CUADERNO N° 116 SERIE N° **()4** MONUMENTOS NACIONALES DE CHILE

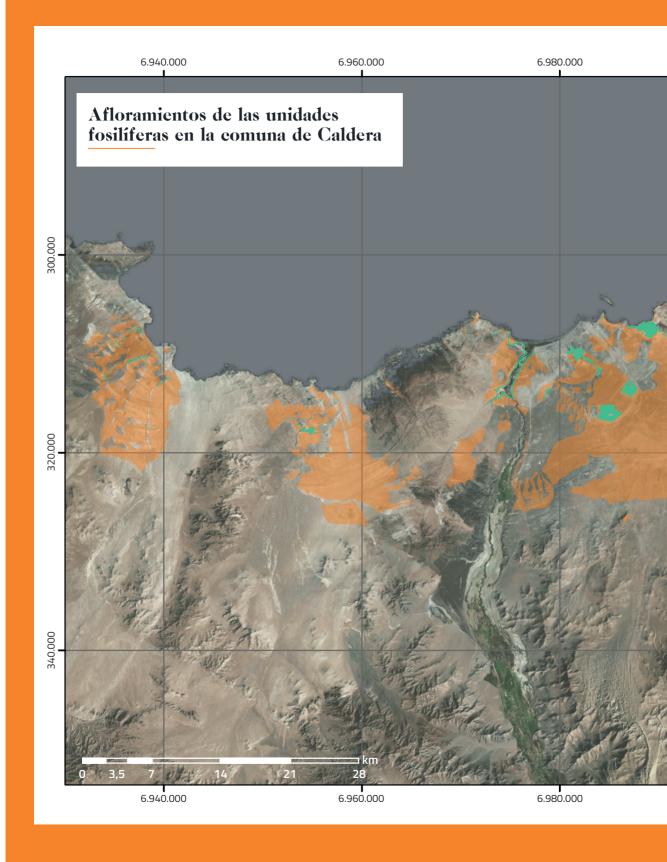
Caldera

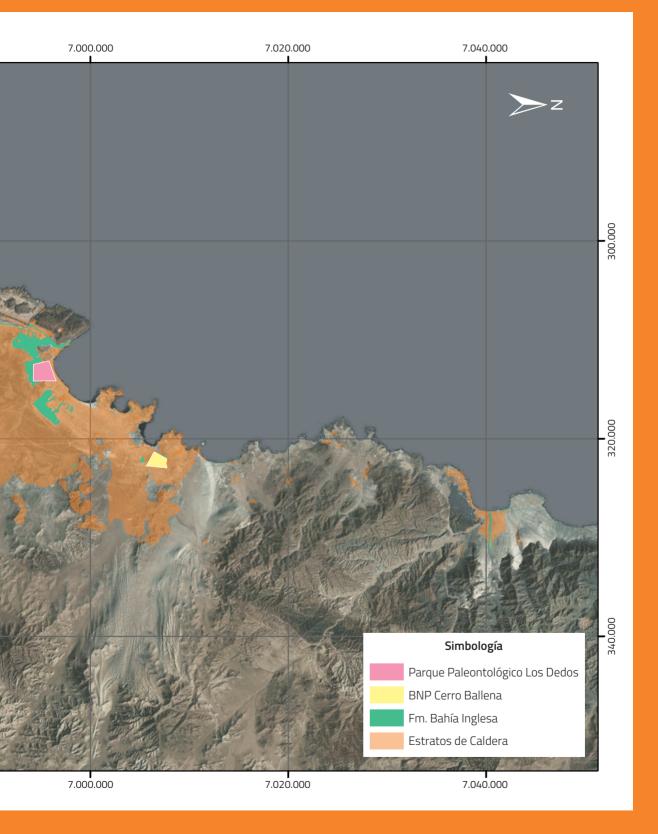
Patrimonio paleontológico













Caldera Patrimonio paleontológico



Gobierno de Chile







Caldera

Patrimonio paleontológico

Primera edición: Enero 2018 Registro Propiedad Intelectual N° A-299288 ISBN: 978-956-7953-74-5 Cuaderno N° 116 Serie N° 04 Monumentos Nacionales de Chile

Ministra de las Culturas, las Artes y el Patrimonio **Consuelo Valdés Chadwick**

Subsecretario de las Culturas y las Artes Juan Carlos Silva Aldunate

Subsecretario del Patrimonio Cultural Presidente del Consejo de Monumentos Nacionales Emilio De la Cerda Errázuriz

Director del Servicio Nacional del Patrimonio Cultural Vicepresidente Ejecutivo del Consejo de Monumentos Nacionales Carlos Maillet Aránguiz

Secretaria (S) del Consejo de Monumentos Nacionales Susana Simonetti de Groote

Índice

	10	Prólogo
	12	Introducción
Parte 1 Patrimonio Paleontológico Nacional	14	
	20	Registro más relevante de fósiles en Chile
	38	Patrimonio ienológico, patrimonio in situ
Parte 2 Palcontología de Caldera	41	
	42	Contexto geológico de la cuenca de Caldera
	46	Neógeno
	47	Formación Bahía Inglesa
	52	Cuaternario
	54	Estratos de Caldera
	57	Paleoclima
	59	Aspectos de la preservación de los yacimientos paleontológicos de Caldera
	61	Paleocomunidades en la cuenca de Caldera
Parte 3 Cerro Ballena y Parque Paleontológico Los Dedos	100	
	101	Cerro Ballena
	106	Parque Paleontológico Los Dedos
	110	Referencias bibliográficas

Prólogo

La Ley 17.288 de Monumentos Nacionales de 1970 y su Reglamento de excavaciones y/o prospecciones arqueológicas, paleontológicas y antropológicas (Decreto Supremo N° 484 de 1990 del Ministerio de Educación) norman la protección de todas las piezas y sitios arqueológicos y paleontológicos ubicados en territorio chileno, los que son propiedad del Estado y Monumento Nacional por el solo ministerio de la ley.

La paleontología es la disciplina científica que estudia los restos o evidencias de organismos que habitaron en el pasado geológico y que se encuentran en estado fósil. Estas evidencias, que pueden estar ubicadas in situ, en yacimientos fosilíferos o en colecciones científicas institucionales, aportan información relevante desde el punto de vista científico-cultural sobre la evolución de diversas especies animales y vegetales, ayudando a comprender los orígenes de la vida en la tierra.

Cuando hablamos de paleontología en Chile, sin duda un referente esencial es Caldera, una comuna de la Región de Atacama, que por décadas ha sido un foco interesante para la investigación en paleontología —tanto nacional como internacional—por la abundancia, diversidad y buen estado de preservación de su registro fósil. Es también un lugar interesante por los procesos sociales que han ocurrido allí, desde los eventos de extracciones ilegales hasta los esfuerzos de la municipalidad y los servicios públicos por la protección de su patrimonio paleontológico.

El formato implementado en este libro considera imágenes, esquemas, ilustraciones y fotografías de apoyo y contempló tres bloques temáticos de contenido. El primero, con información contextual de algunos de los hallazgos más relevantes y conocidos del registro fósil de Chile, con distintos ejemplos de edades y ambientes de depositación de las unidades geológicas, pasando desde los magníficos y bien preservados ictiosaurios del Cretácico marino de Torres del Paine o el enigmático chilesaurus del Cretácico

continental de Mallín Grande en Aysén, hasta el conocido milodón del Cuaternario de Puerto Natales. La segunda parte de la publicación consiste en una compilación de distintos aspectos del contexto geológico que permite entender cómo fue Caldera hace millones de años, para luego abordar una selección de algunos de los grupos taxonómicos encontrados en el registro fósil de la comuna.

Finalmente, el libro nos cuenta sobre la historia del Parque Paleontológico Los Dedos y Cerro Ballena, dos lugares icónicos para la paleontología local y nacional.

Con esta publicación, el Consejo de Monumentos Nacionales suma una nueva obra a sus publicaciones seriadas sobre Monumentos Nacionales (MN), que constituyen un registro preciso para difundir nuestro patrimonio, en cada una de las categorías de protección establecidas por la ley N° 17.288.

El presente libro es compendio del trabajo realizado por muchos investigadores y constituye un material de estudio útil para incrementar el conocimiento sobre esta temática por parte de la comunidad educativa y el público interesado. Esta publicación amplía las posibilidades para que la población pueda conocer y acceder a información científica de alto nivel y esperamos que motive la inquietud por investigar, conocer y proteger este patrimonio, contribuyendo a forjar la identidad paleontológica del pueblo de Caldera y a consolidar las distintas acciones y medidas para mejorar su gestión, conservación y puesta en valor.

Emilio De la Cerda Errázuriz

Subsecretario del Patrimonio Cultural Presidente del Consejo de Monumentos Nacionales



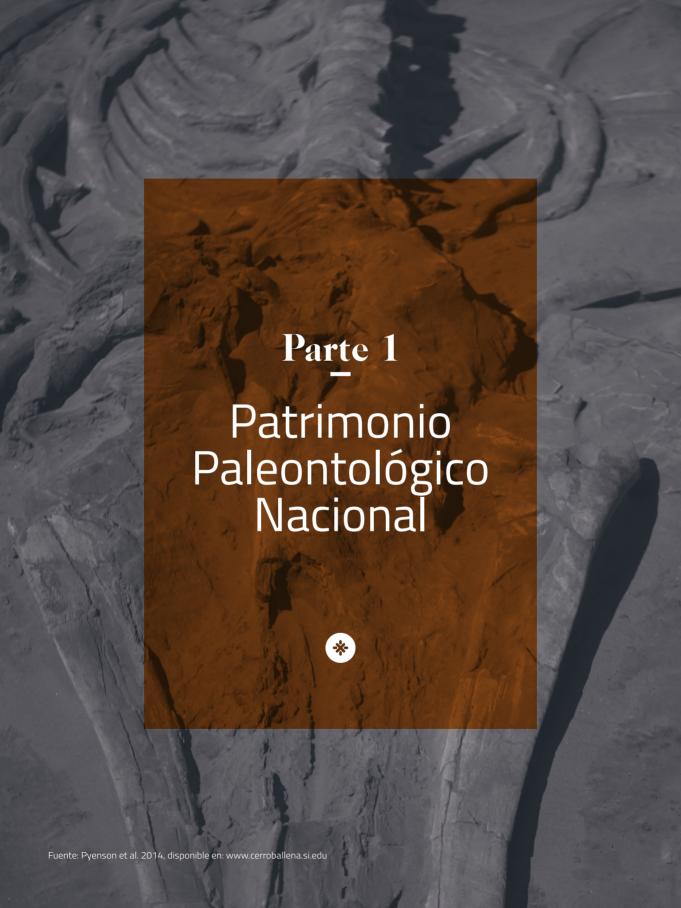
¿Qué es la paleontología?

La paleontología es la ciencia que estudia la vida en el pasado a través de los fósiles. Los fósiles son vestigios, restos, huellas u otros tipos de evidencia de organismos que vivieron en el pasado y cuya antigüedad se remonta al pasado geológico. Aun cuando no estén mineralizados, por convención se consideran fósiles los restos preservados por más de un período entre 10.000 a 11.000 años (el antiguo límite del periodo actual – Holoceno) o especies menos antiguas, pero que están extintas, siendo representantes de linajes fósiles.

Los fósiles permiten conocer la evolución de la vida en el planeta, así como la evolución de cada grupo, y la transformación de los ambientes y ecosistemas en los que vivían los organismos. De esta forma, los fósiles contribuyen a la construcción del sentido de identidad de todos nosotros, a través, por ejemplo, del reconocimiento del origen del entorno natural actual y aportando al entendimiento y comprensión de sus futuras transformaciones.

De esta manera, la paleontología ayuda a comprender los organismos y ecosistemas que existieron en el pasado geológico, su registro en las rocas y en el tiempo geológico. A través de la conjunción de disciplinas científicas complementarias, principalmente la geología y la biología, la paleontología investiga diversos aspectos de los organismos del pasado (tales como su anatomía, fisiología, ecología y comportamiento), así como la relación entre estos y el ambiente en el que vivían y los caminos evolutivos tomados por cada grupo.

La paleobiología, estudia la forma y las características de los organismos que permiten identificar las especies que vivieron en el planeta, su evolución y modo de vida, apoyándose en el principio geológico del uniformitarismo, el que sostiene que los procesos que operan en el presente son los mismos que operaron en el pasado. De esta forma, se considera que el entendimiento de los procesos naturales del presente es la llave para interpretar el pasado, siendo aplicado a diversas áreas como la biomecánica, morfología funcional, fisiología, ecología, entre otras. Este principio tiene mayor sustento en el estudio de grupos con representantes actuales, como es el caso de la fauna neógena marina.



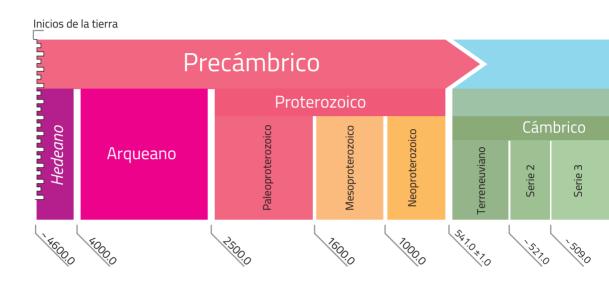
El territorio de Chile preserva un amplio patrimonio paleontológico debido principalmente a su accidentada geografía, presentando una fuerte influencia tectónica, ocurrida mayoritariamente durante el Neógeno. Los levantamientos y fallas favorecen la existencia de una gran cantidad de afloramientos con varios metros de exposición de formaciones geológicas que contienen fósiles. En este periodo ocurrieron plegamientos y fallas relacionadas al último estadio de la formación de la cordillera de la Costa y de los Andes, los que controlaron la depositación de las secuencias sedimentarias¹. Además, durante el Pleistoceno, fallas tectónicas facilitaron la exposición de los niveles previamente depositados y conformaron los amplios afloramientos neógenos en la costa chilena, en particular, en el norte del país, donde el clima desértico ha favorecido la exposición de estos estratos debido a la escasa cobertura vegetal.

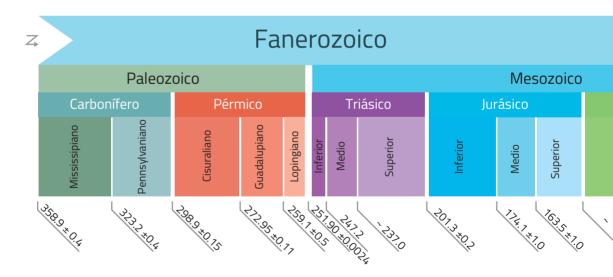
Este diverso registro paleontológico es importante en el sentido patrimonial, debido a que evidencia la evolución biológica y geológica del país hasta formar los ecosistemas y paisajes en la actualidad, aporta información novedosa e incluso ha cambiado la interpretación de la evolución de ciertos grupos en un contexto mundial.

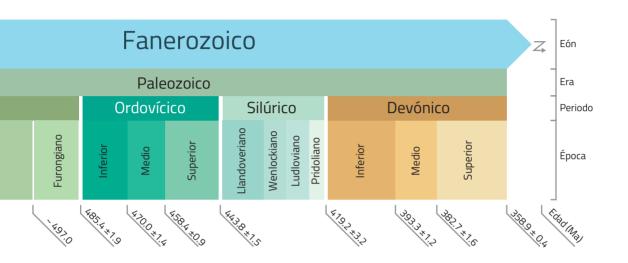
Los fósiles permiten resolver problemáticas relativas a la interpretación del ambiente en que se fosilizó (y eventualmente vivió) el organismo. Por ejemplo, los ammonites (moluscos cefalópodos Ammonoidea) en general indican un ambiente de depositación marina, ya que estos animales tenían modos de vida pelágicos (que habitan en las columnas de aguas oceánicas). Por otro lado, los fósiles proporcionan información sobre el rango de antigüedad geológica de las rocas en las que se preservaron, de acuerdo al conocimiento acumulado sobre los periodos de tiempo en el que vivió un determinado grupo. Todo el grupo de moluscos ammonites surgió y desapareció (se extinguió) dentro del rango temporal comprendido entre el Devónico (aproximadamente 400 millones de años) hasta el final del Cretácico (66 millones de años), — ver imagen Nº 1 —. Algunas especies ocurren en pisos acotados, como es el caso de la Subvinialesphinctes prophetae (antes llamada "Perisphinctes" andium, Formación (Fm.) Cerritos Bayos, Región de Antofagasta; Parent et al. 2006) — ver imagen Nº 2 —, que indica un piso o edad oxfordiana, es decir, un rango temporal del Jurásico Superior con fósiles de 157 a 163 millones de años de antigüedad. Este es el tipo de información relativa a las extinciones y apariciones en el registro de

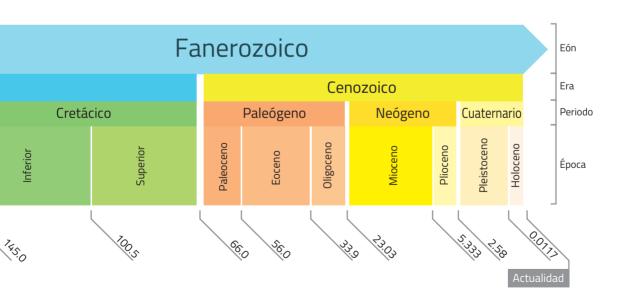
Charrier et al. 2007.

Edades de la Tierra









grupos taxonómicos con rangos geocronológicos que permiten construir los límites de pisos o edades geológicas en la Tabla Cronoestratigráfica Internacional. Estos datos paleontológicos son también contrastados con otros métodos de datación de las rocas para generar la Tabla Cronoestratigráfica Internacional, actualizada constantemente en base a nuevas informaciones científicas.



PISO O EDAD GEOLÓGICA:

División cronoestratigráfica y geocronológica de la escala temporal, respectivamente. Esta unidad es más acotada que las épocas y periodos.



MOLUSCOS CEFALÓPODOS AMMONOIDEA:

Los cefalópodos (céfalo: cabeza; podos: pies) son moluscos que tienen los pies cercanos a la cabeza, desarrollados en varios tentáculos. Actualmente incluyen a los nautilos (con concha), los calamares y los pulpos (sin concha externa). Sin embargo, sus parientes extintos, los ammonoideos (subclase Ammonoidea), poseían conchas enrolladas en una espiral aplanada con diferentes tipos de ornamentación.



IMAGEN N° 2: Subvinialesphinctes prophetae Fuente: Rodrigo Otero González

Registro más relevante

de fósiles en Chile

I. Mesozoico

El mesozoico en Chile está representado por amplias formaciones con registro paleontológico, tanto marino como continental, destancándose los registros del Jurásico y Cretácico marino en términos de abundancia de restos.

I.I Jurásico marino

De los registros mesozoicos destaca el de peces óseos primitivos en el Norte Grande de Chile (Región de Antofagasta), específicamente, en el Jurásico de la Fm. El Profeta. Los fósiles de la quebrada El Profeta son cruciales para entender la evolución de los peces óseos (Osteichthyes) y de sus representantes más abundantes en la actualidad, los teleósteos (grupo que incluye a los peces más comunes y abundantes de nuestros tiempos, como la merluza, el atún y la reineta). La relevancia de las especies fósiles encontradas en el país, radica en la edad geológica en que ocurrieron y su posición evolutiva (pues, se trata de grupos basales o primitivos), además de la extraordinaria conservación de los restos, incluso con preservación de las células musculares con sus estructuras aún intactas y observables al microscopio.

Gran parte de esta información se conoce gracias a los estudios de la ictióloga y paleontóloga chilena, Dra. Gloria Arratia, quien ha publicado diversos trabajos describiendo la fauna de peces de Fm. El Profeta, ha analizado sus relaciones evolutivas (a través del uso del método de reconstrucción filogenética), lo que ha permitido redefinir el grupo de los teleósteos. Las especies descritas para esta formación, como por ejemplo *Varasichthys ariasi* — ver imagen Nº 3 —, se ubican en la base del árbol filogenético (un diagrama construido de manera semejante a un árbol genealógico, pero que relaciona el "parentesco" de las especies extintas y actuales de peces óseos, en este caso)².

² Arratia, G. 1981.



EL MÉTODO DE RECONSTRUCCIÓN FILOGENÉTICA:

Se ha establecido como una técnica basada en comparar las características de los organismos en una matriz, considerando solo los caracteres novedosos o derivados para agrupar estos taxones. Como resultado del análisis cladístico se obtienen cladogramas y árboles filogenéticos. Estos últimos consideran además las edades de los organismos (en tiempo geológico) y la edad de la separación de los clados (grupos).



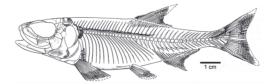


IMAGEN N° 3: Varasichthys ariasi Fuente: Gloria Arratia

Más abundantes son los registros de invertebrados marinos del Jurásico y Cretácico en todo el país. Existe una gran cantidad de estudios y especies reconocidas que evidencian las transgresiones marinas. Las unidades geológicas más conocidas son: Grupo Caracoles en las cercanías de Calama y Sierra Gorda, incluyendo a las formaciones fosilíferas: Torcaza, Caracoles, Doralisa, Millonaria y Honda, que representan el rango de tiempo Jurásico Medio-Superior. En todas estas

se encuentran niveles con una rica preservación, principalmente de moluscos ammonites, bivalvos y en algunos casos de vertebrados como cocodrilos marinos de las especies "*Metriorhynchus*" casamiquelai y M. westermanni (Fm. Caracoles). Por otro lado, en la Región de Atacama se encuentran la Fm. Montandón (Jurásico Temprano) y Fm. Pabellón (Cretácico Inferior), sobre todo expuestas en el sector conocido como quebrada Asientos en las cercanías de la localidad de El Salvador (Región de Atacama) que presenta variedad de moluscos bivalvos, como *Weyla* y diversas especies de *Trigonia* y *Anditrigonia*.



