

## La tafoflora de cerro Centinela (Chile, VI Región): vegetación y clima de Chile central a fines del Mioceno-comienzos del Plioceno

Alejandro Troncoso <sup>1</sup> y Alfonso Encinas <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Biología Vegetal y Biotecnología. Universidad de Talca. Casilla 747. Talca, Chile. [aletronc@pehuenche.otalca.cl](mailto:aletronc@pehuenche.otalca.cl)

<sup>2</sup> Departamento de Geología, Universidad de Chile. Plaza Ercilla 803. Santiago, Chile. [aencinas@cec.uchile.cl](mailto:aencinas@cec.uchile.cl)

**Abstract. The fossil flora from Cerro Centinela (Chile, VI Region): vegetation and climate in central Chile at the end of Miocene-beginning of the Pliocene.** In this article, the composition of the taphoflora from cerro Centinela, central Chile, is analyzed. This fossil flora is included in sediments of the lower member of the Navidad Formation, which is assigned to Late Miocene-Early Pliocene. This was achieved on the basis of available data about modern related species, adding some information from the fossils themselves. A taphonomic mixture, including elements collected in different aleocommunities, is postulated. The analysis of the different possible scenarios, in this situation, is contrasted against sedimentological information to conclude that these paleocommunities were spatially separated in a broad area, which could be extended from as far as the volcanic centers, in the east, to the seashore in the west. Furthermore, the analysis suggests a more humid and warmer climate than the actual one in the region.

**Resumen.** En este artículo se analiza la composición de la tafoflora exhumada en cerro Centinela, Chile central, la cual se halla incluida en sedimentos del miembro inferior de la Formación Navidad, asignados al Mioceno Tardío-Plioceno Temprano. Sobre la base de los antecedentes conocidos respecto de los requerimientos ecológicos de las especies actuales relacionadas, sumados a información de los fósiles mismos, se plantea que el conjunto paleoflorístico corresponde a una mixtura tafonómica y que incluye elementos provenientes de diversas paleocomunidades. El análisis de los diferentes escenarios posibles, en tal situación, es contrastado con la información sedimentológica, lo que permite postular que dichas paleocomunidades se encontraban segregadas espacialmente en un área que podía extenderse desde los centros volcánicos, por el este, hasta el litoral marino por el oeste. El presente análisis sugiere, además, un clima más húmedo y cálido que el actual para la región.

**Key words.** Fossil leaves. Central Chile. Late Miocene-Early Pliocene. Paleoecology.

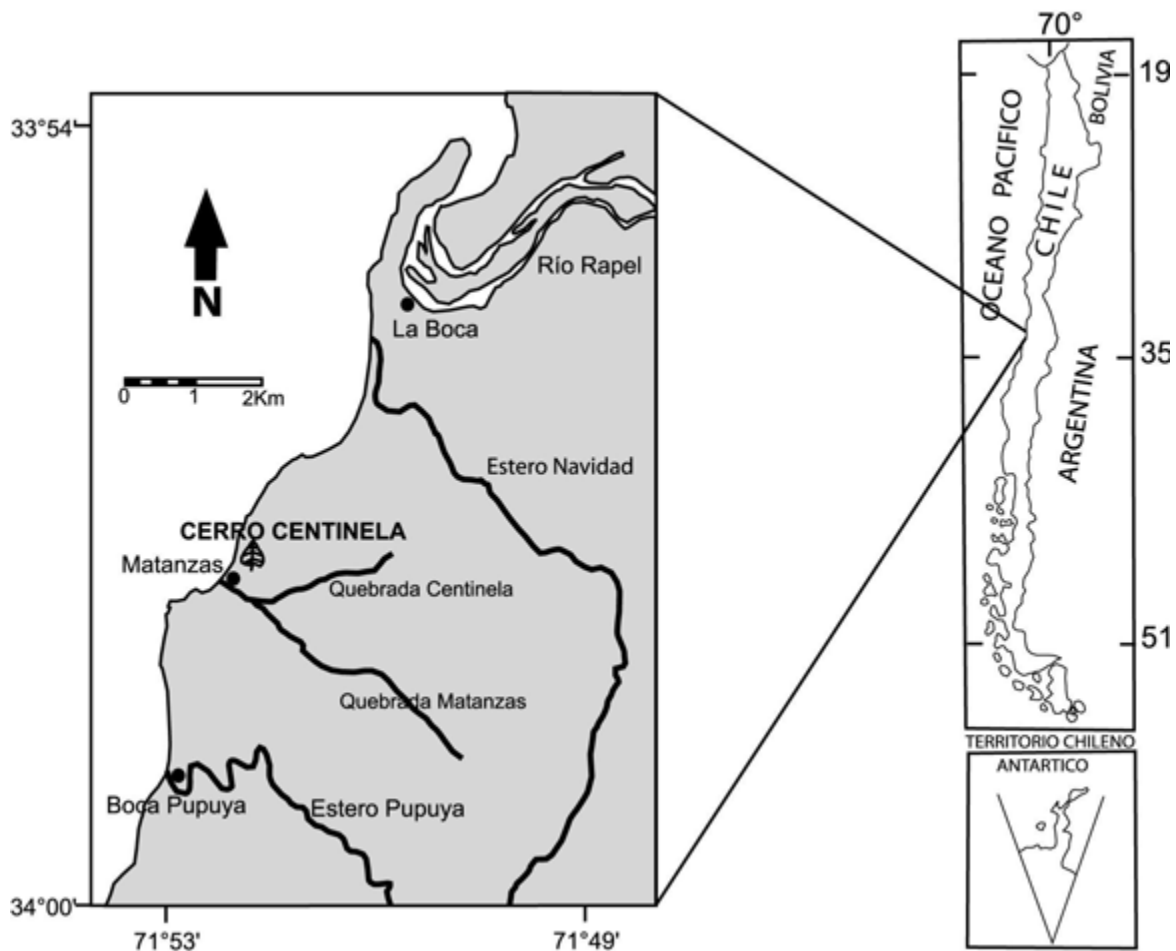
**Palabras clave.** Improntas foliares. Chile central. Mioceno Tardío-Plioceno Temprano. Paleoecología.

### Introducción

El hallazgo de una tafoflora bien preservada, en areniscas con intercalaciones de limolita en estratos del Miembro Navidad de la Formación Navidad, aflorantes en el cerro Centinela, inmediatamente al Este de la localidad de Matanzas (33°57'30"S-71°52'15"O), VI Región de Chile, ha permitido el estudio de un conjunto paleoflorístico que, además, de conocer la flora que poblaba el sector en aquellos tiempos, ha resultado propicia para analizar su composición

con el objetivo de inferir la fisiognomía vegetal por ella representada y las condiciones climáticas que habrían posibilitado el desarrollo de esa vegetación.

