

UCH-FC
MAG-EBE
2984
c.1



Diversidad y Cambios Florísticos Durante el Mioceno en Chile Central.

Tesis

Entregada A La
Universidad De Chile
En Cumplimiento Parcial De Los Requisitos
Para Optar Al Grado De

Magíster en Ciencias Biológicas, mención en Ecología Y
Biología Evolutiva

Facultad De Ciencias

Por

Néstor Mauricio Gutiérrez Duarte

Diciembre, 2011

Director de Tesis Dr: Luis Felipe Hinojosa Opazo.

FACULTAD DE CIENCIAS

UNIVERSIDAD DE CHILE



INFORME DE APROBACION

TESIS DE MAGISTER

Se informa a la Escuela de Postgrado de la Facultad de Ciencias que la Tesis de Magister presentada por el candidato.

NESTOR MAURICIO GUTIERREZ DUARTE

Ha sido aprobada por la comisión de Evaluación de la tesis como requisito para optar al grado de magíster en Ciencias con mención en Ecología Y Biología, en el examen de Defensa Privada de Tesis rendido el día 30 de Mayo del 2011

Director de Tesis:
Dr. Luis Felipe Hinojosa

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Luis Felipe Hinojosa", written over a dotted line.

Co-Director de Tesis
Dr. Carlos Jaramillo

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Carlos Jaramillo", written over a dotted line.

Comisión de Evaluación de la Tesis

Dr. Patricio Moreno

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Patricio Moreno", written over a dotted line.

Dr. Jacobus Le-Roux

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Jacobus Le-Roux", written over a dotted line.



Este trabajo está dedicado al amor de mi vida, Viviana, que ha estado siempre junto a mi y a mi Abuelo Marco Tulio (qepd)



Reseña.

Mi nombre es Néstor Mauricio Gutiérrez Duarte, nací el 9 septiembre de 1980 en Paz de Río, pueblo minero, rodeado de yacimientos de carbón y hierro, municipio localizado al norte del departamento de Boyacá, Colombia, mi niñez la viví en Monguí, el pueblo mas lindo de Boyacá. Mi educación secundaria la realicé en el Colegio de Bachillerato Técnico Industrial Gustavo Jiménez; inicié estudios de Ingeniería Geológica en la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia seccional Sogamoso. Mi interés por los fósiles inicia a muy temprana edad cuando colecté mi primera hoja fósil a los 10 años en una mina de carbón en Monguí. Durante la etapa universitaria participé activamente en el desarrollo de actividades académicas complementarias en el Centro de Estudios de Ingeniería Geológica (CEIG). Fui condecorado por la presidencia de la Republica de Colombia por ser uno de los diez mejores estudiantes según el Examen de Calidad de la Educación Superior (ECAES). Posteriormente trabajé la tesis de pregrado con el instituto Smithsonian Colectando más de 1300 hojas fósiles de edad Maastrichtiano de la Formación Guaduas en los departamentos de Boyacá y Cundinamarca. En el año 2007 recibí el Premio Ricardo Lleras Codazzi concedido a la mejor tesis de Geología e Ingeniería Geológica en Colombia, otorgado por la Sociedad Colombiana de Geología. En el año 2008 inicié estudios de Magíster en Ciencias Biológicas en la Universidad de Chile con apoyo de la beca para Magíster otorgada por el Instituto de Ecología y Biodiversidad de Chile. En la actualidad continúo investigando la relación entre clima y diversidad en paleobosques bajo condiciones extremas usando la morfología de hojas fósiles y su relación con el clima. Especialmente Colecto y analizo polen y hojas fósiles de Suramérica.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Doctor Luis Felipe Hinojosa por su orientación académica y conocimientos valiosos aportados para realizar mi trabajo de tesis, adicionalmente, agradezco su buena disposición, tiempo dedicado para el desarrollo de este proyecto y el permitirme ser parte de su grupo de investigación durante estos años.

Agradezco al Doctor Patricio Moreno por sus comentarios y recomendaciones, los cuales aportaron nuevos puntos de vista y proporcionaron información que me permitió mejorar y concluir la tesis.

Agradezco al Doctor Jacobus Le-Roux por sus recomendaciones, indicaciones en terreno, y su buena disposición para compartir siempre su conocimiento y amplia experiencia, aportes que fueron la base para el desarrollo de esta tesis.

Agradezco al Doctor Carlos Jaramillo por sus conocimientos compartidos, colaboración y recomendaciones y por haber hecho parte de mi formación como investigador.

agradezco al Proyecto FONDECYT 1060041- FONDECYT 1090339 por el apoyo económico necesario para la elaboración de este trabajo .

Agradecimientos Al Instituto Milenio Ecología y Biodiversidad por la beca otorgada para realizar mis estudios de Maestría.

Agradezco al todos los integrantes de el laboratorio de Paleoecología de la Universidad de Chile que me acompañaron a terreno y me colaboraron en el desarrollo de la tesis, Juan Pablo, Cristián, Paz, Isabel, Mariela, Pablo, Mauricio, Ricardo, Luciy muy especial agradecimeinto a Kathy y Francly.

Agradezco a Don Nestor Vilches por su apoyo logistico en terreno.

ÍNDICE DE MATERIALES

	Página
Índice de Materias	iv
Índice de Figuras	v
Índice de Tablas	vi
Índice de Anexos	vi
Abreviaturas	vii
RESUMEN	viii
ABSTRACT	x
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVO GENERAL	9
MATERIALES Y METODOS	10
Procesamiento de Imágenes Satelitales y Fotografías Aéreas	10
Trabajo de Terreno	10
Procesamiento de Muestras Palinológicas	12
RESULTADOS	16
Geología Localidad Matanzas-La Boca	16
Edad de la Formación Navidad	27
Ambiente de la Formación Navidad	31
Palinología de la Formación Navidad	31
Cálculos de diversidad	32
DISCUSION	38
Estratigrafía y Edad de la Formación Navidad	38
Ambiente de la Formación Navidad	40
Diversidad y Cambios Florísticos en la Formación Navidad	43
Implicancias Regionales	46

CONCLUSIONES	48
BIBLIOGRAFIA	50

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1:	Diagrama de localización Formación Navidad	7
FIGURA 2:	Anaglifo Formación Navidad, localidad Punta Perro	11
FIGURA 3:	Basamento cristalino	17
FIGURA 4:	Imagen panorámica localidad Punta Alta Cerro Centinela	18
FIGURA 5:	Imagen panorámica localidad La Boca, Playa las Brisas, Cerro Pololos	19
FIGURA 6:	Imagen panorámica localidad Punta Perro Oeste	20
FIGURA 7:	Fallas ubicadas en el acantilado costero de Navidad	22
FIGURA 8:	Imagen panorámica localidad Punta Perro Este	24
FIGURA 9:	Imagen detallada de clastos de pómez y brechas sedimentarias	25
FIGURA 10:	Imagen de secuencia turbidítica	25
FIGURA 11:	Muestras datadas con el método isotópico $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	28
FIGURA 12:	Muestras datadas con el método radiométrico $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	29
FIGURA 13:	Correlación estratigráfica Punta Perro-Navidad y Matanzas-Punta Alta	30
FIGURA 14:	Microfósiles de origen continental	31
FIGURA 15:	Curva de Riqueza de Especies	33
FIGURA 16:	ACST de polen y esporas	34
FIGURA 17:	Diagrama polínico	37
FIGURA 18:	Ondulitas de oleaje	42

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1:	Resultados de edades isotópicas de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	27
TABLA 2:	Resultados de edades radiométricas de $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	29
TABLA 3:	Distribución de especies, frecuencias, afinidad botánica	34
TABLA 4:	Cuadro resumen de el ACST	35

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1:	Mapa geológico de la localidad Punta Perro-Matanzas	56
ANEXO 2:	Descripción morfológica de los tipos polínicos recuperados en la Formación Navidad	57
Lamina 1:	Angiospermas 1-26	68
Lamina 2:	Angiospermas 27-48	69
Lamina 3:	Gimnospermas 49-58	70
Lamina 4:	Esporas 60-77	71

ABREVIATURAS.

SSA Sur de Sudamérica.

TMPE Termal Máximo del Paleoceno-Eoceno.

ECO Óptimo Climático del Eoceno.

COT Calentamiento del Oligoceno tardío.

OCMM Óptimo climático del Mioceno medio.

Qd Dunas.

QFI Depósito cuaternario Fluvial.

Qc Depósito cuaternario coluvial.

MNv Formación Navidad.

M1 Muestra Palinológica 1.

M2 Muestra Palinológica 2.

M3 Muestra Palinológica 3.

M4 Muestra Palinológica 4.

M5 Muestra Palinológica 5.

M6 Muestra Palinológica 6.

ACST Análisis de correspondencia sin tendencia

Resumen

El patrón biogeográfico moderno de los bosques del sur de Sudamérica es considerado un legado histórico de los cambios geológicos y climáticos ocurridos durante el Cenozoico; destacando la separación física de Sudamérica de la Antártida, el levantamiento de los Andes y el óptimo climático del Mioceno medio. La Formación Navidad en Chile central (35 °S) provee la única oportunidad para explorar el efecto de estos cambios geológicos y climáticos en la biota pre-pleistocénica chilena. La Formación Navidad corresponde principalmente a una sucesión marina somera de arenitas de grano fino a grueso con intercalaciones de limolitas y presencia de conglomerados, estos depósitos contienen fósiles de moluscos, ostrácodos, corales, dientes de tiburón, hojas y polen fósil los cuales fueron depositados en una pequeña cuenta marginal en Chile central.

En la actualidad no hay acuerdo en cuanto a la edad y el ambiente de depositación de la Formación Navidad; varios autores la han datado como Oligoceno a Mioceno temprano basado en macrofósiles, Mioceno medio tardío o Plioceno basado en ostrácodos y Mioceno tardío a Plioceno basado en foraminíferos depositados en un ambiente marino batial de 1500 metros de profundidad. Registros paleobotánicos de la Formación Navidad sugieren una transición entre dos diferentes paleofloras: Mixta y Subtropical Neógena. Nueva evidencia geológica y dataciones radiométricas, confirman que estas dos floras están estratigráficamente separadas, indicando edades oligocenas tardía-miocena temprana a miocena media, contrario a correlaciones estratigráficas previas, las cuales sugerían una edad miocena tardía a pliocena para las dos taofloras.

Abstract

Modern biogeographical patterns in the forest regions of southern South America are considered to be a legacy of both geological and climatic changes during the Cenozoic. These include the physical separation of South America from Antarctica, the Andes uplift and the Mid-Miocene Climatic Optimum. The Navidad Formation in central Chile (35°S) provides a unique opportunity to explore the effect of these geological and climatic changes on the Chilean pre-Pleistocene biota. The Navidad Formation corresponds mainly to a shallow marine succession of siltstones, mudstones, sandstones and conglomerates. These deposits contain fossils of mollusks, foraminifera, ostracodes, corals, shark teeth and fossil leaves that were deposited in a small marginal basin in central Chile. The age and depositional environment of the Navidad Formation has been controversial and it has been dated as late Oligocene to early Miocene based on macrofossils, late middle Miocene to late Miocene or Pliocene based on ostracods and late Miocene-Pliocene based on foraminifera. The fossil flora of the Navidad Formation suggest a transition between two different paleoflora: Mixed and Subtropical Neogene Flora. New radio isotopic ages and geological evidence confirm that they are stratigraphically separated into with late Oligocene-early Miocene and mid-late Miocene, respectively, contrary to previous stratigraphic correlations which suggested only one age, namely late Miocene-early Pliocene.

INTRODUCCIÓN

El sur de Sudamérica destaca por poseer algunos de los 34 hotspots de diversidad a nivel global, siendo los bosques de Chile uno de los nueve más diversos a nivel de flora endémica en Sudamérica (Mittermeier et al., 2004).

La actual distribución y composición florística de los bosques del sur de Sudamérica representaría un legado histórico de la interacción entre la biota y procesos geológicos y climáticos ocurridos durante el Cenozoico (Arroyo et al., 1996; Hinojosa, 2003; Hinojosa, 2005; Hinojosa & Villagrán, 1997; Romero, 1978; Romero, 1986a; Troncoso & Romero, 1998; Villagrán & Hinojosa, 1997; Wilf et al., 2005a).

Estudios paleoclimáticos que abarcan los últimos 65 millones de años “Ma” han registrado cuatro momentos de máximas temperaturas superficiales marinas, el Máximo Termal del Paleoceno-Eoceno (59-52 Ma) “**MTPE**”, el Óptimo Climático del Eoceno (52-50 Ma) “**OCE**”, el Calentamiento del Oligoceno tardío “**COT**” (26-27 Ma) y el Óptimo climático del Mioceno medio (17-15 Ma) “**OCMM**”, evento último que coincide con la disminución del espesor de la capa de hielo Antártico (Zachos et al., 2001). Posterior al **OCMM** los registros evidencian una marcada tendencia al enfriamiento, fenómeno que ha sido interpretado como resultado de la acción combinada de la glaciación del occidente de Antártida y el levantamiento de los Andes (Zachos et al., 2001). Alrededor de 14-10 Ma, pulsos de levantamiento en los Andes progresivamente formarían la barrera a los vientos húmedos del este

y oeste estableciendo el efecto de sombra de lluvia, fenómeno denominado como Diagonal Árida de Sudamérica (Riccardi & Rolleri, 1980; Villagrán & Hinojosa, 1997).

Recientes análisis palinológicos en zonas tropicales de Sudamérica (9°N) muestran que cambios de diversidad y composición durante el Cenozoico podrían ser sensibles a variaciones de temperatura a nivel global (Jaramillo et al., 2006). El efecto de cambios climáticos rápidos, como el evento de calentamiento del límite Paleoceno-Eoceno **MTPTE** con una duración aproximada que varía entre 100,000 a 200,000 años, se correlaciona con un incremento en diversidad, y la paleoflora muestra a su vez variaciones en composición, donde las familias Proteaceae, Araceae, Podocarpaceae, y Ctenolophonaceae fueron más abundantes durante el Paleoceno. Las familias Ulmaceae, Rhizophoraceae, Moraceae, Poaceae y Bombacoideae no presentaron cambios de abundancia durante la transición Paleoceno/Eoceno; y las familias Arecaeae, Polypodiaceae, Annonaceae, Onagraceae, Fabaceae y Convolvulaceae fueron las más abundantes durante el Eoceno (Jaramillo et al., 2010a).

El vínculo entre el incremento de temperatura durante **MTPTE** y la significativa diversificación *in situ* de palinofloras en el norte de Sudamérica sugiere que los incrementos en la diversidad ocurridos durante el Eoceno, además de estar mediados por cambios climáticos, se caracterizan por altos montos de precipitación (Rull, 1999; Jaramillo, 2002; Jaramillo, 2006). De la misma manera, los altos índices de diversidad registrados durante el Eoceno (52 Ma) en las floras fósiles de Laguna del Hunco y Río Pichileufú en

Patagonia Argentina (~42°- ~45°S) indican que estas floras fueron afectadas por condiciones climáticas cálidas y húmedas (Wilf et al., 2005).

Simultáneamente, durante el Paleoceno y Eoceno medio (65,5-40,4 Ma) la paleoflora del sur de Sudamérica (~35°S - ~64°S) registró un cambio en su composición florística, pasando de una Paleoflora Gondwánica Tropical a una Paleoflora Gondwánica Subtropical (Barreda, 2007; Hinojosa & Villagrán, 1997; Romero, 1986). Desde finales del Eoceno (35,9 Ma) esta paleoflora es reemplazada por una Paleoflora Mixta la cual es reemplazada, en Chile central (35°S), por una Paleoflora Subtropical Neógena entre 23 y 14 Ma. Dentro de la Paleoflora Subtropical Neogena se destaca la dominancia de elementos fitogeográficos termófilos tales como Neotropical, Pantropical, y Australasiático en conjunto con elementos endémicos (Hinojosa et al., 2006; Hinojosa & Villagrán, 1997; Hinojosa & Villagrán, 2005b).

En el presente estudio se realiza la estratigrafía de la Formación Navidad y se analiza su contenido polínico. Específicamente se establece la edad y el ambiente en que se depositó la Formación Navidad, adicionalmente, se caracterizan cambios en la composición y diversidad de palinomorfos en la Formación Navidad bajo un escenario de cambio climático.

La información paleobotánica a menudo está limitada por la disponibilidad de registros de fósiles macrorrestos vegetales. Sin embargo, un indicador útil para establecer la relación clima-diversidad es el polen fósil, el cual también es preservado en secuencias sedimentarias y generalmente ofrece mayor continuidad temporal que la mayoría de los macrorrestos fósiles (Brown et

al., 2001; Jaramillo & Cadena Rueda, 2006; Odgaard, 1999; Silvertown, 1985). La principal dificultad que posee el registro palinológico, es la de clasificar taxonómicamente a niveles infra-género e incluso infra-familias, generando una menor resolución taxonómica del material fósil (Calcote, 1995; Davis, 1963; Jackson, 1994; Sugita, 1994). La comparación directa de diversidad polínica entre cuencas se puede dificultar por los diferentes grados de mezcla entre el polen local y el regional dificultando la interpretación de la diversidad polínica detectada. Sin embargo, para un solo sitio con regímenes de sedimentación y ambientes deposicionales constantes, la fuente de polen puede llegar a ser comparable y el cambio de polen puede reflejar la diversidad local o regional y cambios en la composición de la vegetación (Weng et al., 2007).

Considerando la relación entre el aumento de la diversidad de plantas e incrementos de temperatura y precipitación (Jaramillo & Cadena Rueda, 2006), es posible predecir altos niveles de diversidad en la vegetación durante incrementos de temperatura semejantes al ocurrido durante el Eoceno 50-53 Ma, donde la magnitud del incremento de la temperatura marina profunda fue de 12°C.

Posterior al Óptimo del Eoceno (50-53 Ma) ocurrieron dos eventos de calentamiento global con menor magnitud durante el Neógeno, el primero ocurrió durante el Oligoceno tardío (24,5 Ma), y el segundo durante el Mioceno Medio (14-16 Ma) (Zachos et al., 2001). Afloramientos sedimentarios de edad neógena en el sur de Sudamérica son escasos; sin embargo, en Chile central la Formación Navidad (33,9°S) brinda una

oportunidad para examinar cambios pasados en la diversidad vegetal en relación con los cambios climáticos durante el Neógeno.

La Formación Navidad fue descrita por primera vez por Charles Darwin en 1846 (Darwin, 1900), consta de una sucesión principalmente marina somera (limonitas, lodolitas, areniscas, conglomerados) que fueron depositadas en una pequeña cuenca marginal en el centro de Chile (Cecioni, 1980). La localidad tipo, ubicada cerca del pueblo de Navidad (33,9°S) (Figura 1), estos depósitos contienen un ensamble fósil diverso con fósiles de plantas, moluscos, polen, foraminíferos planctónicos y bentónicos, nanofósiles, ostrácodos, otolitos y dientes de tiburones y corales (Cecioni, 1980; Ibaraki, 1992; Martínez-Pardo, 1990; Méon et al., 1994; Tavera, 1979).

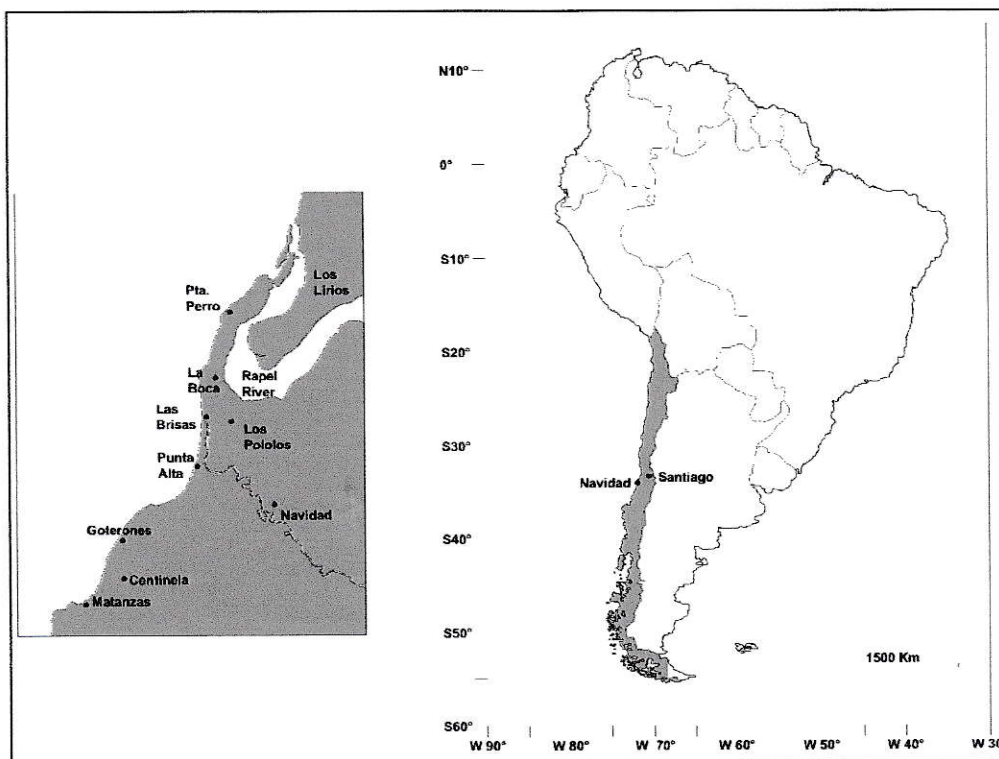


FIGURA 1: Diagrama de localización de la Formación Navidad.