IMAGEN Nº 4: "Metriorhynchus" casamiquelai Fuente: Rodrigo Otero González, exhibición Museo Ruinas de Huanchaca

LII Cretácico marino

En el registro marino del Cretácico, también destacan los esqueletos de ictiosaurios que se encuentran en las rocas de la Fm. Zapata, en el sector del glaciar Tyndal (Parque Nacional Torres del Paine) en el extremo sur de Chile continental. Estos fueron identificados como *Platypterygius hauthali* (Ophthalmosauridae) — ver imagen N°5 —, y constituyen el registro más completo de ictiosaurios en Chile, y uno de los pocos hallazgos en el mundo que preserva especímenes con esqueletos completos y articulados, incluyendo sus miembros posteriores bien preservados³. La localidad (afloramientos con niveles fosilíferos, en este caso) ha sido destacada por su riqueza y el estado de preservación de los especímenes, algunos de ellos con tejido blando e incluso con embriones preservados en su interior. Los niveles fosilíferos del sector del glaciar Tyndal fueron propuestos como un *Fossillagerstätten* del Cretácico⁴, constituyéndose además como la concentración de ictiosaurios más austral de Sudamérica, en una posición geográfica entre el Tethys y el Pacífico, aumentando su relevancia para entender cómo se dispersaba el grupo durante el Cretácico.



FOSSILLAGGERSTÄTTEN:

Del alemán "Lugares de depósitos de fósiles", que poseen ricos, variados y bien preservados elementos fósiles, que representan una ventana en el pasado. Podríamos decir que se trata de una fotografía del tipo de organismos que habitaron un tiempo y lugar particular.



TETHYS:

Océano primitivo presente durante parte del Mesozoico y que se situaba entre los dos supercontinentes Gondwana y Laurasia, luego de la separación de Pangea, y que precede las aperturas de los océanos Índico y Atlántico.

³ Pardo - Pérez et al. 2015.

⁴ Pardo - Pérez et al. 2011.





IMAGEN N° 5: *Platypterygius hauthali* (Ophthalmosauridae) Fuente: Judith Pardo Pérez

I.III Jurásico - Cretácico continental

Por otro lado, en el registro continental, aunque menos abundantes que el registro de vertebrados marinos fósiles y de restos icnológicos (ver más adelante), los arcosaurios (grupo que incluye los cocodrilos y las aves actuales, incluyendo a los dinosaurios y pterosaurios fósiles) no avianos de Chile aportan la mayor parte de la información que poseemos sobre vertebrados terrestres que habitaron el Mesozoico de Chile⁵. Dentro de este grupo destacan los dinosaurios, que pueden ser divididos en dos grupos principales: ornitisquios (pelvis de ave) y saurisquios a partir de características morfológicas de su pelvis y cráneo. En general, el registro fósil de dinosaurios del país, incluye hallazgos desde la Región de Tarapacá hasta la Región de Magallanes y la Antártica Chilena.

En el norte destaca la especie endémica *Atacamatitan chilensis*, un saurópodo encontrado en la Fm. Tolar del periodo Cretácico, en las cercanías de Calama. Esta fue la primera especie de dinosaurio en ser descrita sobre la base de fósiles exclusivamente chilenos y está compuesta de algunos elementos apendiculares (fémur) y axiales (vértebras)⁶.



SAURISOUIOS:

Grupo de dinosaurios que surgen en el Triásico superior diversificándose ampliamente incluyendo a los saurópodos (Sauropoda) de gran tamaño (cuadrúpedos, herbívoros, cuellos y colas largas), y los terópodos (Theropoda) de tamaños y formas variadas (bípedos y carnívoros), los que culminan dando origen a las aves modernas (Ornithurae), durante el Cretácico.

⁵ Soto-Acuña et al. 2015.

⁶ Kellner et al. 2011.

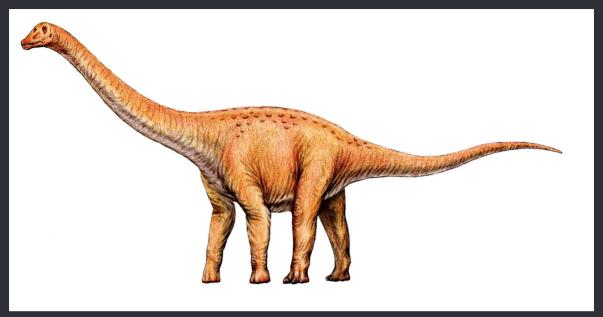


IMAGEN N° 6: Reconstrucción en vida del *Atacamatitan chilensis* Fuente: CMN; ilustrador Mauricio Álvarez Abel

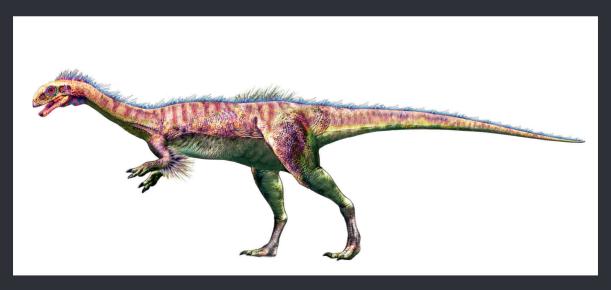


IMAGEN N° 7: Reconstrucción en vida del *Chilesaurus diegosuarezi* Fuente: ilustrador Mauricio Álvarez Abel

Tal vez el más famoso dinosaurio es el recientemente descrito Chilesaurus diegosuarezi, en base a fósiles con excelente preservación. Esta especie fue descubierta en rocas sedimentarias continentales jurásicas de la Fm. Toqui en Mallín Grande, Región de Aysén. El Chilesaurus tiene una morfología única dentro de Theropoda, combinando características derivadas y primitivas en relación a los otros dinosaurios terópodos, que son bípedos y hasta ahora considerados casi exclusivamente carnívoros. Una de las particularidades más intrigantes del Chilesaurus es el hecho de que sus dientes indican que se alimentaban exclusivamente de plantas (eran herbívoros), constituyendo uno de los pocos casos conocidos de dinosaurios terópodos herbívoros para el periodo Jurásico en el mundo. Otra de las peculiaridades del Chilesaurus es que su pelvis se asemejaba a los dinosaurios ornitísquios, con el pubis dirigido hacia atrás, característica utilizada usualmente para diferenciar los dos grupos principales de dinosaurios: saurísquios (saurópodos y terópodos) y ornitísquios (estegosaurios, ornitópodos, entre otros)⁷. Estas interpretaciones cambiaron la manera que los científicos entendían la evolución de los dinosaurios terópodos, aunque las relaciones evolutivas de este enigmático dinosaurio son aún debatidas por los paleontólogos.



ORNITÍSOUIOS:

Grupo de dinosaurios con pelvis similar al de las aves (del griego ornitheos + ischion = "cadera de ave"), aunque no están estrechamente relacionados con estas últimas. Se estima que el grupo surge durante el Triásico Superior y perdura hasta el final del Cretácico, teniendo una distribución mundial. Incluye formas herbívoras y cuadrúpedas, como los ceratópsidos (Ceratopsia) que poseían cuernos, y los ankilosaurios y stegosaurios (Eurypoda) que poseían placas y mazos en el cuerpo y la cola. También se incluyen los paquicefalosaurios (Pachycephalosauria) que eran animales bípedos, con gruesos cráneos.

Novas et al. 2015.





IMAGEN N° 8: Sitio donde fue descubierto el *Chilesaurus* Fuente: David Rubilar Rogers

II Cenozoico

Paleógeno - Neógeno continental

En términos de registro cenozoico, se tienen evidencias fósiles de faunas diversas y que conforman ensambles únicos tanto en el Paleógeno como en el Neógeno temprano de la zona central cordillerana, en el dominio del Grupo Cura-Mallín y otras unidades del mismo periodo. Por ejemplo, la fauna de mamíferos que da origen a una edad mamífero, el Tinguiririquense (36 a 29 millones de años atrás), marca una edad específica en la evolución de la fauna de este grupo del Paleógeno de América del Sur, conocida como "Edad de Mamíferos Terrestres de América del Sur" (SALMA por sus siglas en inglés)⁸. Estas son unidades biocronológicas (en donde la especie o ensamble de mamíferos es indicadora de un intervalo temporal), que forman pisos informales, porque en general no cuentan con dataciones radiométricas o isotópicas que apoyen los límites temporales establecidos a partir de estos ensambles de especies fósiles.

II.I Neógeno marino

Los depósitos marinos neógenos están ampliamente extendidos a lo largo del país, siendo conocidos desde Antofagasta hasta Aysén. Dichas formaciones tienen un origen virtualmente sincrónico y presentan un contenido faunístico similar, sobre todo de moluscos bivalvos y gastrópodos. Específicamente, estas unidades están reconocidas en los sectores de península de Mejillones, Caldera, Coquimbo, La Serena, Tongoy, Horcón, Navidad, el golfo de Arauco, Valdivia, Puerto Montt y golfo Tres Montes, entre otros.

La Fm. Navidad — ver imagen Nº 9 — , en la Región de O'Higgins, es una de las unidades marinas más antiguas dentro del Neógeno, comprendiendo el intervalo entre el Mioceno inferior al Plioceno. Así, esta unidad exhibe una fauna acorde a este intervalo y diferente de las demás formaciones neógenas marinas (mencionadas arriba) que son levemente más recientes (Mioceno medio a Plioceno superior y Pleistoceno), sobre todo en los niveles más bajos (más antiguos) de la formación, como los que afloran en el sector de Punta Perro en la localidad de La Boca.

Flynn et al. 2003.



IMAGEN N° 9: Uno de los principales afloramientos de la Fm. Navidad en la localidad de Punta Perro Fuente: Sven Nielsen



GASTRÓPODOS:

Constituyen la clase más extensa de moluscos con más de 75.000 especies vivas y 15.000 fósiles descritos; presentan "cabeza", un pie musculoso ventral y una concha dorsal. La forma torcida se genera durante el desarrollo de la larva, que consiste en un giro de 180° en el cuerpo del animal (específicamente la masa visceral en relación al pie y la cabeza). Se pueden encontrar en casi todo tipo de ambientes (inclusive desiertos), pero mayoritariamente en aguas saladas o dulces. Ejemplos de este grupo son los locos (Concholepas concholepas) y los caracoles de tierra.



MOLUSCOS BIVALVOS:

Son moluscos acuáticos que poseen dos valvas laterales (conchas externas de naturaleza calcárea). El grupo posee 13.000 especies vivientes, pero fue abundante desde su surgimiento en el Cámbrico. Pueden habitar el fondo marino, ya sea enterrados en los fondos blandos (infauna, ej.: machas), como habitantes fijos (sésiles) en los roqueríos y otras rígidas superficies, o de vida libre sobre los fondos (epifauna, ej.: ostiones). Algunas especies perforan el sustrato (roca o madera) como es el caso de los teredos (formando un icnofósil común en la Fm. Navidad: Teredolites).

Como ejemplo de esta fauna, destaca la presencia del tiburón *Carcharoides* totuserratus⁹, el cual tiene rango temporal que se limita desde el Oligoceno tardío hasta el Mioceno inferior, representando un alto valor cronoestratigráfico, siendo considerado un fósil guía para este intervalo y otorgando a la Fm. Navidad la edad mínima de Mioceno inferior en su base. De igual manera, se registra la presencia

Suárez et al. 2006

de otros fósiles guía que indican este rango temporal, por ejemplo, algunas especies de moluscos bivalvos, como *Glycimeris ibariformis* y *G. colchaguensis*, y de moluscos gastrópodos, como *Olivancillaria claneophila*, *Lamprodomina dimidiata* y *Distorsio ringens* (imagen Nº 10). Además, en esta formación se encuentran abundantes restos del coral solitario, *Flabellum*, y restos de una rica comunidad de plantas vasculares.



IMAGEN N° 10: Gastrópodos de la Fm. Navidad: *Lamprodomina dimidiata* y *Distorsio ringens*Fuente: Sven Nielsen

Con respecto al clima y ambiente continental costero, en base a la morfología y diversidad de los restos paleobotánicos (principalmente polen y hojas), se identificó en la sección más antigua de la secuencia de la Fm. Navidad una flora templada mixta conocida como "Paleoflora de Matanzas" que sugiere la predominancia de un clima húmedo, con cerca de 115 cm de precipitación anual y temperaturas cercanas a los 15 °C. A lo largo de la secuencia de la formación, se produce un cambio a una flora subtropical, conocida como "Paleoflora de Pololos" que indica

10

Gutiérrez et al. 2013.

un aumento en las temperaturas ambientales, alcanzando un promedio de 24 °C y una disminución de la precipitación anual, en un rango de 44 a 91 cm. Una de las principales diferencias entre estas floras es la disminución de la proporción de angiospermas (plantas con flores) y aumento de los taxa (grupos) de gimnospermas (plantas con semillas, coníferas) registrados. Así, en los estratos inferiores de la secuencia, fueron recuperadas especies de *Nothofagus* (parientes del roble, lenga, ñirre, entre otros) que se desarrollan actualmente en la Patagonia chilena mientras que en las capas superiores de la secuencia (16 a 12 Ma), existen más taxones subtropicales, como las especies actuales *Araucaria angustifolia* y *A. araucana*.

De manera semejante a lo que ocurre en Fm. Navidad (Mioceno inferior a Plioceno), la Fm. Bahía Inglesa (Mioceno medio a comienzos del Pleistoceno) y Coquimbo (Mioceno medio a Pleistoceno) también exhiben una composición faunística de invertebrados semejantes, sin embargo, destaca la existencia de algunas particularidades.



UNIDADES CRONOESTRATIGRÁFICAS:

Las unidades cronoestratigráficas son las divisiones de secciones de roca con escala temporal conocida. Los fósiles con valor cronoestratigráfico, llamados fósiles guía, son aquellos que poseen rangos temporales conocidos y acotados, y que además permiten definir rangos temporales relativos a las secciones de donde provienen.

La Fm. Bahía Inglesa y la Fm. Coquimbo son consideradas expresiones locales de un mismo evento que influenció geológicamente a toda la costa del norte de Chile¹¹. Entre 15 y 11 millones de años atrás, un evento tectónico causó la depresión de la placa continental y un consecuente aumento del nivel del mar en las cuencas de Coquimbo y Caldera, generando una profundización de las cuencas de depositación. De esta forma, la fauna de invertebrados fósiles es muy similar entre estas formaciones, registrándose gastrópodos incluyendo especies de *Turritella* o

11

Le Roux et al. 2016.

Incatella y Panopea (esta última no está presente en Fm. Bahía Inglesa y latitudes más bajas); bivalvos ostreidos del género Ostrea (ostras), pectínidos (familia de los actuales ostiones) del género Chlamys; artrópodos cirripedios como los picorocos del género Balanus.

En la fauna de vertebrados reportada para estas paleocuencas existen especies y grupos coincidentes entre las formaciones neógenas, tales como algunas especies de tiburones, rayas, peces óseos de diferentes grupos, formas y tamaños, perezosos marinos, pinnípedos (focas y lobos marinos), marsopas, delfines, entre otros. Al mismo tiempo, se observan diferencias entre los representantes de algunos grupos, tales como las familias de pinnípedos, cuyo registro fósil evidencia un recambio durante el Plioceno de la cuenca de Caldera¹². Así, durante el Mioceno y comienzos del Plioceno de Fm. Bahía Inglesa, el registro fósil de pinnípedos está exclusivamente integrado por focas (Phocidae), contrastando con el registro observado entre el Pleistoceno (Unidad Estratos de Caldera) y la actualidad, el cual está conformado únicamente por lobos marinos (Otariidae).

Ya en el litoral central, la Fm. Horcón (Caleta Horcón, Región de Valparaíso) representa una edad Plioceno superior, en virtud de la presencia de las especies de moluscos bivalvos (Pectinidae: *Chlamys hupeanus*, Hiatellidae: *Panopea coquimbensis*) y gastrópodos (Thaisidae: *Chorus blainvillei*, *C. doliaris* y Muricidae: *Herminespina mirabilistodas*)¹³. Esta formación ha sido menos explorada desde el punto de vista de los vertebrados, pero ya registra especies de tiburones, aves y ballenas¹⁴.

En el litoral central, en la Región de O'Higgins, también se encuentran representados algunos eventos transgresivos que se forman por el aumento de sedimento de origen marino depositado debido al incremento del nivel del mar. Esta alza en el nivel del mar genera una profundización de las cuencas epicontinentales, preservando una amplia zona de variados ambientes marinos. Estas son coincidentes en rango temporal con la Fm. Navidad. También se observan variaciones de este mismo tipo de fauna y patrones de recambios en la fauna de invertebrados en el sur de Chile en las regiones del Maule hasta Aysén, con las Fm. Lacuí, Ranquil, Santo Domingo y Traiguén. La Fm. Tubul (Provincia de Arauco)

¹² Valenzuela - Toro et al. 2013.

¹³ Tavera, 1960 y Guzmán et al. 2000.

¹⁴ Carrillo - Briceño, J. 2013

fue depositada durante la porción final de estas secuencias, de manera similar que los depósitos de Mejillones y los estratos de Caldera en el norte del país. Una particularidad de la Fm. Tubul es que los moluscos fósiles encontrados provienen de ambientes de lecho blando (al contrario de las costas rocosas) e indican que las temperaturas del agua local fueron más bajas en el Plioceno que en la actualidad, siendo la fauna fósil de Tubul análoga a la que existe actualmente en la Región de Magallanes¹⁵.



CUENCAS EPICONTINENTALES:

Cuencas que se forman por encima de la corteza continental. Su permanencia es dependiente de los ciclos regresivo-transgresivos.

La Fm. Santo Domingo (Mioceno inferior – Plioceno; 23 a 2,5 millones de años), se encuentra presente en la zona costera, desde Temuco (~38°30′S) hasta la zona norte de la isla de Chiloé (~41°45′S), presenta una gran abundancia y diversidad de fósiles de invertebrados marinos¹6. Los depósitos de Fm. Santo Domingo, de manera similar a lo observado en las comunas de Navidad, Coquimbo, La Serena, Caldera, Mejillones y Antofagasta, presentan varios niveles fosilíferos, los que tienen una alta diversidad (alto número de especies) y abundancia (alto número de especímenes) encontrados en cada nivel. Los fósiles más comunes preservados son los grupos de invertebrados, incluyendo a una gran variedad de moluscos gastrópodos y bivalvos, crustáceos (cangrejos) y equinodermos (erizos).

II.II Cuaternario marino

En los yacimientos cuaternarios del centro y norte de Chile, en general se registran faunas de moluscos muy similares entre sí y también a los encontrados en la actualidad en la costa centro y norte del país, de los cuales podemos destacar gastrópodos como los murícidos *Acanthina unicornis* (caracoles de roca) y *Choncholepas choncholepas* (loco) y bivalvos como el mitílido *Choromytilus chorus* (choro zapato), y el pectínido *Argopecten purpuratus* (ostión).

¹⁵ Nielsen y Valdovinos, 2018.

¹⁶ Encinas et al. 2012.

En la costa de la bahía de Mejillones se depositaron los sedimentos de la "Sucesión Marina Litoral de Mejillones" (Pleistoceno) que cubren el área de costa de la bahía. Este depósito altamente fosilífero se sobrepone (suprayace) a otra unidad fosilífera más antigua, la Fm. La Portada (Mioceno medio – Plioceno). Ambas secuencias (Fm. La Portada y la Sucesión Marina Litoral de Mejillones o Depósitos marinos litorales, según la carta geológica¹⁷) a pesar de ser relativamente poco estudiadas registran varias capas (niveles) con abundantes fósiles de moluscos¹⁸, equinodermos, tiburones, aves marinas, ballenas, focas y lobos marinos.

II.III Cuaternario continental

En este periodo existe un amplio registro de "megafauna" que consiste en una fauna de mamíferos terrestres de gran tamaño corporal, sobrepasando generalmente la tonelada de peso. Si bien, en Chile se reconocen numerosos sitios con restos de megafauna, se destacan algunos yacimientos con restos muy bien preservados tales como, "Kamac Mayu" y "Betecsa 1" en la Región de Antofagasta, los sitios "Tagua Tagua 1 y 2" en San Vicente de Tagua Tagua, en la Región de O'Higgins, el sitio "Pilauco" en la Región de Los Ríos y la Cueva del Milodón en la Región de Magallanes.

La megafauna cuaternaria de Chile está compuesta por un amplio registro de perezosos gigantes, caballos, tigres diente de sable y macrauquenias (grupo extinto de mamíferos herbívoros semejante en aspecto a una llama). Uno de los grupos fósiles más llamativos y abundantes en restos, son los gonfoterios. Los gonfoterios fueron animales de gran tamaño, relacionados con los elefantes modernos de África y Asia, así como a los mamuts y mastodontes de América del Norte. En Chile, sus restos están presentes desde la Región de Tarapacá hasta la Región de Los Lagos.

¹⁷ Cortés et al. 2007

¹⁸ Ortlieb et al. 1996 b.