El área en que se hallan estos afloramientos (figura 1), ubicada a unos 150 km al suroeste de Santiago, en la costa de Chile central, constituye un lugar en que la existencia de fósiles es conocida desde hace ya tiempo, debido a que la presencia de éstos, principalmente de invertebrados marinos, en la Formación Navidad es frecuente y abundante.



**Figura 1.** Mapa de ubicación de la localidad fosilífera / *location map of the fossiliferous locality.*

Los fósiles vegetales son menos evidentes y frecuentes. Tanai (1986) describió, a partir de muestras colectadas en los mismos niveles de la taoflora de Goterones, una especie nueva de *Nothofagus*, *N. Gonzalezii* Tanai. Troncoso (1991) y Troncoso y Romero (1993) estudiaron las taofloras de la Formación Navidad en el área de Matanzas en su conjunto. Estas son dos, la de Goterones y la de Boca Pupuya, asignadas al Mioceno Inferior alto a Mioceno Superior bajo por Troncoso (1991) y al Mioceno Inferior y Mioceno Medio, respectivamente, por Hinojosa (2003), siguiendo a diversos autores (Etchart, 1973; Tavera, 1979; Tsuchi *et al.*, 1990; Martínez-Pardo, 1990), cuyas dataciones se basaron en estudios de foraminíferos. Estas edades, sin embargo, no concuerdan con los estudios más recientes basados en dichos microfósiles (Finger *et al.*, 2003). Posteriormente, Méon *et al.* (1994) lograron rescatar polen y esporas de muestras de las localidades de Punta Perros y Matanzas, en la misma Formación Navidad, cuyos resultados indican un predominio de gimnospermas y, en general, no son concordantes con los que había arrojado la megaflora; además, detectan un nivel fuertemente dominado por herbáceas. Todos estos resultados se refieren a secciones de la Formación Navidad cuya relación a la sección que porta la taoflora, objeto del presente estudio, aún no es clara; la flora de Goterones

es la única que se halla en el mismo acantilado que la de cerro Centinela, por lo cual se puede estar seguro que es más antigua que esta última.

Sin duda, la composición florística del elenco fósil ofrece, además, oportunidad para el análisis y discusión de otras problemáticas, particularmente respecto de la dinámica fitogeográfica durante el Mioceno, en relación, por ejemplo, a la evolución de los cuadros vegetacionales en dicha área geográfica, íntimamente asociada a los posibles flujos migracionales. Ello se ve posibilitado por el conocimiento de las otras tafofloras y palinofloras del área ya mencionadas. Tales temáticas, sin embargo, han debido ser pospuestas para posteriores contribuciones. Lo propio ocurre con la descripción sistemática formal de las órgano-especies.

### Marco geológico

El borde costero de la cordillera de la Costa se caracteriza por la presencia de un basamento formado por rocas plutónicas y metamórficas del Paleozoico, Triásico y Jurásico, las que afloran en la mayor parte de la zona costera, y por rocas sedimentarias marinas del Cretácico, Eoceno y Neógeno (Gana *et al.*, 1996; Wall *et al.*, 1996).

La tafoflora del cerro Centinela está contenida dentro de una serie de estratos de edad neógena, asignados al miembro inferior de la Formación Navidad. Esta última fue descrita, por primera vez, por Darwin (1846) y consiste en una secuencia de areniscas, limolitas, conglomerados y coquinas que afloran en la zona costera de Chile Central, aproximadamente entre 33°00'S y 34°30'S y entre 72°O y 72°15'O (figura 1). Tavera (1979) divide esta formación en los miembros Navidad, Lincancho y Rapel. El miembro Navidad, al cual pertenece la tafoflora de cerro Centinela presenta un espesor estimado en unos 100-200 metros, sobreyace al basamento paleozoico y a rocas de la Formación Punta Topocalma, del Cretácico (Ceccioni, 1978), e infrayace al Miembro Lincancho. Incluye un conglomerado fosilífero basal, interpretado como costero, sobreyacido por una alternancia de areniscas, limolitas y conglomerados fosilíferos. Tales capas exhiben una serie de facies constituidas por areniscas masivas, alternancia de areniscas con secuencias de Bouma y limolitas, conglomerados masivos, brechas sinsedimentarias, capas deslizadas (*slides*), pliegues sinsedimentarios (*slumps*) y capas de limolitas de varios metros de potencia. La interpretación de estas facies es que fueron formadas por una alternancia de flujos de gravedad con períodos de decantación de material fino, que habrían sido depositados en un talud continental durante un período de subsidencia importante de la zona costera. Tal interpretación es avalada por la presencia de abundantes foraminíferos bentónicos que indican profundidades mínimas de depositación de 1500 metros (Encinas *et al.*, 2003a, 2003b; Finger *et al.*, 2003). El estudio de foraminíferos planctónicos indica una edad, para este miembro, que va desde el Mioceno Tardío (Tortoniano, 11 Ma, aproximadamente) hasta el Plioceno Temprano (Encinas *et al.*, 2005).

Los estratos portadores de la tafoflora de cerro Centinela se ubican en el techo de una sucesión de 90 metros de potencia (figura 2) que aflora en los acantilados al norte de Matanzas y en el cerro Centinela (figuras 3.A -B). Las capas que albergan la flora de cerro Centinela consisten en una alternancia de capas de areniscas de grano muy fino y limolitas de aspecto tobáceo, que se presentan, por lo general, en capas centimétricas y decimétricas (figura 2). Las areniscas presentan secuencias de Bouma, clastos de pómez y abundantes moldes de hojas y ramas. Dentro de esta sucesión, en la parte basal del acantilado, se ubica la tafoflora de Goterones.