Tavera (1979) y Cecioni (1980) estudiaron la estratigrafía de la Formación Navidad en detalle. Tavera dividió la formación en tres miembros, de más antiguo a más reciente: Navidad, Lincancho y Rapel. La división que realizó Cecioni es muy similar, sin embargo él divide el Miembro Navidad en dos unidades separadas. El miembro con afloramientos de mayor edad corresponden a las localidades Matanzas, Las Brisas y La Boca a lo largo de los acantilados de la costa y que contiene el más diverso ensamble de flora y fauna. Recientemente, Encinas et al. (2006) propusieron elevar los miembros Navidad, Lincancho y Rapel a la categoría de formación.

Existe desacuerdo sobre la edad y ambiente de depositación de la Formación Navidad. Ésta ha sido descrita como miocena temprana a miocena media 20– 16 Ma basada en macrofósiles (Tavera, 1979), finales del Mioceno medio a Plioceno temprano 13,8 - 5,3 Ma basado en ostrácodos (Osorio, 1976), y Mioceno tardío a Plioceno medio 10-4,6 Ma basada en foraminíferos (Encinas, 2006; Ibaraki, 1992; Martínez-Pardo, 1990). Sin embargo, dataciones de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ realizadas en muestras de moluscos provenientes de estratos basales de la Formación Navidad indican edades en el rango 24-20 Ma (Encinas, 2006; Nielsen & Glodny, 2009). De igual forma dataciones $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ en clastos de pómez indican que estos estratos basales tienen edades entre 26- 20 Ma (Encinas, 2006).

De acuerdo a Encinas y colaboradores (2006) el ambiente de la Formación Navidad incluye brechas sedimentarias, capas deslizadas (slides), capas plegadas (slumps) y diamictitas. En las capas de limonitas y areniscas de

grano fino se observan abundantes trazas fósiles de *Chondrites* y *Zoophycos*. Localmente presenta abundantes foraminíferos bentónicos característicos de profundidades batiales (~1500 m bajo la superficie del mar). Las facies sedimentarias, icnofacies y los foraminíferos bentónicos indicarían que las alternancias de areniscas, limonitas y escasos conglomerados que sobreyacen al conglomerado basal se depositaron en un ambiente de talud continental con un modo de sedimentación dominado por flujos gravitacionales.

Antecedentes palinológicos de edad miocena en Chile central son escasos. Méon et al. (1994) realizaron las primeras inferencias palinológicas a partir de comparaciones de tres muestras palinológicas tomadas en los estratos de la Formación Navidad que afloran en Punta Perro, Punta Alta y Matanzas. De acuerdo a los autores este registro palinológico mostraría relaciones con floras de Australia y Nueva Zelanda (Méon et al., 1994). Dichos autores concluyen que los palinomorfos encontrados en Punta Perro podrían ser de edad miocena tardía y que las capas de Matanza podrían ser ligeramente más antiguas y estarían correlacionadas con tiempos donde simultáneamente en Nueva Zelanda los ensambles palinológicos de Podocarpaceae, Myrtaceae y *Nothofagus* fueron dominantes. Consecuentemente la presencia de taxa asociados a helechos, *Dacrydium*, *Nothofagus* y Myrtaceae en la sección de Matanzas sugiere un clima húmedo, ensamble que habría evolucionado a condiciones climáticas secas (Méon et al., 1994).

Resolver la controvertida edad y ambiente de depositación de la Formación Navidad y, por ende, de las floras asociadas y su interpretación biogeográfica, resultan claves para entender la evolución de la biota y clima asociado en el cono sur de Sudamérica durante el Neógeno.

HIPOTESIS

En este trabajo postulo que:

- si el aumento de temperatura asociado al OCMM y la disminución de los montos de precipitación asociados con el establecimiento de la diagonal árida, fueron los mecanismos que operaron conjuntamente durante el Oligoceno tardío al Mioceno medio (26-12 Ma) (Hinojosa & Villagrán, 1997; Hinojosa & Villagrán, 2005b); se debería encontrar diferencias a nivel de diversidad y composición de palinomorfos, mostrando el cambio de una Paleoflora Mixta a una Paleoflora Subtropical Neógena y una consecuente disminución de la diversidad durante el Oligoceno tardío al Mioceno medio (26-12 Ma),
- Si por el contrario, los mecanismos que operaron fueron la disminución de temperatura y montos de precipitación constantes; se esperaría que durante el Mioceno la vegetación no experimente cambios en cuanto a diversidad pero si en su composición, pasando de una paleoflora mixta a una paleoflora de clima frío, conformada por coníferas y helechos.

OBJETIVO GENERAL

Determinar la composición polínica y diversidad en la Formación Navidad, evaluarlos, contextualizarlos a la luz de los cambios climáticos del Neógeno del sur en Sudamérica y establecer la edad en que estos cambios ocurren.

Específicamente se determinará:

- i) Estratigrafía y edad de la Formación Navidad.
- ii) Composición taxonómica de palinomorfos en estratos de diferente edad.
- iii) Diversidad de palinomorfos, entendido como número de morfoespecies.
- iv) Implicancias paleoambientales a nivel regional.

MATERIALES Y MÉTODOS

Procesamiento digital de fotografías, imágenes satelitales y cartografía

Adquirí 6 fotografías aéreas en el instituto aerofotogramétrico de la fuerza aérea de Chile, escala 1:20.000, del sector 10 L 06 (fotografías número 2902, 2903, 2904, 2905, 2956, 2955) y un mapa geológico escala 1:1.250.000 junto con cartas topográficas de la zona Matanzas - La Boca.

Posteriormente realicé la confección imágenes tridimensionales conocidas como anaglifos (Figura 2) de alta resolución espacial, usando pares estereoscópicos superpuestos por medio de software de sistemas de información geográfica (SIG) para el procesamiento digital de imágenes. Con esta herramienta fue posible interpretar con mayor precisión y detalle el área de estudio, metodología que permitió establecer contactos litológicos, zonas de falla, continuidad de capas, lineamientos y reconocimiento de zonas para levantamiento de secciones estratigráficas.

La información topográfica la generé a escala 1:10.000 a partir de imágenes detalladas de los mapas cartográficos WordMap v4 de Garmin. actualicé La cartografía superponiendo las curvas de nivel digitalizadas sobre imágenes recientes de Google Earth.

Trabajo de terreno

- **Reconocimiento del área de estudio.** Realicé un reconocimiento del área basado en la interpretación de las imágenes y cartografía generada en la etapa conceptual, estableciendo vías de acceso a los afloramientos, zonas de muestreo y levantamiento de columna. También se tomaron datos estructurales de rumbo y manteo.

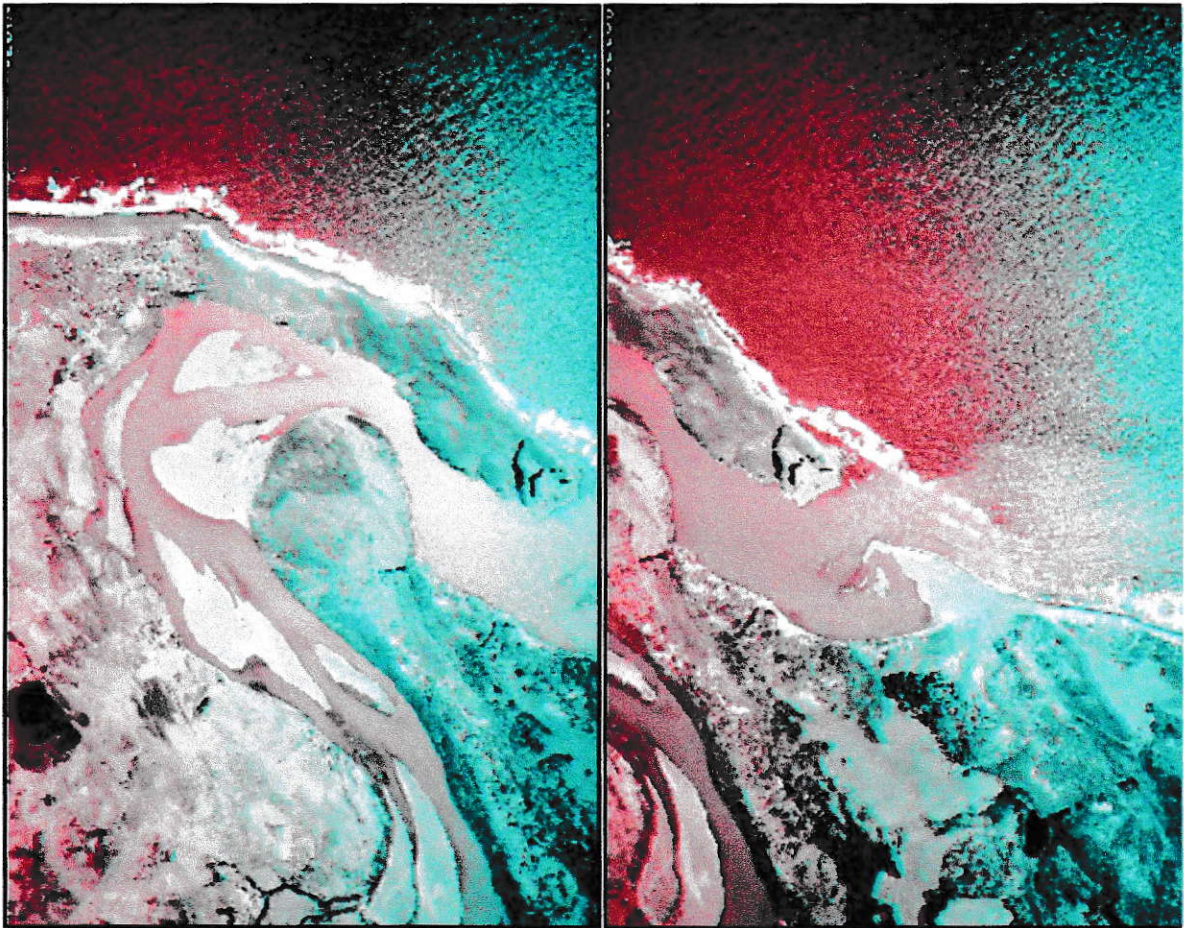


FIGURA 2: Anaglifo Formación Navidad, localidad Punta Perro.

- **Levantamiento de columnas estratigráficas.** Dividí la zona en dos sectores, Punta Perro-Pololos y Matanzas-Punta Alta, localidades separadas por el estero Navidad. En cada localidad identifiqué los

afioramientos en los acantilados costeros. describí las columnas de base a techo usando la metodología del bastón de Jacob para la medición del espesor real de las capas y continuidad de capas, establecí niveles guía de fácil seguimiento en campo, utilizados en la correlación litoestratigráfica (Figura 13).

- **Colecta de muestras palinológicas y geocronológicas.** Recolecté 100 gramos por muestra de arcillas limosas o limos de color oscuro o grisáceo en niveles de roca no meteorizados usando la metodología de Traverse (1988), evitando la contaminación con otros sedimentos. Colecté fósiles de gastrópodos y moluscos bien preservados y no alterados para obtener edades $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ al igual que muestras de clastos de pómez para dataciones $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$.
- **Registro de información.** La información obtenida en terreno, como datos estructurales, localización de muestras palinológicas, muestras para datación y ubicación de columnas estratigráficas las registré con GPS en el sistema de coordenadas cartográficas WGS 84 y coordenadas UTM.

Procesamiento de muestras palinológicas

Colecté y procesé 41 muestras provenientes de las secciones estratigráficas de la localidad de Matanzas a Punta Perro, de las cuales sólo 6 presentaron residuos palinológicos (M1, M2, M3, M4, M5, M6). En las columnas estratigráficas se muestran las muestras procesadas en orden estratigráfico

(Figuras 13). La preparación de muestras palinológicas se realizó en el Laboratorio Paleoflora de Colombia, siguiendo el método de Traverse (1988).

Técnica de preparación de muestras palinológicas.

- Disgregación de la muestra con martillo y separación de 10 cc de sedimento.
- Eliminación de carbonatos con ácido clorhídrico concentrado por un periodo mínimo de dos horas. Controlar la reacción con alcohol etílico al 95% GL.
- Lavado: centrifugar por 5 minutos a aproximadamente 2500 rpm, desechar el ácido y llenar nuevamente el volumen con agua destilada, repetir la operación 3 veces. Después de centrifugar es aconsejable esperar 15 minutos antes de desechar el agua, para evitar que se pierdan palinomorfos menores que aún no se han sedimentado en el fondo del tubo.
- Eliminación de silicatos con ácido fluorhídrico concentrado, por un periodo mínimo de doce horas.
- Eliminación de los fluorosilicatos con ácido clorhídrico 1:9 en baño de María a 60°C aproximadamente.
- Tres lavados con agua destilada.
- Separación de materia orgánica, desechar completamente el agua y adicionar cloruro de zinc (densidad 2) homogenizando bien los residuos de la solución. Centrifugar por 20 minutos. Conservar el anillo

sobrenadante o superficial y despreciar el precipitado. Diluir la solución con alcohol comercial y centrifugar.

- Tres lavados con agua destilada.
- Oxidación de la materia orgánica con ácido nítrico concentrado, por un periodo de 2 a 5 minutos, de acuerdo con el grado de carbonización del material. En caso de muestras claras se puede suprimir esta etapa. Controlar la reacción con agua destilada.
- Eliminación del exceso de materia orgánica con hidróxido de potasio 1:9.
- Tamizado de residuos con malla 6 μm bajo agua destilada corriente. Conservar la fracción retenida en el tamiz.
- Acondicionamiento de residuos en un frasco de vidrio con tapa. Agregar una gota de fenol para evitar proliferación de hongos.

El montaje de las láminas se lleva a cabo homogenizando una gota de residuo sobre el porta objeto. Se coloca el porta objeto con el residuo sobre la placa caliente, en temperatura media de 60-70 °C, hasta formar una película. Se colocan 2 a 3 gotas de Entellan (resina sintética) en el porta objetos y luego se coloca el cubre objetos. Es necesario presionar levemente con los dedos el cubre objetos para retirar el exceso de Entellan y eliminar las burbujas que se forman. Dejar secar naturalmente y eliminar el exceso de resina sobre las láminas con la ayuda de una cuchilla.

El estudio sistemático fue hecho describiendo palinomorfos a partir de los siguientes parámetros morfológicos: asociación con otros granos de polen o esporas (monadas, tétrada, díadas, poliadas), relación de polaridad y

simetría, forma del contorno del grano, número, posición y forma de aperturas, estructura de la pared y ornamentación. Se usa como referencia el Glosario de Terminología de Polen y Esporas (Punt et al., 2007), guía ampliamente usada como referencia por palinólogos para la descripción precisa y concordante del material, junto con la Base de Datos Electrónica de Morfología de Polen y Esporas del Cretácico-Terciario y Reciente del Norte de Sudamérica (Jaramillo et al., 2010b). Las afinidades botánicas de los palinomorfos se establecieron usando como referencia el Catálogo Ilustrado de Polen y Esporas Fósil de Nueva Zelanda, el Manual de Flora Polen de Argentina, el Manual de Polen y Esporas de Chile, y las afinidades reportadas para el Neógeno en Patagonia (Barreda & Palazzesi, 2007; Barreda et al., 2010; Heusser, 1971; Markgraf & D'Antoni, 1978; Raine et al., 2008).

RESULTADOS

GEOLOGÍA LOCALIDAD MATANZAS-LA BOCA 1:10.000

En el mapa geológico escala 1:10.000 (Anexo 1) muestro la distribución areal de la Formación Navidad y de las unidades litoestratigráficas propuestas. Además, realizo la cartografía geológica de la distribución superficial de cada una de las unidades litoestratigráficas y niveles guía de la Formación Navidad sobre una imagen aérea de alta resolución espacial y espectral (Anexo 2). La longitud de la zona de estudio a lo largo de los acantilados costeros alcanzaría cerca de 12 km. A continuación describo cada una de las unidades presentes en la sucesión estratigráfica.

• BASAMENTO CRISTALINO

De acuerdo a Wall et al. (1996) el basamento está constituido por mozogranitos del Paleozoico de 289 ± 7 Ma datados por K/Ar en biotita, y granodioritas de anfibolita y biotita (Conn et al., 1993; Hervé et al., 1988; Muñoz-Cristi, 1962; Muñoz-Cristi, 1964; Wall et al., 1996) (Figura 3). Se observan rocas predominantemente de color verdoso y gris medio, de grano grueso, con texturas hipidomórficas a alotriomórfica granular, con variedades porfídicas subordinadas. Incluyen cristales de plagioclasa y feldespato potásico con texturas de intercrecimiento mirmequítico, gráfico, pertítico y

reemplazo de piroxeno por anfíbola y biotita en los términos más básicos.

Contienen inclusiones dioríticas a diorítico-cuarcíferas.



FIGURA 3: Basamento cristalino.

• DEPÓSITOS NEÓGENOS

Formación Navidad (FNv). La sección tipo de la Formación Navidad aflora en los alrededores de las poblaciones Matanzas, Navidad, La Boca y Boca Pupuya, su mayor exposición se puede apreciar en los acantilados costeros desde la localidad de Punta Perro hasta la municipalidad de Boca Pupuya. La Formación Navidad se caracteriza por el gran número de fósiles de moluscos, polen, plantas, foraminíferos planctónicos y bentónicos, nanofósiles, ostrácodos, otolitos, briosos, dientes de tiburones y corales (Cecioni, 1980; Hinojosa, 2003; Hinojosa, 2005; Hinojosa & Villagrán, 1997; Ibaraki, 1992; Martínez-Pardo, 1990; Méon et al., 1994; Tavera, 1979;

Troncoso & Romero, 1998). El espesor estratigráfico, medido, de la Formación Navidad es de 250 metros. La base de la formación aflora hacia el sector occidental del acantilado costero conocido como Punta Perro, suprayaciendo en contacto no concordante a rocas graníticas de edad paleozoica. Los niveles basales de la formación son capas medias de guijos y guijarros de granitos depositados en un ambiente de playas de bloques, nivel reconocido como conglomerado basal de la Formación Navidad (Tavera, 1979). El techo de la Formación Navidad infrayace en contacto concordante a la Formación Licancheo (Encinas, 2006; Encinas et al., 2006). En este trabajo propongo que el Miembro Navidad descrito por Tavera (1979) y que posteriormente fue elevado al rango de Formación Navidad por Encinas (Encinas et al., 2006) puede ser dividido en dos unidades litoestratigráficas informales de rango menor; miembro Inferior y miembro superior (Figura. 4).

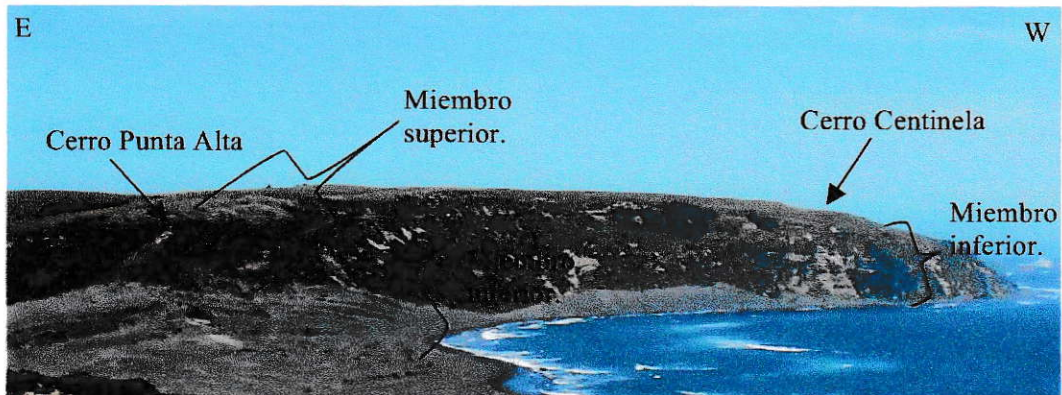


FIGURA 4: Imagen panorámica de la localidad Punta Alta a Cerro Centinela (Miembros inferior y superior).

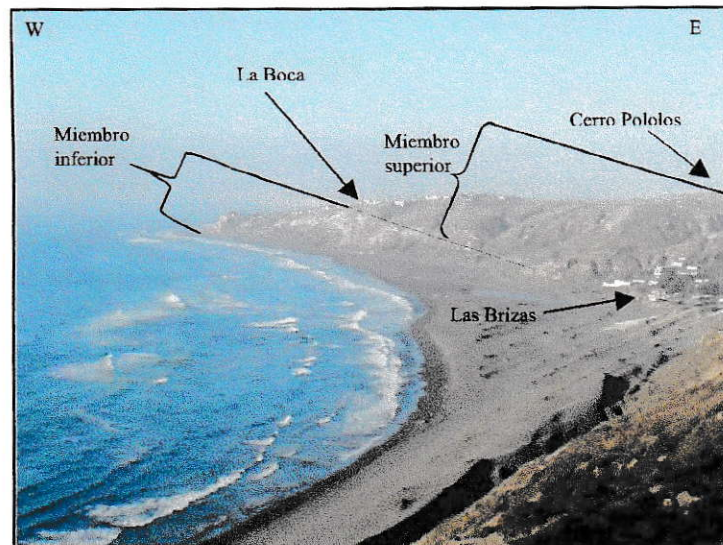


FIGURA 5: Imagen panorámica localidad La Boca, Playa Las Brisas, cerro Pololos. (Miembros inferior y superior)

La geometría del miembro inferior se caracteriza como una unidad de techo plano y base irregular erosiva, este miembro presenta variaciones laterales de espesor. La base se localiza en las inmediaciones de Punta Perro y el techo aflora a 600 m al norte de la playa Las Brisas alcanzando 110 metros de espesor estratigráfico (Figura 5). Sin embargo en el sector conocido como Goterones no fue posible identificar el contacto basal de este miembro puesto que está cubierto por arenas de playa. El tope del miembro inferior aflora en la base del cerro Punta Alta. La litología de esta unidad consiste en un conjunto de capas gruesas de areniscas de grano medio de color verde, intercaladas con capas medias de areniscas conglomerádicas. El miembro inferior es el primer relleno sedimentario de la cuenca donde se depositó la Formación Navidad, la sedimentación se inicia sobre el basamento cristalino de origen granítico el cual marca la base de la nonconcordancia entre rocas

graníticas de edad paleozoica y rocas sedimentarias neógenas. La topografía del relieve basal es irregular y está rellenado parcialmente por facies de playas pedregosas compuestas de guijarros y grava de origen granítico (Figura. 6).