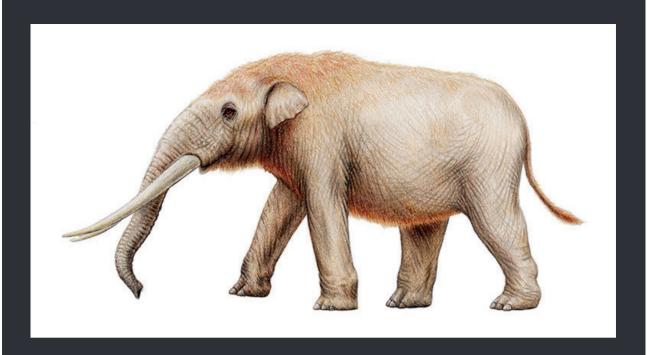




IMAGEN Nº 11: Reconstrucción de *Notiomastodon platensis* (arriba) y fotografía de un molar de gonfoterio del Pleistoceno de la Región Metropolitana. Fuente: CMN; ilustrador Mauricio Álvarez Abel

Patrimonio ienológico, patrimonio in situ

La icnología estudia los rastros que los organismos dejaron como producto de su actividad, alimentación, locomoción, entre otros. Este tipo de fósiles se llaman icnitas o icnofósiles y pueden consistir en restos metabólicos (coprolitos), huellas y rastrilladas, marcas de perforaciones en otros organismos o substrato, entre otros.

El registro chileno de dinosaurios se encuentra compuesto mayoritariamente por icnofósiles, desde la Región de Tarapacá hasta la Región de O'Higgins y desde el Jurásico Superior hasta el Cretácico Inferior (aprox. 125 a 89 millones de años atrás)¹⁹.

La presencia de numerosas huellas de dinosaurios en diferentes niveles y afloramientos del Cretácico Inferior de la quebrada Chacarilla (Fm. Chacarilla, Región de Tarapacá) — ver imagen Nº 12 —, motivaron la declaración del sector como Monumento Nacional en la categoría de Santuario de la Naturaleza (Decreto Nº 664 del año 2004), en virtud de su valor para la investigación científica, educación y turismo, además de su carácter de preservación in situ. Esto último se refiere a que en general las huellas fósiles no se recolectan del sitio en el que se encuentran, sino que son estudiadas en sus afloramientos naturales. Así, se decretó la protección de un área total de más de 16 mil hectáreas a 50 kilómetros al sur de Pica. Esta área comprende cinco afloramientos distintos con abundantes huellas de dinosaurios preservadas en rocas sedimentarias, equivalentes a antiguas playas que componen la Fm. Chacarilla. Fue identificado un conjunto de huellas de ornitópodos, llamadas Caririchnium, similares a las que se pueden encontrar en otros yacimientos en el hemisferio norte (en el Cretácico, en el antiguo supercontinente Laurasia)²⁰. Adicionalmente, se encontraron huellas y rastrilladas (conjunto de huellas de un mismo individuo, asociadas entre sí) de terópodos y saurópodos.

¹⁹ Rubilar-Rogers et al. 2012.

²⁰ Blanco et al. 2000, Rubilar-Rogers et al. 2008.



IMAGEN N° 12: Detalle de una zancada (huellas derecha e izquierda) de un dinosaurio terópodo Fuente: Karen Moreno Fuentealba

Una de las características más relevantes de los sitios con huellas es que posibilitan el estudio del comportamiento de los organismos "en vida", permitiendo por ejemplo, en el caso de los dinosaurios, inferir si eran gregarios o solitarios, sus estrategias de depredación, estructuras conductuales, velocidad, entre otros. Una situación similar se da en el centro sur de Chile, en la comuna de San Fernando (Región de O'Higgins), donde se reconocen huellas aisladas y rastrilladas de terópodos de pequeño y mediano tamaño, así como de huellas de saurópodos y ornitópodos en Fm. Baños del Flaco (Jurásico Superior)²¹. El lugar es protegido bajo la figura de Monumento Histórico (Decreto Nº 4866 del año 1967).

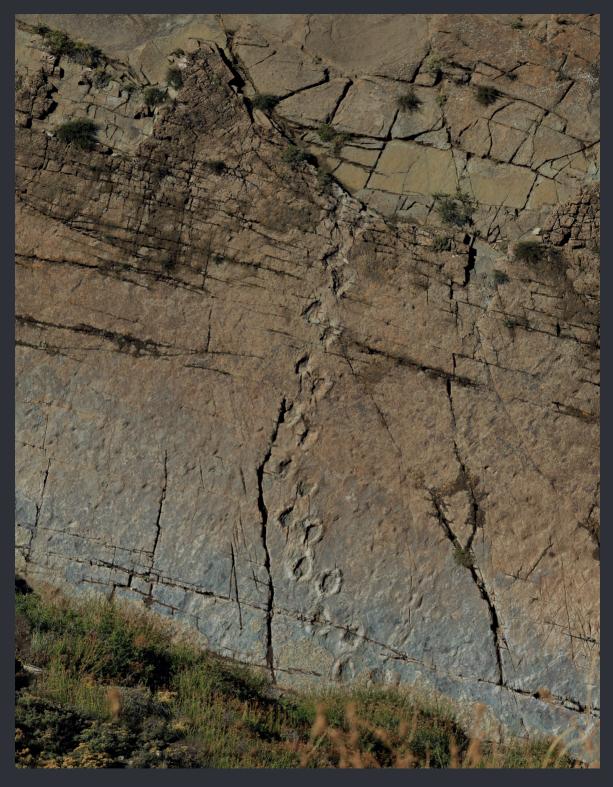
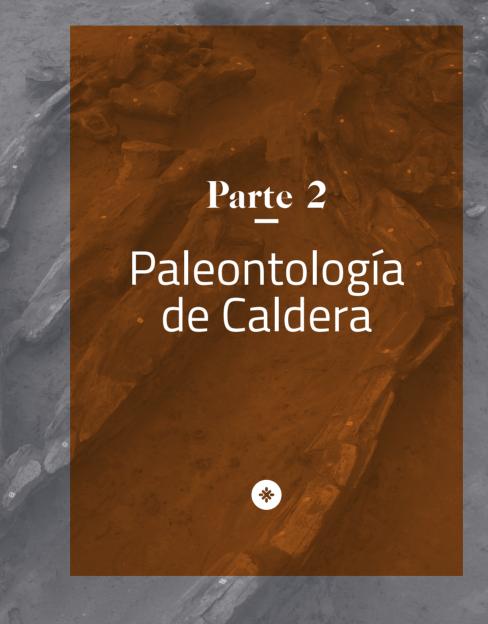


IMAGEN N° 13: Huellas de dinosaurio de la localidad de Termas del Flaco, comuna de San Fernando, Región de O'Higgins Fuente: CMN



Contexto geológico de la cuenca de Caldera

El Neógeno es un periodo de grandes transformaciones geomorfológicas y, consecuentemente, ambientales, en especial en la región que actualmente conforma el territorio continental de Chile. En este momento de la historia de la Tierra, ocurrió un mega evento tectónico de consecuencias globales, generando una erosión por debajo de la placa continental sudamericana que ocasionó transgresiones marinas en diversos sectores del mundo (incluyendo Nueva Zelanda, Costa Rica y Guatemala). Este evento también podría ser considerado como el origen de las cuencas neógenas marinas de Chile.

En la cuenca de Caldera el relieve es accidentado, siendo este el producto de la historia geológica de la zona. Es por esto que se pueden encontrar rocas del basamento (ígneas) que datan del Jurásico, sobre las cuales se depositan, por ejemplo, los sedimentos de la Fm. Bahía Inglesa (12 a 3 millones de años — ver imagen Nº 14 — y la unidad geológica informal conocida como Estratos de Caldera (2 millones hasta 100 mil años atrás) — ver imagen Nº 15 —. Como se indicó anteriormente, esta formación destaca por la gran diversidad y abundancia de restos de vertebrados.



ROCAS ÍGNEAS:

También conocidas como magmáticas, son aquellas que se forman cuando el magma (roca fundida) se enfría y solidifica.



IMAGEN N° 14: Estratos de la Fm. Bahía Inglesa en la localidad "El Morro", comuna de Caldera, Región de Atacama Fuente: CMN

La Fm. Bahía Inglesa fue primeramente descrita por Rojo (1985), geólogo del Sernageomin quien tenía el objetivo de mapear la unidad geológica debido a la presencia de trazas de uranio, así como estudiar la actividad tectónica y la secuencia sedimentaria. De esta forma, Rojo (op. cit.,) define a esta formación como una secuencia transgresiva-regresiva de sedimentos del Mioceno medio-Plioceno tardío, ubicada a lo largo del borde costero del desierto de Atacama en la región homónima.



TRAZAS DE URANIO:

Restos poco abundantes del elemento químico radioactivo con interés comercial para la explotación minera. La proporción de estas trazas en la localidad era muy baja, lo que desestimó su explotación.

Por otro lado, los Estratos de Caldera están depositados en terrazas marinas, en las que se pueden observar los cambios de la línea de costa, que evolucionó de más profunda a más somera en los últimos cientos de miles de años. Estos depósitos tienen la particularidad de que al tratarse de una secuencia regresiva, las capas más antiguas se encuentran en lugares más elevados que las más recientes, de acuerdo al retroceso del océano en esta época. En conjunto con esto, se encuentran las diversas fallas de distintas edades y direcciones, un factor de complejidad a la hora de interpretar la geología y geomorfología del sector.



SECUENCIA SEDIMENTARIA:

Serie de capas sedimentarias o niveles que denotan un mismo evento geológico. Es un enfoque de la "estratigrafía de secuencias", relativamente reciente, que interpreta el desarrollo de los ambientes en el tiempo y el espacio.



SECUENCIAS TRANSGRESIVAS-REGRESIVAS:

Son las secuencias de capas que incluyen el registro de un ciclo completo desde el aumento del nivel del mar (transgresión), hasta llegar a la máxima profundidad de la cuenca marina y el subsiguiente descenso del nivel del mar (regresión).

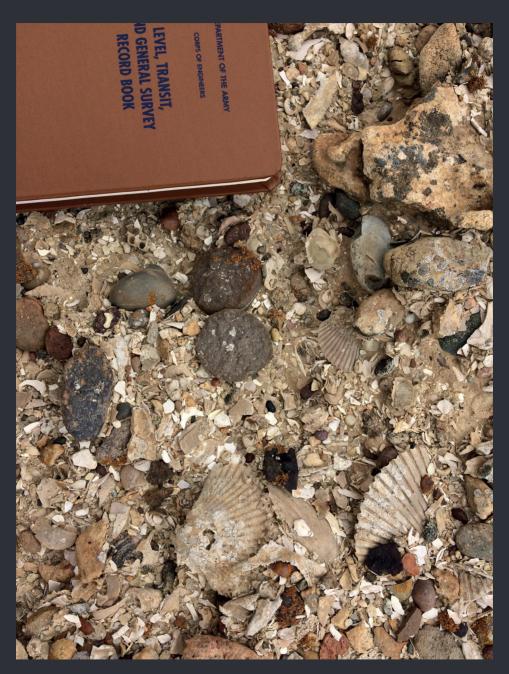


IMAGEN Nº 15: Fósiles de moluscos pectínidos, entre otros, que afloran en la superficie de la unidad pleistocénica Estratos de Caldera Fuente: CMN

Neógeno

Periodo de tiempo entre los 23 hasta los 3 millones de años antes del presente

Los sistemas de fallas que cortan los paisajes y depósitos de sedimentos de la cuenca de Caldera han estado activos principalmente en dos momentos distintos, en una primera instancia al mismo tiempo que la depositación de la Fm. Bahía Inglesa, sobre todo en lo que respecta al levantamiento del morro Copiapó. De esta manera, en el área de Caldera se observan fallas sincrónicas con la depositación de las capas de sedimentos de Fm. Bahía Inglesa, lo que hace más complejo el establecimiento de la continuidad lateral de las capas y de sus espesores, ya que estas se han desplazado a diferentes "alturas" geográficas. Además, se produce un cambio en la sedimentación entre las localidades, existiendo una gran variación lateral en el espesor de las capas, así como del tipo de textura y tamaño del sedimento (facies). Esto porque las áreas más cercanas al lugar de levantamiento (ej. falda del morro Copiapó) tendrán un mayor aporte de sedimento y por lo tanto estarán representadas con mayores espesores. Esto dificulta la labor de correlacionar los afloramientos rocosos y paleontológicos en una secuencia que refleje el tiempo y tipo de ambiente de sedimentación²².

Por otro lado, existen también las fallas cuaternarias, que movieron las capas de la Fm. Bahía Inglesa que ya estaban depositadas y algo consolidadas, generando más afloramientos de estas, como se observan en los acantilados costeros, por ejemplo.



FACIES:

Textura y tamaño de grano de la roca o depósito sedimentar.

Formación Bahía Inglesa

Periodo de tiempo aproximado entre 10 hasta 2 millones de años antes del presente

Pese a ser conocida hace más de dos siglos, fue en el año 2016 con el trabajo liderado por el sedimentólogo Dr. Jacobus LeRoux, que se establecieron las correlaciones y ordenamiento temporal de las secuencias de esta formación, proporcionando una edad relativa para cada localidad. Se definieron ocho unidades litológicas dentro de la formación: Miembro El Pimiento, Miembro Punta Totoral, Miembro Cerro Ballena, Miembro Mina Fosforita, Miembro La Higuera, Miembro Rocas Negras, Miembro Quebrada Blanca y Miembro Chorrillos. Este trabajo generó la base para una futura caracterización estratigráfica de la fauna, que posibilitará, por ejemplo, el estudio de los patrones biogeográficos de estos.

La sedimentación de esta formación también está conectada con los movimientos tectónicos, incluso en un patrón más global, como con la subducción de la placa de Nazca con la placa Sudamericana. Como se mencionó anteriormente, se ha correlacionado un periodo de subsidencia continental que provocaría la depresión de la placa continental y el aumento del nivel del mar en las cuencas de Coquimbo y Caldera desde hace 15 hasta 11 millones de años antes del presente, el cual habría generado una profundización de las cuencas de depositación, resultando en una sucesión de capas sedimentarias de origen marino semi-consolidadas (aún no son rocas propiamente tal) compuestas de arcillas, limos, areniscas, coquinas y fosforitas fosilíferas (roca con alta concentración de fosfato aportado por gran cantidad de huesos fósiles fragmentados), además de una menor proporción de conglomerados (depósitos con granos mayores a 1 cm), diatomitas (roca formado por caparazones de algas diatomeas) y capas de ceniza volcánica, interpretadas como depósitos de plataforma continental y talud superior. De todas estas, la capa de fosforita es sin duda la más conocida, debido a la extrema abundancia de fósiles de vertebrados que posee.



COOUINAS:

Rocas sedimentarias que se forman con una gran proporción de restos de conchas, esqueletos de corales y restos de picorocos, que en general han sido fracturados mecánicamente por procesos naturales (p.ej.: acción de las olas del mar). Estas rocas pueden tener variado grado de cohesión, siendo agregados no consolidados y pobremente cementados.

En general, la Fm. Bahía Inglesa muestra una secuencia de ambientes transicionales cercanos a la línea de costa, cambiando a ambientes de mayor energía (ej. oleaje o corrientes). Luego, la unidad siguiente corresponde a la fosforita, reflejando ambientes de plataforma continental exterior al talud del borde continental. La unidad que se deposita sobre (sobreyace) la fosforita está compuesta de sedimentos de grano fino y con poca estructuración sedimentaria (indicando poca influencia de corrientes marinas y otros agentes de transporte) sugiriendo la existencia de un ambiente de plataforma exterior, consistentemente con la secuencia temporal y de transformación de ambientes por cambios en el nivel de mar que fue interpretada para la localidad.



SUBDUCCIÓN:

Proceso donde una placa oceánica se hunde bajo otra placa, ya sea oceánica o continental.



SUBSIDENCIA:

La subsidencia en geología describe el progresivo hundimiento de una superficie, generalmente de la litosfera. Paralelamente, las condiciones para la formación de las rocas fosfáticas son muy particulares en términos de energía (corrientes), profundidad y oxigenación (cantidad de oxígeno presente en el agua)²³. Diversos factores influyen en la formación de este tipo de depósitos, tales como la intensidad de las corrientes y la acumulación de restos óseos que contienen fosfato. Los fosfatos fueron reconocidos en el *bone bed*²⁴ (definido literalmente como una capa de huesos, es decir una alta acumulación de restos fósiles de vertebrados) de la Fm. Bahía Inglesa. Los tipos de fosfatos presentes en esta capa se constituyen en nódulos que sólo se forman bajo alta presión, es decir, a grandes profundidades marinas. Lo que implica que después de la depositación de los restos óseos (acumulados a baja profundidad) y sedimentos en la capa que dará origen a la fosforita, ocurrió una profundización de la cuenca, lo que permitió la formación de los nódulos. Esto indica que los cambios eustáticos actuaron como modeladores de las capas de la formación, lo que permite considerar a la capa de fosforita como un estrato guía, haciendo posible la correlación estratigráfica de los afloramientos en los cuales se presenta este nivel.

Por otro lado, el cambio de profundidades causado por los ciclos de transgresión y regresión del océano, que en este caso están correlacionados con los ciclos de subsidencia de las placas continentales, genera un cambio en las facies y tipos de fósiles preservados en las capas sedimentarias dentro de dicha secuencia. Así, las cuencas profundas generan depósitos de fondos marinos, caracterizados por la presencia de limos, arcillas y areniscas finas, que poseen un alto potencial de preservación de fósiles (incluyendo la preservación de esqueletos completos así como detalles finos del organismo).



EUSTATISMO:

Variaciones del nivel global del mar que pueden ser el resultado del movimiento de las placas tectónicas que alteran el volumen de las cuencas oceánicas o cuando los cambios climáticos afectan el volumen de agua almacenada en los glaciares y en los casquetes glaciares.

²³ Garrison, 1992.

²⁴ Achurra, 2004.

En contraste, los depósitos en sectores de la plataforma marina más someros (poco profundos), en donde existe una mayor energía (oleaje, por ejemplo) asociada a la depositación de los sedimentos, son caracterizados por la presencia de estos con granos de mayor tamaño, así como bloques, bolones y bioclastos (fósiles de elementos esqueléticos de fauna y flora) de tamaño variable entre pocos centímetros hasta algunos decímetros. Por lo tanto, los niveles más someros tendrán la posibilidad de acumular y preservar una mayor cantidad de restos, como es el caso de los niveles de la localidad de Mina Fosforita, acumulados en ambientes marinos de baja profundidad y de alta energía.

Los fósiles de vertebrados están principalmente reconocidos en los niveles fosfáticos, por elementos fragmentarios y aislados, sin poder determinarse con certeza la potencial asociación con los elementos esqueléticos encontrados en las proximidades, lo que limita las interpretaciones posibles. Es decir, muchas veces las descripciones están basadas en esqueletos parciales o huesos aislados. Pese a esto, los fósiles de esta localidad son los más estudiados de la formación debido al alto número de elementos óseos que a pesar de ser fragmentarios o aislados tienen buena preservación de detalles anatómicos. En relación a éstos, se realizaron trabajos²⁵ sobre la variación morfológica de especies con alto número de ejemplares (por ejemplo, morfometría geométrica de cráneos de *Brachydelphis mazeasi*, o morfometría de las mandíbulas de foca; ver más adelante). Estos estudios han posibilitado entender la variación y clasificación sistemática relevante para los grupos de vertebrados en cuestión.

En los depósitos de mayor aporte de sedimento fino, que son el resultado de los lapsos de tiempo en que la cuenca estuvo más profunda y que fueron depositados en ambientes de plataforma a mar abierto, y además habiendo un gran flujo de aporte de sedimentos con el levantamiento del morro Copiapó, se preservó otra capa fosilífera conocida como el *bone bed* de El Morro (recibe este nombre por ubicarse en la falda del morro Copiapó) — ver imagen Nº 16 —. Esta capa es posterior (suprayace) a la capa de fosforita y se caracteriza por la alta densidad de esqueletos, se diferencia de la fosforita, porque posee menos individuos, mayoritariamente se encuentran esqueletos de vertebrados marinos articulados, semi-articulados o asociados, con escasos elementos aislados o fracturados. Por estas razones, el

25

Gutstein et al. 2009.

bone bed de El Morro fue propuesto informalmente como Fossillagerstätte²⁶ por la alta concentración de restos fósiles con excelente preservación, entre los que destacan algunos registros únicos en el mundo, como el caso del *Pelagornis chilensis* (ave marina pseudo-dentada) — ver imagen Nº 17 —. Este es el ejemplar de pelagornitido más completo ya conocido, incluso al momento de su publicación fue considerada el ave de mayor envergadura alar de todos los tiempos (estimado de siete metros con las alas abiertas; ver más adelante)²⁷.

²⁶ Gutstein et al. 2007.

²⁷ Mayr y Rubilar-Rogers 2010.

Cuaternario

Periodo de tiempo aproximado entre 2.5 millones de años hasta el presente

El alzamiento litoral Pleistoceno de la cuenca de Caldera (sector Caldera-Bahía Inglesa) marca el comienzo de la elevación de la plataforma costera, sobre el océano. Este alzamiento constituye un evento de amplitud regional y es consecuencia de un evento más global debido a la convergencia de las placas de Nazca y Sudamericana.

Así, las fallas activas en el Pleistoceno expusieron las capas de la Fm. Bahía Inglesa previamente formadas durante el Neógeno. La actividad de las fallas han moldeado el terreno y el relieve actual, y han expuesto el abundante patrimonio paleontológico preservado en las capas fosilíferas de la Fm. Bahía Inglesa. Los diferentes niveles contienen distintos tipos de fósiles en cuanto a preservación. De esta manera, los movimientos tectónicos ocurridos durante el Pleistoceno fueron también responsables por la exposición de los sedimentos fosilíferos de la Fm. Bahía Inglesa.