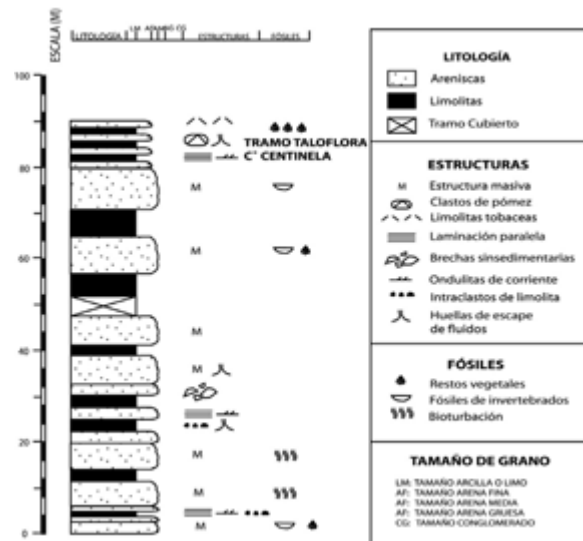
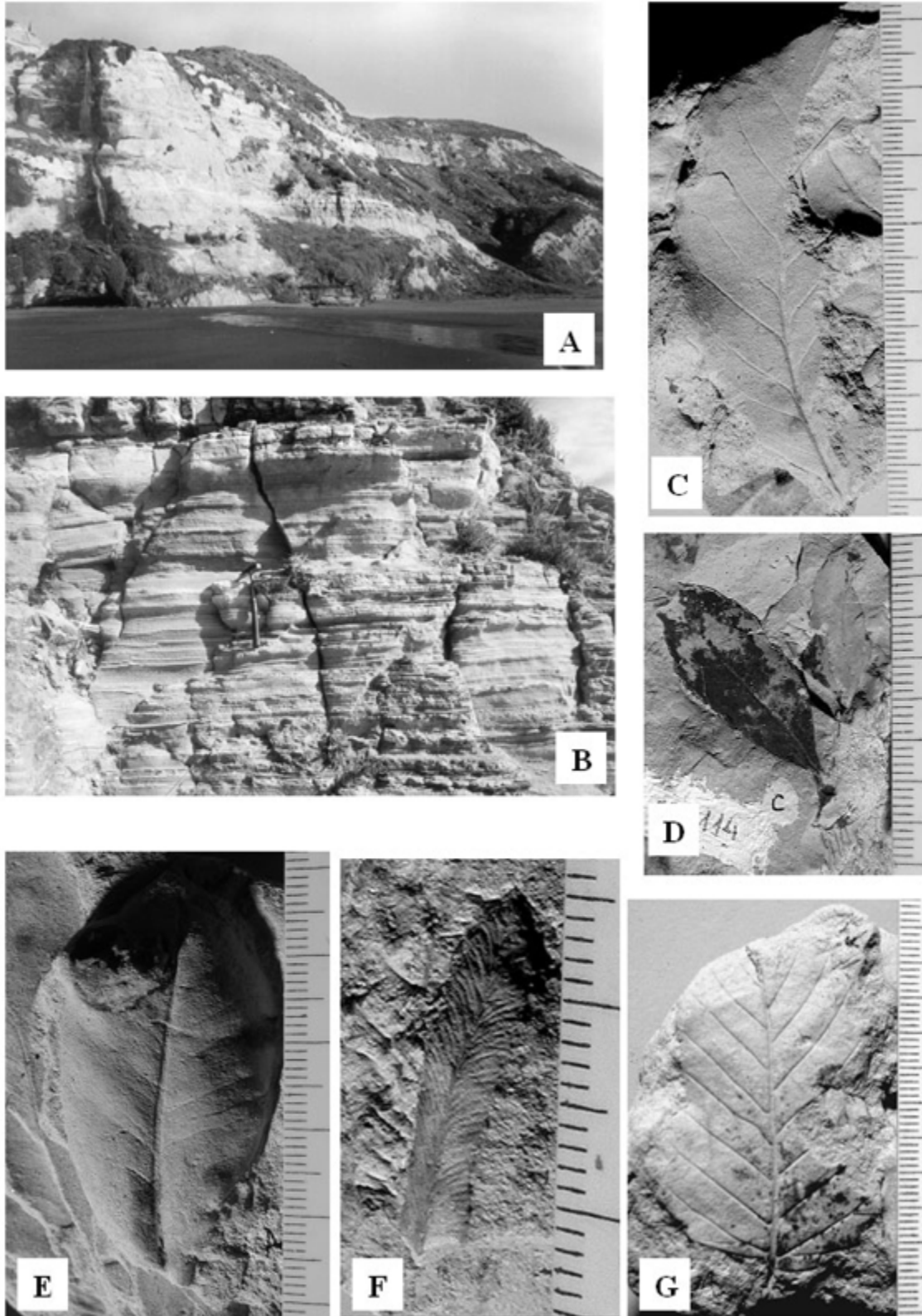


Figura 2. Perfil estratigráfico del área fosilífera / stratigraphic section of the fossiliferous area.



**Figura 3.** **A,** Vista del área del afloramiento / *view of the outcrop.* **B,** Detalle de la sección fosilífera / *detail of the fossiliferous section.* **C,** *Caryocar* sp. SGO Pb 2114. **D,** *Schinus* sp. SGO Pb 2052 (C). **E,** Hoja coriácea y revoluta / *coriaceous and revolute leaf.* SGO Pb 2052 (A). **F,** Pinna coriácea y revoluta / *coriaceous and revolute pinna.* SGO Pb 2083. **G,** *Nothofagus* sp. SGO Pb 2033. Reglilla de escala en milímetros / *scale in milimeters.*

La interpretación de esta sucesión es que estas capas fueron depositadas por corrientes de turbidez en una cuenca marina profunda alimentada por un complejo deltaico. Tales corrientes de turbidez fueron probablemente detonadas por la acumulación de gran cantidad de sedimentos en el borde de la plataforma, debido a la generación de flujos piroclásticos, flujos que habrían sido canalizados desde los centros volcánicos hasta el mar por los ríos que alimentaban el sistema deltaico, produciendo un aumento del aporte de sedimentos a la cuenca.

### **Edad de los sedimentos portadores de la taoflora**

Estudios de foraminíferos planctónicos, llevados a cabo en muestras de un pozo realizado por ENAP (Empresa de Petróleos de Chile) en el pueblo de Matanzas (*figura 1*), indican una edad restringida a la zona de foraminíferos N16 (aproximadamente 11-10 Ma) (Finger *et al.*, 2003). Las capas perforadas en dicho pozo se sitúan por debajo de aquellas que portan la taoflora en cerro Centinela, lo que marcaría la edad máxima para estas últimas, así como para las capas que portan la taoflora de Goterones. Por otro lado, capas tobáceas similares a las de cerro Centinela han sido registradas en Punta Perro, al norte de Matanzas, donde sobreyacen a limolitas con foraminíferos planctónicos del Plioceno Temprano (Ken Finger, com. pers.). La equivalencia de los niveles tobáceos, sin embargo, no es del todo segura, por lo que resulta adecuado postular una edad Mioceno Tardío-Plioceno Temprano, edad del miembro Navidad, para la taoflora de cerro Centinela.

### **Material y métodos**

El material estudiado corresponde a moldes foliares preservados en areniscas, el cual ha sido ingresado a la colección paleobotánica del Museo Nacional de Historia Natural de Santiago de Chile, cuyo acrónimo es SGO Pb.

Para la determinación sistemática de las muestras se siguió los cánones habituales, comparación con información bibliográfica paleobotánica pertinente, comparación con material de hojas de especies actuales y con descripciones de venación foliar de plantas actuales, en el caso de algunas familias (Klucking, 1986, 1987, 1988, 1989, 1991, 1992, 1995).

El método usado para la reconstrucción vegetacional y paleoclimática tiene como base el tradicional enfoque conocido como del "pariente viviente más cercano" (asumiendo las críticas que ha recibido), toda vez que parece ser el más adecuado como primera aproximación al problema específico de esta investigación. Los resultados de este análisis son, a su vez, contrastados con la información sedimentológica.