FIGURA 6: Imagen panorámica de la localidad Punta Perro Oeste. (Playa de Bloques, conglomerado basal infrayaciendo miembro inferior de la Formación Navidad).

El miembro superior con 115 m de espesor, litológicamente está compuesto por intercalaciones de capas medias a gruesas de areniscas de grano fino de color ocre claro, intercaladas con capas finas de limolita y arcillas de color blanco y aspecto tobáceo. El tope de este miembro, que es a la vez el tope de la Formación Navidad, infrayace de forma concordante la Formación Licancheo (Encinas et al., 2006).

A partir de datos estructurales de rumbo y manteo, la posición estratigráfica de los miembros superior e inferior de la Formación Navidad, y el seguimiento de niveles guía en terreno junto con una fotointerpretación detallada, se evidencia una estructura sinclinal, donde los estratos más antiguos afloran en la base de los acantilados de Punta Perro y Matanzas. Esta estructura muestra estratos más jóvenes hacia cerro Los Pololos y Punta Alta, conformando así el núcleo del sinclinal, que de ahora en

adelante propongo llamar Sinclinal Los Pololos. Esta estructura presenta un eje con dirección N-E y se encuentra limitado por dos fallas locales de tipo normal, Falla La Boca y Falla Rapel, ambas con vergencia S-E. Existe evidencia de procesos tectónicos compresivos ocurridos durante el Mioceno, caracterizados por la presencia de fallas inversas locales que en superficie no tienen expresión morfológica cartografiable y sólo se pueden identificar en cortes naturales como en los frentes del acantilado (Figura 7).

Asociados a los estratos del miembro inferior que afloran en la parte oriental de Punta Perro se evidencia una falla sinsedimentaria (Figura 8) que se caracteriza por la depositación por flujos de detritos en una mezcla mal seleccionada de bloques de roca angulosos embebidos en una matriz de arena arcillosa. Estos flujos se depositaron sobre el bloque colgante de la falla sinsedimentaria; este tipo de perturbaciones son generadas por sismos o tsunamis (Le Roux & Vargas, 2005). Posterior a este evento la depositación continuó sedimentando brechas sedimentarias y clastos de pómez (Figura 9). Asociados a esta falla sinsedimentaria también se evidencia flujos de turbiditas y ciclos de Bouma (Figura 10).

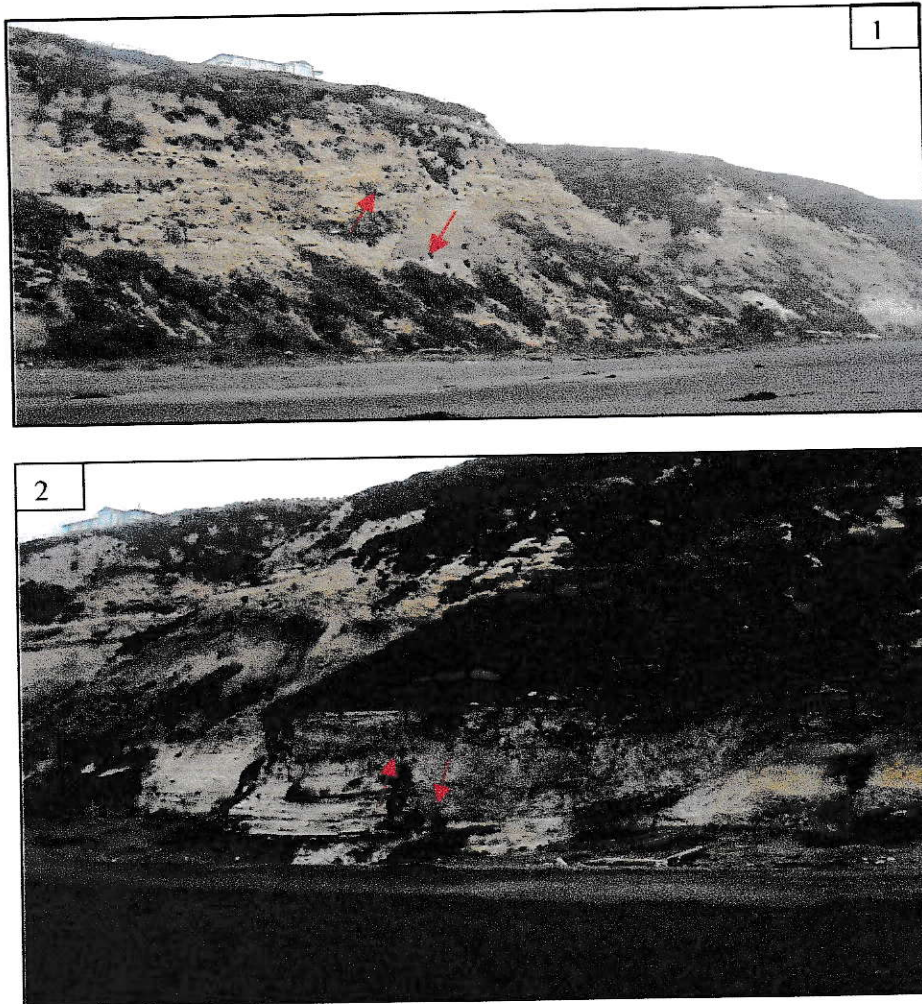


FIGURA 7: 1-2: Fallas inversas ubicadas 500 m al norte de Goterones

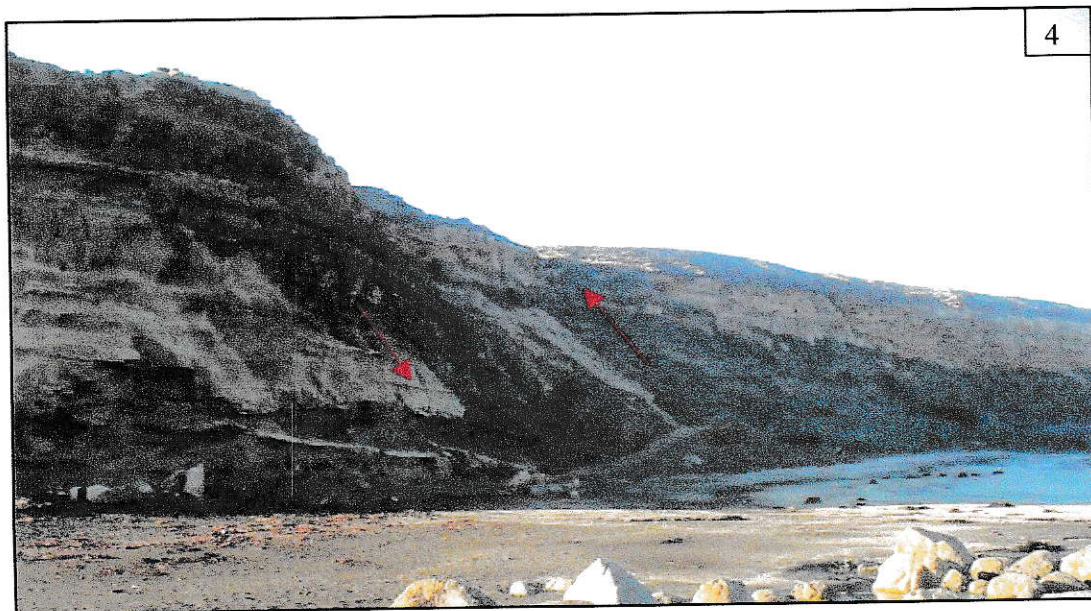
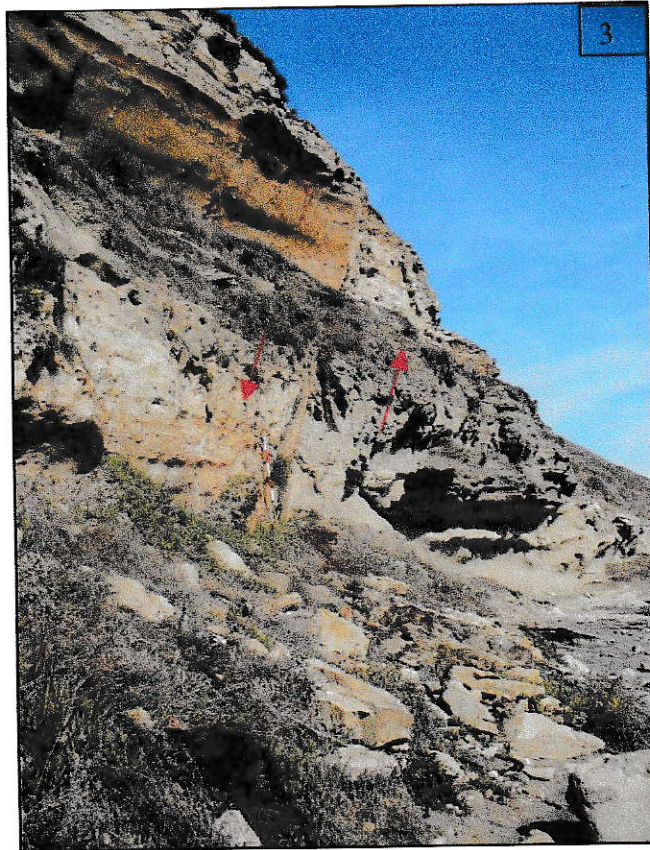


FIGURA 7: 3: Fallas normales; 4: Fallas inversas ubicadas al occidente de localidad de Punta Perro.

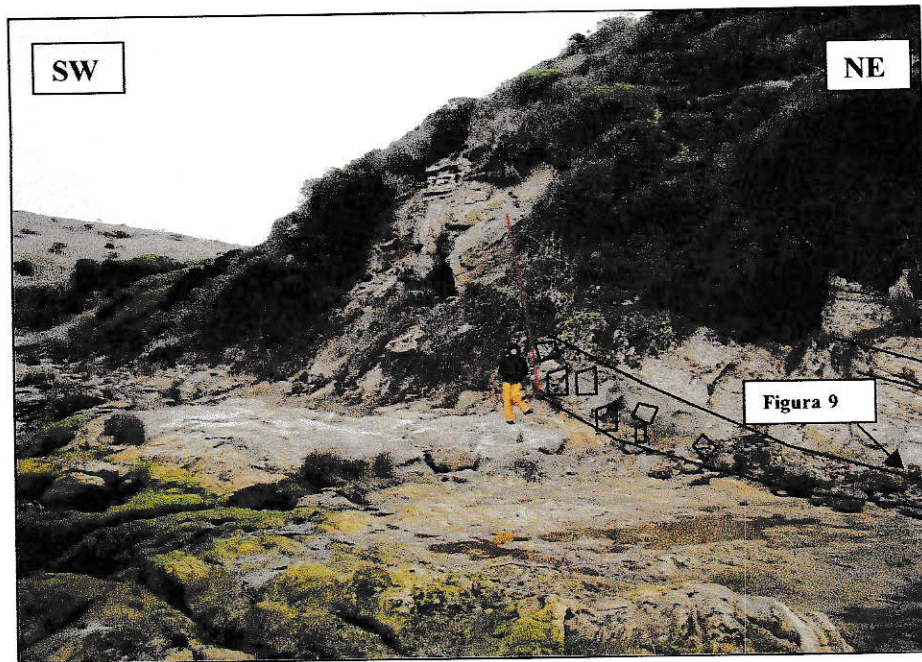


FIGURA 8: Imagen panorámica de la localidad Punta Perro Este. Línea roja; plano de deslizamiento; (Vista NE-SW de falla sinsedimentaria).



FIGURA 9: Imagen detallada de clastos de pómez y brechas sedimentarias



FIGURA 10: Secuencia turbidítica

- **Cuaternario**

Dunas (Qd): En la zona se observan acumulaciones de arenas bien seleccionadas, inmaduras de grano fino a medio de color gris oscuros y presencia de minerales pesados (magnetita), con estratificación cruzada y ondulitas en la superficie. Las dunas tienen forma transversal y crestas alargadas, perpendiculares a la dirección del viento, con una altura aproximada de 10 metros. La cercanía a la costa ocasiona que el oleaje desestabilice la base de la zona de erosión de la duna y genera la destrucción de ésta en la parte posterior. El avance de las dunas se ve limitado por la presencia de los acantilados costeros, sin embargo en las desembocaduras de esteros presentan mayor extensión y menor espesor.

Depósitos Cuaternarios Fluviales (QFI). Hacia el noroeste de la desembocadura del río Rapel, la descarga constante de sedimentos es redistribuida por acción de las mareas en un ambiente de bahía. Consiste en material no consolidado, arenas, gravas redondeadas a sub-redondeadas y bolones. El comportamiento meándrico del río Rapel deja ver barras de punta, estructuras de régimen alto son evidentes, así como llanuras de inundación que afectan a las localidades de La Boca, El Bajo y Licancheo.

Depósitos Cuaternarios coluviales (Qc). Los depósitos coluviales están asociados a fallas locales de poco desplazamiento y a deslizamientos planares en la parte frontal de los acantilados costeros. Dentro del área de estudio se observan depósitos de ladera provenientes de la Formación Navidad en forma de abanicos conformados por bloques y gravas mal seleccionados en una matriz de arena arcillosa de color gris claro.

EDAD DE LA FORMACIÓN NAVIDAD

Dataciones $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ desarrolladas a partir de ocho conchas fósiles halladas en los niveles basales del miembro inferior de la Formación Navidad arrojaron edades entre 22,1-18,9 Ma (Tabla 1). Las dataciones se realizaron sobre material con buena preservación de los fósiles, evidenciado por la conservación de colores, ornamentos y partes completas sin deformación y conchas de moluscos articuladas, todas características que indican que los procesos de diagénesis no han alterado la composición inicial de las conchas de los invertebrados. Adicionalmente se evidencia que el sedimento que está relleno de las cavidades de los fósiles es el mismo sedimento de la matriz que los contiene (Figura 11), poniendo de manifiesto que los fósiles depositados en la Formación Navidad no han sufrido procesos de retrabajo y se habrían depositado *in situ*.

Muestra	Método Radiométrico	Descripción	Código de laboratorio	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	2 sem (%)	Edad (Ma) Oslick	Edad (Ma) Mc BKSA95	Edad (Ma) Mc GTS04
M1	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	Concha	MC1-001	0,708371	0,0013	21,4	21,2	21,0
M2B	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	Tunitela	MC3-001-1.5	0,708468	0,0012	20,0	19,6	19,4
M2A	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	Tunitela	MC3-001-1.6	0,708543	0,0012	18,9	18,5	18,4
M3	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	Gastropodos y Escafopodos	MC4-008-26m	0,708309	0,0014	22,3	22,7	21,9
M4	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	Gastropodos	MC8-101-37m	0,708500	0,0013	19,5	19,1	19,0
M5	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	Bivalvos	MC8-100-0.30m	0,708430	0,0015	20,6	20,3	19,9
M7	$^{40}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	Gastropodos y Escafopodos	MC2-011-30m	0,708406	0,0014	19,7	19,3	19,2
M8	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	Bivalvos	MC4-5 Base 1	0,708299	0,0010	22,5	22,9	22,1

Tabla 1 Resultados de edades isotópicas de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ en ocho muestras de invertebrados fósiles de la Formación Navidad, los errores de las dataciones varían entre $\pm 0,07$ Ma y 0,20 Ma. (Mc Arthur & Howarth, 2004; Mc Arthur, et al., 2001; Oslick, et al., 1994)

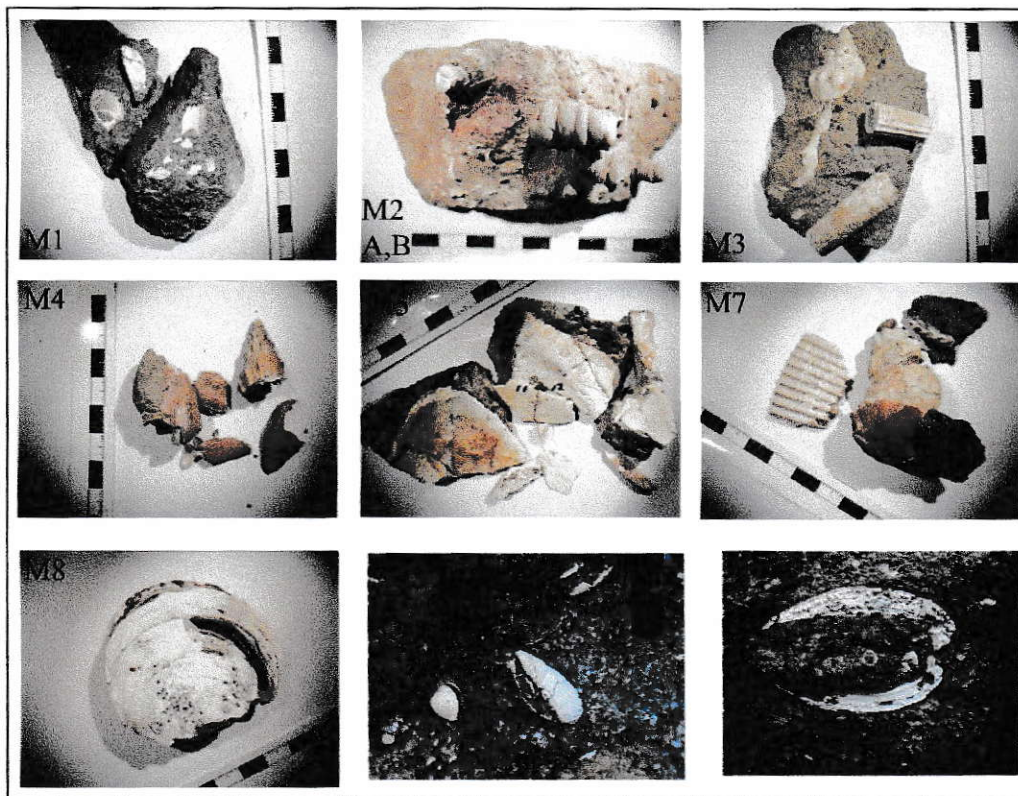


Figura 11. M1-M8 muestras datadas con el método isotópico $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$. Las dos imágenes de la parte inferior derecha de la figura, muestran conchas articuladas y relleno de cavidades.

A lo largo de los afloramientos de la Formación Navidad es común encontrar niveles con alto contenido de piroclastos, cenizas, pómez y escorias (Figura 12), datos que evidencian erupciones volcánicas. Teniendo en cuenta el tamaño de los clastos y la alta presencia de clastos no alterados es posible suponer que el proceso de depositación se habría ocurrido de forma rápida. Consecuente con esta suposición, la zona de aporte volcánico se habría localizado cerca de la cuenca donde se depositó la Formación Navidad. Se dataron dos clastos de pómez colectados en los niveles medios y superiores de la Formación Navidad, niveles que a su vez acotan el miembro superior

de la Formación Navidad, obteniendo edades $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ de 16,41 +/- 0,45 y 12,87 +/- 0,50 Ma, respectivamente (Tabla 2).

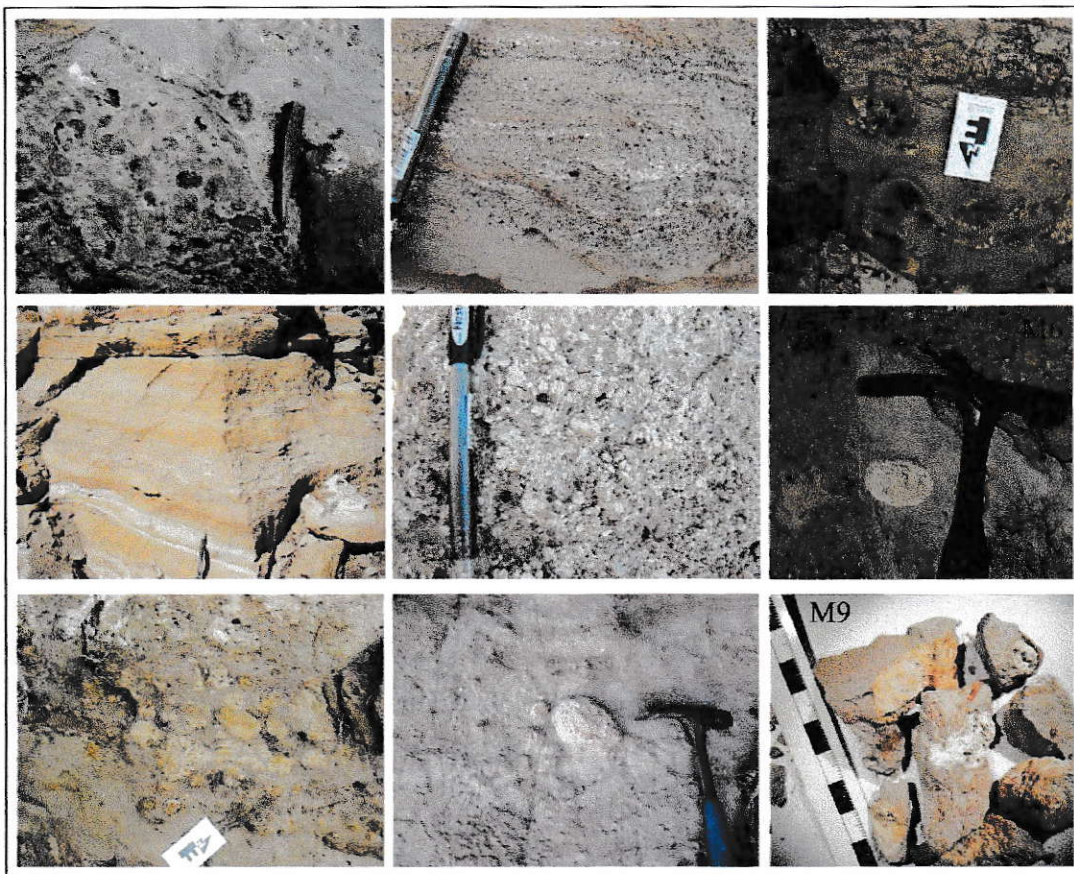


Figura 12. M6 y M9, muestras datadas con el método radiométrico $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$; imágenes de sedimentos volcanoclásticos: Escoria, cenizas, pómez.