Mientras este proceso ocurría, la cuenca de Caldera aún se encontraba bajo el nivel del mar y por eso contiene una serie de depósitos de sucesión sedimentaria marinalitoral, es decir, capas de sedimentos con diferentes tamaños y texturas, variando de acuerdo a la profundidad de la cuenca en el momento de la depositación. Estos depósitos estaban compuestos de sedimentos que al erosionarse por acción del mar formaron terrazas de abrasión marina, por la acción erosiva del oleaje. Al bajar la profundidad de la cuenca de Caldera éstas quedaron expuestas y originaron nuevas terrazas que corresponden a una unidad geológica informal denominada Estratos de Caldera.



IMAGEN N° 16: Excavación paleontológica en El Morro Fuente: Carolina Simon Gutstein, FAIP 2009



IMAGEN Nº 17: Detalle de la descripción del cráneo de *Pelargonis chilensis*. Colección Paleontología Vertebrados, Bahía Inglesa Fuente: Museo Nacional de Historia Natural, Nº de inventario 1061

Estratos de Caldera

Periodo de tiempo aproximado entre 860 a 230 mil años antes del presente

Esta unidad se encuentra definida informalmente como los depósitos de arenas y conglomerados pleistocenos que en algunos casos forman cordones litorales y que se emplazan en delgadas terrazas marinas cuaternarias de la cuenca de Caldera, depositándose sobre la Fm. Bahía Inglesa y el basamento jurásico²⁸. Afloramientos de esta unidad están ubicados entre Caldera y la desembocadura del río Copiapó, constituyendo una extensa plataforma costera emergida de 20 km de ancho. Esta plataforma contiene al menos seis relictos de terrazas costeras que se distribuyen escalonadamente desde el nivel del mar hasta los 230 m s.n.m. Cada terraza es levemente inclinada (subhorizontal) y separada por paleoacantilados.



DATACIÓN ISOTÓPICA:

Método de datación que compara la proporción de isótopos estables y radioactivos en una roca o fósil. Considerando que las concentraciones de ciertos isótopos en el ambiente en las diferentes edades es conocida, se pueden calcular las proporciones en varios puntos de una secuencia y compararla con las curvas de concentración globales que conforman la tabla de Estadios Isotópicos Marinos (MIS, por sus siglas en inglés), para correlacionar la secuencia en cuestión en el intervalo de tiempo correspondiente.

La formación de las terrazas costeras es el resultado de la interacción entre el alzamiento tectónico y las variaciones glacioeustáticas (variaciones del nivel del mar ocasionadas por eventos de glaciación) características del Pleistoceno. Esto, porque durante la evolución de un periodo glacial a interglacial el nivel del mar asciende a una tasa mayor que la tasa de alzamiento tectónico. En un periodo interglacial el nivel del mar experimenta un nivel de ascenso máximo, el que se estabiliza después de un cierto tiempo. Se ha considerado que a través de dicho proceso se formaron las terrazas costeras, por medio del desarrollo de una superficie plana que constituyó una plataforma de abrasión marina y un acantilado en la porción más cercana a la línea de costa — ver imagen Nº 18 —. De esta forma, este acantilado es la huella dejada por el mar en la línea de máxima inundación de la transgresión, promovida por el máximo interglacial.

La terraza costera más alta, con una altura superior a los 200 m s.n.m., tiene una edad de 860 mil años, edad determinada mediante estudios isotópicos²⁹.

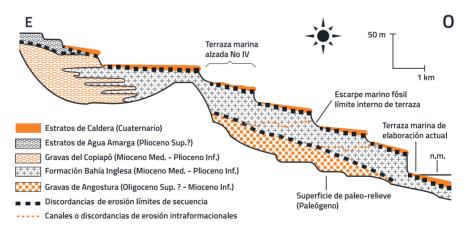


IMAGEN Nº 18: Esquema de las terrazas marinas del área de estudio, modificado de Quezada et al. 2007.

29

Quezada et al. 2007.

En la zona de Caldera, la fauna asociada a los depósitos de terrazas marinas cuaternarias se extiende por diversas capas fosilíferas y es relativamente constante en diversidad, siendo además similar a la fauna actual, con excepción de la fauna de aguas cálidas asociada a un evento climático durante el intervalo interglacial ocurrido hace aproximadamente 400.000 años. Se pudo establecer una edad pleistocena a una de las terrazas por la presencia de fósiles de moluscos *Concholepas concholepas* (locos), *Fisurella crassa* (lapa), *Turritella cingulata*, *Chorus giganteus*, y *Protothaca thaca* (machas)³⁰. Estudios de proporción isotópica en las conchas de los moluscos fueron realizados y sus resultados se compararon con los Estadios Isotópicos Marinos, los que permitieron asignar edades relativas a cada nivel de terrazas que van desde los 100 mil hasta los 900 mil años de antigüedad.

Paleoclima

El paleoclima en el Neógeno de la cuenca de Caldera ha sido interpretado como más húmedo y cálido que el existente en el presente, lo que se evidencia por el ensamble de fauna de la Fm. Bahía Inglesa (ver más adelante). Esto se explica por la ausencia o menor influencia de la corriente fría de Humboldt.



CORRIENTE DE HUMBOLDT:

Es una corriente oceánica que se produce en las costas occidentales de América del Sur, ocasionada por el ascenso de aguas profundas y ricas en nutrientes, por lo tanto, muy frías y que propician la biodiversidad.

De acuerdo a los investigadores, es en el Neógeno que se inicia el proceso de hiperaridificación de la Región de Atacama. Si bien aún no existe consenso de su edad más precisa, algunos autores consideran que el cambio hacia un clima hiperárido ocurrió entre los 10 y 3 millones de años atrás³¹.

Se considera que el desarrollo de la hiperaridez del desierto de Atacama, especialmente en la parte norte (en las regiones de Tarapacá y Antofagasta) se correlaciona con el levantamiento de los Andes, que bloquearía la humedad proveniente de la cuenca Amazónica³². De manera simultánea, se produce la intensificación de la corriente fría de Humboldt, la que propicia la surgencia a estas latitudes, disminuyendo la evaporación y el humedecimiento de las masas de aire. La evidencia micropaleontológica más antigua de la existencia de aguas frías debido a los inicios de la corriente de Humboldt fue encontrada en niveles del Mioceno tardío de la Fm. Bahía Inglesa³³.

³¹ Hartley & Chong, 2002.

³² Rech et al. 2006; Le Roux, 2012.

³³ Marchant, 2000.



SURGENCIA:

Fenómeno oceánico que sucede cuando las corrientes frías y ricas en nutrientes que normalmente circulan en profundidad, emergen alcanzando la superficie del agua.

Sin embargo, evidencias de un clima más húmedo en este periodo, se pueden encontrar en los taxa de la diversa fauna fósil costera de Caldera que incluye: cocodrilos, aves marinas (como pelagornítidos y varias especies de piqueros) y mamíferos marinos (como manatís y delfines inioideos -parientes del buffeo rosado del Amazonas y del delfín del río de La Plata)³⁴, lo que sugiere un ambiente más húmedo y heterogéneo, con mayor expresión del componente vegetal, generando más microambientes, en comparación al desierto costero predominante de hoy. Adicionalmente, en este periodo, el río Copiapó era mucho más caudaloso, su curso y desembocadura estaban ubicados más al norte, cercanos a las localidades que hoy en día albergan los niveles fosilíferos de Caldera. Lo anterior se puede relacionar a la mayor presencia de precipitaciones en el área de estudio para dicho periodo.

Aspectos de la preservación

de los yacimientos paleontológicos de Caldera

A pesar de la intensa y sistemática explotación minera y la acción de comerciantes ilegales de fósiles en la localidad de Mina Fosforita, se encuentra la mejor exposición de los niveles de fosforita, denominados en conjunto como *bone bed* por la alta densidad de huesos de vertebrados, constituyendo un 77 % del total de fósiles de Fm. Bahía Inglesa³⁵. Estos niveles fueron los primeros en ser estudiados y reconocidos como una capa formada mayoritariamente por fragmentos óseos y matriz cementada (ver apartado Parque Paleontológico Los Dedos). No obstante, y gracias a la continuidad de los estudios paleontológicos y la caracterización sedimentológica completa de la formación, se ha reconocido la existencia de otros niveles de *bone beds* en las localidades de El Morro y Los Negros.

En términos tafonómicos, la diferencia más importante entre las capas de huesos de fosforita y las areniscas es que en la primera, los fósiles son fragmentarios, mientras que en las capas de huesos con matriz de arenisca, la mayor parte de los restos comprenden elementos esqueletales articulados. Así, la capa de fosforita está formada por la acumulación, retrabajo y redepositación de huesos a través del tiempo. Esto significa que los elementos esqueléticos luego de estar depositados, fueron exhumados, siendo posteriormente transportados por las mareas y corrientes y luego depositados nuevamente, lo que indica una alta energía en el ambiente de depositación. Lo anterior se evidencia en base a la observación en detalle de cada elemento esquelético fósil: el tipo de preservación (los detalles anatómicos, texturas y suturas se encuentran muy bien preservados), la presencia y los tipos de fracturas (rectas) y otras alteraciones posibles (abrasión). En el caso de la fosforita se ha relacionado el patrón de fracturas rectas que presentan los fósiles con la premineralización del elemento antes de su fragmentación y depósitación final.

35

59

Walsh y Suárez, 2005.



TAFONOMÍA:

Estudia los procesos de fosilización y la formación de los yacimientos de fósiles, así como la procedencia de estos elementos. Los estudios incluyen la interpretación de los fenómenos que actuaron en la formación de los fósiles, desde la muerte o depositación de los individuos hasta su hallazgo y los procesos que sufren los restos de los organismos, que incluyen la descomposición, desarticulación, erosión, abrasión entre otros, así como los que suceden luego del sepultamiento (ej: diagénesis, procesos químicos que sufren los depósitos hasta convertirse en roca).

De todos los niveles, la composición de la fauna de la capa de fosforita ha sido la más estudiada de la formación y, hasta el momento, presenta la mayor diversidad de taxa (grupos) de vertebrados y abundancia de especímenes. Debido a esto, cobra importancia dilucidar si se trata de un ensamble contemporáneo (es decir, que todos los organismos murieron en una ventana de tiempo acotada) que pudiese representar una paleocomunidad.

Por otro lado, las capas de huesos con matriz de areniscas presentan fósiles con diferentes grados de articulación y preservación. En general, los restos mejor preservados y más completos no fueron transportados grandes distancias y/o fueron rápidamente enterrados y por esto son más confiables para la reconstrucción paleobiológica y de las comunidades que habitaron la cuenca.

Paleocomunidades

en la cuenca de Caldera

Los vertebrados fósiles de la Fm. Bahía Inglesa conforman un conjunto rico y diverso de animales marinos que habitaron la costa de la Región de Atacama durante el Mioceno medio - Pleistoceno inferior³⁶.

En líneas generales destaca la diversidad tanto de número de taxa (grupos) cercanamente emparentados así como de taxa de orígenes filogenéticos distintos (evolutivamente distantes). Hasta el momento, se ha registrado la presencia de restos de tiburones y rayas (elasmobranquios), peces óseos (osteíctios), cocodrilos (crocodiliformes), pingüinos, piqueros, cormoranes, pelagornítidos (aves), perezosos acuáticos, focas, delfines y ballenas (mamíferos), los que provienen de diferentes sitios (Las Arenas, El Morro y Mina Fosforita) y distintos niveles estratigráficos³⁷. Este ensamble ha sido propuesto como indicador de un ambiente más heterogéneo, diverso y húmedo que en la actualidad, como se señaló anteriormente.

A) PLANTAS

Debido a que la Fm. Bahía Inglesa y los Estratos de Caldera son unidades netamente marinas no es sorprendente que no existan estudios respecto de la paleoflora del sector en el Neógeno. A pesar de esto, se observan en las colecciones y en el terreno la presencia de fósiles de plantas, tales como ramas, troncos y ciertos icnofósiles conocidos como *Teredolites*, que corresponden a los "tubos" producidos por la alimentación de moluscos bivalvos (*Teredo*) en los troncos que se encuentran sumergidos o flotando en el mar. Sin embargo, muy poco se conoce acerca de restos paleobotánicos en la Fm. Bahía Inglesa y Estratos de Caldera, pudiendo ser identificados solamente por su morfología externa al grupo Trachaeophyta (grupo

³⁶ Le Roux, et al. 2016.

³⁷ Gutstein et al. 2008.

general que incluye a todas las plantas vasculares). El estudio sistemático dedicado al componente paleobotánico en la cuenca de Caldera, es un importante campo para futuras investigaciones, sobre todo desde el punto de vista de la palinología (estudio del registro fósil de polen en los diferentes estratos).

Lo que se puede observar considerando las dimensiones de los restos de troncos y su relativa abundancia en ciertas localidades, es que la cobertura vegetal debió ser relativamente más frondosa en comparación con el entorno natural actual, caracterizado por el ecosistema del desierto costero. Esto además concuerda con la presencia de ciertos vertebrados costeros que son considerados especies de ambientes más húmedos como es el caso de los cocodrilos gaviales (ver más adelante).

B) MICROFÓSILES Y FÓSILES TRAZA

Los fósiles que más aportan al conocimiento paleoambiental y paleoclimático son los icnofósiles y microfósiles. Estos aportan a la interpretación del ambiente en que vivían los organismos en el momento de la formación de la capa sedimentaria. Este tipo de evidencia es principalmente extraída de dos tipos de fósiles: icnofósiles, tales como tubos y/o galerías que se preservan como moldes y microfósiles, como es el caso de los foraminíferos (organismo unicelular marino).

En el caso de los icnofósiles, si bien generalmente no se puede establecer la especie que generó las marcas (galerías, tubos o huellas), estos aportan una amplia gama de datos ambientales de acuerdo a sus rangos de ocurrencia conocidos y a los correspondientes paleoambientes.

En la Fm. Bahía Inglesa se encuentran abundantes icnofósiles de *Skolithos*, estos son galerías fosilizadas de animales no identificados que vivían en tubos excavados en sustratos arenosos o fangosos y son típicos de los niveles del Mioceno tardío. De la misma manera, se registran tubos de gusanos poliquetos (Polichaeta: gusanos marinos emparentados con las lombrices de tierra, Oligochaeta, y las sanguijuelas, Hyrudinea). Los poliquetos son gusanos que viven dentro de tubos excavados en el sedimento, cuyas paredes son secretadas por el mismo individuo que lo habita. Recurrentemente se presentan en formas filtradoras que se exponen a la interface sedimento-agua en formas llamativas con abundantes cilios (estructuras semejantes a pelos) que utilizan para filtrar el alimento en suspensión.

En términos de registro micropaleontológico, uno de los grupos más expresivos son los foraminíferos. Estos son organismos unicelulares del Reino Protista, principalmente marinos y que viven en la parte superior de la columna de agua (planctónicos) o en los sedimentos del fondo marino (bentónicos). De acuerdo a la especie y el lugar en donde viven pueden ser útiles para indicar profundidades y/o condiciones climáticas, dado que ciertas especies de foraminíferos están ampliamente asociadas a rangos específicos de profundidad y tipos de facies sedimentarias, en varias localidades del mundo. Afortunadamente, en la Fm. Bahía Inglesa se ha podido caracterizar el ensamble de foraminíferos para casi todos los miembros en los que está dividida³⁸, destacándose la presencia del foraminífero de la especie *Globigerina calida* (ver más abajo).

C) INVERTEBRADOS

C.1. MOLUSCOS

En general, han sido poco estudiados y presentan un registro más escaso en comparación con los vertebrados, probablemente debido al control tafonómico y al ambiente químico desfavorable para la preservación de conchas durante alguna etapa de la diagénesis (la fosfatización no preserva las conchas de moluscos compuestas de carbonato de calcio). Es por eso, que los fósiles de moluscos gastrópodos y bivalvos que pueden ser observados en los niveles de fosforita son exclusivamente preservados en moldes internos, los que son poco informativos en cuanto a identificación taxonómica más específica.

Para un listado completo de los miembros de la Fm. Bahía Inglesa ver Le Roux et al. (2016).

Inicios de la influencia de la

corriente de Humboldt

La evidencia micropaleontológica más antigua de la influencia de aguas frías (corriente de Humboldt o proto-Humboldt) es la presencia del foraminífero *Globigerina calida*, encontrada en niveles del Mioceno tardío de la Fm. Bahía Inglesa³⁹.

Algunos foraminíferos se enrollan de manera sinestral (hacia la izquierda) cuando se encuentran en aguas frías y de forma dextral (hacia la derecha) cuando se encuentran en aguas cálidas durante su desarrollo. Esto los hace buenos indicadores de rangos de temperatura amplios y/o cambios de temperatura en una secuencia, dado que son la misma especie que presenta una morfología distinta para cada caso. Los especímenes de *Globigerina* de la formación, presentan una concha con un enrollamiento sinestral, sugiriendo la existencia de aguas más frías.

Esta es una de las evidencias de la temprana influencia de aguas frías en el sector, indicando la existencia de surgencias (el ascenso de masas profundas de agua) y comienzo del predominio de corriente de surgencia que traen aguas frías y ricas en nutrientes a la cuenca, lo que es coherente con un inicio de la corriente de Humboldt en estas latitudes a fines del Mioceno.



CONTROL TAFONÓMICO:

Es un término que se refiere a los límites o sesgos que imponen los fenómenos estudiados por la tafonomía que estaban presentes en el momento que los elementos se enterraron y que determinan el tipo de fosilización que puede o no preservarse en un determinado lugar.

C.2. BIVALVOS

Los moluscos que presentan el cuerpo achatado lateralmente envuelto en dos valvas (conchas) que se pueden abrir y cerrar por sus músculos aductores, son clasificados dentro de la clase Bivalvia. Se alimentan por filtración y tienen una buena correlación entre la forma corporal y el tipo de hábitat en que viven. El grupo es exclusivamente acuático, siendo la amplia mayoría de las 13.000 especies vivientes, de hábitat marino.

Los niveles más basales de la Fm. Bahía Inglesa, como los de la playa de Chorrillos, también expuestos entre el sector El Morro y la playa del mismo nombre, presentan facies de coquina con abundantes bivalvos de valvas asimétricas de la familia Ostreidae (ostras), tal vez, el grupo de invertebrados más abundante de la Fm. Bahía Inglesa. Las ostras se caracterizan por formar bancos y viven fijas a la superficie rocosa. Destaca la especie *Crassostrea transitoria* que es notoria por su gran tamaño en comparación a las ostras actuales, alcanzando unos 12 cm. En general, el registro abundante de ostras indica ambientes marinos profundos y energéticos. El género de las ostras actuales, *Ostrea*, también está presente en la formación y en casi todas las formaciones neógenas del litoral central y norte del país, aunque su especie no ha sido determinada⁴⁰.

Por otro lado, en los niveles intermedios, como los expuestos en playa de Chorrillos y los niveles de Mina Fosforita, las ostras se tornan relativamente escasas, siendo más abundantes los bivalvos de la familia Pectinidae (ostiones), emparentados con

⁴⁰ González, 2013.

las almejas y ostras, incluidos en el orden Pectinida. Esta familia incluye a bivalvos de fondos firmes (arena firme o rocas) que pueden nadar libremente, se caracterizan por poseer las valvas con ondulaciones que radian desde el vértice y poseen surcos concéntricos que registran el crecimiento del animal, siendo la valva inferior levemente más grande y pálida en comparación a la valva superior. En la Fm. Bahía Inglesa característicamente se encuentra la especie *Chlamys calderensis* descrita por Möricke en 1896⁴¹, siendo una de las primeras especies descritas para la formación e indicadora del intervalo Mioceno tardío - Plioceno inferior. Otra especie de ostión fósil (Pectinidae), que es aún más común en los niveles de la Fm. Bahía Inglesa, es la especie *Chlamys simpsoni* (también referida al género *Zygochlamys*, según algunos autores).

Como especies más exclusivas detectadas en la Fm. Bahía Inglesa se puede citar la especie *Anomia atacamensis* para estratos al norte de Caldera. Esta especie es exclusiva de la Región de Atacama y también se incluye dentro del orden Pectinida (familia Anomiidae) y son considerados individuos móviles.

C.3. GASTRÓPODOS

Dentro de los moluscos, la clase Gastrópoda es la más diversa e incluye a los moluscos que presentan un pie musculoso, una concha única que durante la etapa larval sufre una torsión (giro de la masa visceral sobre el pie y la cabeza). En general, esto produce también una torsión en la concha única dorsal, generando la forma típica de los caracoles, aunque en algunos grupos derivados la valva puede no estar presente o presentarse de manera cónica, no enrollada, como en el caso de las lapas.

En la Fm. Bahía Inglesa destaca el dominio de especies de la familia Muricidae, principalmente en los niveles más bajos de la formación, al sur de la cuenca de Caldera (cercanías de Bahía Salada). Por ejemplo, se encuentran especies del género *Chorus blainvillei* y *C. doliaris*, fauna que no difiere mayormente de la encontrada en los demás estratos neógenos de Chile⁴².

⁴¹ Möricke, 1896.

⁴² González, 2013.

Aún dentro de la familia Muricidae, en los niveles pliocenos de la Fm. Bahía Inglesa se registra la primera aparición (en la formación) del género *Concholepas*, con la especie *Concholepas nodosa*. Este es el mismo género del loco actual (*Concholepas concholepas*) que existe en las costas chilenas desde el Pleistoceno (Estratos de Caldera) hasta la actualidad. Son gastrópodos atípicos en el sentido que presentan una muy leve torsión de la concha y son de gran tamaño, siendo depredadores móviles y habitando zonas rocosas. La especie pliocénica, *C. nodosa*, deriva su nombre de la ornamentación de su concha. Se ha registrado en diversas localidades de la Fm. Bahía Inglesa en su parte alta (Plioceno) entre ellas en las localidades de Quebrada Tiburón y Cerro Ballena.