Las distribuciones geográficas y condiciones ambientales en que crecen las especies actuales fueron obtenidas, en lo principal, de Veblen *et al.* (1996), Rodríguez (2004), Di Castri y Hajek (1976), Brako y Zarucchi (1993), Killeen *et al.* (1993), Ortega Torres *et al.* (1989), Guimaraes (1980), Fernandes y Becerra (1990), Acosta-Solis (1968), Espinal y Montenegro (1963), Cabrera (1951) y Ewel y Madriz (1968). Para la validez actual de nombres genéricos y específicos se consultó " *The international plant index* " (<http://www.ipni.org/index.html>).

Las órgano-especies identificadas, así como los especímenes estudiados, para la taoflora de cerro Centinela, aparecen ordenadas de acuerdo al sistema de Cronquist (1981), en el caso de las Magnoliophyta, en el Apéndice.

### **Análisis y discusión**

Las alrededor de 70 órgano-especies recuperadas y determinadas a nivel genérico, salvo muy escasas excepciones, han sido asignadas a géneros actualmente presentes en América del Sur. Pocas, en cambio, 17, lo han sido a géneros actualmente presentes en Chile sudamericano y sur

de Argentina (incluyéndose, entre estos últimos, a *Acacia* y *Araucaria*, los fósiles de los cuales, sin embargo, corresponden a secciones diferentes de las sudamericanas). Por otro lado, del total de géneros registrados sólo *Amomyrtus* y *Austrocedrus* no se encuentran en la actualidad en regiones tropicales y/o subtropicales y son considerados, más bien, géneros de regiones templadas. Las especies de *Nothofagus* en América del Sur, Australia y Nueva Zelanda exhiben conducta similar. Si bien las especies de este último género en Nueva Caledonia, Nueva Guinea y algunas islas cercanas crecen en sectores tropicales, con temperaturas medias de 15° C-24° C, son, todas ellas, de borde entero o suavemente crenado, muy diferentes a aquellas exhumadas en cerro Centinela que son de borde francamente aserrado.

De acuerdo a lo anterior, se puede separar el conjunto en dos grupos de géneros de requerimientos ambientales claramente contrastantes entre sí. Uno de ellos, de ambiente templado a templado frío, representado por *Nothofagus*, *Amomyrtus* y *Austrocedrus*; a los cuales puede agregarse, tentativamente, *Cissus* y *Ribes*, los que hoy se asocian a los bosques de *Nothofagus* en el centro y sur de Chile-Argentina.

El género *Nothofagus*, en América del Sur crece desde los 33° S, por la cordillera de la costa chilena y desde los 38° S, por la depresión intermedia, hasta 56° S, en clima mediterráneo, templado y templadofrío; en el extremo norte de su distribución habita las altas montañas, donde las precipitaciones (600 mm anuales o más) son mayores que en las tierras bajas que les rodean y más constantes durante el año; hacia el sur habita desde el nivel del mar hasta cerca de las altas cumbres cordilleranas, con precipitaciones que pueden superar los 5000 mm anuales. En todo el rango geográfico sudamericano de *Nothofagus* las temperaturas medias anuales son inferiores a 15° C, llegando en el extremo sur, a 6° C. En Australia y Nueva Zelanda, *Nothofagus* crece en sectores en que la temperatura media anual es de 4,3° C-16° C. El género *Amomyrtus* incluye dos especies sudamericanas, distribuidas entre 35° 20' S y 46° S, aproximadamente, en los sectores más húmedos de bosques con *Nothofagus*. *Austrocedrus* es un género monotípico de los bosques subantárticos sudamericanos, aunque en el extremo norte de su distribución se le halla en regiones sin bosques de *Nothofagus*. *A. chilensis* (D. Don) Pic.-Ser. y Bizz., la única especie, crece en dos situaciones disímiles: en algunos sectores se encuentra en lugares de alta pendiente de suelos delgados, a menudo producto de derrumbes, donde forma manchas puras; en otros, lo hace en sectores de menor pendiente y suelos más profundos, en el ecotono de bosques de *Nothofagus* y formaciones más xerofíticas. En el área en que crece la especie las temperaturas medias jamás sobrepasan los 17°C, en tanto las precipitaciones varían entre 323,8 y 2.555,2 mm anuales.

Un segundo grupo lo constituyen aquellos géneros de distribución en hábitats de climas cálidos, como los imperantes en el norte y centro de América del Sur, con temperaturas medias anuales habitualmente por sobre 24° C. Dentro de este último elenco, además, resulta lógico separar diversos subconjuntos:

a) Aquellos géneros que, viviendo en clima cálido, lo hacen principalmente en ambientes xeromórficos o mesomórficos, como sabanas secas, caatinga, cerrados, cerradaos, bosque seco chaqueño o espinal. Se trata de especies xerofíticas a mesofíticas y heliófilas. En éste se incluye, entre otros, géneros como *Schinus*, *Schinopsis*, *Acacia* (subgénero *Heterophyllum*), *Caryocar*. *Schinus* habita desde México a Chile-Argentina. Se trata, en general, de un género de especies importantes en asociaciones vegetales de sectores áridos, incluida la estepa patagónica; algunas especies del género se incorporan marginalmente a los bosques más boreales de *Nothofagus* en América del Sur. *Schinopsis* incluye siete especies de Brasil, Argentina, Paraguay, Perú y Bolivia, habitantes de bosques semidecíduos montanos y chiquitanos, bosque seco chaqueño, Chaco subhúmedo y semiárido, así como de las caatingas. El género *Acacia* comprende alrededor de 1.500 especies esencialmente del hemisferio sur, en América, África, Asia y, principalmente, Oceanía. Las especies con filodios (como es el caso de la forma fósil recuperada) son, mayoritariamente australianas, cuyo hábitat más frecuente lo constituyen regiones áridas y semiáridas. Las especies de *Caryocar* se distribuyen desde Costa Rica a

Paraguay. Tanto en Bolivia como en Brasil son elementos importantes de las formaciones de cerrados y cerradaos. Algunas especies, no obstante, se hallan en bosques de tipo amazónico húmedo.

b) Aquellos géneros que habitan ambientes cálidos y húmedos a perhúmedos. Es el caso de las especies de *Nectandra*, alrededor de una centena, presentes en América Central y todos los países sudamericanos, con excepción de Chile. En América del Sur se les halla en bosques y selvas húmedas a pluviales, con más de 800 mm (incluso más de 2.000 mm) de precipitación anual, a las que, en algunos casos, se suman constantes neblinas (Colombia, Venezuela, Ecuador, Brasil, Bolivia, Argentina). En Perú se les encuentra en los departamentos del oriente del país. El caso de *Ocotea* es muy similar al anterior, lo mismo que el de *Miconia* y el de *Trichilia*; *Miconia* presenta una diversidad impresionante (más de 290 especies) en Perú y aparece, excepcionalmente, en el Páramo ecuatoriano. Del género *Xylopia*, de distribución pantropical, existen unas 60 especies en los trópicos sudamericanos, muchas de ellas en la Amazonía, desde el norte del subcontinente hasta Perú y Bolivia, en selvas amazónicas, bosques muy húmedos tropicales, selvas pluviales, sabanas húmedas y riberas de ríos.