Muestra	Método Radiométrico	Descripción	Código de laboratorio	$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$
M6	$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	Clasto de Pómez	MC3-009-19.5m	16.41 +/- 0.45 Ma
M9	$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	Clastos de Pómez	Pololos	12.87 +/- 0.50 Ma

Tabla 2. Resultados de edades radiométricas de $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ en dos muestras de clastos de pómez de La Formación Navidad.

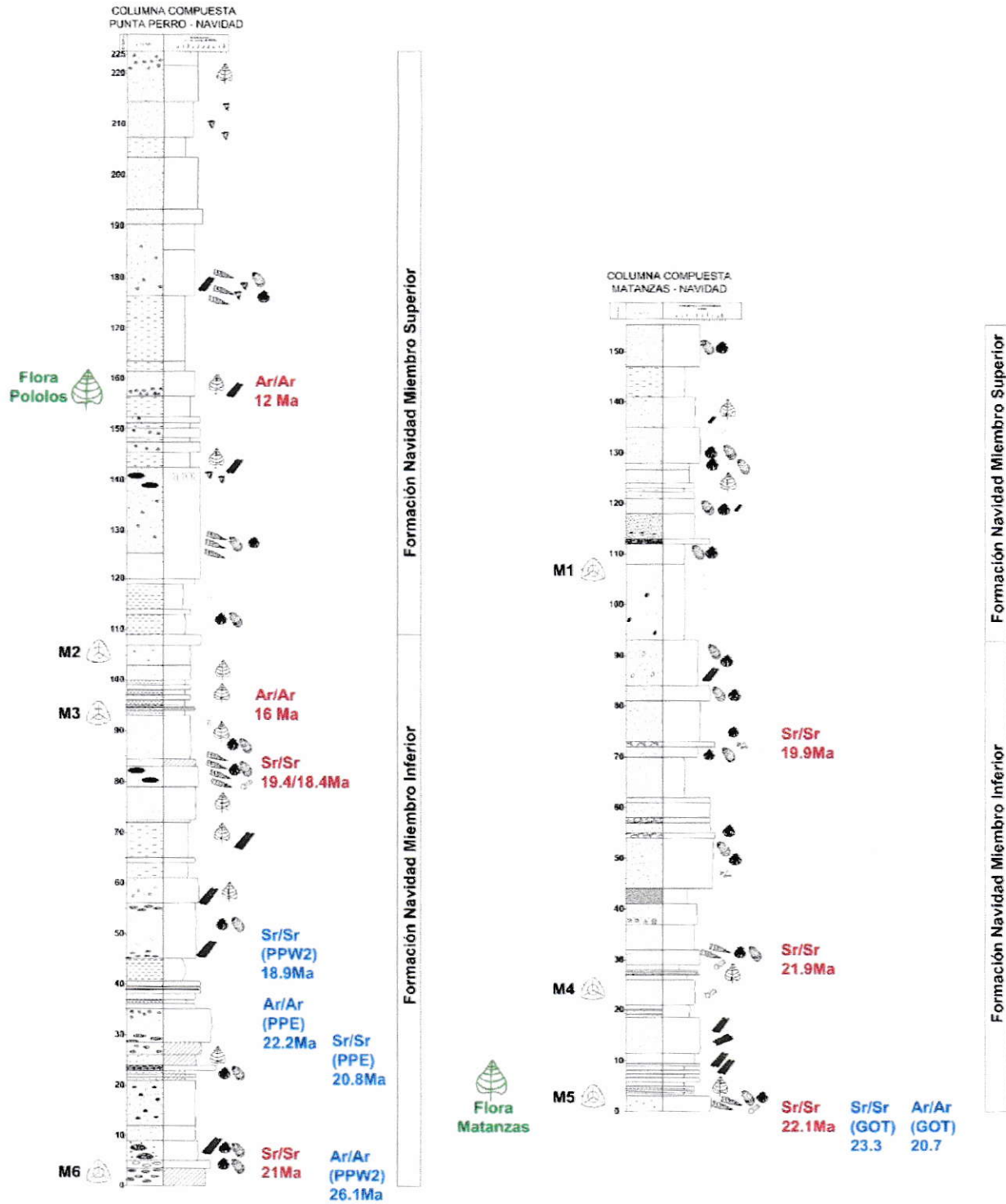


Figura 13. Correlación estratigráfica de las columnas levantadas en las localidades de Punta Perro-Navidad y Matanzas-Punta alta en la Formación Navidad; Posición estratigráfica de las muestras palinológicas M1-M6, Flora Mixta y Flora Subtropical Neógena (Hinojosa, 2005); Dataciones radiométricas de Ar^{40}/Ar^{39} en clastos de pómez, y edades isotópicas de Sr^{87}/Sr^{86} . Texto en rojo indica datos del presente estudio, datos en azul son tomados de (Encinas (2006b)).

AMBIENTE DE LA FORMACIÓN NAVIDAD

El registro palinológico indica dominancia de poliníferos de origen continental (99.72%) sugiriendo un ambiente litoral de aguas someras. El ambiente sugerido es apoyado a nivel micropaleontológico por la presencia de escamas de alas de mariposas, insectos (alas, patas, cabezas, tórax), hifas de hongos, restos de madera y cutículas de hojas (Figura 14).

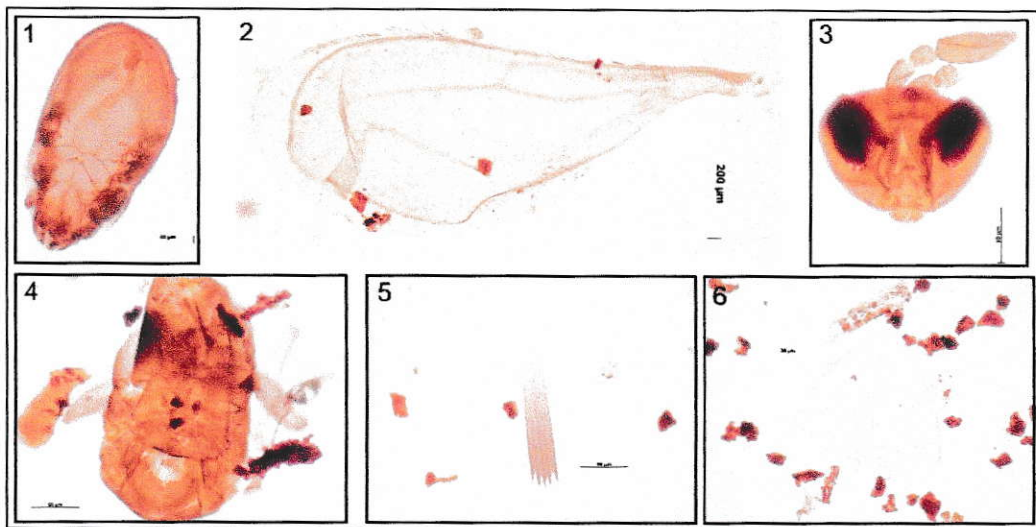


Figura 14. Microfósiles de origen continental: 1: Tardigrado?; 2: Ala de insecto; 3,4 Estados larvales de insectos (cabeza y tórax de himenópteros); 5-6: Escamas de alas de lepidópteros (mariposa).

PALINOLOGÍA DE LA FORMACIÓN NAVIDAD

En las 41 láminas preparadas provenientes de la Formación Navidad sólo en 6 (M1-M6) fue posible contabilizar un mínimo de 300 poliníferos por lámina. Se identificaron un total de 90 poliníferos de los cuales 48 pertenecen a angiospermas, 11 a gimnospermas y 26 a pteridófitas. (Anexo 3).

En la Tabla 3 se incluye la lista de palinomorfos identificados, sus afinidades botánicas y los porcentajes obtenidos para cada uno. En la figura 17 se muestra el diagrama polínico para cada una de las muestras analizadas y su agrupamiento sobre la base de CONISS.

Zona I (muestras M4, M5 y M6, 20-26 Ma). El polen de angiospermas es dominado por *Nothofagus* tipo *dombeyi* *Nothofagidites* sp., con frecuencias que oscilan entre 9,3% y 20,6%. Tipos polínicos de gimnospermas dominantes corresponden a Podocarpaceae (0,7-16%) y Araucariaceae (1,3-5,4%). Esporas de helechos están dominadas por Cyathaceae (0,5-8,9%) y Blechnaceae (1,9-4%).

Zona II (muestras M2 y M3 ~16 Ma) (Figura 12). El polen de angiospermas aumenta desde 35% a 55%, ampliamente dominada por *Nothofagidites* sp. (44,7% y 15,3% en las muestras M3 y M2, respectivamente). Las Podocarpaceae pasa de tener porcentajes 15% a 19%, y Araucariaceae se mantiene con porcentajes entre 5% y 9%.

Zona III (muestra M1, entre 12 y 16 Ma). El polen de angiospermas disminuye de 35% a 25% (*Nothofagidites* sp., 2,7%). Las gimnospermas aumentan (Podocarpaceae), llegando a 25% y Araucariaceae se mantiene invariable con 7% Cyathaceae se mantiene constante 13% y Blechnaceae presentan 12%.

CÁLCULOS DE DIVERSIDAD

Se realizaron curvas de riqueza de palinomorfos basados en el número total de granos de palinomorfos contados en cada muestra. Se compararon los

niveles de riqueza de las tres zonas. Las curvas de rarefacción con intervalos de confianza de 99% indican que las muestras localizadas hacia la base (Zona I) se estabilizan con 72 Morfoespecies, las muestras de la parte media (Zona II) estabilizan con 60 morfoespecies y la muestra de la parte superior (Zona III) con 45 morfoespecies la curva inicia a estabilizar (Figura 15). De acuerdo a lo anterior, se presenta una pequeña disminución diversidad a nivel de palinomorfos entre las muestras de la base y las muestras del techo. La estimación no paramétrica de CHAO 1 indica que en promedio la Zona I presenta una riqueza de 99.71, la Zona II la riqueza esperada es 94.4 y la riqueza estimada de la Zona 3 es de 76.16

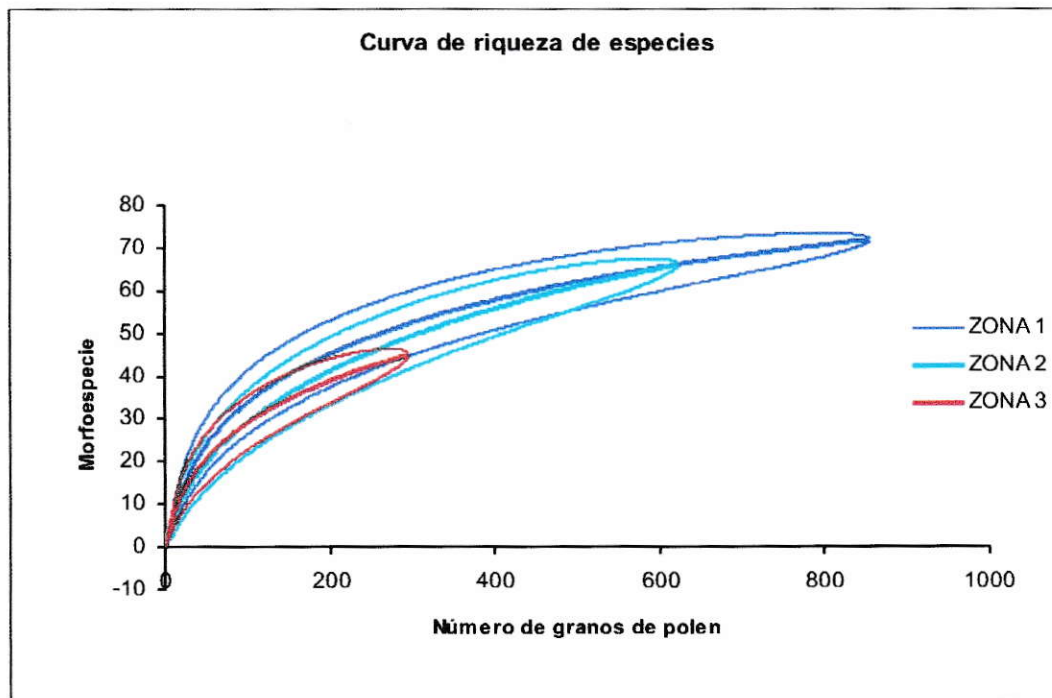


Figura 15. Curva de riqueza de especies en las zonas polínicas definidas en este estudio.

Los resultados de los análisis de correspondencia sin tendencia (ACST) sugiere diferencias de composición a nivel de palinomorfos (Figura 16), las

muestras localizadas hacia la base tienden a agruparse (M6, M5, M4), a su vez la muestras localizadas en la parte media (M2, M3) también se asocian, sin embargo la muestra más joven (M1) se separa significativamente del resto de las muestras, respuesta similar a la que se obtiene con el análisis de CONISS en el diagrama polínico (Figura 17). Se descartaron 29 morfoespecies que presentaron porcentajes <0,5% en el análisis de ACST. El eje principal explica el 39% de la varianza total y el eje secundario explica el 14,7% de la varianza total (Tabla 3).

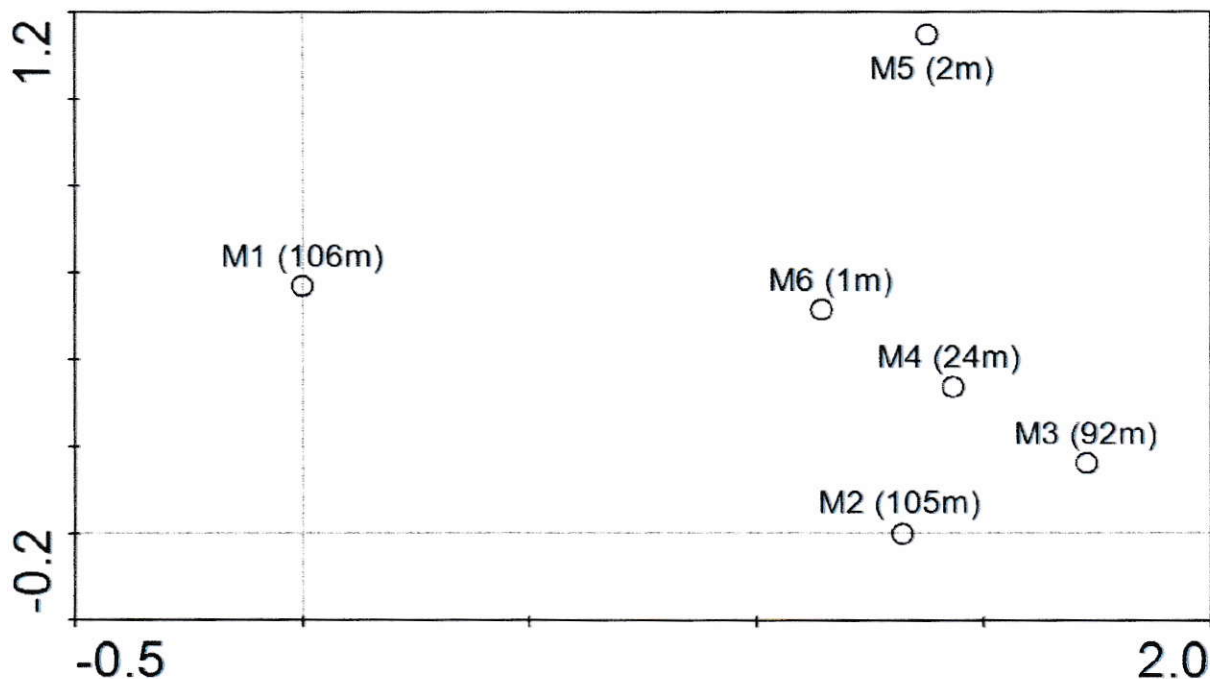


Figura 16. ACST polen y esporas >5%; en paréntesis se indica la posición estratigráfica de la muestra dentro de la columna estratigráfica compuesta (eje principal 39%; eje secundario 14,7%)

Ejes	1	2	3	4	Inercia Total
Valores propios	0,292	0,11	0,001	0	0,749
Longitud del gradiente	1,726	1,148	0,955	0,955	
Variación porcentual acumulada de los datos de las especies	39	53,7	53,9	53,9	
Suma de todos los valores propios					0,749

Tabla 3: Cuadro resumen del ACST realizado a las 6 muestras palinológicas que presentaron frecuencias relativas >0.5%

Muestras →			M1	M2	M3	M4	M5	M6
NOMENCLATURA POLINICA		AFINIDAD BOTÁNICA						
Angiospermas	Láminas 1-2		25,1	35,5	54,7	41,6	36,7	37,2
<i>Polyadopollenites</i> sp.	1	Fabaceae Mimosoideae Acacia	-	-	-	•	-	•
<i>Syncolporites</i> sp.	2	Myrtaceae	-	-	-	-	-	•
<i>Inaperturopollenites</i> sp. 1	3		-	-	-	-	-	1,7
<i>Inaperturopollenites</i> sp. 2	4		0,7	-	-	•	-	-
<i>Bombacacidites</i> sp.	5	Bombacaceae	-	-	-	-	-	•
<i>Scabraperiporites</i> sp. 1	6	Chenopodiaceae	•	-	-	-	-	-
<i>Scabraperiporites</i> sp. 2	7	Chenopodiaceae	0,7	-	-	-	-	-
<i>Clavainaperturites</i> sp. 1	8	Chloranthaceae	-	-	-	•	-	•
<i>Clavainaperturites</i> sp. 2	10	Chloranthaceae	•	5,0	1,0	2,7	1,7	3,0
<i>Corsinipollenites</i> sp.	9	Onagraceae	-	-	•	•	6,0	-
<i>Echiperiporites</i> sp.	11	Malvaceae?	1,0	•	-	1,2	•	1,0
<i>Nothofagus</i> sp.	12	Nothofagus	2,7	15,3	44,7	20,6	9,3	11,4
<i>Inaperturopollenites</i> sp. 3	13		•	0,6	-	0,8	0,7	1,0
<i>Foveomonocolpites</i> sp.	14		9,5	0,9	-	5,1	2,7	5,7
<i>Proteacidites</i> sp. 1	15	Proteaceae	-	-	•	0,8	-	0,7
<i>Haloragacidites</i> sp.	16	Casuarinaceae	-	-	•	-	-	•
<i>Inaperturopollenites</i> sp. 4	17	Sparganiaceae	•	0,6	-	-	-	0,7
<i>Dicolpopollis</i> sp.	18		-	•	-	-	-	-
<i>Tricolpites</i> sp.	19	Gunneraceae	-	•	-	-	1,0	0,7
<i>Monosulcites</i> sp. 1	20		•	-	-	•	-	-
<i>Monosulcites</i> sp. 2	21		1,0	3,4	1,3	-	1,7	1,0
<i>Monosulcites</i> sp. 3	23		•	1,3	-	•	5,0	0,7
<i>Monoporopollenites</i> sp.	24	Poaceae	1,0	0,9	-	-	-	•
<i>Syncolporites</i> sp. 2	22	Myrtaceae	-	•	-	0,8	•	-
<i>Syncolporites</i> sp. 3	27	Myrtaceae	-	•	0,7	0,8	-	•
<i>Scabraperiporites</i> sp.	28		-	-	-	-	-	•
<i>Proteacidites</i> sp. 2	29	Proteaceae	-	•	-	-	-	0,7
<i>Proteacidites</i> sp. 3	31	Proteaceae	3,1	0,9	0,7	1,2	1,7	2,0
<i>Psilatiriporites</i> sp. 1	30	Celtidaceae	-	-	2,7	-	•	-
<i>Retipollenites</i> sp.	26		-	•	-	-	-	-
<i>Inaperturopollenites</i> sp. 5	25		-	•	-	-	-	-
<i>Retitricolpites</i> sp. 1	33		-	•	•	-	-	-
<i>Psilatricolporites</i> sp. 1	34	Sapotaceae	-	•	-	-	-	-
<i>Tetracolporiopollenites</i> sp.	35		-	-	-	•	-	-
<i>Clavatricolpites</i> sp.	37		-	•	0,7	•	•	0,7
<i>Foveotricolpites</i> sp.	38		-	0,6	-	-	•	-
<i>Psilatricolpites</i> sp.	39		-	-	-	-	1,3	•
<i>Ilexpollenites</i> sp.	40		•	-	•	0,8	0,7	1,3
<i>Striatricolporites</i> sp. 1	44	Anacardiaceae	•	-	0,7	0,8	-	-
<i>Striatricolporites</i> sp. 2	42	Anacardiaceae	•	-	-	-	0,7	-
<i>Foveotricolporites</i> sp. 1	41		-	-	-	-	•	-
<i>Foveotricolporites</i> sp. 2	45		-	0,6	-	-	-	1,3
<i>Psilatricolporites</i> sp. 2	36	Sapotaceae	-	•	-	0,8	1,3	•
<i>Retitricolpites</i> sp. 2	43		•	0,6	•	2,3	•	-
<i>Rugotricolporites</i> sp.	46		1,7	-	-	-	-	-
<i>Echitriporites</i> sp.	32	Proteaceae	-	•	-	-	-	•
<i>Retitriporites</i> sp.	47		-	•	-	-	-	-
<i>Verrustephanocolpites</i> sp.	48		•	•	•	-	0,7	-
Gimnospermas	Lámina 3	AFINIDAD BOTÁNICA	32,9	21,5	13,3	25,7	40,0	30,5
<i>Araucariacites</i> sp. 1	49	Araucariaceae, <i>Araucaria angustifolia</i>	1,7	3,4	2,3	5,4	4,3	1,3
<i>Podocarpidites</i> sp. 1	50	Podocarpaceae <i>Podocarpus</i>	15,0	-	-	-	0,7	-
<i>Araucariacites</i> sp. 2	52	Araucariaceae, <i>Araucaria araucana</i>	2,4	2,5	1,3	2,7	7,3	3,4
<i>Araucariacites</i> sp. 3	53	Araucariaceae	•	-	-	-	-	-

