Paleoecología y paleofitogeografía de las taflofloras del Cenofítico de Argentina y áreas vecinas. *Ameghiniana*, 15(1-2): 209-227. Buenos Aires.
- Romero, E. J., 1986. Paleogene phytogeography and climatology of South America. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 73: 449-461. Missouri.
- Sttot, L. D. y Kennett, J. P., 1990. The paleoceanographic and paleoclimatic signature of the Cretaceous/Paleogene boundary in the Antarctic stable isotopic results from ODP Leg 113. *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, 113: 829-848. Washington.
- Sttot, L. D., Kennett, J. P., Shackleton, N. J. y Corfield, R., 1990. The evolution of Antarctic surface waters during the Paleogene: Interferences from the stable isotopic composition of planktonic foraminifers, ODP Leg 113. *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, 113: 849-863. Washington.

Recibido: 7 de mayo de 1996.

Aceptado: 2 de setiembre de 1997.