c) Un caso particular lo constituyen las Myrtaceae, el grupo más abundante y diversificado en la taoflora en estudio, cuyas especies están siempre asociadas a ambientes de humedad, ya sea edáfica o atmosférica. En muchos lugares son elementos constantes e importantes a orillas de cauces y cuerpos de agua, pero también se les encuentra formando parte de formaciones zonales húmedas: selva tucumano-boliviana, bosque húmedo tropical colombiano, matorrales de la provincia Atlántica brasileña [incluidos Pinares de *Araucaria angustifolia* (Bert.)], en Amazonía, en la selva submacrotérmica ecuatoriana, etcétera.

d) Las especies de *Araucaria* sección *Eutacta* de hojas pequeñas (como las presenta la forma fósil recuperada) se hallan principalmente en Nueva Caledonia, donde ocupan hábitats montañosos y litorales con alta pluviosidad, no soportando, la mayoría de ellas, condiciones de sequía. También presentan este tipo de hoja *A. heterophylla* (Salisb.) Franco, que crece en áreas bajas de la isla de Norfolk, y *A. Cunninghamii* Sweet, habitante de bosques lluviosos tropicales y subtropicales litorales desde el norte de Queensland a New South Wales, de 0 a 1.000 m s.n.m., en Australia.

e) Otras especies. Las otras especies inventariadas en esta taoflora corresponden a géneros que, aunque no muestran patrones tan definidos como los casos ya señalados, se encuentran en hábitats que no se contraponen con lo ya expresado. *Dicksonia* es un género con alrededor de 35 especies del hemisferio austral (Australia, Tasmania, Nueva Zelanda, Polinesia, Filipinas, Indonesia, Juan Fernández y América, desde México a Perú y Bolivia). Incluye especies que se desarrollan en ambientes húmedos a muy húmedos, típicas de sotobosque, pues muestran marcada preferencia por intensidades medias de luz, no soportando, muchas de ellas, luminosidades muy intensas. En cuanto al clima, algunas de estas especies prosperan en ambiente templado-cálido (ej. *D. berteriana* (Colla) Hook.), otras en clima templado-frío (ej. *D. Antarctica* Labill., *D. squarrosa* (Forst.) Sw.). En América tropical y subtropical, algunas especies crecen por sobre 2.000 m s.n.m., aunque en lugares protegidos.

De las especies del género *Callaeum*, *C. Psilophyllum* (A. Juss.) D.M. Johnson, liana, la especie con la que hemos comparado el fósil exhumado, se encuentra tanto en las áreas secas del noreste brasileño, como en la región paranense y las provincias de Buenos Aires, Jujuy y Salta, en bosques higrófilos, selvas marginales y orillas de caminos (Jankowski *et al.*, 2000).

Si se asume que -y es lo más parsimonioso- el hábitat ocupado por las especies biológicas representadas en esta taoflora se halla dentro del rango ambiental que habitan las especies actuales de cada género, claramente, este análisis, aunque no incluye todos los taxa presentes en la taoflora, sugiere que las hojas exhumadas en ella proceden de paleocomunidades vegetales diferentes, segregadas espacialmente según sus requerimientos ecológicos. Géneros que caracterizan algunas de las formaciones más xerofíticas de América del Sur junto a especies de géneros típicos de ambientes cálidos húmedos y perhúmedos y a especies de *Nothofagus* y



*Araucaria*, especies que no toleran alta luminosidad junto a morfologías foliares claramente indicadoras de bosque abierto, difícilmente, nos parece, podrían constituir una sola comunidad. Otros antecedentes parecen avalar esta inferencia: 1) La presencia de *Nothofagus*, cuyos bosques actuales exhiben una notable continuidad, sumado a su carácter de activo y eficaz repoblador de hiatos ("gaps") (Veblen, 1985, 1988), junto a indicadores de bosque abierto, como lo son un importante número de hojas de borde revoluto. 2) Presencia de pinnas o pínulas de helechos coriáceas y revolutas, junto a otras delgadas y planas. 3) La notable escasez de hojas de *Austrocedrus* (dos pequeños fragmentos), que indicaría una apreciable distancia de la fuente al lugar de depósito. Por el contrario, la presencia de Bryophyta, dos especies de *Jungermannites* y una de *Muscites*, nos hablan de fuentes cercanas al punto de depositación, toda vez que se trata de pequeños vegetales de estructura delicada que difícilmente soportarían un gran transporte. Puede resultar obvio, pero también la presencia de *Equisetum* es explicable como elemento que habitaba los bordes de la paleocuenca misma. 4) La gran diversidad específica, que no incluye el registro de Magnoliophyta herbáceas (no se les ha encontrado), es más coherente con un paisaje heterogéneo que con una flora homogénea.

Todo lo anterior nos hace preferir la interpretación que el elenco paleoflorístico exhumado en cerro Centinela procede de diferentes paleocomunidades, los restos de las cuales fueron depositados al mismo tiempo en el mismo lugar y corresponde, por ello, a una mixtura tafonómica.

Antecedentes provenientes de otras fuentes indican que para el Mioceno Tardío la cordillera de los Andes ya habría alcanzado la mitad o, incluso, dos tercios de su altitud actual (Graham *et al.*, 2001), que el sollevamiento hasta las alturas actuales se habría producido desde 10,7 Ma en adelante (Gregory-Wodzicki *et al.*, 1998). La configuración oeste – este actual del territorio de Chile central (cordillera de la costa, valle central, andes volcánicos) había comenzado a desarrollarse ya desde el Oligoceno Tardío-Mioceno Temprano (Uliana y Biddle, 1988). De acuerdo a Zinsmeister (1978), las condiciones subtropicales que se extendían, en el Mioceno Medio y Tardío, al menos hasta los 47°S, cambiaron en forma abrupta, probablemente en relación con la formación de la cubierta de hielo de la Antártida occidental durante el Mioceno Tardío y el Plioceno Temprano, lo cual derivó en un importante aporte de aguas subantárticas frías a la corriente de Humboldt. La glaciación antártica determina, además, la posición y dinámica del anticiclón subtropical del Pacífico sur y, a través de ello, la llegada a territorio chileno de frentes con precipitación desde el oeste, por lo que antes de tal evento los regímenes de viento y precipitación eran diferentes.

Los factores reseñados han sido, de allí en más, elementos importantes en la modelación del clima de las actuales regiones mediterráneas semiárida y subhúmeda de Chile central, en el sentido de Di Castri y Hajek (1976).