		<i>Araucaria</i>							
<i>Lygistepollenites florinii</i> (Cookson & Pike) Stover & Partridge.	54	<i>Podocarpaceae</i> <i>Dacrydium</i>	1,7	2,5	1,3	1,9	3,0	8,4	
<i>Podocarpidites</i> sp. 2	55	<i>Podocarpaceae</i> <i>Dacrydium</i>	•	-	•	0,8	-	1,0	
<i>Podocarpidites</i> sp. 3	56	<i>Podocarpaceae</i> <i>Mycrocachrys</i>	-	•	•	1,2	•	0,7	
<i>Podocarpidites</i> sp. 4	57	<i>Podocarpaceae</i>	10,5	11,3	7,0	3,9	16,0	10,1	
<i>Podocarpidites</i> sp. 5	58	<i>Podocarpaceae</i> <i>Lagarostrobos franklinii</i>	•	•	-	5,1	4,7	1,0	
<i>Podocarpidites</i> sp. 6	59	<i>Podocarpus salignus</i>	0,7	0,9	0,7	4,7	3,7	4,7	
Esporas	Lámina 4	AFINIDAD BOTÁNICA	40,0	41,4	30,0	32,7	22,7	30,2	
<i>Polypodiaceoisporites</i> sp.	60		4,1	•	•	-	-	-	
<i>Cyathidites</i> sp. 1	61	<i>Cyatheaceae</i>	1,0	1,6	1,0	•	-	-	
<i>Cyathidites</i> sp. 2	62	<i>Cyatheaceae</i>	•	-	-	-	-	-	
<i>Distaverrusporites</i> sp.	63		-	0,6	0,7	•	-	•	
<i>Cingulatisporites</i> sp. 1	64	<i>Cyatheaceae</i>	-	•	-	•	-	-	
<i>Scabratriletes</i> sp.	65	<i>Cyatheaceae</i>	1,4	•	1,0	-	-	-	
<i>Cyathidites</i> sp. 3	85	<i>Cyatheaceae</i>	-	•	-	•	1,0	0,7	
<i>Cyatheacidites annulatus</i>	66	<i>Cyatheaceae</i>	-	3,1	1,3	•	•	0,7	
<i>Cyathidites</i> sp. 4	67	<i>Cyatheaceae</i>	-	0,6	1,3	1,9	1,7	1,0	
<i>Lycopodiumsporites</i> sp.	68	<i>Dicksoniaceae</i> <i>Dicksonia</i>	-	1,6	2,3	1,2	-	1,0	
<i>Polypodisporites</i> sp. 1	69	<i>Polypodiaceae</i>	3,1	-	-	2,7	-	1,7	
<i>Laevigatosporites</i> sp. 1	70	<i>Blechnaceae</i>	3,4	•	4,7	1,9	-	4,0	
<i>Laevigatosporites</i> sp. 2	71	<i>Blechnaceae</i>	6,1	0,6	4,7	2,7	2,3	2,4	
<i>Laevigatosporites</i> sp. 3	72	<i>Blechnaceae</i>	-	•	-	-	-	-	
<i>Polypodisporites</i> sp. 2	73	<i>Polypodiaceae</i>	0,7	-	0,7	-	•	1,0	
<i>Laevigatosporites</i> sp. 4	74	<i>Blechnaceae</i>	8,5	6,3	3,0	2,7	2,7	3,4	
<i>Polypodisporites</i> sp. 3	75	<i>Polypodiaceae</i>	0,7	0,6	-	1,2	•	•	
<i>Cyathidites</i> sp. 5	76	<i>Cyatheaceae</i>	2,7	9,4	3,3	3,9	3,0	5,7	
<i>Zlivisporis</i> sp.	78	<i>Lycopodium</i>	-	0,6	0,7	•	-	-	
<i>Cingulatisporites</i> sp. 1	77		-	•	•	-	-	-	
<i>Rugulatisporites</i> sp.	79		-	-	-	-	•	•	
<i>Echimonolete</i> sp.	81		-	-	-	-	-	•	
<i>Cyathidites</i> sp. 6	82	<i>Cyatheaceae</i>	7,5	13,4	4,7	8,9	5,3	5,7	
<i>Verrucatotrilites</i> sp.	83		-	-	-	-	-	0,7	
<i>Concavissimisporites</i> sp.	84		0,7	-	-	-	-	-	

Tabla 4. Distribución de especies, porcentajes (basado en conteos mínimos de 300 granos por muestra), e información sobre la afinidad botánica (• frecuencias menores a 0,5%).

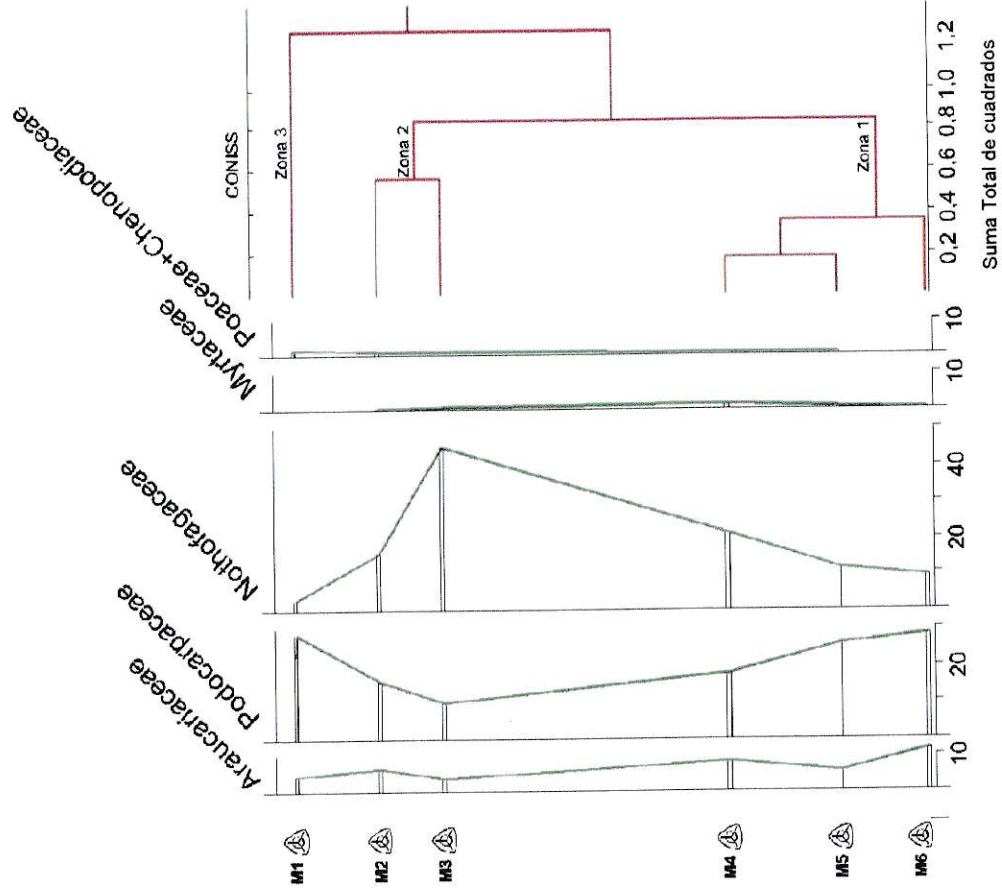


Figura 17: Diagrama polínico para cada una de las muestras analizadas y su agrupamiento en base a CONISS

DISCUSIÓN

ESTRATIGRAFÍA Y EDAD DE LA FORMACIÓN NAVIDAD

Se propone una columna estratigráfica para para los estratos de la Formación Navidad que afloran entre Punta Perro y Matanzas (Figura 13). Este modelo se basa en la correlación de las nueve columnas levantadas en terreno y el seguimiento de bancos de arena masiva, con espesores que oscilan entre 5 y 10 metros, niveles caracterizados por alta resistencia a la meteorización, fenómeno que favorece la erosión diferencial con las capas aledañas de la base y el techo. Estos niveles tienen amplia continuidad local a lo largo de los afloramientos entre Punta Perro, Las Brisas, Punta Alta y Matanzas y fueron usados como guía para levantar las secciones estratigráficas. Junto a la litología se asignaron las edades de Estroncio y Argón de acuerdo a su posición estratigráfica, las edades isotópicas y radiométricas muestran que las capas basales de la Formación Navidad tienen edades de 26 y 16 Ma, estas capas se localizan hacia la base de las secciones en Punta Perro y Matanzas. En las localidades de Las Brisas, Punta Alta y Pololos las capas con edades mas jóvenes ($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 16 y 12 Ma) estratigraficamente suprayacen de forma concordante las capas con edades de $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 26 y 16 Ma.

Varios autores han propuesto diferentes esquemas estratigráficos para la Formación Navidad (Brüggen, 1950; Cecioni, 1980; Chambers, 1985; Etchart, 1973; Fuenzalida & Varela, 1964; Gana et al., 1996; Steinmann,

1895; Tavera, 1979; Wall et al., 1996). Recientemente Encinas (2006), y Encinas et al. (2006) proponen un modelo estratigráfico donde correlacionan las formaciones de edad neógena desde Punta Topocalpa hasta Valparaíso, y la correlación entre estas formaciones se hace según la presencia de foraminíferos planctónicos de la zona N16-N19 que indican rangos de edad entre 4,6 y 10,9 Ma (Encinas, 2006; Encinas et al., 2006).

La posición estratigráfica de las dataciones isotópicas de Estroncio ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) en conchas de invertebrados de origen marino y dataciones radiométricas ($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$) en clastos de pómez, indica que los estratos basales presentan edades entre 26 y 20 Ma, mientras que los estratos de la parte media presentan edades entre 18 y 16 Ma y las capas del tope de la sucesión muestran edades entre 11 y 12 Ma. Esta concordancia entre las edades de Estroncio y Argón, junto con la posición estratigráfica, es una evidencia adicional que indica que en la Formación Navidad no se ha presentado retrabajo de los niveles inferiores, por el contrario muestra que al ascender en la columna estratigráfica se encuentran edades más jóvenes, situación contraria si se hubiera presentado retrabajo de unidades de edad antigua redepositadas en capas de edad más joven. La anterior evidencia indicaría que los foraminíferos planctónicos de la zona N16 y N19 habrían estado haciendo parte del registro fósil durante el Mioceno temprano en la Formación Navidad en Chile central.

AMBIENTE DE LA FORMACION NAVIDAD

Evidencia independiente proveniente de la presencia de hojas fósiles bien preservadas son compatibles sólo con ambientes litorales tranquilos como lagos, pantanos, lagunas y en menor proporción en playas protegidas, el registro de macrorrestos de invertebrados de aguas someras y de excelente preservación (Nielsen & Glodny, 2009) y la presencia de ondulitas de oleaje ascendentes a lo largo de toda la Formación Navidad (Figura 18) sugieren que estos depósitos se originaron *in situ* y entre 10 y 100 metros de profundidad (Achurra, 2004; Clifton, 1969; Clifton, 1973; Clifton & Phillisp, 1971; González Bonorino et al., 1988; McKee, 1957; Thompson, 1937; Cecioni, 1980; Etchart, 1973; Tavera, 1979). El contenido fosilífero de macrorrestos de invertebrados de la Formación Navidad es muy diverso, alcanzando 92 géneros dentro de los cuales el mayor número es de gastrópodos, seguido de bivalvos, y con un número reducido de formas se encuentran escafópodos, braquiópodos, cirripedios, equinoideos, antozoos, cefalópodos y cetáceos (Tavera, 1979). Sin embargo, estudios paleontológicos en microfósiles marinos habían indicado que la Formación Navidad presenta ostrácodos y foraminíferos de aguas profundas (Encinas et al., 2006; Martínez-Pardo & Valenzuela, 1979; Osorio, 1976). A partir de estos datos algunos autores concluyen que la Formación Navidad fue depositada en abanicos submarinos en profundidades batiales inferiores > 1500 metros y asumen procesos de retrabajo de unidades sedimentarias enteras (Encinas, 2006; Encinas et al., 2008; Nielsen & Glodny, 2009).

La más reciente interpretación del ambiente de depósito de la Formación Navidad (Encinas et al., 2006, 2008) no ha podido explicar bajo ningún proceso sedimentario la presencia de hojas fósiles y de invertebrados muy bien preservados, incluyendo bivalvos articulados. Adicionalmente el sedimento que se encuentra relleno de las cavidades de los fósiles es el mismo sedimento de la matriz que los contiene, corroborando esta interpretación.

Nuestro estudio palinológico indica una alta diversidad de palinomorfos de origen continental (99,72%), destacando la presencia de escamas de alas de mariposas, insectos (alas, patas, cabezas, tórax), hifas de hongos, restos de madera y cutículas de hojas.

Los conglomerados basales de la Formación Navidad son interpretados como depósitos marinos someros y a su vez son caracterizados como playas de bloques (Tavera, 1979). Suprayaciendo a esta unidad, Encinas, (2006) y Encinas et al. (2006) describen en detalle una sucesión de areniscas masivas, conglomerados, intercalación de arenas y fangolitas que muestran ciclos de Bouma, laminación paralela, brechas sinsedimentarias, deslizamientos, y desmoronamientos. Estas unidades son interpretadas como depositadas por flujos de gravedad, con corrientes turbidíticas y flujos de detritos arenosos (Encinas et al., 2006; Encinas et al., 2008). En este trabajo se identificaron ondulitas de oleaje ascendente a lo largo de toda la Formación Navidad, estas estructuras son originadas *in situ* y sólo se desarrollan en profundidades someras menores a 100 metros. En profundidades batiales inferiores no existe el efecto del oleaje.

Las faunas que muestran una mezcla de individuos de profundidades batiales con individuos de profundidades someras (Encinas et al., 2006; Martínez-Pardo & Valenzuela, 1979; Nielsen & Glodny, 2009; Osorio, 1976) podrían estar evidenciando el efecto de corrientes de surgencia oceánica y tsunamis, los cuales habría removido y transportado restos de materia orgánica de fondos marinos, restos que incluirían las faunas de origen marino profundo. Bajo estos mecanismos de transporte se habría depositado en zonas someras, junto con los ensambles de fósiles de origen marino somero y continental.

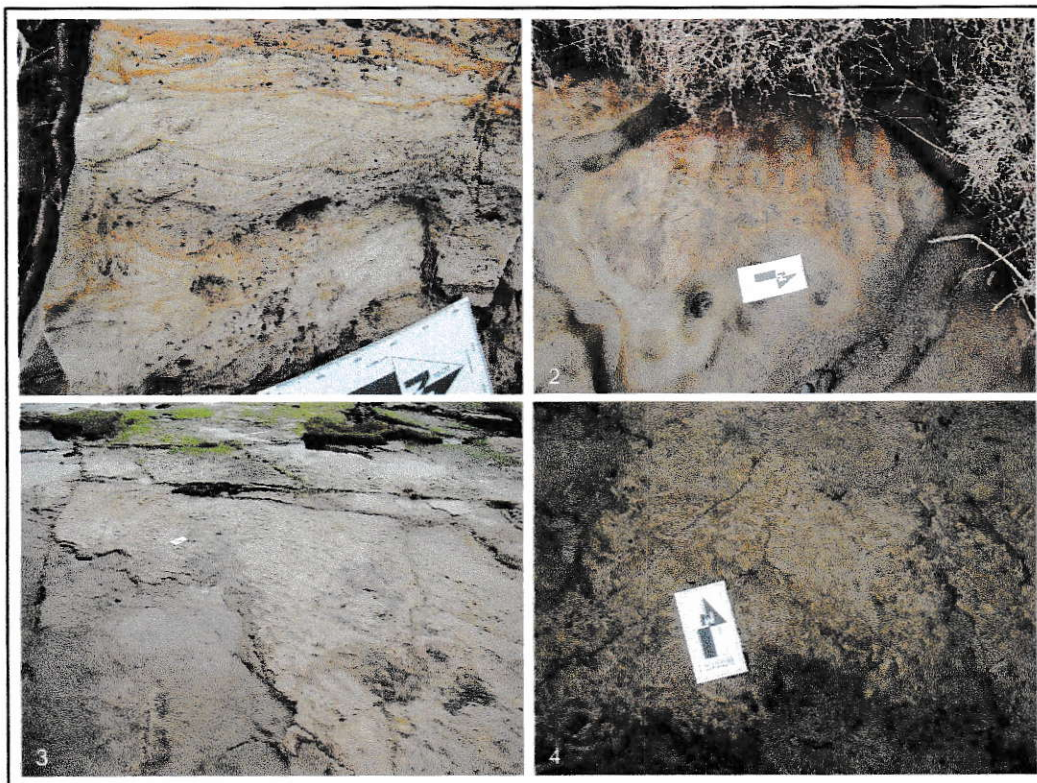


Figura 18: 1-3 Ondulitas de oleaje: 1: vista en sección de ondulitas de oleaje; 2 y 3 : Vista en planta de ondulitas de oleaje; 4: *Thalassinoides spp*

CAMBIOS FLORISTICOS Y CÁLCULO DE DIVERSIDAD PALINOLÓGICA EN LA FORMACIÓN NAVIDAD

El registro palinológico de las capas equivalentes a los niveles portadores de macrorrestos de hojas fósiles datadas entre Oligoceno tardío a Mioceno medio (26-16 Ma) indican que los registros paleobotánicos existentes (Hinojosa, 2005; Hinojosa, 2008; Troncoso, 1991; Troncoso & Romero 1993) coinciden con el presente registro palinológico, donde los microfósiles incluyen Podocarpaceae, Araucariaceae, Proteaceae, Myrtaceae y Nothofagaceae en las zonas I y II, taxa de origen gondwánico (Barreda, 2007; Romero, 1993). Junto a estos taxa se identificaron taxa de origen Neotropical como Anacardiaceae, Sapotaceae, Fabaceae, Bombaceae, que presentaron porcentajes <0,7% y taxa de origen australasiático con porcentajes <0,5% como Casuarinaceae (Barreda et al., 2007; Zamaloea et al., 2006). Esta combinación entre taxa de origen gondwánico, neotropical y australasiático sugiere un bosque mixto con *Nothofagus*. Sin embargo, en la zona III los taxa de Coníferas (Podocarpaceae y Araucariaceae) presentan aumentos significativos, pasando de 15% a 25% en Podocarpaceae, Araucariaceae se mantiene constante con porcentajes entre 5% y 10%, fenómeno que posiblemente está asociado a la tendencia al enfriamiento ocurrida a partir del OCMM, fenómeno que se ve acompañado a su vez por disminución en los taxa arbóreos. Los tipos polínicos afín con *Nothofagus* presentan frecuencias relativas que varían entre 9,7% y 44% durante el Oligoceno tardío-Mioceno medio (26-16 Ma). A partir de 16 Ma se inicia una disminución marcada de este taxa, pasando de 44% a 15,3% hasta llegar a

2,7% en muestras que cronoestratigráficamente se localizan entre 16 y 12 Ma y corresponden a la zona polínica III.

Durante este periodo y asociado a las perturbaciones climáticas del OCMM, se ha descrito la sucesión de dos paleofloras, un cambio de Flora Mixta a una Flora Subtropical Neógena (Hinojosa, 2005; Troncoso, 1991) ambas floras con requerimientos biológicos diferentes. La Flora Mixta requiere condiciones de alta humedad con precipitaciones medias anuales de 112,0 (+72,7;-44,1) cm y temperaturas entre $15,6 \pm 2,4$ ° C y $16,9 \pm 2,4$ ° C; La Flora Subtropical Neógena habría presentado condiciones cálidas y secas con temperaturas de $25,6 (\pm 2,1)$ °C y montos de precipitación media anual de 43,6 (+28,3;-17,2) cm (Hinojosa, 2005). La diferencia a nivel de macrorestos entre estas dos floras resulta del aumento de taxa neotropicales y la disminución de *Nothofagus* durante el Mioceno en la Formación Navidad, donde se pasa de cinco morfoespecies de *Nothofagus* presentes durante el Mioceno temprano en la localidad de Matanzas, a una sola morfoespecies durante el Mioceno medio a tardío, en las localidades de Pololos y Boca Pupuya (Hinojosa & Gutiérrez, 2009; Hinojosa, 2005; Hinojosa, 2008; Troncoso, 1991). A nivel de macrorrestos de coníferas en la Formación Navidad se registra una reducción en el número de coníferas, pasando de 5 especies durante el Mioceno temprano a solo 3 especies en los estratos superiores. Esta reducción es interpretada como disminución en los montos de precipitación producto del deterioro climático del Neógeno tardío, causado, a su vez, por la glaciación antártica y el enfriamiento de la corriente de Humboldt (Troncoso & Romero 1993).