IMAGEN N° 19: Concholepas nodosa en Cerro Ballena Fuente: CMN, Fotografía: Terra Ignota inédito

En los niveles cuaternarios de los Estratos de Caldera también se registran abundantemente las familias Turritellidae y Fissurellidae. Las turritellas, que incluyen al género *Incatella*, son gastrópodos con un enrollamiento pronunciado, formando conchas alargadas. Sus moldes internos también se observan en los

niveles de fosforita (Mioceno tardío) de la Fm. Bahía Inglesa, aunque restos de la concha no han sido reportados formalmente. Sin embargo, en el Cuaternario es el invertebrado más común de los Estratos de Caldera, donde se reconoce por ejemplo, la especie *Incatella cingulata*.

Por otro lado, los fissurélidos son conocidos como un tipo de lapa presente también en la actualidad. Se caracterizan por una concha sin torsión cónica y con un orificio en su ápice, tal y como las lapas actuales, son móviles y pueden adherirse al sustrato rocoso con su pie musculoso.

C.4. EQUINODERMOS

Este grupo incluye a los erizos de mar y dólares de arena, son invertebrados del tipo deuterostomados. Estos conforman un grupo de acuerdo a características de su desarrollo temprano como embrión, estando evolutivamente más relacionados a los vertebrados que a los otros invertebrados que son protostomados.

Restos de *Encope calderensis* y *Encope chilensis*, especies de dólar de arena, son encontrados en la Fm. Bahía Inglesa en los niveles de coquinas y areniscas. De hecho, *E. calderensis* fue la primera especie de invertebrado descrita para el sector de Caldera en 1916 por Gigoux y luego fue redescrita y rectificada por Covacevich y Frassinetti en 1977. El género se compone por animales que habitan zonas de aguas tibias y actualmente no se encuentran en Chile, siendo otro indicador de la condición más cálida y húmeda de la costa de Caldera en el Neógeno, la que paulatinamente fue cambiando a la condición actual.



PROTOSTOMADOS:

Son invertebrados (como los moluscos) que en su desarrollo embrionario temprano forman como primer orificio la boca, mientras que los deuterostomados, pueden ser vertebrados o invertebrados (como los humanos o erizos de mar), que forman como primer orificio del embrión el ano.

D) VERTEBRADOS

D.1. PECES ÓSEOS, TIBURONES, RAYAS Y QUIMERAS

Los peces son vertebrados de la superclase Gnathostomata (animales con columna vertebral, revestimiento óseo o cartilaginoso de su cerebro - el neurocráneo - y mandíbula articulada) muy diversos y que habitan/habitaron estrictamente ambientes acuáticos. Los gnatostomados se subdividen en Placodermi y Acanthodii (grupos marinos extintos que habitaron el planeta durante la era Paleozoica - 251 a 541 Ma); Chondrichthyes (tiburones, rayas y quimeras) y Osteichthyes (peces óseos).

En la Fm. Bahía Inglesa se encuentra gran parte del registro de la ictiofauna en Chile, presentando la mayor diversidad de peces condríctios fósiles registradas con 27 taxa, principalmente recuperadas desde los niveles de fosforita (Mioceno tardío), extendiéndose por todo el rango temporal de la formación. Así, se han recuperado abundantes dientes, espinas y centros vertebrales de tiburones y rayas. La subclase Holocephali, orden Chimaeriformes, que incluye a las quimeras o pejegallos, es menos abundante, registrándose una especie indeterminada del género *Callorhinchus* (familia Callorhynchidae) en los niveles más antiguos de la localidad Las Arenas, dentro de la zona urbana de la comuna de Caldera⁴³.

La subclase Elasmobranchii comprende a los tiburones (Selachimorpha) y rayas (Batoidea), siendo la más ampliamente representada en la Fm. Bahía Inglesa, habiéndose reconocido los órdenes: Hexanchiformes, Squaliformes, Pristiophoriformes, Squatiniformes, Heterodontiformes, Orectolobiformes, Carcharhiniformes y Lamniformes.

D. 1.1. TIBURONES

Hexanchiformes: incluye a tiburones con seis o siete branquias. En Fm.
 Bahía Inglesa se reportó el género Hexanchus sp., parientes del tiburón cañabota o de seis branquias que habita actualmente diversos ambientes,

⁴³ Suárez, 2015 y referencias de ese trabajo

- aguas oceánicas (cercano a los 2000 m) tropicales a templadas (aunque generalmente son avistados en aguas más someras y cálidas por las noches).
- Squaliformes: tienen cinco aberturas branquiales y, en general, habitan aguas profundas. En Caldera se registró el género *Echinorhinus* (familia Echinorinidae) que se caracteriza por ser de gran tamaño (3 a 4 m de longitud) con el cuerpo robusto y la piel cubierta de dentículos ásperos o espinas ensanchadas que habitan en aguas hasta los 900 m de profundidad.
- Pristiophoriformes: conocidos como tiburones sierra, poseen seis branquias, son representados solo por la familia Pristiophoridae, que se caracteriza por poseer largos bigotes y un rostro dentado alargado, con dientes largos y cortos, con el que remueven el fondo marino en busca de alimento. El género *Pristiophorus* fue reconocido en la formación por su característico diente alargado sin cúspides en forma de sable.



IMAGEN N° 20: Diente lateral de *Hexanchus* sp. presentando cúspides seriadas y raíz Fuente: CMN

- Heterodontiformes: conocidos comúnmente como tiburones cornudos, incluye a la familia Heterodontidae con tres géneros fósiles y un género actual, *Heterodontus*, compuesto por nueve especies. Son de pequeño tamaño (máximo 165 cm de longitud), poseen cinco hendiduras branquiales, su dentición es heterodonta (diferenciada) siendo los dientes anteriores pequeños y con cúspides y los posteriores anchos y con forma de molares. Habitan aguas relativamente poco profundas, en arrecifes, bosques de algas, rocas y cavernas subacuáticas.
- Orectolobiformes: son un grupo diverso, con siete familias y 33 especies de tiburones actuales, de hocico corto y boca pequeña, todos ellos reconocidos como tiburones de aguas cálidas, siendo un indicador estratigráfico del Neógeno. En la Fm. Bahía Inglesa están representados por *Brachaelurus* cf., *B. waddi y Eostegostoma* sp., género en la actualidad encontrado en aguas someras.



CF

Abreviatura del término en inglés *confer*, que significa que la especie en cuestión es muy semejante al espécimen pero no existe seguridad de su asignación debido a la falta de caracteres diagnósticos o porque existen pequeñas diferencias detectadas pero no suficientes para la descripción de una nueva especie.

Laminiformes: son un grupo diverso, que incluye diez familias y 22 especies, de las que tres familias y cinco géneros están extintos. Son de tamaño y hábitats variables y poseen cinco hendiduras branquiales.
 El orden alberga a las especies más conocidas como el tiburón blanco, Carcharodon carcharias y el tiburón peregrino, Cetorhrinus maximus, presentes desde el Neógeno hasta el presente; así como el tiburón gigante extinto en el Plioceno, Carcharocles megalodon, conocido como megalodón — ver imagen Nº 21 —. En el registro conocido de la Fm. Bahía Inglesa es el orden más diverso y su registro es el más abundante. Las familias y especies presentes en la formación se detallan a continuación:

1. Lamnidae: incluyen a *C. megalodon*, *C. carcharias*, tiburón de boca ancha *Megachasma sp.*, tiburones mako, *Isurus oxyrinchus*, *Charcharodon hastalis* y tiburón marrajo grande, *Isurus paucus*.

Destaca *C. hastalis*, utilizado por varios autores como fósil guía de la época del Mioceno medio a superior en Chile. Está registrada en otras formaciones del mismo intervalo, mientras que en la Fm. Bahía Inglesa (principalmente en el nivel de fosforita y en el *bone bed* de El Morro) es la especie más abundante de las asociaciones de condrictios y los vertebrados encontrados en los niveles del Mioceno tardío.

El 2015, el paleontólogo Mario Suárez, realizó la identificación de la fauna de tiburones de la formación, añadiendo la presencia de *C. hubbeli* en el Mioceno tardío. Esta nueva evidencia fósil concuerda con la hipótesis que el *Carcharodon carcharias* se haya originado en el Plioceno, siendo considerada fósil guía de ese periodo. En general, esta fauna es muy similar a otras unidades del Mioceno tardío localizadas en Perú (Fm. Pisco) y Argentina⁴⁴.

Parotodus sp.: es otro género fósil de este orden (familia Otodontidae) cuyo registro reporta tres especies durante el Neógeno (aprox. 16 a 3,6 Ma de antigüedad), en paleoambientes de aguas someras costeras y estuarinas del Atlántico Norte, Pacífico, Índico y el mar Mediterráneo.

- 2. Odontaspidae: con el registro de *Odontaspis* cf. *ferox*, especie actual conocida como tiburón dientes de perro, habitan en océanos y mares tropicales y subtropicales, en aguas someras y poseen cinco pares de hendiduras branquiales. Son de gran tamaño (más de 3 m) y actualmente se distribuyen a lo largo de la zona tropical.
- 3. Cetorhinidae: familia del tiburón peregrino *Cetorhinus maximus*, especie presente hasta el día de hoy, es un tiburón pelágico filtrador de gran tamaño (12 m de longitud), que habita en áreas polares

⁴⁴ De Muizón C., 1981.

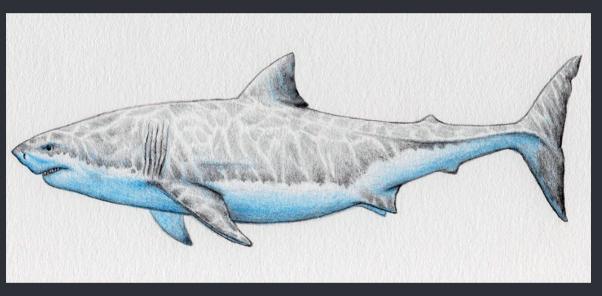


IMAGEN N° 21: Reconstrucción en vida de *Carcharocles megalodon* Fuente: CMN; ilustrador Mauricio Álvarez Abel

hasta océanos tropicales, prefiriendo aguas frías (8 a 14 °C). En la Fm. Bahía Inglesa se registra el género Cetorhinus sin una asignación específica.

- Carcharhiniformes: este orden es dominante en la fauna mundial de tiburones vivientes (aproximadamente 197 especies). Sus dientes varían de pequeños y puntiagudos o aplanados, hasta grandes y en forma de cuchillo. Las especies del orden reportadas para la formación son las familias Triakidae, Carcharhinidae y Sphyrnidae:
 - 1. Triakidae: se registra una especie de tiburón Galeorhinus galeus.
 - 2. Carcharhinidae: se registran varias especies de tiburón cobrizo, Carcharhinus brachyurus, tiburón de puntas plateadas, Carcharhinus albimarginatus y tiburón arenero, Carcharhinus obscurus. También se registra un pariente del tiburón tigre, Galeocerdo sp. y el azulejo, Prionace glauca, ambos géneros de la misma familia Carcharinidae. El azulejo hoy en día es considerado un tiburón pelágico y cosmopolita, que se distribuye por todos los océanos y mares del mundo. Esta última especie es utilizada como indicador cronoestratigráfico, estando presente en los niveles pliocenos mejor expuestos en la localidad de Los Negros.
 - 3. Sphyrnidae: esta familia incluye a algunos de los tiburones más extraños en morfología externa, debido a su cabeza en forma de martillo. Entre ellos está con el taxón *Sphyrna* aff. *zygaena*, pariente fósil del tiburón martillo actual.

El registro de tiburones de la formación es el más diverso de Chile durante el Neógeno en el Pacífico Sur. A partir de la época del Mioceno medio y especialmente durante el Mioceno tardío, se observa un importante aumento de la abundancia y diversidad de condrictios fósiles en el territorio chileno⁴⁵.

45

Suárez y Marquardt, 2003.

D.1.2. RAYAS

Dentro de los condrictios, también se encuentra el orden de los Myliobatiformes, que incluye a las rayas, que son peces cartilaginosos caracterizados por poseer aletas muy ensanchadas que salen como proyecciones laterales de su cuerpo y una cola. Las formas pueden ser variadas, pero lo que más se preserva en el registro fósil son sus características placas dentales, que consisten en la fusión de todos los elementos dentarios que forman una placa central plana que utilizan para triturar sus presas. En la Fm. Bahía Inglesa se han reportado en ambientes de costa, estuarios y ríos, tales como: *Dasyatis* sp. (Familia Dasyatidae); *Myliobatis* sp. y *Aetobatus* sp. (Familia Myliobatidae), *Raja* sp. (Familia Rajidae).

D.2. ARCOSAURIOS

El gran grupo de los Archosauria, es el más diverso de los tetrápodos del planeta (vertebrados que evolucionaron a formas de cuatro patas), con casi 10.000 especies vivientes⁴⁶, se incluyen a todos los descendientes del ancestro común más cercano entre cocodrilos y aves, incluyendo así a los dinosaurios, pterosaurios y parientes fósiles de los cocodrilos⁴⁷. Los arcosaurios históricamente se dividen de acuerdo a características de la articulación de su tobillo, siendo los Crurotarsi, los que tienen el tarso (huesos del tobillo) en forma de cruz, más emparentados con los cocodrilos que con las aves.

Dentro de Crurotarsi podemos destacar los grupos Eusuchia y más específicamente Crocodylia (anidado en el Eusuchia), que incluyen a los cocodrilos actuales y que representan un remanente de un linaje que alcanzó su máxima diversidad taxonómica y morfológica mucho antes de la depositación de la Fm. Bahía Inglesa y su fauna fósil, durante el Mesozoico.

⁴⁶ Jetz et al. 2012.

⁴⁷ Gauthier y Padian, 1985.

D.2.1. COCODRILOS

Los restos fósiles de cocodrilos presentes en la Fm. Bahía Inglesa han sido poco estudiados, sus especímenes son fragmentarios en general, estando asignados a grupos inclusivos como es el caso de diversos elementos del esqueleto apendicular (tibia), axial (vértebras) e incluso de dientes y osteodermos asignados al clado Eusuchia⁴⁸.

Otros elementos fósiles correspondientes principalmente a partes craneales fragmentarias de la mandíbula, fueron identificados en la superfamilia Gavialoidea, dentro del orden Crocodylia. Esta familia en la actualidad tiene una fuerte relación con ambientes tropicales y pantanosos con influencia terrestre y fluvial además de marina, estando representada, en el continente sudamericano por un clado extinto conocido como Gryposuchinae.

D.2.2. AVES

El grupo de las aves tiene origen a partir de los dinosaurios terópodos, siendo éstas el único grupo de dinosaurios que sobrevivió a la extinción del final del Cretácico. Nos centraremos en el registro fósil de las Neornithes (grupo corona de las aves, que contiene a las especies vivientes), dado que las aves no Neornithes no se encuentran representadas hasta el momento en el registro fósil de la Fm. Bahía Inglesa y de Chile, en general.

Según revisiones recientes, en Chile la paleornitología (el estudio de aves fósiles), ha tenido un explosivo aumento desde el año 2001, con un creciente número de hallazgos y estudios en nuevas localidades que preservan avifauna fósil^{49,50}. La Fm. Bahía Inglesa con su rango temporal y geográfico acotado, presenta la mayor diversidad y abundancia de Neornithes registrada en el país. Dentro de la amplia gama de capas fosilíferas, presenta gran abundancia de elementos esqueléticos acumulados (que pertenecen a las aves más costeras) y elementos fósiles articulados, siendo éstos los primeros y más completos del registro fósil nacional⁵¹.

⁴⁸ Soto-Acuña et al. 2015.

⁴⁹ Sallaberry et al. 2015.

⁵⁰ Walsh y Hume, 2001.

⁵¹ Gutstein et al. 2008; Yury-Yáñez et al. 2009; y Mayr y Rubilar-Rogers, 2010.

Los grupos que están presentes en la formación incluyen: aves pelágicas, que viven casi toda su vida en el océano como los albatros (Diomedeidae) y las aves pseudodentadas (Pelagornithidae); aves costeras como los piqueros (Sulidae), petreles (Procelariidae) que viven y se alimentan en la columna de agua del frente de playa y los cormoranes (Phalacrocoracidae).

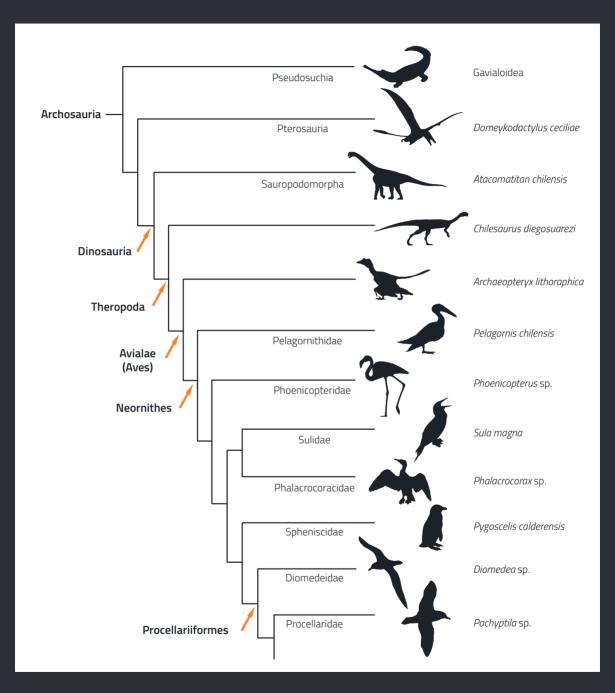
La familia más abundante, diversa y bien estudiada de la formación son los pingüinos (Spheniscidae), que estaban presentes presumiblemente antes del establecimiento de la corriente de Humboldt, pero ausentes en la cuenca de Caldera en la actualidad:

1. Pelagornithidae: esta familia representa junto con los tiburones gigantes, uno de los grupos con hallazgos más asombrosos de toda la formación. La familia incluye a aves marinas pelágicas con un rango temporal desde el Paleoceno hasta el Plioceno que alcanzaron envergaduras alares de hasta seis metros^{52,53}. Una de sus características más inusuales es que poseen proyecciones de hueso a lo largo del pico que se asemejan a los dientes de los demás vertebrados (las aves pierden evolutivamente los dientes, con el desarrollo de un pico córneo). También presentan huesos muy livianos, lo que permitió el desarrollo de grandes tamaños corporales, pero que por su fragilidad generan un desafío más para la preservación de restos esqueléticos completos. Es por eso que el espécimen de la Fm. Bahía Inglesa, encontrado en el sitio El Morro es tan importante, ya que, luego de ser analizado y publicado científicamente, es el primer esqueleto casi completo (70 % del esqueleto) y articulado de la familia a nivel mundial.

A pesar de que la familia Pelagornithidae es conocida en depósitos de variada edad en todo el mundo (Antártica, Chile, Perú, Venezuela, Estados Unidos, Inglaterra, Portugal, Marruecos, Japón, Australia y Nueva Zelanda), la mayoría de dichos restos son fragmentarios. En los sedimentos finos de la capa fosilífera de El Morro (*bone bed* de la localidad de El Morro) se preservó de manera tridimensional con gran nivel de detalles anatómicos el pelagornis, ejemplar que permitió

⁵² Mourer-Chauviré, C., y D. Geraads, 2008.

⁵³ Ksepka, 2014; Mayr y Rubilar-Rogers, 2010.



dilucidar las proporciones corporales dispares entre los miembros posteriores y las alas, además de extender el tamaño de envergadura alar estimado para éstos (de 5,11 m considerando solo los elementos fósiles preservados articuladamente, lo que da un estimado de al menos 6 m de envergadura alar, en vida)⁵⁴, cambiando la creencia que los pelagornítidos poseían un ala mucho más corta y tronco proporcionalmente más desarrollado.

2. Spheniscidae: los pingüinos son la familia más común en cuanto a elementos óseos preservados en los diferentes bone beds de la Fm. Bahía Inglesa. Constituyen una familia de hábitos casi completamente acuáticos, siendo exclusivos del hemisferio sur.

El grupo tiene su registro más antiguo en el Paleoceno de Nueva Zelanda⁵⁵ y Antártica⁵⁶ y ha sido registrado en yacimientos paleontológicos en casi todo el hemisferio (Australia⁵⁷, Sudáfrica⁵⁸, Perú⁵⁹, Argentina⁶⁰ y Chile⁶¹).

La Fm. Bahía Inglesa posee el registro más diverso de este grupo en el país, destacan las especies *Spheniscus urbinai*⁶² y *Spheniscus megaramphus*⁶³. Ambas tienen mayor tamaño que las especies actuales del género. Éstas fueron previamente descritas en el Mioceno de la Fm. Pisco en Perú.

Dos especies extintas del género *Pygoscelis* se conocen en la Fm. Bahía Inglesa, el que actualmente sólo está representado por el pingüino

⁵⁴ Mayr y Rubilar, 2010.

⁵⁵ Slack et al. 2006.

⁵⁶ Tambussi et al. 2005.

⁵⁷ Simpson, 1965; Jenkins, 1974.

⁵⁸ Simpson, 1975.

⁵⁹ Stucchi et al. 2003; Acosta- Hospitaleche et al. 2005.