Diversos escenarios, en vistas de la reconstrucción teórica de la distribución espacial de estas paleocomunidades, son posibles, si se asume esta situación paleobotánica, paleoclimatológica y paleogeográfica:

1. La vegetación zonal correspondía a bosques mesomórficos abiertos, creciendo en un clima más cálido que el actual en la misma región. Este conjunto no sólo incluiría a las especies señaladas como xerófitas a mesófitas, sino también a algunas especies de hojas lauriformes coriáceas y revolutas, la mayoría de cuyos parientes actuales son higrófilos. A orillas de cauces, profitando de la humedad edáfica, en tanto, crecían selvas higrófilas de galería, de clima cálido y, por sectores o mezclados con éstas, profusión de Myrtaceae. Algo comparable a la vegetación de algunos sectores del norte argentino o de las formaciones xero a mesomórficas de Brasil, Paraguay y Bolivia o, incluso, a la actual vegetación de Chile central.
2. La cordillera de la costa ejercía una influencia de biombo climático para los vientos húmedos provenientes del Pacífico (tal cual lo hace hoy en día en diversos sectores de Chile central), de modo que la vertiente occidental de ésta era ocupada por selvas higrófilas, en tanto el secano interior, la vertiente oriental, cobijaba las formaciones mesófilas.

3. El conjunto representa la mixtura de elementos procedentes de diversas paleocomunidades, de los tipos señalados precedentemente (bosques de *Nothofagus*, formaciones higrófilas, formaciones méxicas, comunidades de Myrtaceae, bosquetes de *Austrocedrus*, comunidades de *Araucaria*), muy distantes entre sí, incluyendo la cordillera de la costa, el valle central e, incluso, la vertiente occidental de los Andes.

Los bosques de *Nothofagus*, que podrían haber sido tanto o más méxicos que los actuales de Chile central, como lo sugiere Romero (1978) y corrobora Hinojosa (2003), en los escenarios 1 y 2, se encontrarían en partes altas, con fuerte influencia oceánica, probablemente como lo hacen hoy en día, en medio de la vegetación mesofítica de Chile central. En el escenario 3, las hojas asignadas a ese género pueden corresponder a vegetación zonal y provenir de toda la extensión recorrida por el flujo, incluida la vertiente occidental de los Andes.

Del mismo modo, *Austrocedrus*, tal como ocurre hoy en día, pudo haber ocupado sectores de alta pendiente o el ecotono entre los bosques de *Nothofagus* y la vegetación méxica, en los tres escenarios. La extraordinaria escasez de restos de este taxón es congruente con ambas situaciones.

Si las araucarias exhumadas en cerro Centinela exhibían una conducta como las actuales especies de hojas pequeñas de la sección *Eutacta*, no resulta absurdo suponer que, en cualquier caso, ocupaban sectores montañosos de fuerte influencia oceánica.

La relativa abundancia de hojas de *Caryocar* sp, coriáceas y revolutas, apoya los escenarios 1 y 3, toda vez que, de darse el escenario 2, cabría esperar, más bien, una mayor abundancia de alguna de las formas supuestamente higrófilas (sin considerar las Myrtaceae), las que se habrían encontrado más cercanas a la paleocuenca.

Los antecedentes sedimentológicos, en cambio, constituyen un poderoso argumento, cuando se les contrasta con los tres escenarios propuestos. Estos, claramente, hacen muy plausible el escenario 3. En efecto, los flujos piroclásticos canalizados por los ríos que hemos postulado son capaces de un transporte rápido a larga distancia, a pesar de lo cual las hojas pueden preservarse y llegar al lugar de depósito para su fosilización sin gran daño. Este antecedente hace que, aunque no es posible descartar del todo el escenario 1, nos inclinemos por preferir el escenario 3.

Si las reconstrucciones vegetacionales aquí presentadas, cualquiera de ellas, es correcta, ello implica que la vegetación (no la flora), en este lapso, comenzaba a adquirir una fisonomía parecida a la actual en la misma región. En la actualidad, Chile Central ( $\pm 32^\circ 45' S$  a  $37^\circ 30' S$ ), exhibe en general dos situaciones diferentes, respecto de la distribución oeste-este de las formaciones vegetacionales: a) espinales de *Acacia caven* (Mol.) Mol. (a los que, en sectores, se incorpora *Schinus polygamus* (Cav.) Cabrera), bosques y matorrales esclerófilos (con presencia importante de Lauraceae y Anacardiaceae), en el valle central, y, en las cordilleras, bosques y matorrales esclerófilos y espinosos; b) más al sur en esta misma área, el mismo espinal de *Acacia caven* (Mol.) Mol., en el valle central, y bosques de *Nothofagus* en ambas cordilleras, a los cuales se mezclan elementos esclerófilos; en este último caso los bosques y matorrales esclerófilos se hallan entre ambas formaciones mencionadas; en ambos casos los bosquetes de *Austrocedrus* se ubican en el sector andino.

Resulta interesante resaltar el hecho que la semejanza entre ambas situaciones, la tafoflora de cerro Centinela y la vegetación actual, se da a nivel de vegetación y no de flora. Ello se explicaría, por un lado, por el antecedente histórico, pues habría que suponer que las actuales especies aún no aparecían en la evolución de sus respectivos grupos, por el otro, porque las condiciones climáticas no eran las mismas.

Es altamente probable que una situación paleovegetacional como la descrita para cerro Centinela, así como las diferentes morfologías foliares presentes y la conducta ecológica de las actuales especies relacionadas, impliquen estacionalidad marcada, bajas precipitaciones, aunque mayores que las actuales, y un clima más cálido que el actual.

### **Agradecimientos**

Los autores agradecen al Proyecto Fondecyt 1010691 y a la Fundación y Colegio Los Nogales, quienes financiaron los trabajos de terreno, así como al Programa MECE Educación Superior UCH 0010 y al Departamento de postgrado y postítulo de la Universidad de Chile, que, mediante la beca PG/50/02, han permitido la dedicación de uno de nosotros (AE) a estas investigaciones. Del mismo modo, agradecen a la Empresa Nacional del Petróleo de Chile (ENAP) por permitir examinar muestras de foraminíferos. También a K. Finger, por los interesantes antecedentes que puso a nuestra disposición. Un especial agradecimiento, por último, a L. Robles, M. España Catalán, E. Andaur, J. Cortés y M.J. Díaz, del Colegio Los Nogales, por su valiosa ayuda en la recolección de las muestras.

### **Apéndice**

Lista de especies identificadas y afinidades botánicas / *list of identified species and botanical affinities*. (Tabla 1)

**Bryophyta**

*Jungermannites* spp.: SGO Pb 2024 (B), 2025 (D) Familia indet.  
*Muscites* sp.: SGO Pb 2081 (C). Familia indet.