Existe una disminución en riqueza de palinomorfos, pasando de riquezas estimadas de 99,71 durante el Oligoceno tardío-Mioceno temprano a una riqueza esperada de 94,4 durante el Mioceno medio alrededor de 16 Ma. Finalmente durante el intervalo posterior a los 16 Ma y previo a los 12 Ma (Mioceno temprano) la riqueza estimada es de 76,16. Esta disminución en diversidad a nivel de palinomorfos coincide con la disminución de taxa de macrorestos de hojas fósiles en la localidad de Navidad, donde la riqueza de especies de la Flora Mixta de Matanzas de edad oligocena tardía-miocena temprana pasa de 80 morfotipos a 60 en la flora del cerro los Pololos donde se habría desarrollado una Flora Subtropical Neógena (Hinojosa & Gutiérrez, 2009; Hinojosa, 2005; Hinojosa, 2008; Troncoso, 1991).

A las familias reconocidas por el registro paleobotánico se agregan las Asteráceas, Poáceas, Bombaceae, Sapotaceae (Barreda, et al., 2011).

Los estratos inferiores del bosque habrían estado dominados por Polypodiáceae y Blechnáceae con frecuencias entre 0,5 a 8,5%. Estas plantas habrían requerido condiciones ambientales húmedas y sombra para la fecundación y posterior crecimiento (Rodríguez, et al., 2009; Traverse, 1988). El sotobosque presentaría algunos helechos arborescentes como las Cyatheaceae y angiospermas herbáceas como Gunneraceae y Onagraceae (Barrera et al., 2011). Los taxa xéricos como Poácea, Chenopodeáceae, Fabáceae, Asteráceae habrían ocupado ambientes costeros salobres o parches abiertos en áreas intermedias (Barrera, 2007).

Los taxa polínicos afines a los actuales *Araucaria araucana* y *A. angustifolia* se encuentran juntos con frecuencias relativas de 1,3% y 7,3% durante el

Mioceno temprano y Mioceno medio. En la actualidad, estas son las únicas dos especies de la familia Araucariaceae presentes en Sudamérica (Enright et al., 1995).

IMPLICANCIAS REGIONALES

En la actualidad, en el sur de Sudamérica, los taxa de *Araucaria araucana* y *Araucaria angustifolia* se encuentran separados por la diagonal árida “DA” (Hinojosa & Villagrán, 2005a; Troncoso et al., 1980; Villagrán & Hinojosa, 1997). Hacia el este de la barrera biogeográfica Los bosques de *Araucaria angustifolia* se localizan en Argentina (Misiones), Brasil (Minas Gerais, Paraná, Río de Janeiro) y Paraguay (Farjon, 2006), hacia el oeste de la DA la distribución de los bosques de *Araucaria araucana* se divide entre un área principal a ambos lados de la Cordillera de los Andes que separa a Chile de Argentina, y dos poblaciones disyuntas en la Cordillera de la Costa en Chile (González, 2006). La presencia de palinomorfos afines a *Araucaria araucana* y *Araucaria angustifolia* en los registros palinológicos durante el Mioceno temprano implica que estos dos taxa habrían formado parte de la Flora Mixta de Chile central, la cual tuvo una distribución amplia en las áreas centrales de Chile y Argentina durante el Oligoceno-Mioceno temprano (Troncoso & Romero, 1993). La evolución de la Paleoflora Subtropical Neógena durante el Mioceno medio y tardío habría desmembrado esta flora de mezcla provocando la actual disyunción en la distribución actual de la familia Araucariaceae en el cono sur de Sudamérica. La presencia de granos de polen de esta familia en estratos más jóvenes puede interpretarse como una

condición relictual de los bosques de *Araucaria* en la Flora Subtropical Neógena, condición que se habría favorecido por la influencia oceánica en la costa de Chile central (Hinojosa, 2005; Hinojosa & Villagrán, 2005; Villagrán & Hinojosa, 1997).

CONCLUSIONES

El análisis en conjunto de todos los datos, paleobotánicos, sedimentológicos y paleontológicos indican que la Formación Navidad fue depositada en zonas litorales en una plataforma deltaica de baja profundidad, menor a 100 m.

Dataciones $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ en invertebrados marinos y $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ en clastos de pómez indican que una edad basal de la Formación Navidad de 26-20 Ma (límite Oligoceno tardío -Mioceno temprano) y una edad $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 12.87 +/- 0.50 Ma en clastos de pómez para el techo de la formación (Mioceno tardío).

Según los antecedentes paleoambientales anteriormente discutidos, nuestros registros en la Formación Navidad en Chile central, de edad Mioceno temprano a Mioceno medio (23 Ma-16 Ma) sugieren que los cambios evidenciados a nivel de palinomorfos coinciden con los cambios mostrados a nivel de microfósiles de hojas propuestos en los modelos fitogeográficos para el sur de Sudamérica, con la sucesión de Floras Mixtas a Subtropical Neógena durante el Mioceno de Chile central (Hinojosa, 2005; Hinojosa et al., 2006; Hinojosa & Villagrán, 1997; Hinojosa & Villagrán, 2005b).

En términos de composición, existen diferencias, destacándose la presencia de taxa de origen gondwánico como Podocarpaceae, Araucariaceae, Proteaceae, Myrtaceae y Nothofagaceae, junto con taxa de origen

neotropical como Anacardiáceae, Sapotáceae, Fabáceae y Bombáceae, indicando un carácter fitogeográfico de Flora Mixta con requerimientos ambientales húmedos. Sin embargo, el aumento de coníferas sugiere que este bosque mixto ya habría iniciado una tendencia a al enfriamiento posterior al calentamiento de el Mioceno medio, proceso que también se corrobora según la drástica disminución de *Nothofagidites* sp. alrededor de los 12 Ma pasando de frecuencias relativas de 45% a frecuencias relativas de 2,7% después de los 16 Ma ($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$). A nivel de palinomorfos, los niveles basales de edad oligocena tardía-miocena temprana a Mioceno medio 23 Ma – 16 Ma (Zona I y Zona II) registran niveles de riqueza entre 72 y 60 morfoespecies respectivamente, valores mayores comparados con la riqueza de 45 morfoespecies registradas en la zona III. Esta última zona se localiza estratigráficamente en niveles más jóvenes, de edad miocena tardía alrededor de 14 a 12 Ma.

Los cambios de vegetación inferidos a partir de la Formación Navidad sugieren una tendencia al enfriamiento en el sector costero de Chile central, fenómeno que se correlaciona con una tendencia similar en registros marinos de $\delta^{18}\text{O}$ (Zachos et al., 2001) este proceso de enfriamiento estaría ligado a la disminución en los montos de precipitación ocurridos después del Mioceno medio (Hinojosa, 2005; Hinojosa & Villagrán, 1997).

BIBLIOGRAFÍA

- Achurra, L., 2004, Cambios del nivel del mar y evolución tectónica de la cuenca Neógena de Caldera, III Región.: Tesis de Magister, Departamento de Geología de la Universidad de Chile, Santiago, v. 138.
- Arroyo, M., L. A. Cavieres, A. Peñaloza, M. Riveros, and A. M. Faggi, 1996, Relaciones fitogeográficas y patrones regionales de riqueza de especies en la flora del bosque lluvioso templado de Sudamérica, *in* J. J. Armesto, C. Villagrán, and M. T. K. Arroyo, eds., *Ecología de los Bosques Nativos de Chile*: Santiago, Comité de Publicaciones Científicas, Vicerrectoría Académica, Universidad de Chile. Editorial Universitaria, p. 71-99.
- Barreda, V., L. Anzotegui, A. Prieto, P. Aceñalozza, M. Bianchi, A. Borromei, M. Brea, M. Caccavari, G. Cuadrado, S. Garralla, S. Grill, G. Guerstein, A. Lutz, M. Mancini, L. Mautino, E. Ottone, M. Quattrocchio, E. Romero, M. Zamalozza, and A. Zucol, 2007, Diversificación y cambios de las angiospermas durante el Neógeno en Argentina: Ameghiniana, v. Publicación especial 11. 50º Aniversario, p. 173-191.
- Barreda, V., L. Palazzesi, and S. Marensi, 2009, Palynological record of the Paleogene Río Leona Formation (southernmost South America): Stratigraphical and paleoenvironmental implications: Review of Palaeobotany and Palynology, v. 154, p. 22-33.
- Brown, J. H., S. K. M. Ernest, J. M. Parody, and J. P. Haskell, 2001, Regulation of diversity: maintenance of species richness in changing environments. : *Oecologia* v. 126, p. 321-332.
- Brüggen, J., 1950, *Fundamentos de la Geología de Chile*: Santiago, Chile, Instituto Geográfico Militar, 374 p.
- Calcote, R., 1995, Pollen source area and pollen productivity-evidence from forest hollows.: *Journal of Ecology*, v. 83.
- Cecioni, G., 1980, Darwin's Navidad Embayment, Santiago Region, Chile, as a model of the southeastern Pacific shelf: *Journal of Petroleum Geology*, v. 2, p. 309-321.
- Clifton, H. E., 1969, Beach lamination: Nature and origin: *Marine Geology*, v. 7, p. 553-559.
- Clifton, H. E., 1973, Pebble segregation and bed lenticularity in wave-worked versus alluvial gravel: *Sedimentology*, v. 20, p. 173-187.
- Clifton, H. E., R. E. Hunter, and R. L. Phillips, 1971, Depositional structures and processes in the non-barrier high-energy nearshore: *Sedimentary Petrology*, v. 41, p. 651-670.
- Conn, H., A. Olivares, E. González, C. Espinoza, J. Seguel, P. Alvarez, M. C. López, S. Vogel, J. C. Prevot, and X. de Gramont, 1993, *Proyecto Carta Metalogénica Regiones V/IV sur*: Servicio Nacional de Geología y

- Minería/Bureau de Recherches Géologiques et Minières, v. (Informe Registrado No. 2, IR-9402), 8 Vols.
- Chambers, J. M., 1985, Sedimentology of the Miocene-Pliocene Navidad Formation, Central Chile: Magister thesis, Ohio State University USA.
- Darwin, C., 1900, Geological Observations on the Volcanic Islands and Parts of South America Visited During the Voyage of the H.M.S. Beagle, London, Ward, Lock, and Co.
- Davis, M. B., 1963, On the theory of pollen analysis: American Journal of Science, v. 261, p. 897-912.
- Encinas, A., 2006, Estratigrafía y Sedimentología de los Depósitos Marinos Mio-pliocenos del Area de Navidad (33°00'-34°30'S), Chile Central. Implicaciones con Respecto a la Tectónica del Antearco: Doctorado thesis, Universidad de Chile, Santiago, Chile, 177. p.
- Encinas, A., K. L. Finger, S. N. Nielsen, A. Lavenu, L. A. Buatois, D. E. Peterson, and J. P. Le Roux, 2008, Rapid and major coastal subsidence during the late Miocene in south-central Chile: Journal of South American Earth Sciences, v. 25, p. 157-175.
- Encinas, A., J. P. Le Roux, L. A. Buatois, S. N. Nielsen, K. L. Finger, E. Fourtanier, and A. Lavenu, 2006, New stratigraphic scheme for the Mio-Pliocene marine deposits of the Navidad area (33°00'-34°00' S), central Chile: Revista Geologica de Chile, v. 33, p. 221-246.
- Enright, N. J., and R. S. Hill, 1995, Ecology of the Southern Conifers: Melbourne University Press., p. 342.
- Etchart, H., 1973, Geología del Area San Enrique-Bucalemu, Provincia de Santiago: Memoria de Título thesis, Universidad de Chile, Departamento de Geología, Santiago, 176 p.
- Farjon, A., 2006, *Araucaria angustifolia*, IUCN 2010. IUCN Red List of Threatened Species, www.iucnredlist.org.
- Fuenzalida, H., and J. Varela, 1964, Geología del Cenozoico de la región de Cartagena y San Antonio: Actas Primer Congreso Geológico Chileno v. Resúmenes, 6, p. 17-18.
- Gana, P., R. Wall, and A. Gutierrez, 1996, Mapa geológico del área Valparaíso-Curacaví, regiones de Valparaíso y Metropolitana. , in Sernageomín, ed., Santiago, Chile.
- González Bonorino, G., G. Rafine., V. Vega., and D. Guerin., 1988, Ambientes de plataforma nerítica dominada por tormentas en la sección glaciogénica del Grupo Tepuel (Paleozoico superior), en las sierras de Tepuel y de Tecka, Chubut noroccidental, Argentina: Revista de la Asociación Geológica Argentina, v. 43, p. 239-252.
- González, M., 2006, Coníferas chilenas: *Araucaria araucana*. Las especies arbóreas de los bosques templados de Chile y Argentina. Autoecología. C. Donoso (Ed.): Marisa Cuneo Ediciones, Valdivia, Chile.
- Gregory-Wodzicki, K. M., 2000, Uplift history of the central and northern Andes: A review: Geological Society of America Bulletin, v. 112, p. 1091-1105.
- Hervé, F., F. Munizaga, M. A. Parada, M. Brook, R. Pankhurst, N. Snelling, and R. Drake, 1988, Granitoids of the Coast Range of Central Chile: Geochronology and geological setting: Journal of South American Earth Sciences, v. 1, p. 185-194.

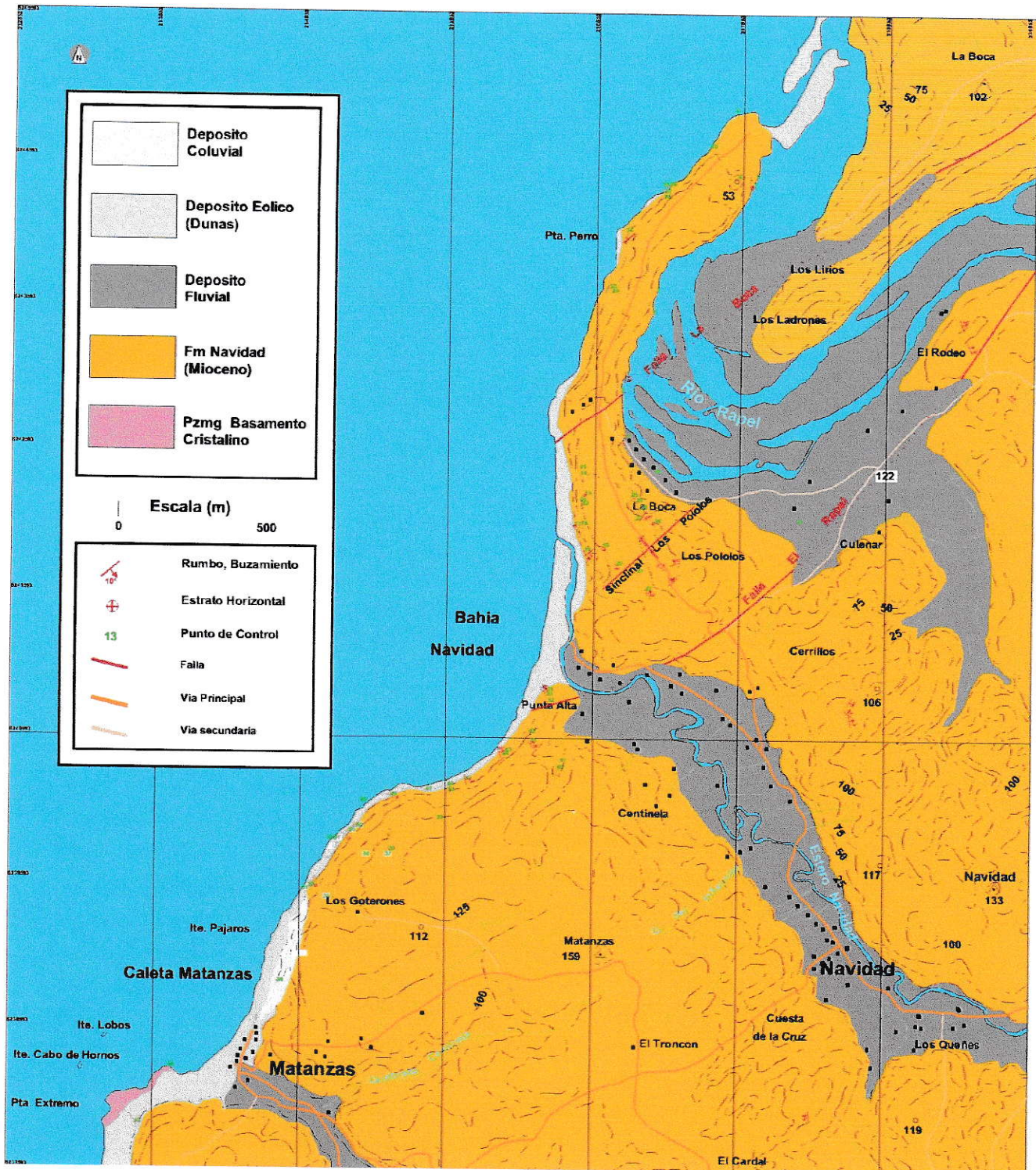
- Heusser, J. C., 1971, Pollen and Spores of Chile. Modern Types of the Pteridophyta, Gymnospermae, and Angiospermae., v. Tucson, USA, The University of Arizona Press, p. 167.
- Hinojosa, L., and N. Gutiérrez, 2009, Cambio climático y diversidad: El caso de la Formación Navidad, Mioceno de Chile central Actas del XII Congreso Geológico Chileno. Santiago, Chile, p. S10-021.
- Hinojosa, L. F., 2003, Fisionomía Foliar y Clima de las Paleofloras Mixtas del Terciario de Sudamérica.: Doctorado thesis, Universidad de Chile, Santiago, 174 p.
- Hinojosa, L. F., 2005, Climatic and vegetational changes inferred from Cenozoic southern South America paleoflora: *Revista Geologica de Chile*, v. 32, p. 95-115.
- Hinojosa, L. F., 2008, Does climatic changes imply biodiversity changes? The case of the Navidad Formation (Neogene), Central Chile, South America: Abstract Volumen IPC/IOPC. Bonn, Germany.
- Hinojosa, L. F., J. J. Armesto, and C. Villagran, 2006, Are Chilean coastal forests pre-Pleistocene relicts? Evidence from foliar physiognomy, palaeoclimate, and phytogeography: *Journal of Biogeography*, v. 33, p. 331-341.
- Hinojosa, L. F., and C. Villagrán, 1997, Historia de los bosques del sur de Sudamérica, I: antecedentes paleobotánicos, geológicos y climáticos del Terciario del cono sur de América: *Revista Chilena de Historia Natural*, v. 70, p. 225-239.
- Hinojosa, L. F., and C. Villagrán, 2005, Did South American Mixed Paleofloras evolve under thermal equability or in the absence of an effective Andean barrier during the Cenozoic?: *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, v. 217, p. 1-23.
- Ibaraki, M., 1992, Geologic age of biosiliceous sediments in Peru and Chile based upon planktonic foraminifera: *Revista Geologica de Chile*, v. 19, p. 61-66.
- Jaramillo, C., D. Ochoa, L. Contreras, M. Pagani, H. Carvajal-Ortiz, L. M. Pratt, S. Krishnan, A. Cardona, M. Romero, L. Quiroz, G. Rodriguez, M. J. Rueda, F. de la Parra, S. Morón, W. Green, G. Bayona, C. Montes, O. Quintero, R. Ramirez, G. n. Mora, S. Schouten, H. Bermudez, R. Navarrete, F. Parra, M. Alvarán, J. Osorno, J. L. Crowley, V. Valencia, and J. Vervoort, 2010a, Effects of Rapid Global Warming at the Paleocene-Eocene Boundary on Neotropical Vegetation: *Science*, v. 330, p. 957-961.
- Jaramillo, C., M. J. Rueda, and F. de la Parra, 2010b, A morphological electronic database of Cretaceous-Tertiary and extant pollen and spores from northern South America: Sponsored by Colombian Petroleum Institute-Ecopetrol S.A., Smithsonian Tropical Research Institute, and the Smithsonian National Museum of Natural History.
- Jaramillo, C., M. J. Rueda, and G. Mora, 2006, Cenozoic plant diversity in the Neotropics: *Science*, v. 311, p. 1893-1896.
- Le Roux, J. P., and G. Vargas, 2005, Hydraulic behaviour of tsunami backflows: insights from their modern and ancient deposits: *Environmental Geology*, v. 49, p. 65-75.
- Markgraf, V., and H. D'Antoni, 1978, Pollen Flora of Argentina: Modern Pollen and Spore Types of Pteridophyta, Gymnospermae, and Angiospermae: University of Arizona Press: Tucson 208 p.