⁶⁰ Acosta-Hospitaleche, C. y J. Canto, 2007.

Walsh y Hume, 2001; Acosta-Hospitaleche, et al. 2006; Walsh y Suárez, 2006; y Soto-Acuña et al. 2008.

⁶² Stucchi et al. 2003.

⁶³ Sallaberry et al. 2015.

adelaida (*P. adeliae*), cuya distribución está restringida a la Antártica⁶⁴ e islas subantárticas. La especie del Plioceno de la formación, *P. grandis*⁶⁵, presentaba un tamaño equiparable al actual pingüino rey (*Aptenodytes patagonicus*) que supera un metro de alto, mientras que las especies actuales de *Pygoscelis* varían entre los 60 y 90 cm. Por otra parte, la especie *P. calderensis*⁶⁶, presente en los niveles de fosforita (Mioceno tardío), es de similar tamaño a las especies actuales del género. Las dos especies fósiles no son directamente comparables dado que *P. calderensis* es conocido exclusivamente por especímenes craneales, mientras que *P. grandis* es conocido solo a partir de fósiles del esqueleto apendicular y otros elementos axiales (excepto el cráneo), se pueden diferenciar por el tamaño y su presencia en rangos temporales distintos.

Otros registros de la familia Spheniscidae corresponden a especímenes más fragmentarios o elementos esqueléticos con pocos caracteres diagnósticos que no permiten determinar la especie a la que pertenecían, pero presentan morfologías similares a los géneros *Paraptenodytes* (un género de pingüinos extinto) y *Spheniscus* sp. ⁶⁷, así como probables especies nuevas aún no descritas para la ciencia, según la última revisión de aves fósiles de Chile⁶⁸.

En la localidad de El Morro⁶⁹ se recuperaron restos de Spheniscidae asociados entre sí, preservando un esqueleto virtualmente completo de *Spheniscus urbinai* (que conserva neurocráneo, rostro, ambos húmeros, coracoides, fémures y tibiotarsos, además de esternón, sinsacro, ambos ilia e isquia)⁷⁰.

3. Diomedeidae: los Diomedeidae, familia de los albatros, incluyen a las aves marinas de mayor tamaño corporal en la actualidad. Son relativamente raras en el registro fósil, lo que puede deberse a su hábito

⁶⁴ Shirihai, 2002.

⁶⁵ Walsh y Suárez 2006.

⁶⁶ Acosta- Hospitaleche, et al. 2006.

⁶⁷ Chávez 2007.

⁶⁸ Sallaberry et al. 2015.

⁶⁹ Gutstein et al. 2007.

⁷⁰ Yury-Yáñez et al. 2009.

pelágico. El registro de albatros de la Fm. Bahía Inglesa, proviene de los niveles del Mioceno tardío de la localidad de Mina Fosforita y han sido asignados al género *Thalassarche*⁷¹, al que pertenecen los actuales albatros de ceja negra o albatros de cabeza gris que habitan la costa del norte de Chile.

- 4. Procellariidae: la familia Procellariidae incluye a los petreles, fardelas, fulmares y los patos petreles, entre otros. Son la familia más diversa del orden Procelariiformes y son en general especies migratorias, pelágicas y de tamaño variado. En la Fm. Bahía Inglesa se ha reconocido el género Pachyptila, identificado como pato petrel. Además, otros especímenes que preservan la porción del neurocráneo y que se encuentran bajo estudio han sido preliminarmente asignados al género Calonectris, el que actualmente está restringido al hemisferio norte, pero es un visitante estacional del margen occidental Atlántico en el hemisferio sur. Por otra parte, la divergencia evolutiva entre las especies actuales del Atlántico y Pacífico norte ha sido estimada en el Plioceno, periodo durante el cual se produce el establecimiento del istmo de Panamá, el que habría generado una barrera entre estos océanos. Por otro lado, se reconoce la presencia de diversos ejemplares de proceláridos que representan a especies distintas pero que aún no han sido descritos formalmente. Esta evidencia revela una diversidad poco conocida de esta familia en el Neógeno de Fm. Bahía Inglesa.
- 5. Phalacrocoracidae: los restos de Phalacrocoracidae (cormoranes) son reconocidos en las localidades de Mina Fosforita, El Morro y Bahía Salado, en niveles de edad Mioceno superior de la formación. Los fósiles de cormoranes son menos abundantes que los restos de pingüinos (que son los más numerosos y diversos de la formación), siendo representados por al menos dos formas, aunque no se han podido determinar las especies debido a que los fósiles se encuentran aislados o fragmentados. Distinguiéndose dos clases de tamaño significativamente distinto, lo que indicaría la presencia de dos especies en el área.

71

6. Sulidae: de los restos fósiles de piqueros, hasta el momento se han podido reconocer tres formas en base a los cráneos encontrados, los que presentan diferente morfología y rangos de tamaño. De esta manera, se ha reconocido a *Sula* sp. 1, probablemente la forma más abundante, con un tamaño equiparable a la especie alcatraz enmascarado (*Sula dactylatra*). Una segunda forma fósil *Sula* cf. *variegata*, es menos abundante, y es similar en tamaño y morfología a la especie viviente de piquero peruano (*Sula variegata*). La tercera forma, es reconocida como un súlido de menor tamaño, asignado solamente a nivel de la familia Sulidae, de identidad genérica aún indeterminada, dado que carece de rasgos diagnósticos que permitan determinar su especie o género. Se puede reconocer como una forma distinta debido al pequeño tamaño de especímenes adultos⁷² en comparación a otras formas de súlidos, siendo comparable en tamaño con la especie fósil *Sula sulita* (Mioceno, Fm. Pisco, Perú).⁷³

Así, hasta el momento, dentro del registro de los piqueros, solo se puede confirmar la presencia del género *Sula* en la formación.

D.3. MAMÍFEROS

Los mamíferos (Mammalia) son el grupo que incluye a todos los tetrápodos que poseen, entre otras características: pelos, glándulas mamarias, paladar duro y un oído interno compuesto de tres huesecillos. En el área de estudio, se registran los grupos de mamíferos que incursionaron en el agua durante su evolución y se tornaron marinos, con excepción de las nutrias y del clado extinto Desmostylia. A continuación se describen los diferentes grupos de mamíferos marinos reportados en la Fm. Bahía Inglesa y Estratos de Caldera.

D.3.1. PINNÍPEDOS

Los pinnípedos son un grupo de mamíferos marinos del orden Carnívora, cuyos representantes modernos están incluidos en las familias de las focas (Phocidae), lobos y leones marinos (Otariidae) y morsas (Odobenidae).

⁷² Soto-Acuña et al. 2009.

⁷³ Stucchi 2003.

Unidad Estratos

de Caldera

De esta unidad se conocen aún muy pocos especímenes, recientemente se reportaron los primeros restos de vertebrados que corresponderían al registro más antiguo de un lobo marino de un pelo (ver sección de pinnípedos más adelante).

En esta unidad se han identificado los restos esqueléticos asignables a la familia de los petreles (Pelecanoididae) y flamencos (Phoenicopteridae), específicamente se han reportado restos de húmeros de yunco (*Pelecanoides* sp.)⁷⁴; de la familia de los flamencos, se reconocieron restos de un individuo juvenil; sin embargo, no se pudo identificar el ejemplar a niveles más específicos. Este grupo en general tiene su presencia en el registro fósil relacionado a sitios de anidación o descanso, el descubrimiento y estudio de más especímenes podrán determinar diversos aspectos de la paleobiogeografía y paleoecología de ellos.

En general, y a pesar de la abundancia de restos fósiles de aves en Fm. Bahía Inglesa y más recientemente en Estratos de Caldera, el conocimiento de la ornitofauna en la cuenca de Caldera es aún bastante limitado. Debido a esto, se hace necesaria la realización de estudios sistemáticos con el propósito de conocer la fauna de aves que habitó la zona y poder determinar cómo las grandes transformaciones que ocurrieron en la costa de Chile en este periodo afectaron su diversidad y distribución.

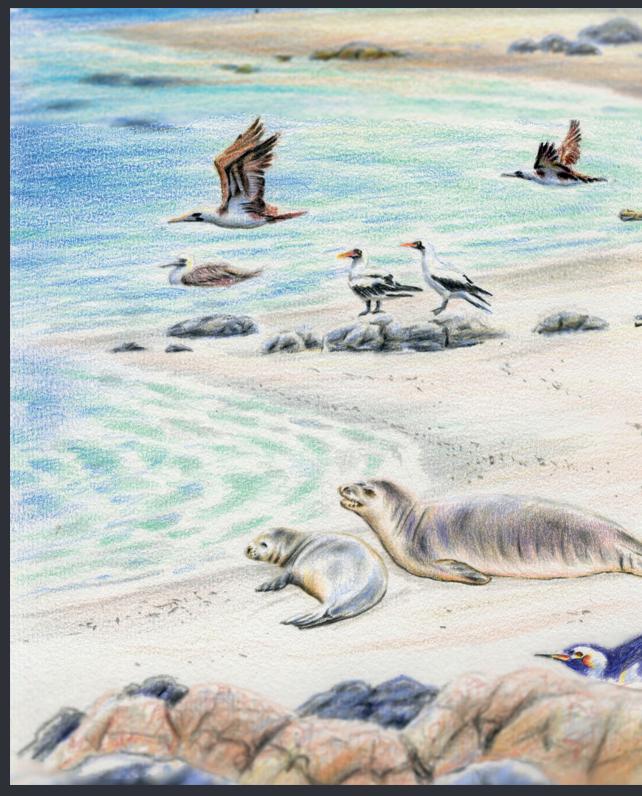
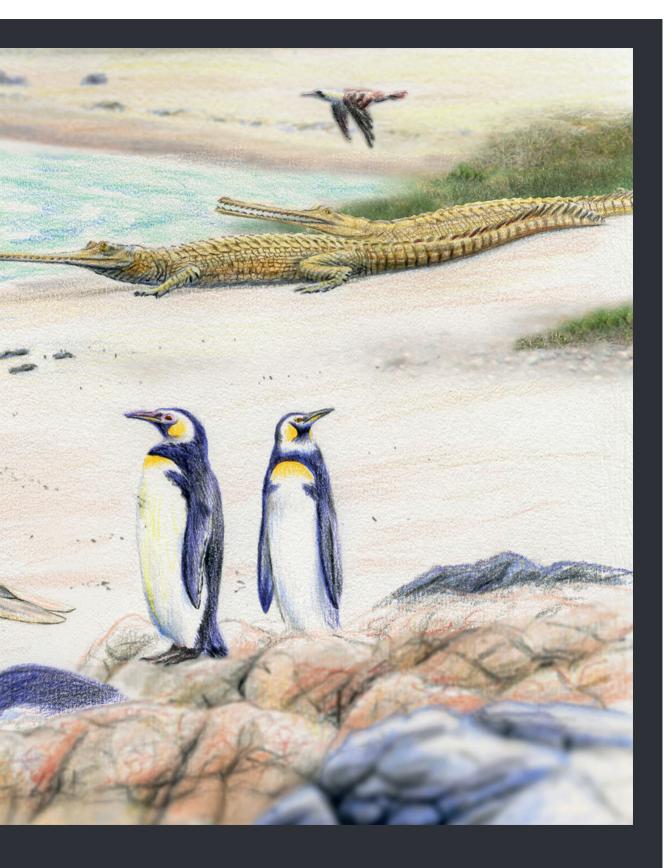


IMAGEN N° 23: Representación de la biodiversidad del borde costero de Caldera hace 9 millones de años Fuente: CMN; ilustrador Mauricio Álvarez Abel



El registro fósil de pinnípedos en Chile está compuesto de focas y otros registros menores de lobos marinos, los que provienen casi exclusivamente de Caldera. El registro fósil ha evidenciado que durante gran parte del Neógeno, las costas del norte de Chile fueron habitadas por focas y no por lobos marinos como sucede actualmente (ver más adelante). Así, en la localidad de Mina Fosforita, han sido descubiertos numerosos restos fósiles de focas, siendo identificados como pertenecientes a los géneros *Acrophoca* y *Piscophoca*⁷⁵. Posteriormente, en 2010 se presentó una breve descripción de una mandíbula incompleta, proveniente también de la misma localidad, que posee evidentes diferencias morfológicas, constituyendo muy probablemente una nueva especie de foca⁷⁶.

Se ha reportado el descubrimiento de dos astrágalos (hueso del pie) de foca provenientes de niveles del Plioceno temprano de la localidad de Los Negros, siendo identificados como Phocidae indeterminado debido a lo incompleto del material. No obstante, éste constituye el registro fósil más reciente de una foca durante el Neógeno en Chile. La misma publicación, reporta además el descubrimiento de restos de una mandíbula así como otros huesos postcraneales provenientes de niveles del Pleistoceno superior de la Unidad Estratos de Caldera en la localidad de Cerro Ballena, los que por medio de comparaciones anatómicas pudieron ser identificados como león marino de un pelo (*Otaria*), constituyendo el registro más antiguo de la familia Otariidae en Chile. Estos registros permiten acotar temporalmente la potencial ocurrencia de un reemplazo faunístico de pinnípedos en el área de Caldera (desde una fauna constituida por focas a la actual dominancia de lobos y leones marinos en la región), que habría ocurrido asociado a la transición entre el Plioceno y el Pleistoceno.

Más recientemente, una nueva especie de foca (*Australophoca changorum*) fue descrita a partir de elementos de las extremidades, provenientes de las localidades de Cerro Ballena y norte de la bahía de Caldera (en conjunto con otros restos fósiles de Perú)⁷⁷. Esta nueva especie sugiere que durante el Mioceno y Plioceno, existió una mayor diversidad de focas, parcialmente semejante a lo observado en la parte austral de los océanos.

⁷⁵ Walsh and Naish, 2002; Valenzuela-Toro et al. 2009.

⁷⁶ Valenzuela-Toro et al. 2010.

⁷⁷ Valenzuela-Toro et al. 2015.

D.3.2. THALASSOCNUS (XENARTHRA, NOTHROTHERIIDAE, NOTHROTHERIINAE)

El superorden Xenarthra incluye en la actualidad a las órdenes de armadillos (Cingulata), osos hormigueros (Vermilingua) y perezosos (Phyllophaga). Hoy en día existen seis especies de perezosos, los que pertenecen a dos familias: perezosos con dos dedos (Megalonychidae) y perezosos de tres dedos (Bradypodidae), todos ellos exhiben un modo de vida arborícola, habitando exclusivamente en América del Sur⁷⁸. Ambas familias no se encuentran cercanamente emparentadas⁷⁹, por lo que las similitudes encontradas entre las distintas especies de perezosos representan un notable ejemplo de convergencia evolutiva. Si bien, los perezosos modernos exhiben hábitos arborícolas, se ha demostrado que los perezosos tienen una destacable capacidad de nado, sugiriendo que el nado constituiría una característica intrínseca al grupo. A pesar que no se desarrollara como una tendencia general, incluso se ha propuesto que durante el Plioceno, perezosos pertenecientes a la extinta familia perezosos terrestres -algunos de ellos gigantes- (Megatheriidae), originarios de América del Sur, al ser buenos nadadores fueron capaces de colonizar islas, a través del mecanismo conocido como stepping stone, alcanzando las costas de Norteamérica incluso antes del levantamiento del istmo de Panamá hace ~5 Ma⁸⁰.

Así, a diferencia de otros grupos de mamíferos como los pinnípedos, los xenarthros mantuvieron un hábito predominantemente terrestre y sólo un género de perezoso marino (*Thalassocnus*) habría incursionado consistentemente en el agua. El *Thalassocnus* fue descubierto por primera vez en Perú, en sedimentos de origen marino pertenecientes a la Fm. Pisco⁸¹, siendo descritas hasta el momento cinco especies que habrían vivido en distintos periodos entre el Mioceno tardío y el Plioceno tardío. Evidencia sedimentológica y morfológica, así como análisis de la microanatomía dental han permitido proponer un modo de vida acuático para el *Thalassocnus*. Se demostró que las cinco especies de *Thalassocnus* exhiben una adaptación gradual a través del tiempo geológico, hacia un estilo de vida acuático

⁷⁸ Emmons y Feer 1997.

⁷⁹ Gaudin 2004.

⁸⁰ McDonald 2005.

⁸¹ Muizon y McDonald 1995.

mediante un estudio de la microestructura y morfología comparada de los huesos de las extremidades anteriores y posteriores⁸².

En la Fm. Bahía Inglesa diversos restos fósiles de *Thalassocnus* han sido registrados, incluyendo un resto mandibular recuperado de la localidad nombrada como "Estanques de Copec" (actualmente referida a la localidad norte bahía de Caldera)⁸³. Dicho espécimen tiene un tamaño semejante a la mandíbula de dos de las especies más antiguas de *Thalassocnus* (*T. antiquus* y *T. natans*). Sin embargo, dado lo fragmentario del material, este es asignado a *Thalassocnus* sp. Posteriormente se comunicó el hallazgo de nuevos restos craneales y postcraneales de *Thalassocnus* provenientes de la localidad norte de la bahía de Caldera⁸⁴, los cuales continúan siendo estudiados. Adicionalmente, en la localidad de Cerro Ballena, se descubrió un dentario y un fémur, no asociados entre sí, que fueron identificados como *T. natans*⁸⁵.

D.3.3. SIRENIA

Los sirenios son el grupo que incluye a los manatíes y dugongos. Se caracterizan por tener un cuerpo robusto con los elementos esqueletales ensanchados y una cola no bifurcada. Las especies marinas de dugongos se caracterizan por habitar aguas someras, cálidas y con abundante pasto marino.

El registro de la Fm. Bahía Inglesa es el único de Chile y se limita a un único hallazgo aislado de un diente originalmente identificado como Dugongidae indeterminado⁸⁶ y posteriormente asignado al género *Nanosiren* (grupo extinto de vacas marinas⁸⁷). Dicho material fue encontrado en la localidad de Mina Fosforita y constituye el registro más austral de un sirenio en la costa este del Pacífico Sur. Si bien el material es fragmentario, y basado en la ecología de las especies de sirenio modernas, se plantea que durante el Mioceno tardío, el área de Bahía Inglesa se caracterizaría por la presencia de aguas poco profundas con temperaturas más templadas que las actuales, posibilitando el desarrollo de algas y plantas

⁸² Amson et al. 2014 a, b, c.

⁸³ Canto et al. 2008.

⁸⁴ Suárez et al. 2011.

⁸⁵ Pyenson et al. 2014.

⁸⁶ Bianucci et al. 2006.

⁸⁷ Domning y Aguilera 2008.

marinas (por ejemplo pasto marino⁸⁸), lo cual es inconsistente con lo concluido por estudios de paleobatimetría (estudio de las profundidades marinas del pasado) y sedimentología de los niveles expuestos en las localidades de El Morro y Mina Fosforita⁸⁹. Así, el hallazgo de los especímenes de sirenio y *Thalassocnus* descubiertos en las localidades de Mina Fosforita y norte de la bahía de Caldera, se podrían explicar por un cambio local de batimetría y por ende de ambientes en la cuenca del Neógeno de Caldera durante este tiempo.

D.3.4. CETÁCEOS90

Este grupo incluye al suborden Archaeoceti (ballenas extintas con formas anfibias y acuáticas), suborden Mysticeti (ballenas con barbas) y el suborden Odontoceti (delfines, marsopas y cachalotes).

La totalidad de los especímenes de cetáceos fósiles chilenos están restringidos al Neógeno (Mioceno medio a Plioceno tardío) y corresponden al grupo de las ballenas y delfines modernos, los Neoceti. La gran mayoría de estos restos provienen de la Fm. Bahía Inglesa, siendo hasta el momento reconocidos 17 taxa de misticetos (ballenas barbadas) y odontocetos (marsopas, delfines, orcas, cachalotes, zifios)⁹¹. Estos registros cobran importancia dado que en esta época (Mioceno medio-tardío), tanto odontocetos como misticetos presentaron una extensiva diversificación en los océanos australes.

1. MISTICETOS

Los restos fósiles de ballenas de barbas (Mysticeti) más abundantes de la formación, corresponden a huesos del sistema auditivo. Estos se encuentran de forma aislada y permiten asignarlos a Thalassotherii y diferenciar de Balaenomorpha.

Adicionalmente, existe un amplio registro de misticetos que fueron preliminarmente asignados al grupo Thalassotherii que incluye a las ballenas rorcuales (Balaenopteriidae), grises (Eschrichtiidae) y cetoteríidos

⁸⁸ Philipps, 1992.

⁸⁹ Marquardt et al. 2000.

⁹⁰ Gutstein et al. 2006, 2008 y 2015.

⁹¹ Horwitz 2014; Horwitz y Gutstein 2014.

(Cetotheriidae), familia hasta hace poco considerada extinta que posiblemente incluye a la ballena pigmea, según algunos autores.

En la localidad de Cerro Ballena, se ha reportado recientemente la acumulación más densa de vertebrados marinos, en especial, esqueletos completos de la familia de ballenas rorcuales, con pliegues ventrales. Los 31 esqueletos de ballenas y once especímenes de otros vertebrados marinos fueron recolectados en una excavación de aproximadamente 1.000 m² en cuatro niveles estratigráficos. Estos se encontraban en su mayoría con la porción ventral orientada hacia arriba. Los esqueletos pueden ser observados en panorámicas del sitio y reconstrucciones 3D en la página web: www.cerroballena.si.edu.