**Equisetophyta**

*Equisetum* sp.: SGO Pb 2075 (B), 2077, 2100, 2119 (A). Equisetaceae

**Polypodiophyta**

*Dicksonia* sp.: SGO Pb 2029 Dicksoniaceae  
*Filicites* spp.: SGO Pb 2033, 2083 (figura 3, F), 2107 (A), 2066, 2075, 2084, 2088 (A),  
 2025, 2091, 2110, 2111 (C), 2032, 2028 Familia indet.

**Pinophyta**

*Arnucaria* sp.: SGO Pb 2027, 2094, 2098 Araucariaceae  
*Austrocedrus* sp.: SGO Pb 2026 Cupressaceae

**Magnoliophyta**

*Anaxagorea* sp.: SGO Pb 2112 Annonaceae  
*Asimina* sp.: SGO Pb 2104 Annonaceae  
*Guatteria* sp.: SGO Pb 2036 Annonaceae  
*Rollinia* sp.: SGO Pb 2116 (A) Annonaceae  
 cf. *Xylopia* sp.: SGO Pb 2096 (A) Annonaceae  
 Annonaceae spp.: SGO Pb 2113 (A), 2034 (A), 2037 (A), 2047 (A)  
*Aiouea* sp.: SGO Pb 2090 Lauraceae  
*Cinnamomum* sp.: SGO Pb 2074 (D) Lauraceae  
*Litsea* sp.: SGO Pb 2103 Lauraceae  
 ? *Nectandra* sp.: SGO Pb 2038 (D) Lauraceae  
*Ocotea* spp.: SGO Pb 2086, 2064 (B) Lauraceae  
 Lauraceae spp.: SGO Pb 2080, 2102  
*Nothofagus* spp.: SGO Pb 2037 (B), SGO Pb 2033 (A) (figura 3,G), 2038 (H), 2063, 2045, 2073, 2075 (A), 2060, 2054 Fagaceae  
*Caryocar* sp.: SGO Pb 2038 (A), 2056, 2066 (C), 2067 (B), 2074 (C), 2114 (figura 3, C) Caryocaraceae  
*Fibrocentrum* sp.: SGO Pb 2079 (A) Sapotaceae  
*Ribes* sp.: SGO Pb 2111 (A) Grossulariaceae  
*Acacia* sp.: SGO Pb 2038 (C) Mimosaceae  
 cf. *Leguminosites* sp.: SGO Pb 2117 (B) Fabaceae  
*Lomatia* spp.: SGO Pb 2092, 2066 (A), 2031 (A) Proteaceae  
*Amomyrtus* sp.: SGO Pb 2062, 2087 Myrtaceae  
*Calythranthes* spp.: SGO Pb 2061, 2058, 2106 Myrtaceae  
*Eugenia* spp.: SGO Pb 2068 (A), 2041 (A) Myrtaceae  
*Myrceugenia* sp.: SGO Pb 2085 Myrtaceae  
*Siphonocugenia* sp.: SGO Pb 2119 (C) Myrtaceae  
*Syzygium* sp.: SGO Pb 2057 Myrtaceae  
 Myrtaceae spp.: SGO Pb 2069, 2071, 2072 (B), 2075 (F), 2120 (C), 2105 (A), 2051(C), 2042  
*Leandra* sp.: SGO Pb 2108 Melastomataceae  
*Miconia* sp.: SGO Pb 2039 Melastomataceae  
 cf. *Maytenus* sp.: SGO Pb 2051 (A), 2089 (B) Celastraceae  
*Cissus* sp.: SGO Pb 2109 (A) Vitaceae  
*Callaeum* sp.: SGO Pb 2118 Malpighiaceae  
 aff. *Polygala* sp.: SGO Pb 2065 Polygalaceae  
 cf. *Cupania* sp.: SGO Pb 2078 Sapindaceae  
*Schinopsis* sp.: SGO Pb 2089 (A) Anacardiaceae  
*Schinus* sp.: SGO Pb 2052 (C) (figura 3,D) Anacardiaceae  
*Trichilia* spp.: SGO Pb 2117 (A), 2120 (A) Meliaceae

**Bibliografía**

- Acosta-Solís, M. 1968. *Divisiones fitogeográficas y formaciones geobotánicas del Ecuador*. Publicaciones científicas de la casa de la cultura ecuatoriana. Quito, Ecuador, 271 pp.
- Brako, L. y Zarucchi, J.L. 1993. Catálogo de las Angiospermas y Gimnospermas del Perú. *Monographs in Systematic Botany from the Missouri Botanical Garden* 45, 1286 pp.
- Cabrera, A.L. 1951. Territorios fitogeográficos de la República Argentina. *Boletín Sociedad Argentina de Botánica* 4: 21-65.
- Ceccioni, G. 1978. Petroleum possibilities of the Darwin's Navidad Formation near Santiago, Chile. *Publicación Ocasional del Museo Nacional de Historia Natural de Chile* 25: 3-18.
- Cronquist, A. 1981. *An integrated system of classification of flowering plants*. Columbia University Press. New York, 1262 pp.
- Darwin, Ch. 1846. *Geological observations in South America*. Smith, Elder and Co. London, 279 pp.
- Di Castri, F. y Hajek, E.R. 1976. *Bioclimatología de Chile*. Ed. Universidad Católica de Chile. Santiago de Chile,

127 pp.