- Martínez-Pardo, R., 1990, Major Neogene events of Southeastern Pacific: the Chilean and Peruvian record: *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 77, p. 263-278.
- Martínez-Pardo, R., and M. Valenzuela, 1979, Discoasteridos de la Formación Navidad (emend. Etchart, 1973), en Punta Perro, Provincia de San Antonio, Chile: Segundo Congreso Geológico Chileno, Arica, Chile, p. H77-H101.
- McArthur, J. M., and R. J. Howarth, 2004, Sr-isotope stratigraphy: the Phanerozoic $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -curve and explanatory notes: F. Gradstein, J. Ogg and A.G. Smith, Editors, *A Geological Timescale*, v. 7, p. 589.
- McArthur, J. M., R. J. Howarth, and T. R. Bailey, 2001, Strontium isotope stratigraphy: LOWESS Version 3. Best-fit line to the marine Sr-isotope curve for 0 to 509 Ma and accompanying look-up table for deriving numerical age: *Journal of Geology*, v. 109, p. 155-169.
- McKee, E. D., 1957, Primary structures in some Recent sediments [U.S. and Mexico]: *AAPG Bulletin*, v. 41, p. 1704-1747.
- Méon, H., T. Torres, and R. Martínez-Pardo, 1994, Sporopollinic analysis in the Navidad Formation near Navidad (Chile): 7° Congreso Geológico Chileno, Concepción, Chile, p. 488-490.
- Mittermeier, R. A., P. R. Gil, M. Hoffmann, J. Pilgrim, T. Brooks, C. G. Mittermeier, J. Lamoreux, and G. A. B. Da Fonseca, 2004, Hotspots revisited: Earth's biologically richest and most endangered terrestrial ecoregions: Cemex-Agrupación Sierra Madre, Mexico City, Mexico.
- Muñoz-Cristi, J., 1962, Comentarios sobre los granitos chilenos: *Publicación de la Sociedad Geológica de Chile*, v. 2, p. 15-19.
- Muñoz-Cristi, J., 1964, Estudios petrográficos y petrológicos sobre el Batolito de la Costa de las provincias de Santiago y Valparaíso: *Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas*, v. Anales 20-21, p. 9-93.
- Nielsen, S. N., and J. Glodny, 2009, Early Miocene subtropical water temperatures in the southeast Pacific: *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 280, p. 480-488.
- Odgaard, B. V., 1999, Fossil pollen as a record of past biodiversity.: *Journal of Biogeography*, v. 26, p. 7-71.
- Oslick, J. S., K. G. Miller, and M. D. Feigenson, 1994, Oligocene-Miocene strontium isotopes: stratigraphic revisions and correlations to an inferred glacioeustatic record: *Paleoceanography*, v. 9, p. 427-423.
- Osorio, R., 1976, Edad de la base de la Formación Navidad en Punta Perros: Primer Congreso Geológico Chileno, Santiago, Chile, p. C59-C66.
- Punt, W., P. P. Hoen, S. Blackmore, S. Nilsson, and A. Le Thomas, 2007, Glossary of pollen and spore terminology: Review of Palaeobotany and Palynology, v. 143, p. 1-81.
- Raine, J. I., D. C. Mildenhall, and E. M. Kennedy, 2008, *New Zealand Fossil Spores and Pollen: an Illustrated Catalogue: 3rd Edition. GNS Science Miscellaneous Series no. 4.* www.gns.cri.nz/what/earthhist/fossils/spore_pollen/catalog/index.htm.
- Riccardi, A. C., and E. O. Rolleri, 1980 Cordillera Patagónica Austral, in J. C. M. Turner, ed., *Geología Regional Argentina*, Academia Nacional de Ciencias, v. 2: Córdoba, p. 1173-1306.

- Romero, E. J., 1978, Paleoecología y paleofitogeografía de las tafofloras del Cenofítico de Argentina y áreas vecinas: *Ameghiniana*, v. 15, p. 209-227.
- Romero, E. J., 1986a, Fossil evidence regarding the evolution of *Nothofagus* Blume: *Annals of the Missouri Botanical Gardens*, v. 73, p. 276-283.
- Romero, E. J., 1986b, Paleogene phytogeography and climatology of South America: *Annals of Missouri Botanical Gardens*, v. 73, p. 449-461.
- Romero, E. J., 1993, South American floras. In *Biological Relationships Between Africa and South America*: P. Goldblatt (Ed.) Yale University Press, p. 62-85.
- Silvertown, J., 1985, History of a latitudinal diversity gradient: woody plants in Europe 13,000–1000 years B.P: *Journal of Biogeography*, v. 12, p. 519–525.
- Steinmann, G., 1895, Das Auftreten und Alter der Quiriquina-Schichten: *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paläontologie, Beilage Band v. 10*, p. 1-31.
- Stephen, T. J., and T. Alfred, 1994, Pollen and spores in Quaternary lake sediments as sensors of vegetation composition: theoretical models and empirical evidence sedimentation of organic particles, Cambridge University Press.
- Sugita, S., 1994, Pollen representation of vegetation in Quaternary sediments theory and method in patchy vegetation: *Journal of Ecology*, v. 82, p. 881-897.
- Tavera, J., 1979, Estratigrafía y paleontología de la Formación Navidad, Provincia de Colchagua, Chile: *Boletín Museo Historia Natural*, v. 36, p. 176.
- Thompson, W. O., 1937, Original structures of beaches, bars, and dunes: *Geological Society of America Bulletin*, v. 48, p. 723-751.
- Traverse, A., 1988, *Paleopalynology* Unwin/Hyman Ltd., U.K., , p. 600.
- Troncoso, A., 1991, Paleomegafloora de la Formación Navidad, miembro Navidad (Mioceno), en el área de Matanzas, Chile central occidental: *Boletín Museo Nacional de Historia Natural, Chile*, v. 42, p. 131-168.
- Troncoso, A., and E. J. Romero, 1998, Evolución de las comunidades florísticas en el extremo sur de Sudamérica durante el Cenofítico, in R. Fortunato, and N. Bacigalupo, eds., *Proceedings of the Congreso Latinoamericano de Botánica*, Nº 6, v. 68, *Monographs in Systematic Botany from the Missouri Botanical Garden*, p. 149-172.
- Troncoso, A., C. Villagran, and M. Munoz, 1980, Una nueva hipótesis acerca del origen y la edad del bosque de Fray Jorge (Coquimbo, Chile): *Boletín Museo Nacional de Historia Natural*, v. 37, p. 117-152.
- Villagrán, C., and L. F. Hinojosa, 1997, Historia de los bosques del sur de Sudamérica, II: Análisis fitogeográfico: *Revista Chilena de Historia Natural*, v. 70, p. 241-267.
- Wall, R., P. Gana, and A. Gutiérrez, 1996, Mapa Geológico del Area de San Antonio-Melipilla, Regiones de Valparaíso, Metropolitana y del Libertador General Bernardo O'Higgins: Servicio Nacional de Geología y Minería, *Mapas Geológicos*, No. 2, (1:100.000).
- Weng, C., H. Hooghiemstra, and J. F. Duivenvoorden, 2007, Response of pollen diversity to the climate-driven altitudinal shift of vegetation in the Colombian Andes: *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, v. 362, p. 253–262
- Wilf, P., K. R. Johnson, N. R. Cuneo, M. E. Smith, B. S. Singer, and M. A. Gandolfo, 2005, Eocene plant diversity at Laguna del Hunco and Rio Pichileufu, Patagonia, Argentina: *American Naturalist*, v. 165, p. 634-650.

- Zachos, J., M. Pagani, L. Sloan, E. Thomas, and K. Billups, 2001, Trends, rhythms, and aberrations in global climate 65 Ma to present: *Science*, v. 292, p. 686-693.
- Zamaloa, M. D., M. A. Gandolfo, C. C. Gonzalez, E. J. Romero, N. R. Cuneo, and P. Wilf, 2006, Casuarinaceae from the Eocene of Patagonia, Argentina: *International Journal of Plant Sciences*, v. 167, p. 1279-1289.

ANEXO 1



Mapa geológico de la Formación Navidad en la localidad de Punta Perro-Matanzas.

ANEXO 2

A continuación se describen morfológicamente cada uno de los tipos polínicos recuperados en la Formación Navidad, a su vez se señala la afinidad botánica de cada palinomorfo.

Angiospermas:

***Polyadopollenites* sp. (Fabáceae Mimosoideae Acacia)** Poliada, inaperturado, circular a elíptico en vista polar, probablemente del orden >16 granos de individuos, peroblado, tectado, diámetro en vista polar (47*39 µm).

***Syncolporites* sp. (Myrtaceae)** Mónada, isopolar, tricolporado (angulaperturado) Endoaperturado (5,34 µm de longitud en vista polar) escabrado, forma triangular, obtuso, convexo.

***Inaperturopollenites* sp. 1** Mónada, inaperturado, radial, isopolar, baculado (2,15micras long) alta densidad de báculas, tectado, 19 µm de diámetro.

***Inaperturopollenistes* sp. 2** Mónada, circular, inaperturado báculas (murus) de 2,75 µm dispuestas en forma reticular positiva.

***Bombacacidites* sp. (Bombacaceae)** Mónada, triangular-obtuso-convexo, triporado-planaperturado, poros lolongados, semitectado-clavado.

***Scabraperiporites* sp. 1 (Chenopodiaceae)** Mónada, radial, isopolar, 22,29 µm de diámetro grano escabrado, pantoporado poros simples circulares.

***Scabraperiporites* sp. 2 (Chenopodiaceae)** Mónada, esférica 14 µm diámetro, pantoporado, poros circulares de 0.5 µm de diámetro.

***Clavainaperturites* sp. 1 (Chloranthaceae):** Mónada, elíptico, inaperturado, operculado (opérculo suturado en zona ecuatorial) semitectada clavado.

***Clavainaperturites* sp. 2 (Chloranthaceae):** Mónada, inaperturado, elíptico (20,7*17,4µm), semitectado clavado.

***Corsinipollenites* sp. (Onagraceae):** Mónada, triangular-obtusa-convexo, triporado oculado (10,69 µm), tectado foveolado.

***Echiperiporites* sp. (Malvaceae):** Mónada, esférica, circular, periporado, poros pequeños, la exina tiene equinas grandes, tamaño del grano (26.9*26.9 µm) espesor exina 3,3 µm.

***Nothofagidites* sp.** Mónada, radial, circular, estefanoporado, 5-9 poros anulados, lolongados (4,57*5,3 µm) intectado escarbado.

***Inaperturopollenites* sp. 3** Mónada, prolado (35.7*25.2 µm), inaperturado, exina intectada-estriada.

***Foveomonocolpites* sp.** Mónada, subprolado, monosulcado, intectado foveolado-fosulado, tamaño (27,87*21,15 µm).

***Proteacidites* sp. 1** Mónada, triangular-obtuso-concavo, radial, intectado-reticulado negativo, tricolporado, colpos con atrio.

***Haloragacidites* sp. (Casuarinaceae)** Mónada, cuadrangular-obtuso-recto, tectado-escabrado, tetraporado (ectoporado).

***Inaperturopollenites* sp. 4 (Sparganiaceae)** Mónada, circular, radial, isopolar, intectado-reticular (positivo) inaperturado, diametro 16,78 µm.

***Dicolpopollis* sp.** Mónada, prolado, elíptico, Intectado-baculado, dicolpado, tamaño del grano (18,9*16,9 µm).

***Tricolpites* sp. (Gunneraceae)** Mónada, radial, trilobada, exina tectada-foveolada, aperturas tricolpadas en forma de "v" ancho del colpo 10,11 µm, longitud en vista polar 11,97 µm.

***Monosulcites* sp. 1** Mónada, radial-anisopolar, semitectado-verrucado, monosulcado, tamaño (60*48 μm) ancho exina 2,59 μm .

***Monosulcites* sp. 2** Mónada, elíptico en vista polar, exina intectada fosulada, apertura monocolpado, tamaño (23,57*16,49 μm).

***Monosulcites* sp. 3** Mónada, anisopolar, elíptica en vista polar, exina intectado-foveolado, apertura monocolpado (ancho colpo 7,12 μm ancho pared colpo 3,09 μm).

***Monoporopollenites* sp. (Poaceae)** Mónada, bilateral, anisopolar, circular, intectado-escabrado, apertura monoporado, poro circular con annulus.

***Syncolporites* sp. 2 (Myrtaceae)** Mónada, radial, isopolar, triangular-obtusa-recto, tricolporado, los colpos delimitan un zona triangular apocolpial, colpo corto, 5,18 μm , ancho exina 1,07 μm .

***Syncolporites* sp. 3 (Myrtaceae)** Mónada, radial triangular-obtuso-concavo, intectado-escabrado, tricolporado, ancho poro 1,74 μm .

***Scabraperiporites* sp.** Mónada, radial, triangular-obtuso-convexo, tectado-escabrado, apertura pantoporado, 8 poros circulares de 6 μm de diametro.

***Proteacidites* sp. 2 (Proteaceae)** triangular-obtuso-convexo, tectado perforado, triporado, poros circulares de 3,64 μm de diametro, ancho exina 1,03 μm , tamaño de grano 21,79 μm de long.

***Proteacidites* sp. 3 (Proteaceae).** Mónada, radial, triangular-obtuso-straight, exina semitectada-reticulada (positivo) ancho exina 1,04 μm , triporado, poros circulares 3,92 μm diametro.

***Psilatirporites* sp.1 (Celtidaceae)** Mónada, esférica, circular, isopolar, exina intectada-psilada, tricolporado lolongado, poros elípticos (2,49*1,38 μm).

Retipollenites sp. Mónada, radial, triangular-obtuso-straight, exina semitectada-reticular (negativo) inaperturado, tamaño medio (25 μm long).

Inaperturopollenites sp. 5 Mónada, bilateral, exina tectada equinada con base reticulada, log equina (3,25 μm) inaperturado, tamaño grano 41,09*30,57 μm .

Retitricolpites sp. 1 Mónada, prolado, trilobado, exina semitactado-reticulado, en la parte central del reticulo se observa microperforado, tamaño 20,73*19,26 μm , long de colpo 8,43 μm * ancho 1,77 μm .

Psilatricolporites sp. 1 (**Sapotaceae**) Mónada, radial, isopolar, exina tactada-psilada, tricolporado (endoporos anulados y lolongados).

Tetracolporiopollenites sp. (**Sapotaceae**) Mónada, radial, isopolar, exina intectado-Psilado, estefanocolporado (4) poros elípticos lalongados, (3,24*2,44 μm).

Clavatricolpites sp. (**Aquifoliaceae**) Mónada, trilobada, oblado, anisometrico, exina intectado-clavado, tricolpado, long colpo 1,19*1,64 μm , tamaño de grano 17,76* 23,23 μm .

Foveotricolpites sp. Mónada, trilobada, oblado, isometrico, exina tectado-foveolado, tricolpado, colpos de 11,75* 1 μm , tamaño del grano 19,82*20,15 μm .

Psilatricolpites sp. Mónada, radial trilobada, prolada, exina intectada-psilada, tricolpado, grano pequeño 12,85 μm de diametro en vista polar.

Illexpollenites sp. (**Aquifoliaceae**) Mónada, prolado, circular, radial, isopolar, exina intectado-clavado, tricolporado, colpos conspicuos 3,7 μm de ancho, endoporos lolongados, tamaño de grano 35,05*17 μm .

***Striatricolporites* sp. 1 (Anacardiaceae)** Mónada, prolado, tectado estriado columelas, tricolporado, colpos incospicuos long 23,4 μm , endoporos lalongados con aspis (2,93 μm), tamaño poro 7,92*5,03 μm , tamaño grano 29,88*22,57 μm .

***Striatricolporites* sp. 2 (Anacardiaceae)** Mónada, radial, isopolar, prolado, exina tectado-estriado, tricolporado, poros sencillos sin engrosamiento, lalongados elípticos, ectoporos y ectocolpo, tamaño colpo 16,12*5,78 μm , tamaño de grano grande, 61,4*45,14 μm .

***Foveotricolporites* sp. 1** Mónada, radial, isopolar, prolado, exina tectado-foveolado, tricolporado, poros con engrosamiento en la zona polar (tipo aspis) endoporo, long poro 4,01 μm , long colpo 18,43 μm , tamaño de grano 25,42*17,43 μm .

***Foveotricolporites* sp. 2** Mónada, radial, isopolar, prolado, exina tectado-foveolado, tricolporado, poro elíptico lalongado tamaño grano 25,04*17,11 μm .

***Psilatricolporites* sp. 2 (Sapotaceae)** Mónada, radial, isopolar, prolado, exina inatectado-psilado, tricolporado, poros lalongados elípticos (3,98*1,97), longitus colpo 16,32 μm , tamaño grano 23,66*19,17 μm .

***Retitricolpites* sp. 2** Mónada, radial, esférico, exina tactado-reticulado (negativo), tricolporado, colpos circulares (2,92 μm), colpo (22,71*1,29 μm) la ornamentación reticulada se hace difusa cerca a las aperturas.

***Rugotricolporites* sp.** Mónada, prolado, circular, radial isométrico, exina tectada-rugulada, tricolporado (endoporo) poro elíptico lalongado (5,31*3,56 μm) colpo (endocolpo) 22,5*1,7 μm , tamaño de grano 32,67*25,99 μm .

***Echitriporites* sp. (Proteaceae)** Mónada, radial, oblado, triangular-obtusostaight, exina intectado-equinado, triporado, ancho de poro 3,13 μm .

***Retitriporites* sp.** Mónada, esférica, circular, exina semitectada-reticular (retículo positivo) triporado, poros circulares (2,18 μm) tamaño de grano 20,11 μm .

***Verrustephanocolpites* sp.** Mónada, esférica, circular, exina intectada, escultura verrugada, apertura pantocolpado, longitud de colpo 5,54 μm , tamaño micra 15 μm de diámetro.

GIMNOSPERMAS:

***Araucariacites* sp. 1 (Araucariaceae, *Araucaria angustifolia*)** Mónada, Peroblada, Inaperturado, esférica, Escabrado, 20 μm de diámetro, (muy plegado).

***Podocarpidites* sp. 1 (Podocarpaceae, *Podocarpus*)** Mónada, Bisacado, saci rugulado dendritico, long saci 12,85 μm , ancho saci 22,61, dimensiones parte central 16,25*22,17 μm , tectado, cuerpo rugulado, saci rugulado forma dendritica.

***Araucariacites* sp. 2 (Araucariaceae, *Araucaria araucana*):** Mónada, peroblate, elíptico, exina intectada-escabrado, inaperturado diámetro 40,94 μm , granos de aspecto plegado.

***Araucariacites* sp. 3 (Araucariaceae)** Mónada, peroblado, circular, intectado-rugulado (exina 1,23 μm) inaperturado, tamaño del grano (29,76*25,24 μm).

***Lygistepollenites florinii* (Cookson & Pike Stover & Partridge)** (Podocarpaceae, *Dacrydium*) Grano monosacado, tectado-escabrado,

tamaño del saccus 8,37 μm , grosor de la exina 2,48 μm , diametro grano 26,45 μm .

***Podocarpidites* sp. 2 (Podocarpaceae, Dacrydium)** Mónada, anisopolar, exina tectado-rugulado, grano monosacado, saccus localizado en la zona proximal del grano.

***Podocarpidites* sp. 3 (Podocarpaceae, Myrocachrys):** Mónada, radial, anisopolar, triangular-obtuso-convexo, tectado-rugulado, Trisaccate, grano mediano con sacci pequeños.

***Podocarpidites* sp. 4 (Podocarpaceae)** Mónada, bisacado, grano con sacci reticulados elíptico (38,5*22,89 μm) tamaño parte central (corpus) 37*33 μm , exina rugulada, tamaño mayor que *Bisacatidites diminutus*.

***Podocarpidites* sp. 5 (Podocarpaceae, Lagarostrobos franklinii):** Mónada, bisacado, exina reticulada, saci reticulado de menor tamaño que *Podocarpidites* sp. 4, 19*18 μm en la zona central (corpus) y tamaño de sacci 15,9*7,85 μm .

***Podocarpidites* sp. 6 (Podocarpaceae, Podocarpus salignus):** Mónada, elíptica, bilateral, axina tectada-rugulada, tamaño del grano 26,1*23,57 μm , sacci con menor angulo de proyección sobre el corpus, diferente a los otros granos bisaccados, ancho de sacci 11,13 μm , espacio entre sacci sobre la superficie del corpus 8 μm .

ESPORAS:

***Laevigatosporites* sp. 1 (Blechnaceae)** Mónada, reniforme, elíptica, apertura alete, escultura escabrada, tamaño de grano 33,87*16,95 µm, adelgazamiento de la pared en la zona proximal.

***Laevigatosporites* sp. 2 (Blechnaceae)** Mónada elíptica, bilateral, tipo de leasura alete, ornamentación escabrada, tamaño 28,7*19,83 µm, pared de la espora continua de 1 micra de grosor, diferente a *Inaperturites* elípticos.

***Laevigatosporites* sp. 3 (Blechnaceae)** Mónada elíptica, bilateral, tipo de leasura alete, ornamentación foveolado, tamaño 30,9*18,46 µm, ornamentación y tamaño diferente a *Inaperturites* elípticos y *Inaperturites* escabratus.

***Scabratriletes* sp.** Mónada, elíptica, radial, apertura trilete, radii 11,8 µm, escultura escabrada, tamaño de grano 24,82*21,34 µm, marca trilete inconspicua y finaliza en la pared de la espora.

***Cyathidites* sp. 1 (Cyatheaceae)** Forma piramidal, triangular-obtuso-convexo, apertura trilete, radii concavo longitud 20 µm, grano cingulado distal (ancho 3,5 µm), tamaño 33 µm (medido de base de triángulo al vértice opuesto).

***Cyathidites* sp. 2 (Cyatheaceae)** Mónada, circular, apertura trilete, radii 16,05 µm, tamaño 47,7 µm de diámetro, escultura hamulata forma de ornamentación rugulada con muri irregular, redondeado y anguloso.

***Polypodiaceoisporites* sp.** Espora piramidal, triangular-obtuso-convexo, apertura trilete, radii 16,29 µm, esporoderm reticulado en la parte distal, cingulate-patinate, tamaño de grano 37,82*38,76 µm.

***Cingulatisporites* sp. 1** Mónada, pyramidal, triangular-obtuso-convexo, esporoderm macro gemmado(4,54 μm de diametro, apertura trilete, radii 21,09 μm , tamaño espora 48,42 μm aprox.

***Distaverrusporites* sp.** Piramidal, triangular-obtuso-straight, apertura marca trilete muy conspicua longitud del radii 22,64 μm , anchos del radii en la zona proximal 3,92 μm ancho en la zona marginal 0, espora cingulada ancho del cingulo 3 μm . Psilado en la cara distal, cara distal verrucado, Tamaño del grano 41,55*38,39 μm .

***Cyathidites* sp. 3 (Cyatheaceae)** Mónada, pyramidal, triangular-obtuso-concavo, escultura escabrada, marca trilete conspicua en forma v, ancho de radii 2,72 μm , longitud 14,98 μm .

***Cyatheacidites annulatus* (Cookson, 1967) (Lophosoriaceae)** piramidal, triangular-obtuso-convexo, apertura triletes, longitud radii 17,95 μm , presencia de engrosamiento alrededor de la laesura, zona distal engrosada y microperforada, espora cingulada (ancho 6,9 μm).