2. ODONTOCETOS

Dentro de los odontocetos, se destacan los fósiles asignados a la superfamilia Inioidea (grupo que incluye actualmente al delfín rosado del Amazonas, *Inia* spp. y al delfín del Río de La Plata, *Pontoporia blainvillei*) representada en la formación por restos fósiles de cráneos, dientes y perióticos. También están presentes cráneos de marsopas (Phocoenidae), dientes de cachalotes (Physeteridae), zifios (Ziphiidae) y delfines (Delphinidae).

La superfamilia Inioidea, se compone de dos o tres familias, dependiendo del autor, estando Pontoporiidae e Iniidae siempre restrictos a los sistemas fluviales y costeros de la porción atlántica de Sudamérica en la actualidad. Sin embargo, recientemente se ha dado a conocer que el registro fósil del grupo en realidad tiene una amplia distribución en el Pacífico norte y suroriental, siendo la distribución y diversidad actual un relicto de la gran diversidad del Neógeno.

Este es uno de los grupos mejor representados en la fauna conocida de la Fm. Bahía Inglesa en las localidades de El Morro y Mina Fosforita. Destaca la presencia de especies de delfines, como *Brachydelphis mazeasi* y *B. jahuayensis* (Pontoporiidae), principalmente en los niveles de fosforita en la localidad del mismo nombre.

El registro de los odontocetos fósiles de la Fm. Bahía Inglesa amplía la distribución del género para el océano Pacífico, siendo anteriormente conocido en el Atlántico Norte y Sur⁹².

Algunas publicaciones recientes documentan una gran diversidad de inioideos en ambos hemisferios, destacándose lo observado en la Fm. Bahía Inglesa, en donde coexisten cuatro géneros (cinco especies) del grupo, además estos restos son abundantes, tanto en terreno como en colecciones científicas.

El género *Pliopontos*, fue creado por Muizon (1983) para describir especímenes (cráneos) del Plioceno de la Fm. Pisco y fue considerado un taxón guía para niveles pliocenos de esta formación. Su presencia en el Mioceno tardío de la Fm. Bahía Inglesa amplía su rango de distribución espacial y temporal.

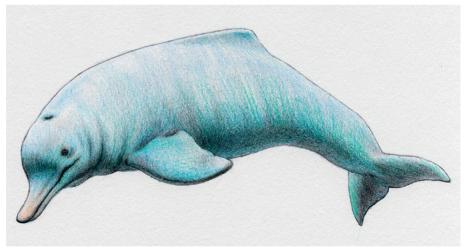


IMAGEN N° 24: Reconstrucción en vida de *Brachydelphis mazeasi* Fuente: CMN: ilustrador Mauricio Álvarez Abel

2.A. DELPHINOIDEA

Por otro lado, el grupo hermano de los Inioidea, los Delphinoidea, agrupa a las familias relacionadas a los delfines actuales, que se tornaron dominantes en las asociaciones marinas de odontocetos, sobre todo después del Neógeno tardío.

⁹² Pyenson y Hoch 2007; Burmeister 1885; y Cozzuol 1996.





Su origen es muy debatido, habiéndose considerado por mucho tiempo que una familia primitiva habría originado el grupo, la familia Kentriodontidae, de la cual aún no se tiene registro formal en el país. En su sentido tradicional los Delphinoidea incluyen a las familias de: Kentriodontidae (extinta), marsopas (Phocoenidae), delfines marinos comunes (Delphinidae) y narvales y a las belugas actuales (Monodontidae).

2.B. PHOCOENIDAE

Las marsopas (Phocoenidae) son los Delphinoidea mejor representados en la Fm. Bahía Inglesa, se diferenciaron al mismo tiempo que los Delphinidae, en el Mioceno tardío (*grupo corona*). En los registros del *bone bed* de la Fm. Bahía Inglesa, se encontró un cráneo parcialmente preservado asignado a esta familia. Además, se han identificado cráneos preservados solo en vista ventral, muy similar a *Lomacetus* y *Piscolithax*⁹³. Ambos géneros fueron descritos para la Fm. Pisco, siendo el primero del Mioceno tardío y el segundo asignado al intervalo Mioceno-Plioceno.

Restos aún no identificados específicamente, pero pertenecientes a la superfamilia Delphinoidea y muy probablemente de la familia Delphinidae, han sido encontrados en los niveles pliocenos expuestos en el sector Los Negros. Los restos se constituyen varios huesos perióticos (hueso donde se recepciona el sonido y traduce en impulso nervioso en la membrana espiral que se aloja en la cóclea) que se diferencian de los perióticos de inioideos por ser más alargados antero-posteriormente, con los procesos anterior y posterior más desarrollados. En Inioidea estos procesos están reducidos, siendo la parte más notoria la porción coclear.

2.C. DELFÍN MORSA

Tal vez el taxón más impresionante es el delfín morsa, *Odobenocetops*. El género fue descrito para localidades pliocenas de la Fm. Pisco e incluye a dos especies, *O. peruvianus* y *O. leptodon*⁹⁴.

⁹³ Gutstein et al. 2008.

⁹⁴ Muizon 1993; Muizon et al. 2002.

El material asignado a *Odobenocetops* sp. proveniente de Cerro Ballena (Fm. Bahía Inglesa) comprende ambos colmillos, un cráneo parcial, algunas vértebras y costillas. La porción preservada del cráneo es muy similar a *Odobenocetops peruvianus* y *O. leptodon*. El espécimen chileno no pudo ser diferenciado de estas especies ya que no posee la porción anterior del cráneo preservada, lugar donde se encuentran los caracteres diagnósticos específicos. Las características que permiten diagnosticar como *Odobenocetops* sp. son: un par de colmillos de diferente tamaño con dentina lisa y recta (no en espiral, como es el diente de los narvales — Monodontidae —); un paladar cóncavo; orientación anterior del frontal en la órbita; el proceso ascendente de la maxilla restringido a la porción medial de la caja craneana, este no llega a la cresta nucal como lo hace en todos los delfines y sus parientes; la órbita direccionada hacia adelante (no lateral como en todos delfines); y la articulación de la mandíbula abierta y orientada lateralmente, característica observada únicamente en las especies de *Odobenocetops*.



IMAGEN N° 26: Reconstrucción en vida de *Odobenocetops*Fuente: CMN: ilustrador Mauricio Álvarez Abel

Este registro constituye el más austral y antiguo del género, extendiendo su rango a la zona subtropical del Mioceno tardío. Poco se sabe acerca de la evolución de este linaje de morfología tan peculiar y alejada de los morfotipos de comunidades de delfines a través del tiempo. Hasta el momento, no existe en el registro fósil, especies intermedias que permitan trazar la evolución del género a partir de otras formas conocidas, siendo considerado un pariente de los narvales dado que presenta un colmillo y reducción de los demás dientes, sin embargo su forma es muy distinta a estos animales, no explicando del todo la evolución del grupo.

2.D. ZIFIOS

Las ballenas picudas o los zifios son odontocetos que se sumergen a grandes profundidades. Las especies fósiles tienen una tendencia evolutiva a la reducción de dientes y en la actualidad carecen de ellos (a excepción de un par de dientes presentes en los machos).

Desarrollaron una gran diversidad de formas en la porción más alta del cráneo (el vértex craneal), siendo asimétricos de manera conspicua y variada en la familia, junto con un hocico alargado, producto de su especialización alimentaria, por succión.

Los zifios son escasos en el registro de cetáceos fósiles de Chile, pudiéndose encontrar solamente una mención a un diente en la Fm. Bahía Inglesa⁹⁵.

2.E. CACHALOTES

Son una especie de mamífero marino del orden de los cetáceos, del suborden de los odontocetos.

En su registro fósil, se ha descrito un periótico aislado en la localidad de Mina Fosforita asignado al primer cachalote pigmeo (Kogiidae), el que se diferencia de los demás cachalotes por los tamaños de la porción coclear, la inclinación de los procesos entre sí, su pequeño tamaño y la reducción del proceso posterior del periótico.

96

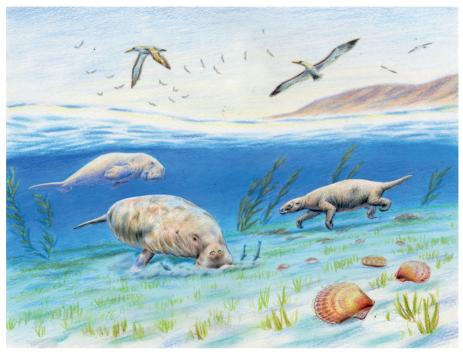


IMAGEN N° 27: Representación del fondo marino de una zona intermareal frente a las costas de Caldera hace 9 millones de años Fuente: CMN; ilustrador Mauricio Álvarez Abel

Se han descrito una gran cantidad de dientes aislados atribuibles a cf. Scaldicetus sp., siendo uno de los restos más numerosos reportados, sin que haya sido posible determinar la asociación entre los restos o descartarla en la mayor parte de los casos⁹⁶.

Mucho se ha discutido acerca de la validez del género Scaldicetus, porque el taxón está definido ambiguamente.

Este género ha sido cuestionado por estar basado en especímenes fragmentarios y gran número de ejemplares reconocidos casi exclusivamente por caracteres dentales, los que suelen ser características altamente plásticas, pudiendo ser consideradas homoplásicas, convergentes o simplemente plesiomórficos.

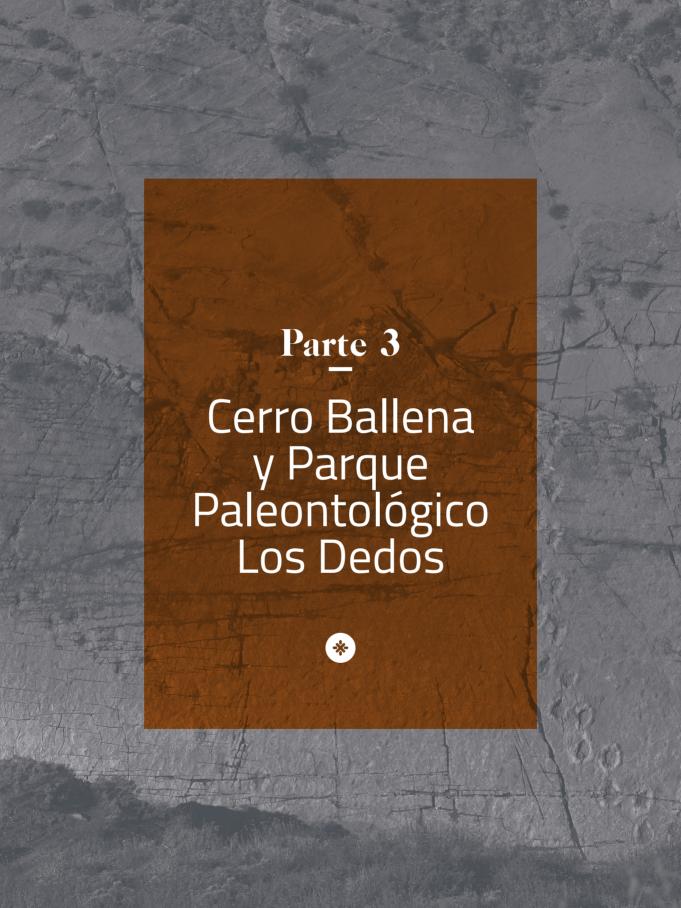
Teniendo esto en consideración, y dado que no es el objetivo de este libro el revisar el status taxonómico de los Physeteriidae del Neógeno, se utilizará esta nomenclatura y se tratará como morfotipos.

Los nuevos registros de Physeteriidae de la formación están dentro de los grandes odontocetos, tales como el Leviatan (*Livyathan melvillet*⁹⁷) que a pesar de ser de gran tamaño, tiene como característica más particular sus dientes desproporcionadamente grandes para su tamaño corporal e incluso para el tamaño de su cabeza. La proporción de la cabeza con el resto del cuerpo es algo menor que en *Physeter macrocephalus*, en el que se alcanza la elevada proporción de un tercio del largo total. El tamaño del diente es aproximadamente el doble al de un cachalote actual, midiendo 12 cm de diámetro y 36 cm de largo. El Leviatan ha sido escasamente mencionado en el registro de la fosforita, aunque el espécimen se encuentra aún en estudio.

En resumen, para el registro fósil de la Fm. Bahía Inglesa se pueden considerar a lo menos cuatro tipos de cachalotes, uno gigante, como el *Livyathan* (fosforita), uno mediano como *Scaldicetus* (fosforita y Cerro Ballena) y cf. Physeter.



IMAGEN N° 28: Representación de fauna pelágica de los mares de Caldera hace 9 millones de años Fuente: CMN; ilustrador: Mauricio Álvarez Abel



Cerro Ballena

El año 2010 durante las obras de ampliación de la ruta 5 Norte a 10 km de la entrada norte de Caldera se descubrió un sitio excepcional de ballenas fósiles, con una preservación sin precedentes en el país y una de las densidades de restos paleontológicos de vertebrados más altas del mundo. La excavación y toma de datos científicos fue financiada por la empresa constructora Sacyr Chile S.A. y el Ministerio de Obras Públicas, debido a que el hallazgo se produjo durante las obras de este proyecto de inversión. Al ser estos bienes de propiedad del Estado, el Consejo de Monumentos Nacionales se pronunció solicitando la paralización de las obras y el rescate de los especímenes.

Se dictaron medidas para la implementación de la excavación paleontológica en todo el sitio del hallazgo de acuerdo a la Ley Nº 17.288, que protege a los bienes paleontológicos y los lugares en donde se hallaren (artículo 1º y 21º) y que indica en su artículo 22º que "Ninguna persona natural o jurídica chilena podrá hacer en el territorio nacional excavaciones de carácter arqueológico, antropológico o paleontológico, sin haber obtenido previamente autorización del Consejo de Monumentos Nacionales, en la forma establecida por el reglamento" y en su artículo 26º que determina que "Toda persona natural o jurídica que al hacer excavaciones en cualquier punto del territorio nacional y con cualquier finalidad, encontrare ruinas, yacimientos, piezas u objetos de carácter antropológico, arqueológico o paleontológico, está obligada a denunciar inmediatamente el descubrimiento al Gobernador Provincial, quien ordenará a Carabineros que se haga responsable de su vigilancia hasta que el Consejo se haga cargo de él."

Las excavaciones de la obra pudieron continuar con la implementación de metodología y técnicas de extracción de fósiles y toma de datos de contexto

⁹⁸ Ver Decreto Supremo Nº 484, de 1990, del Ministerio de Educación, Reglamento sobre Excavaciones y/o Prospecciones Arqueológicas, Antropológicas y Paleontológicas. Publicado en el Diario Oficial el 2 de abril de 1991.

estratigráfico y tafonómicos. Las ballenas completas y otros vertebrados articulados y en asociación que fueron colectados se depositaron en el Museo Paleontológico de Caldera.

La excavación de la carretera cruzaba los niveles de la localidad paleontológica conocida localmente como Cerro Ballena, denominada de esa manera debido a la presencia de elementos esqueletales de ballenas fósiles *in situ*. Estas piezas, hasta el momento de las obras aún no estaban contextualizadas temporalmente en la secuencia estratigráfica de la Fm. Bahía Inglesa, por lo que una de las contribuciones del estudio del yacimiento fue también la complementación de la estratigrafía y asignación de edad basada en los fósiles de vertebrados.

De manera paralela a la excavación y descubrimiento del sitio, se realizó un viaje científico al sector, producto de un fondo de la National Geographic Society para el estudio de los bone beds de la Fm. Bahía Inglesa. El equipo estuvo conformado por investigadores y estudiantes de diversas instituciones de Chile, Brasil y Estados Unidos e incluyó diferentes especialidades dentro de la geología y la paleontología. Así, luego de estudiar la estratigrafía del sitio en detalle y compararla con las otras localidades de la formación, los paleontólogos iniciaron la búsqueda de evidencias que pudiesen explicar cambios ecosistémicos, climáticos, u otros aspectos que pudiesen relacionarse con posibles causas de muerte o acumulación del ensamble y así determinar si la mortalidad observada era catastrófica (sincrónica) o bien se trataba de una acumulación.

Dentro de la investigación de los procesos tafonómicos que han ocurrido para tener como resultado una escena fósil como la de Cerro Ballena, existen ciertos pasos a seguir, al igual que en una investigación policial, es decir, precisar si los restos son del mismo evento o no, la posible causa de muerte individual o masiva, así como el lugar de muerte de los individuos. En este caso, la disposición de los fósiles se inició con eventos de tanatocenosis.



TANATOCENOSIS:

Conjunto de fósiles constituidos de restos de organismos que no estuvieron asociados en vida. Los restos han llegado a reunirse después de su muerte, probablemente por medio de la acción de una corriente

La primera hipótesis planteada es que los individuos habrían muerto en un mismo momento (sincrónico), en este sentido los datos de la excavación debían ser precisos y analizados desde las orientaciones preferenciales para cada nivel. De la caracterización del yacimiento se pudo establecer que se trataban de cuatro capas, las que albergaban los restos de vertebrados dentro de un área de 200 x 5 m de superficie. Estas capas alcanzaban aproximadamente nueve m de potencia (espesor) y fueron intervenidos completamente con metodología de excavación paleontológica. Esto incluyó el mapeo de cada espécimen, sus elementos esqueléticos y la toma de datos tafonómicos, como dirección del eje de los especímenes, grado de desarticulación, presencia o ausencia de marcas de carroñeros, entre otras características que indican la velocidad y forma de depósito de los restos fósiles.

Cuando los científicos pudieron apreciar la magnitud de la extraordinaria preservación y la incógnita planteada sobre qué mecanismo fue el que propició la preservación de los 42 esqueletos distribuidos en los diversos niveles identificados, se priorizó inmediatamente la búsqueda de financiamiento⁹⁹ para la toma de datos adicionales que pudiesen aportar mayores antecedentes.

Luego y gracias a la participación del Departamento 3D del Smithsonian Institution, se digitalizarón (a través de técnicas de fotogrametría y escáner láser) todos los especímenes que quedaron expuestos en diciembre de 2011 en el yacimiento. El resultado de este trabajo no solo sirvió para poder analizar las causas de muerte y concentración de las ballenas en el sector de manera más precisa

⁹⁹ Fondos: National Museum of Natural History (NMNH); Small Grant Award, discretionary funding from NMNH Office of the Director, the Smithsonian Institution's Remington Kellogg Fund, two National Geographic Society Committee on Research Exploration grants (8903-11, 9019-11) to N.D.P. and by U-REDES (Domeyko II UR-C12/1, Universidad de Chile) to A. O. Vargas.

y expedita, sino que también generó un respaldo virtual del yacimiento que hoy ya no se encuentra *in situ*. En la siguiente página web: www.cerroballena.si.edu, patrocinada por instituciones de Chile y Estados Unidos, se pueden visualizar y descargar gratuitamente los modelos tridemensionales, imágenes, vídeos, mapas del sitio, así como la publicación científica de la investigación llevada a cabo.

El análisis de posicionamiento y orientaciones arrojó un alineamiento de los esqueletos que indicaba una muerte fuera del lugar de depósito y orientación por la corriente que los acumuló, especialmente el hecho de que la vasta mayoría de los especímenes se encontraban con la zona ventral hacia arriba, algo que ocurre cuando las ballenas mueren en altamar, debido a la concentración en el vientre de los gases de descomposición.

Con estos resultados y los fósiles colectados, se realizó la identificación de los especímenes como complemento a la caracterización del ensamble, con el objetivo de utilizar los datos de las especies y grupos identificados que podían aportar en la interpretación paleoambiental del depósito, lugar de muerte y antigüedad de los fósiles.

La amplia mayoría de los ejemplares probablemente pertenecían a la misma especie de ballena de barba (*Megaptera hubachi*¹⁰⁰), descrita para la Fm. Coquimbo. Aunque no se puede confirmar debido a que estos fósiles aún no son totalmente liberados de los sedimentos portadores.

No todos los restos encontrados correspondían a cetáceos, se reportaron especímenes menos abundantes de dientes de tiburón (*Isurus oxyrhynchus*), vértebras y rostro de pez vela y pez espada (Istiophoridae y Xiphiidae), un tipo de cachalote similar al morfotipo del género *Scaldicetus*, un espécimen relacionado al delfín morsa, *Odobenocetops*, y dos tipos de focas distintas, entre ellas la nueva especie de foca enana *Australophoca changorum*.

De esta manera, el ensamble era diverso, abundante y se repite en los cuatro niveles observados de la porción del yacimiento excavada, los que de acuerdo a datos sedimentológicos fueron depositados en lagunas supramareales de pequeña profundidad (laguna que recibe aportes de agua no permanentes) y con una tasa

de sedimentación que permitiría un intervalo temporal de un siglo a tres mil años aproximadamente entre los cuatro eventos. Se pudo establecer que existieron eventos de mortalidad masiva de un ensamble diverso pero dominados por grandes organismos filtradores como lo fueron las ballenas de barba que se repetían cíclicamente. Considerando además que las ballenas debiesen haber muerto en el océano y luego arrastradas al sector por oleajes más pronunciados producto de tempestades, se pudo concluir que el lugar de depósito era una especie de trampa, con gran potencial de preservación. Los estados de desarticulación similares entre las ballenas y la sedimentología del lugar apuntan a una depositación catastrófica en el que el evento de mortalidad debiese ser sincrónico.

Los fósiles de diferentes especies de vertebrados marinos se preservaron en ensambles de densidades elevadas de esqueletos por metro cuadrado, y en condiciones de tasa de sedimentación relativamente rápida, no generando ensambles acumulados ni mezclados diacrónicamente. Considerando todas las líneas de evidencia distintas, se pudo concluir que la intoxicación por dinoflagelados u otros organismos formadores de floraciones de algas nocivas, conocidas como mareas rojas, serían los únicos agentes fatales conocidos que podrían ser responsables por las mortalidades masivas que se evidencian en los fósiles de Cerro Ballena.