- Encinas, A., Finger, K., Nielsen, S., Suárez, M., Peterson, D. y Le Roux, J. 2003a. Evolución Tectono-Sedimentaria de la cuenca neógena de Navidad (33°40'S-34°15'S), Chile central. *10° Congreso Geológico Chileno* (Concepción, Chile), Sesión temática 3. DC.
- Encinas, A., Le Roux, J., Finger, K., Peterson, D., Suárez, M. Y Nielsen, S. 2003b. Age and Deposition of the Lower Navidad Formation in Central Chile. *3° Latinoamerican Congress of Sedimentology* (Bélem-Pará, Brasil): 161.
- Encinas, A., Finger, K., Nielsen, S., Lavenu, A., Buatois, L. Y Peterson, D. 2005. Late Miocene coastal subsidence in central Chile. Tectonic implications. *6° International Symposium on Andean Geodynamics* (Barcelona, España), *Extended abstracts* : 246-249.
- Espinal, L.S., y Montenegro, E. 1963. *Formaciones vegetales de Colombia*. Ediciones Instituto geográfico Agustín Codazzi. Bogotá, Colombia, 201 pp.
- Etchart, H. 1973. [ *Geología del área San Enrique - Bucalemu, provincia de Santiago* . Memoria de título, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Santiago de Chile, 176 pp. Inédito.].
- Ewel, L. y Madriz, A. 1968. *Zonas de vida de Venezuela. Memoria explicativa sobre el mapa ecológico* . Ministerio de Agricultura y Cría. Dirección de investigación. Caracas, Venezuela, 264 pp.
- Fernandes, A. y Bezerra, P. 1990. *Estudo fitogeográfico do Brasil*. Stylus Comunicações, Fortaleza, Brasil, 205 pp.
- Finger, K., Encinas, A., Nielsen, S. y Peterson, D. 2003. Microfaunal indications of Late Miocene deep-water basins of the central coast of Chile. *10° Congreso Geológico Chileno* (Concepción, Chile), Sesión temática 3. DC.
- Gana, P., Wall, R. y Gutiérrez, A. 1996. *Mapa geológico del área de Valparaíso-Curacaví. Región de Valparaíso y Metropolitana*. Mapa n° 1, escala 1: 100.000. Sernageomin ed. Santiago, Chile.
- Graham, A., Gregory-Wodzicki, K.M. y Wright, K.L. 2001. Studies in neotropical paleobotany. 15. A Mio-Pliocene palynoflora from the eastern cordillera, Bolivia: implications for the uplift history of the central Andes. *American Journal of Botany* 88: 1545-1557.
- Gregory-Wodzicki, K.M., McIntosh, W.C. y Velásquez, K. 1998. Climatic and tectonic implications of the late Miocene Jakokkota flora, Bolivian Altiplano. *Journal of the South American Earth Sciences* 11: 533-560.
- Guimarães Ferri, M. 1980. *Vegetação brasileira* . Editora da Universidade de São Paulo, Brasil, 157 pp.
- Hinojosa, F. 2003. [ *Fisionomía foliar y clima de las paleofloras mixtas del Terciario de Sudamérica*. Tesis doctoral, Facultad de Ciencias, Universidad de Chile, Santiago de Chile, 174 pp. Inédita.].
- Jankowski, L., Bazzano, D., Sáenz, A. Tourn, M. y Roitman, G. 2000. *Biota Rioplatense 5. Plantas trepadoras nativas y exóticas*. L.O.L.A (Literature of Latin America). Buenos Aires, Argentina, 264 pp.
- Killeen, T.J., García, E. y Beck, S.G. 1993. *Guía de árboles de Bolivia* . Herbario Nacional de Bolivia y Missouri Botanical Garden. La Paz, Bolivia, 958 pp.
- Klucking, E.P. 1986. *Leaf venation patterns. Volume 1. Annonaceae*. J. Cramer. Berlin-Stuttgart, 256 pp., 140 láms.
- Klucking, E.P. 1987. *Leaf venation patterns. Volume 2. Lauraceae* . J. Cramer. Berlin-Stuttgart, 216 pp., 149 láms.
- Klucking, E.P. 1988. *Leaf venation patterns. Volume 3. Myrtaceae* . J. Cramer. Berlin-Stuttgart, 278 pp., 151 láms.
- Klucking, E.P. 1989. *Leaf venation patterns. Volume 4. Melastomataceae* . J. Cramer. Berlin-Stuttgart, 283 pp., 118 láms.
- Klucking, E.P. 1991. *Leaf venation patterns. Volume 5. Combretaceae* . J. Cramer. Berlin-Stuttgart, 219 pp., 108 láms.
- Klucking, E.P. 1992. *Leaf venation patterns. Volume 6. Flacourtiaceae* . J. Cramer. Berlin-Stuttgart, 272 pp., 114 láms.
- Klucking, E.P. 1995. *Leaf venation patterns. Volume 7. The classification of leaf venation patterns*. J. Cramer. Berlin-Stuttgart, 96 pp., 120 láms.
- Martínez-Pardo, R. 1990. Major Neogene events of the southern Pacific: the Chilean and Peruvian record. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 77: 263-278.
- Méon, H., Torres, T. y Martínez-Pardo, R. 1994. Sporopollinic analysis in the Navidad Formation near Navidad (Chile). *7° Congreso Geológico chileno* (Concepción, Chile) *Actas* 1: 488-490.
- Ortega Torres, E., Stutz de Ortega, L., y Spichiger, R. 1989. *Flora del Paraguay. Noventa especies forestales del Paraguay*. Editions des Conservatoire et Jardin botaniques de la Ville de Genève. Missouri Botanical Garden. Genève, Suiza, Saint Louis, USA, 218 pp.
- Rodríguez, R. 2004. *Monografía. Ciprés de la Cordillera ( Austrocedrus chilensis )* . Endesa, Santiago, Chile, 71 pp.
- Romero, E.J. 1978. Paleoecología y paleofitogeografía de las taofloras del Cenofítico de Argentina y áreas vecinas. *Ameghiniana* 15: 209-227.
- Tanai, T. 1986. Phylogeographic and phylogenetic history of the genus *Nothofagus* Bl. (Fagaceae) in the southern hemisphere. *Journal Faculty of Science Hokkaido University* , ser. 4, 21: 505-582.
- Tavera, J. 1979. Estratigrafía y paleontología de la Formación Navidad, provincia de Colchagua, Chile (Lat. 30°50'-34°S). *Boletín del Museo Nacional de Historia Natural de Chile* 36: 5-176.
- Tsuchi, R., Shuto, T., Takayama, T., Koizumi, I., Fujiyoshi, A., Ibaraki, M. y Martínez-Pardo, R. 1990.

- Fundamental data on Cenozoic biostratigraphy of Chile. Supplement. *Reports of Andean studies, Shizuoka University*, Special Volume 3: 59-71.
- Troncoso, A. 1991. Paleomegafauna de la Formación Navidad, Miembro Navidad (Mioceno), en el área de Matanzas, Chile central occidental. *Boletín del Museo Nacional de Historia Natural de Chile* 42: 131-168.
- Troncoso, A. y Romero, E.J. 1993. Consideraciones acerca de las Coníferas del Mioceno de Chile central occidental. *Boletín del Museo Nacional de Historia Natural de Chile* 44: 47-71.
- Uliana, M.A. y Biddle, K.T. 1988. Mesozoic-Cenozoic paleogeographic and geodynamic evolution of southern South America. *Revista Brasileira de Geociências* 18: 172-190.
- Veblen, T.T. 1985. Stand dynamics in Chilean *Nothofagus* forest. En: S.T.A. Pickett, y P.S. White (eds.), *The ecology of natural disturbance and patch dynamics*. Academic Press. New York, pp. 35-51  
[ STANDARDIZEDENDPARAG]
- Veblen, T.T. 1988. *Nothofagus* regeneration in treefall gaps in northern Patagonia. *Canadian Journal of Forest Research* 19: 365-371.
- Veblen, T.T., Hill, R.S., Read, J. 1996. *The ecology and Biogeography of Nothofagus forest*. Yale University Press. New Haven and London, 403 pp.
- Wall, R., Gana, P. y Gutiérrez, A. 1996. *Mapa geológico del área de San Antonio-Melipilla*. Sernageomin ed. Santiago, Chile, 19 pp.
- Zinsmeister, W.J. 1978. Effect of formation of the west Antarctic ice sheet on shallow-water marine faunas of Chile. *Antarctic Journal of the United States* 13: 25-26.
-