***Cyathidites* sp. 4 (Cyatheaceae)** Mónada, triangular-obtuso-concavo, amplia distancia de separacion de la marca trilete en la parte proximal 2,66 μm , longitud del radii 10,47 μm . esporoderm laevigate, tamaño de grano 27,98 μm .

***Lycopodiumsporites* sp. (Lycopodiaceae)** Piramidal, triangular-obtuso-convexo, radial, apertura trilete, radii 14,93 μm , escultura reticulada positiva, presencia de foveolos, tamaño 49*41 μm .

***Polypodisporites* sp. 1** Mónada, biconvexo, eliptica, apertura monolete, escultura gemado, tamaño pequeño 14,6*12,56 μm .

***Polypodisporites* sp. 2** Mónada, reniforme, elíptica, simetría bilateral, apertura alete, escultura reticulada negativa, grandes retículos 4 µm de longitud, formas de retículo poligonales y alargadas.

***Laevigatosporites* sp. 4 (Blechnaceae)** Mónada, reniforme, elíptica, simetría bilateral, apertura monolete, longitud de radii 16 µm, escultura escabrada, tamaño de grano 26,68*14,13 µm.

***Polypodisporites* sp. 3** Mónada, reniforme, elíptica, simetría bilateral, apertura monolete, longitud de radii 37,78 µm, escultura verrugado, tamaño de grano 49,19*36,36 µm.

***Cyathidites* sp. 5 (Cyatheaceae)** Mónada, piramidal, triangular-obtuso-convexo, apertura trilete, engrosamiento de la leasura hacia el interior de la espora, zona proximal elongada, zona distal del trilete curvada en planos polares.

***Zlivisporis* sp.** piramidal, triangular-obtuso-convexo, apertura trilete longitud del radii 11,52 µm, espesor esporoder 2,94 µm, reticulado amplios positivos, tamaño 28,88*25,85 µm.

***Cingulatisporites* sp. 1** Mónada, piramidal, triangular-obtuso-straight, escultura rugulado a reticulado, espora cingulada, apertura trilete, radii 15,34 µm, tamaño espora 28,07*29,5 µm.

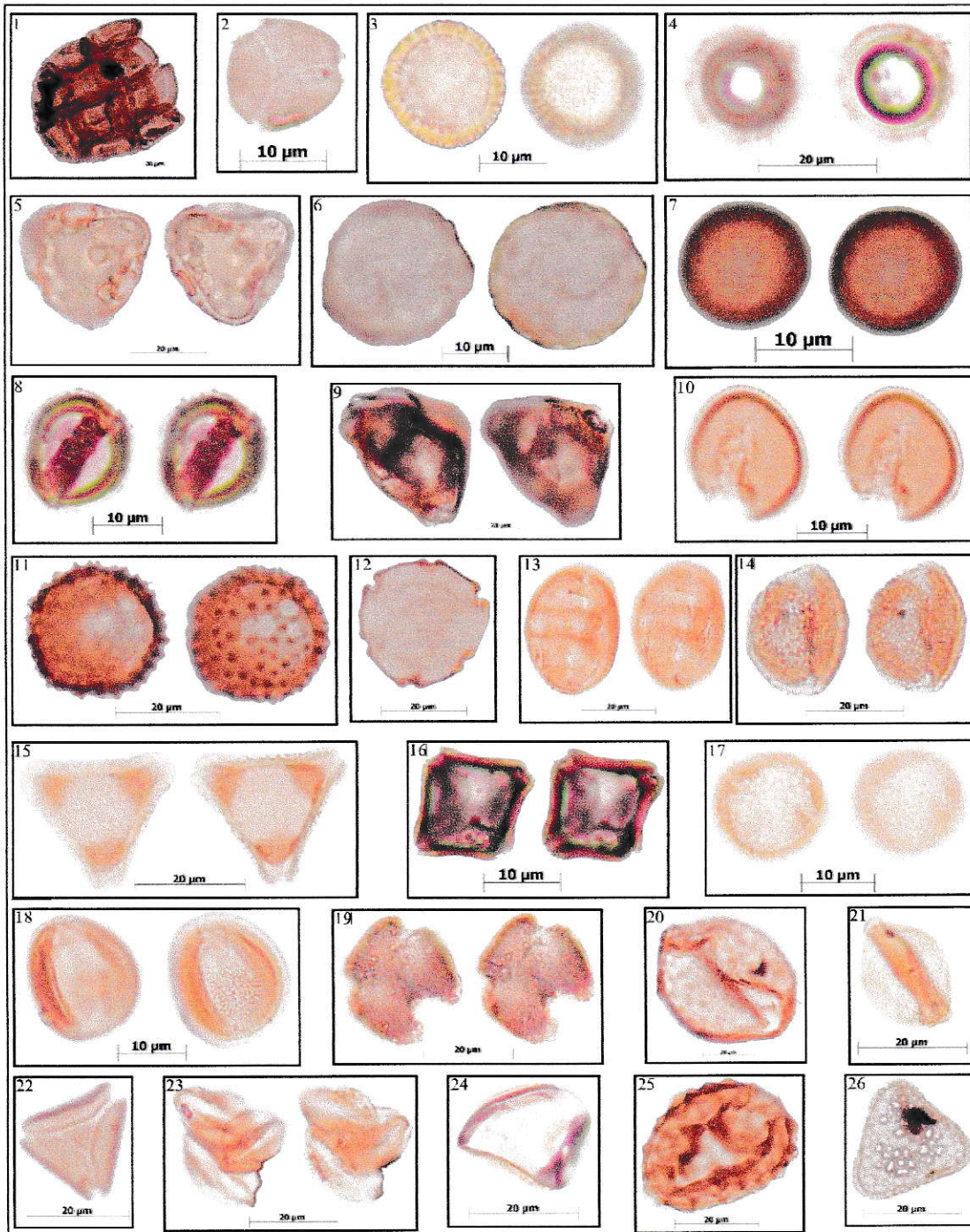
***Rugulatisporites* sp.** Mónada, piramidal, triangular-obtuso-concavo, apertura trilete con radii ancho 4,47 µm y longitud 16,46 µm (muy conspicuo) escultura rugulada, tamaño de espora 30 µm.

***Echimoete* sp.** Mónada, reniforme, elíptico, simetría bilateral, apertura alete, escultura echinada (Espinass 4,4 µm) tamaño 38,83*25,66 µm.

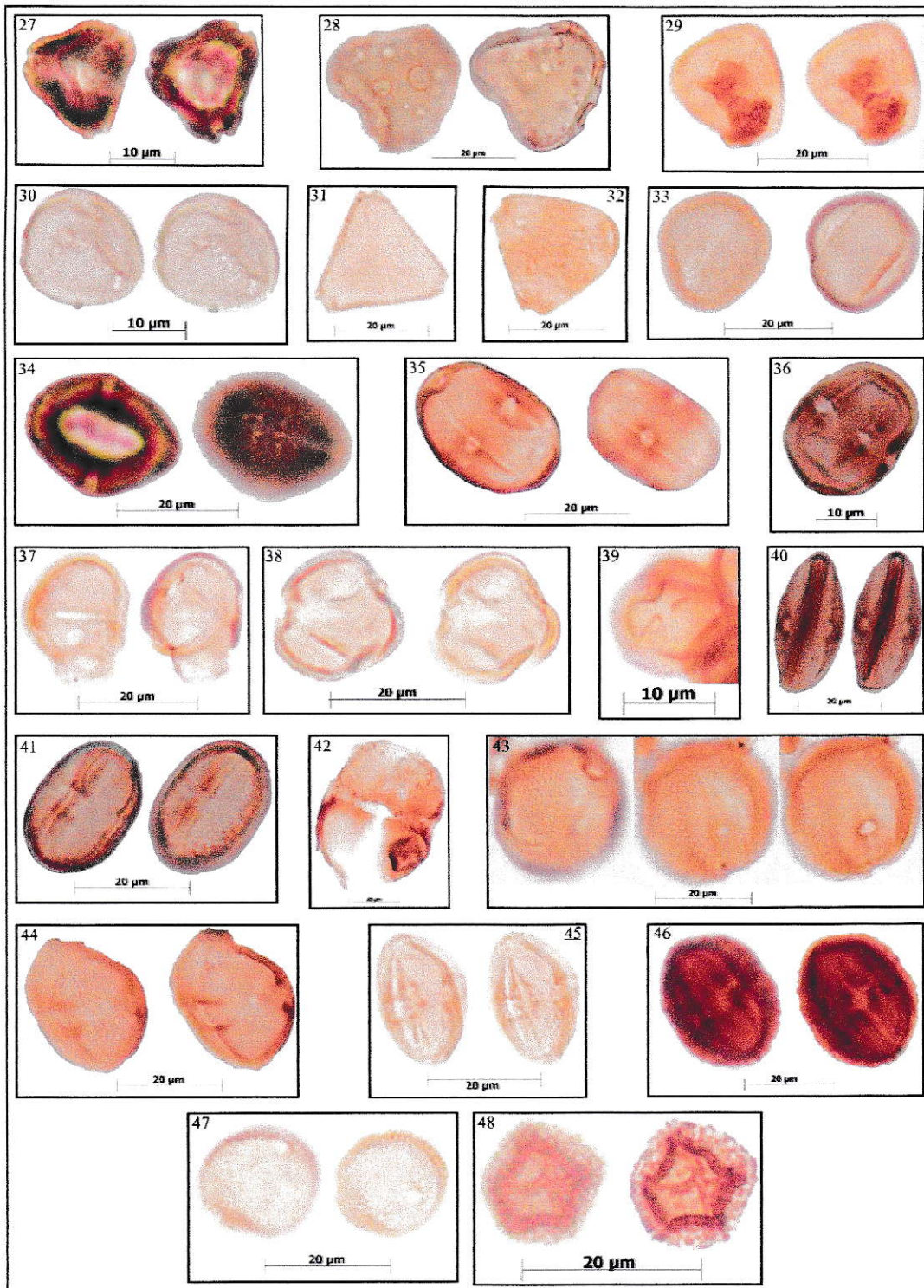
Cyathidites sp. 6 (Cyatheaceae) Forma piramidal, triangular-obtuso-straight, simple, radial, trilete imperfecto, longitud del radii 18, 6 μm , esporoderm microperforado.tamaño 33 μm (medido de base de triangulo al vertice opuesto).

Verrucatriletes sp. Mónada, piramidal, triangular-obtuso-convexo, apertura trilete, escultura verrugada (verrugas de 3 μm de diametro).

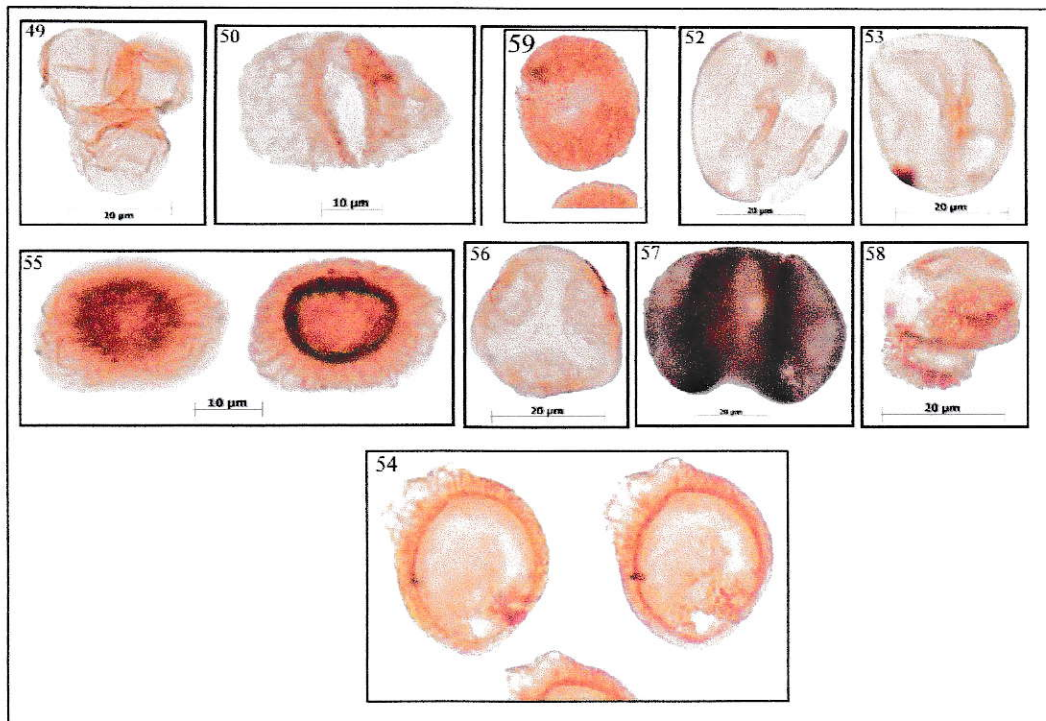
Concavissimisporites sp. pyramidal, triangular-obtuso-concavo, apertura trilete, marca conspicua ensanchada en zona proximal, apertura delgada en zona distal, longitud de radii 7.8 μm , escultura verrucate-fosulado, tamaño 20 μm de diametro.



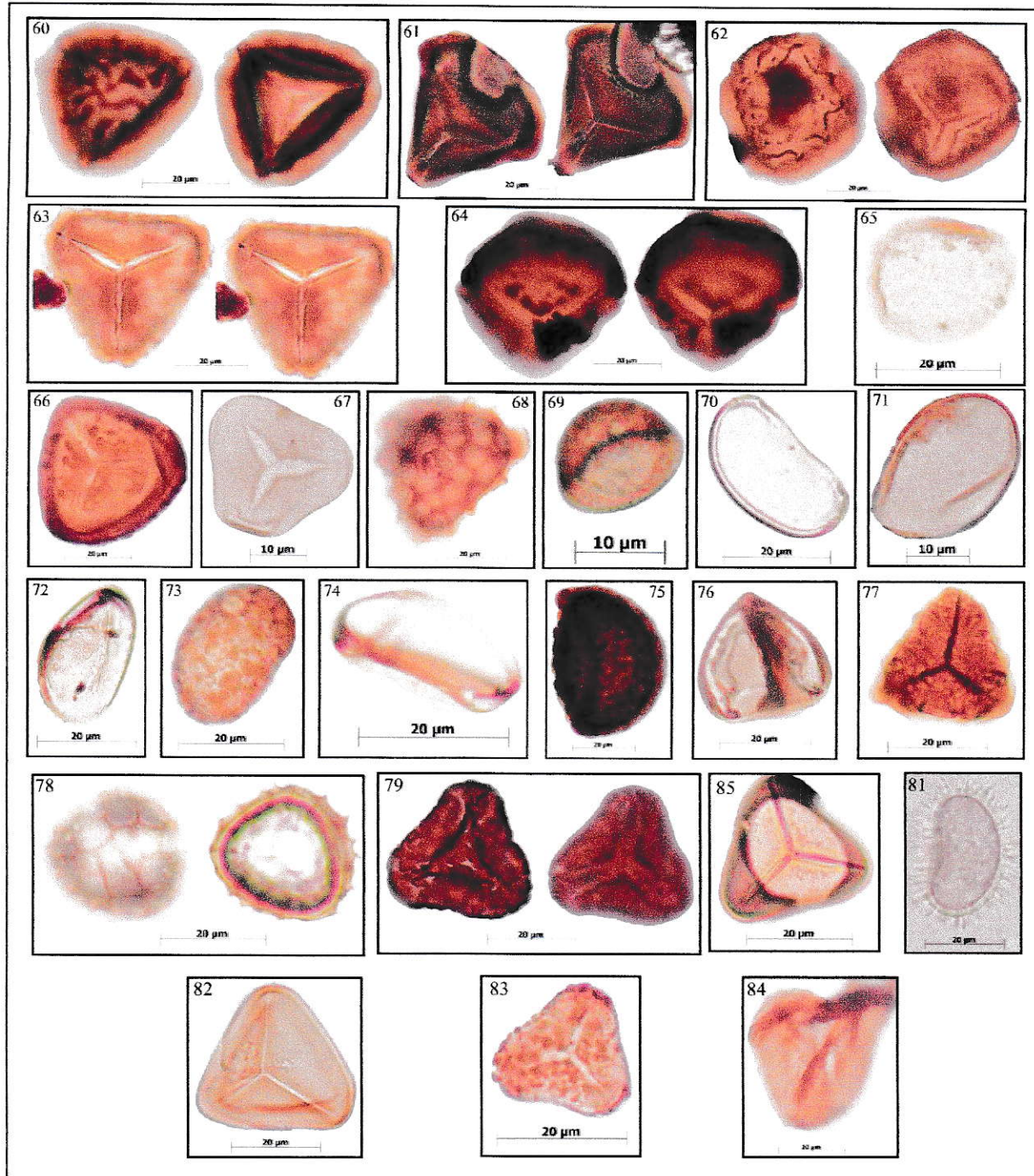
Lamina 1: Angiospermas: 1) *Polyadopollenites* sp. (Fabaceae Mimosoideae Acacia) 2) *Syncolporites* sp. (Myrtaceae), 3) *Inaperturopollenites* sp. 1, 4) *Inaperturopollenites* sp. 2, 5) *Bombacacidites* sp. (Bombacaceae), 6) *Scabraperiporites* sp. 1 (Chenopodiaceae), 7) *Scabraperiporites* sp. 2, (Chenopodiaceae), 8) *Clavainaperturites* sp. 1, (Chloranthaceae), 9) *Corsinipollenites* sp. (Onagraceae), 10) *Clavainaperturites* sp. 2 (Chloranthaceae), 11) *Echiperiporites* sp. (Malvaceae), 12) *Nothofagidites* sp. (Nothofagus), 13) *Inaperturopollenites* sp. 3, 14) *Foveomonocolpites* sp. 15) *Proteacidites* sp. 1 (Proteaceae), 16) *Haloragacidites* sp. (Casuarinaceae), 17) *Inaperturopollenites* sp. 4 (Sparganiaceae), 18) *Dicolpopollis* sp. 19) *Tricolpites* sp. (Gunneraceae), 20) *Monosulcites* sp. 1 21) *Monosulcites* sp. 2 22) *Syncolporites* sp. 2 23) *Monosulcites* sp. 3 24) *Monoporopollenites* sp. (Poaceae), 25) *Inaperturopollenites* sp. 5. 26) *Retipollenites* sp.



Lamina 2: Angiospermas: 27) *Syncolporites* sp. 3 (Myrtaceae), 28) *Scabraperiporites* sp. 29) *Proteacidites* sp. 2 (Proteaceae), 30) *Psilatriporites* sp.1 (Celtidaceae), 31) *Proteacidites* sp. 3 (Proteaceae), 32) *Echitriporites* sp. (Proteaceae), 33) *Retitricolpites* sp. 1, 34) *Psilatricolporites* sp. 1 (Sapotaceae), 35) *Tetracolporiopollenites* sp. 36) *Psilatricolporites* sp. 2, 37) *Clavatricolpites* sp. 38) *Foveotricolpites* sp. 39) *Psilatricolpites* sp. 40) *Ilexpollenites* sp. 41) *Foveotricolporites* sp. 1 42) *Striatricolporites* sp. 2 (Anacardiaceae), 43) *Retitricolpites* sp. 2, 44) *Striatricolporites* sp. 1 (Anacardiaceae), 45) *Foveotricolporites* sp. 2, 46) *Rugotricolporites* sp. (Asteraceae), 47) *Retitriporites* sp. 48) *Verrustephanocolpites* sp.



Lamina 3: Gimnospermas: **49)** *Araucariacites* sp. 1 (Araucariaceae, *Araucaria angustifolia*), **50)** *Podocarpidites* sp. 1 (Podocarpaceae, *Podocarpus*), **52)** *Araucariacites* sp. 2 (Araucariaceae, *Araucaria araucana*), **53)** *Araucariacites* sp. 3 (Araucariaceae), **54)** *Lygistepollenites florinii* (Cookson & Pike) Stover & Partridge. (Podocarpaceae, *Dacrydium*), **55)** *Podocarpidites* sp. 2 (Podocarpaceae, *Dacrydium*), **56)** *Podocarpidites* sp. 3 (Podocarpaceae, *Mycrocachrys*), **57)** *Podocarpidites* sp. 4 (Podocarpaceae), **58)** *Podocarpidites* sp. 5 (Podocarpaceae, *Lagarostrobos franklinii*), **59)** *Podocarpidites* sp. 6 (Podocarpaceae, *Podocarpus salignus*)



Lamina 4: Esporas: 60) *Polypodiaceoisporites* sp. 61) *Cyathidites* sp. 1 (Cyatheaceae), 62) *Cyathidites* sp. 2 (Cyatheaceae), 63) *Distaverrusporites* sp. 64) *Cingulotriletes gemmae* 65) *Scabratriletes* sp. 66) *Cyatheacidites annulatus* (Lophosoriaceae), 67) *Cyathidites* sp. 4 (Cyatheaceae), 68) *Lycopodiumsporites* sp. (Dicksoniaceae, Dicksonia), 69) *Polypodisporites* sp., 70) *Laevigatosporites* sp. 1 (Blechnaceae), 71) *Laevigatosporites* sp. 2 (Blechnaceae), 72) *Laevigatosporites* sp. 3 (Blechnaceae), 73) *Polypodisporites* sp. 2 (Polypodiaceae), 74) *Laevigatosporites* sp. 4 (Blechnaceae), 75) *Polypodisporites* sp. 3, 76) *Cyathidites* sp. 5 (Cyatheaceae), 77) *Cingulatisporites* sp. 1, 78) *Zlivisporis* sp. 79) *Rugulatisporites* sp. 81) *Echimonolete* sp. 82) *Cyathidites* sp. 6 (Cyatheaceae), 83) *Verrucatriletes* sp. 84) *Concavissimisporites* sp. 85) *Cyathidites* sp. 3 (Cyatheaceae)