Parque Paleontológico

Los Dedos

En la comuna de Caldera, cercano al sector conocido como Rocas Negras a unos 11 km. del centro de la ciudad, se encuentra el yacimiento paleontológico conocido como Los Dedos. El nombre hace referencia a la semejanza encontrada por los vecinos y turistas entre la geomorfología de los afloramientos y quebradas y la apariencia de los dedos de una mano.

Como se explicaba al inicio del libro, las piezas u objetos antropo-arqueológicos, paleontológicos o de formación natural, que existan bajo o sobre la superficie del territorio nacional o en la plataforma submarina de sus aguas jurisdiccionales son Monumento Nacional en la categoría de Monumento Arqueológico por el solo ministerio de la Ley 17.288 de Monumentos Nacionales (Art. 21°).

Adicionalmente, a esta figura de protección, el Ministerio de Bienes Nacionales a través del Decreto Nº 271 del 24 de mayo de 2007, declara "Bien Nacional de Uso Público" (BNUP) el "Parque Paleontológico Los Dedos", gestión interinstitucional (entre el Ministerio de Bienes Nacionales, el Consejo de Monumentos Nacionales y la I. Municipalidad de Caldera) para preservar la localidad que fue reconocida como la de mayor número de hallazgos paleontológicos de vertebrados del país. Además, Los Dedos también nombrado en ocasiones como Mina Fosforita, fue por mucho tiempo la localidad más conocida por los científicos luego de su descripción.

La importancia científica y patrimonial del sector está principalmente dada por la gran abundancia de restos fósiles, debido a las condiciones de depositación y preservación de dichos elementos. Hasta la última revisión realizada se habían registrado al menos 66 grupos de vertebrados distintos, todos del nivel *bone bed* de la fosforita¹⁰¹.

Esta localidad paleontológica fue descrita como sección tipo de la Fm. Bahía Inglesa por el geólogo Mario Rojo en el año 1985, por el interés en el desarrollo de la actividad minera del sector. En dicha ocasión se pensaba que en el sector podría existir uranio, elemento químico que se presenta en bajas proporciones en el yacimiento de la fosforita. En su visita, Rojo no encontró grandes depósitos de uranio, en su lugar describió el estratotipo¹⁰² de la Fm. Bahía Inglesa por primera vez y destacó la presencia del nivel de fosforita, capa conglomerática con matriz de limos y areniscas finas, altamente cementada con carbonatos y presencia de nódulos fosfáticos. Este estrato presenta la mayor densidad de restos fósiles de vertebrados de la formación.



IMPORTANCIA DEI FOSFATO:

La importancia mineral del fosfato es que permite obtener como producto fertilizantes para la agricultura.

Desde el año 1984, la Fm. Bahía Inglesa se sitúa dentro de las concesiones mineras denominadas Selaqueos I y II, las que en conjunto suman más de 6.000 ha (según el catastro de concesiones mineras del Sernageomin¹⁰³).

El parque paleontológico posee una superficie cercana a las 370 ha, es administrado por la I. Municipalidad de Caldera, quienes se han preocupado de la protección y puesta en valor del sitio, donde recientemente se ha sumado la Fundación de Turismo, Cultura y Patrimonio Geopaleontológico, generando la habilitación de senderos para el público y el cierre perimetral para su resguardo. En la actualidad, el sector sigue siendo administrado localmente por la municipalidad de Caldera y se ha firmado un convenio con el Servicio Nacional del Patrimonio Cultural (representado por el CMN) para solicitar la destinación al Ministerio de las Culturas, las Artes y el Patrimonio, del BNUP (Bien Nacional de Uso Público), con vistas al desarrollo e implementación de un museo de sitio o centro de interpretación paleontológica en el área.

¹⁰² Secuencia sedimentaria que define una formación geológica de manera formal en un lugar específico.

¹⁰³ Información disponible en: catastro.sernageomin.cl

Amenazas en el Sitio Paleontológico

Debido a la abundancia y diversidad de restos paleontológicos en Caldera, estos sitios se han visto amenazados por la intervención antrópica. Las más frecuentes son las excavaciones clandestinas o el actuar de los visitantes y turistas que al ir a conocer los sitios, se llevan fósiles como "recuerdo", pues desconocen la legislación que regula la protección del patrimonio paleontológico y que están infringiendo la ley, debido a que se requiere de autorización del CMN para excavar esos lugares, y dichos permisos están reservados a estudios paleontológicos por parte de profesionales calificados.

Un claro ejemplo del tráfico ilícito de restos paleontológicos, es el de los restos fósiles de un ave marina proveniente del sitio El Morro. Se trata del *Pelagornis chilensis*, uno de los ejemplares mejor preservado a nivel mundial; un ave pseudodentada que fue excavada ilegalmente y vendida al extranjero. Afortunadamente y gracias a la colaboración del Museo Senckenberg de Frankfurt (Alemania) los fósiles fueron retornados al país el año 2009 y hoy se encuentran en custodia del Museo Nacional de Historia Natural, centro oficial de las colecciones de la ciencia del hombre en Chile.

Otro caso conocido por la afectación a sitios paleontológicos se refiere a la explotación minera en el lugar. El año 2001 el CMN comunicó a las empresas mineras que operaban en la zona, la definición de un área de protección de 159 hectáreas en el sector de Los Dedos con el fin de excluir la actividad minera en el área y disminuir los impactos sobre el patrimonio paleontológico a resguardar. No obstante la advertencia, las empresas intervinieron y destruyeron parte de esta zona de protección, ocasionando el daño de un área no estudiada y la descontextualización del sitio. Es por esto que el CMN en sesión del 05 de noviembre de 2003 acordó solicitar la paralización de obras y requerir al Consejo de Defensa del Estado (CDE) hacerse parte en este caso.

Es así como el año 2004 el CDE inició en el 2° Juzgado de Letras de Copiapó una demanda de reparación e indemnización de perjuicios por daño ambiental, en contra de la Sociedad Contractual Minera Bahía Inglesa Limitada y la Compañía Minera de Fosfatos Naturales Bifox Limitada debido a la explotación de minerales en el área de protección.

Posteriormente y luego de los aportes de peritos paleontólogos y servicios públicos que comparecieron como testigos, y la defensa del CDE, el fallo dictado en abril de 2011 reconoció el daño al patrimonio paleontológico y ordenó a las empresas condenadas a recuperar la zona destruida, así como a cerrar, demarcar y señalizar el sitio además de indemnizar al Estado por un monto a pagar de \$3.122.360.340. Es importante destacar la importancia de este fallo, que reconoce el daño ambiental producido por la actividad minera ante el deterioro significativo de monumentos nacionales de carácter paleontológico, además de reconocer la pérdida de referentes culturales, de investigación científica y generación de conocimientos en esta materia.

Actualmente la indemnización se encuentra impaga y el CDE con la asesoría del CMN, se encuentra evaluando una transacción alternativa a esta sentencia, que permitirá reiniciar actividades de explotación en el sector por parte del grupo minero Kiwanda Chile S.A. Con el propósito que se indemnice debidamente al Estado y que dichas actividades se realicen de manera patrimonialmente sustentable en favor de la protección y conservación del patrimonio paleontológico local.

El CMN en su sesión del 12.09.2018, acordó pronunciarse favorablemente a la propuesta de transacción, lo que implica que la empresa Kiwanda Chile S.A., además de efectuar los respectivos pagos al fisco de Chile, deberá definir áreas de exclusión de toda actividad minera en aquellas áreas de relevancia patrimonial; la creación de un fondo de inversión para la investigación, conservación, difusión y puesta en valor del patrimonio paleontológico de Caldera; y la implementación de un plan de manejo y monitoreo paleontológico permanente por parte de profesionales calificados, para las áreas en que efectivamente se desarrollarán actividades mineras.

Referencias Bibliográficas

- » Achurra, L. 2004. Cambios del nivel del mar y evolución tectónica de la cuenca neógena de Caldera, III región. Tesis de magíster (Inédito), Departamento de Geología, Universidad de Chile: 138 p., Santiago.
- Acosta-Hospitaleche, C. & J. Canto 2007. Comentarios acerca de "Observaciones sobre la presencia de Paraptenodytes y Palaeospheniscus (Aves: Sphenisciformes) en la Formación Bahía Inglesa, Chile". Revista Chilena de Historia Natural 80: 261-264.
- » Acosta-Hospitaleche, C., C. Tambussi & J. Canto. 2005. Pingüinos (Aves, Sphenisciformes) fósiles de la colección del Museo Nacional de Historia Natural de Santiago, Chile. Boletín del Museo Nacional de Historia Natural. 54: 141-151.
- » Acosta Hospitaleche, C., M. Chávez & O. Fritis. 2006. Pingüinos fósiles (Pygoscelis calderensis sp. nov.) en la Formación Bahía Inglesa (Mioceno Medio-Plioceno), Chile. Revista Geológica de Chile 33(2): 327-338.
- » Amson, E., C. Argot, G. McDonald & C. De Muizon. 2014a. Gradual adaptation of bonestructure to aquatic lifestyle in extinct sloths from Peru. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences. 281: 20140192. doi: 10.1098/rspb.2014.0192.
- » Amson, E., C. Argot, G. McDonald & C. De Muizon. 2014b. Osteology and Functional Morphology of the Hind Limb of the Marine Sloth Thalassocnus (Mammalia, Tardigrada). Journal of Mammalian Evolution. 22(3): 355–419. doi: 10.1007/s10914-014-9274-5.
- » Amson, E., C. Argot, G. McDonald & C. De Muizon. 2014c. Osteology and Functional Morphology of the Forelimb of the Marine Sloth Thalassocnus (Mammalia, Tardigrada). Journal of Mammalian Evolution. 22(2): 169–242. doi: 10.1007/s10914-014-9268-3.
- Arratia, G. 1981. Varasichthys ariasi n. gen. et sp. from the Upper Jurassic from Chile (Pisces, Teleostei, Varasichthyidae n. fam.). Palaeontographica Abteilung a -Stuttgart-175(4): 107-139.
- » Bianucci, G., S. Sorbi, M.E. Suárez & W. Landini. 2006. The southernmost sirenian record in the eastern Pacific Ocean, from the Late Miocene of Chile. Comptes Rendus Palevol 5(8):945-952. DOI: 10.1016/j.crpv.2006.06.001.
- » Blanco, N.; A. Tomlinson, K. Moreno & D. Rubilar. 2000. Importancia estratigráfica de las icnitas de dinosaurios en la Formación Chacarilla (Jurásico-Cretácico Inferior), Región de Tarapacá, Chile. In Congreso Geológico Chileno, N° 9, Actas 1:441-445. Puerto Varas, Chile.

- » Burmeister, G. 1885. Examen crítico de los mamíferos y reptiles fósiles denominados por D. Augusto Bravard y mencionados en su obra precedente. Anales del Museo Nacional de Buenos Aires 97-174 + 2 láminas.
- » Canto, J., R. Salas-Gismondi, M. Cozzuol & J. Yáñez. 2008. The aquatic slothThalassocnus (mammalia, xenarthra) from the Late Miocene of north-central Chile:biogeographic and ecological implications. Journal of Vertebrate Paleontology 28:918–922.
- » Carrillo-Briceño, J., G. González-Barba, M. Landaeta, M. & S. Nielsen. 2013. Condrictios fósiles del Plioceno Superior de la Formación Horcón, Región de Valparaíso, Chile central. Revista chilena de historia natural, 86(2), 191-206. https://dx.doi.org/10.4067/S0716-078X2013000200008
- » Charrier, R., Pinto, L. & Rodrígues, M.P. 2007. Tectonostatigraphic evolution of the Andean Orogen in Chile. In: Moreno, T. & GIBBONS, W. (eds) The Geology of Chile. The Geological Society, London, 21–114.
- » Chávez, M., J. Carrillo-Briceño, S. Nielsen. 2014. The Evolution of Seabirds in the Humboldt Current: New Clues from the Pliocene of Central Chile. PLOS ONE. 9(3): e90043. doi: 10.1371/journal.pone.0090043
- Cione, A., J. Mennucci, F. Santalucita & C. Acosta-Hospitaleche. 2007. Local extinction of sharks of genus Carcharias (Elasmobranchii, Odontaspididae) in the eastern Pacific Ocean. Revista Geológica de Chile, 34: 139-145.
- » Cortés C., C. Marquardt, G. González, H. Wilke & N. Marinovic. 2007. Cartas Mejillones y Península de Mejillones, región de Antofagasta, Escala 1:100.000. Ed. SERNAGEOMIN, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica Nº: 103-104: 58p. + 1 ilustración, + 1 mapa.
- » Cozzuol, M. 1996. The records of the aquatic mammals in Southern South America. Münchner Geowissenschaftliche Abhandlungen 30: 321-342.
- » Dathe, F. 1983. Megaptera hubachi n. sp., ein fossiler Bartenwal aus marinen Sandsteinschichten des tieferen Pliozaens Chiles. Zeitschrift fuer Geologische Wissenschaften 11(7):813-848.
- » De Muizon, C. 1981. Les vertébrés fossiles de la Formation Pisco (Pérou). Première partie. Mémoires du Institut Français d'Études Andines 6:1–150.
- Domning, D. & O. Aguilera. 2008. Fossil Sirenia of the West Atlantic and Caribbean Region. VIII. Nanosiren garciae, gen. et sp. nov. and Nanosiren sanchezi, sp. nov. Journal of Vertebrate Paleontology 28: 479–500.
- Emmons, L. & F. Feer. 1997. Neotropical rainforest mammals: a field guide. Second Edition. The University of Chicago Press. Chicago, Illinois. XVI + 307 pp. + pls. 1-29, A-G.
- Flynn, J., A. Wyss, Croft, D. & R. Charrier. 2003. The Tinguiririca Fauna, Chile: biochronology, palaeoecology, biogeography, and a new earliest Oligocene South American Land Mammal 'Age'. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 195: 229-259.

- » Garrison, R. 1992. Neogene phosphogenesis allong the eastern margin of the Pacific Ocean. Revista Geológica de Chile. 19(1): 91-111.
- Saudin, T. 2004. Phylogenetic relationships among sloths (Mammalia, Xenarthra, Tardigrada): the craniodental evidence. Zoological Journal of the Linnean Society 140: 255–305.
- » Gauthier, J. & K. Padian. 1985. Phylogenetic, functional, and aerodynamic analyses of the origin of birds and their flight. En: M. Hecht, J. Ostrom, G. Viohl & P. Wellnhofer (Eds.). The Beginnings of Birds: proceedings of the international Archaeopteryx conference. pp. 185–197. Freunde des Jura-Museums (Eichstätt).
- » González, M. 2013. Paleoecología y Estratigrafía de Depósitos Marinos Neógenos del Norte de Chile: Sistemática Paleontológica de Moluscos y Reconstrucción Paleoambiental. Tesis de Grado para optar el título de Biólogo Marino en la Universidad Astral De Chile, Valdivia. 88pp.
- » Gutiérrez, N., L. Hinojosa, J. Le Roux & V. Pedroza. 2013. Evidence for an Early-Middle Miocene age of the Navidad Formation (central Chile): Paleontological, paleoclimatic and tectonic implications. Andean Geology 40(1): 66-78.
- » Gutstein, C., D. Rubilar-Rogers, M. & Suárez. 2007. Nuevo yacimiento con vertebrados fósiles del Neógeno del desierto de Atacama (Formación Bahía Inglesa). Actas GEOSUR. p. 70.
- » Gutstein, C., R. Yury-Yáñez, S. Soto-Acuña, M. Suárez & D. Rubilar-Rogers, 2008. La fauna de vertebrados fósiles del bone bed de la Formación Bahía Inglesa y aspectos taxonómicos. Actas I Simposio-Paleontología en Chile, Santiago. p. 102-108.
- » Gutstein, C.S. y Valenzuela-Toro, A. 2015. Cetáceos fósiles de Chile: contexto evolutivo y paleobiogeográfico. En: Los Vertebrados fósiles de Chile. (Rubilar-Rogers, D., R. Otero, A. Vargas & M. Sallaberry, editores). Publicación Ocasional del Museo Nacional de Historia Natural, Chile, 63: 339-383.
- » Guzmán, N., C. Marquardt, L. Ortlieb, D. Frassinetti. 2000. La malacofauna neógena y cuaternaria del área de caldera (27°-28°s): especies y rangos bioestratigraficos. Actas IX Congreso Geológico. 1(3): 476-481.
- » Hartley, A. & G. Chong. 2002. A late Pliocene age for the Atacama Desert: implications for the desertification of western South America. Geology, 30, 43–46.
- » Horwitz, F. & C. Gutstein. 2014. Misticetos (Mammalia, Cetacea) del Neógeno del Norte de Chile, con énfasis en la Formación Bahía Inglesa, Región de Atacama, y Formación Coquimbo, Región de Coquimbo. En: Actas del IV Simposio Paleontología en Chile. Valdivia, p. 45.
- » Horwitz, F. 2014. Misticetos (Mammalia, Cetacea) del Neógeno del Norte de Chile, con énfasis en la Formación Bahía Inglesa, Región de Atacama, y Formación Coquimbo, Región de Coquimbo. Tesis de Grado para optar el título de Biólogo Marino, Universidad de Concepción, Concepción, 103 pp.

- » Jenkins, R. 1974. A new giant penguin from the Eocene of Australia. Palaeontology, 17(2): 291-310.
- » Jetz, W., G. Thomas, J. Jo, K. Hartmann, A. Mooers. 2012. The global diversity of birds in space and time. Nature, 491: 444–448.
- » Kellner, A., D. Rubilar-Rogers, A. Vargas and M. Suárez. 2011. A new titanosaur sauropod from the Atacama Desert, Chile. Anais da Academia Brasileira de Ciências, 83(1): 211-219. ISSN 0001-3765.
- » Ksepka, D. 2014. Flight performance of the largest volant bird. Proceedings of the National Academy of Sciences, 111(29): 10624–10629.
- » Lambert, O., G. Bianucci, K. Post, C. de Muizon, R. Salas-Gismondi, M. Urbina, J. Reumer. 2010. The giant bite of a new raptorial sperm whale from the Miocene epoch of Peru. Nature, 466: 105-108.
- Le Roux, J., L. Achurra, A. Henríquez, C. Carreño, H. Rivera, M. Suárez, S. Ishman, N. Pyenson, C. Gutstein. 2016. Oroclinal bending of the Juan Fernández Ridge suggested by geohistory analysis of the Bahía Inglesa Formation, north-central Chile, Sedimentary Geology, 333: 32-49, ISSN 0037-0738, https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2015.12.003.
- Le Roux, J. 2012. A review of Tertiary climate changes in southern South America and the Antarctic Peninsula. Part 2: continental conditions. Sedimentary Geology. 247–248: 21–38, https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2011.12.001.
- Marchant, M., C. Marquardt, N. Blanco & E. Godoy. 2000. Foraminíferos del área de Caldera (26°45′-28°5) y su utilización como indicadores cronoestratigráficos del Neógeno. In: Actas IX Congreso Geológico Chileno, Puerto Varas, pp. 499-503.
- » Marquardt, C., N. Blanco, E. Godoy, A. Lavenu, L. Ortlieb, M. Marchant & N. Guzmán.2000. Estratigrafía del Cenozoico Superior en el área de Caldera (26°45'2"S). En: Actas del IX Congreso Geológico Chileno, Puerto Varas, pp. 504-508.
- Marquardt, C., A. Lavenu, L. Ortlieb, E. Godoy & D. Comte. 2004. Coastal neotectonics in Southern Central Andes: uplift and deformation of marine terraces in Northern Chile (27°S). Tectonophysics, 394(3-4): 193-219.
- Mayr, G. & D. Rubilar-Rogers. 2010. Osteology of a giant bony-toothed bird from the Miocene of Chile, with a revision of the taxonomy of Neogene Pelagornithidae. Journal of Vertebrate Paleontology, 30: 1313-1330.
- » McDonald, H. 2005. Paleoecology of extinct xenarthrans and the Great American Biotic Interchange. Bulletin of the Florida Museum of Natural, 45: 313–333.
- » Möricke, W. 1896. Versteinerungen der Tertiärformationen von Chile. Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paläontologie Beilage Band, 10, 548-612.
- » Mourer-Chauviré, C. & D. Geraads. 2008. The Struthionidae and Pelagornithidae (Aves: Struthioniformes, Odontopterygiformes) from the late Pliocene of Ahl Al Oughlam, Morocco. Oryctos, 7:169–187.

- » de Muizon, C. 1993. Walrus-like feeding adaptation in a new cetacean from the Pliocene of Peru. Nature, 365: 745-748. de Muizon, C. & H. McDonald. 1995. An aquatic sloth from the Pliocene of Peru. Nature, 375: 224-227.
- » de Muizon, C., D. Domming & D. Ketten. 2002. Odobenocetops peruvianus, the walrusconvergent delphinoid (Mammalia: Cetacea) from the Early Pliocene of Peru. Cenozoic mammals of land and sea: tributes to the career of Clayton E. Ray. 93: 223-261.
- » Nielsen, S. & C. Valdovinos. 2008. Early Pleistocene mollusks of the Tubul Formation, South-Central Chile. The Nautilus, 122: 201- 216.
- » Novas, F., L. Salgado, M. Suárez, F. Agnolín, M. Ezcurra, N. Chimento, R. de la Cruz, M. Isasi, A. Vargas, D. Rubilar-Rogers. 2015. An enigmatic plant-eating theropod from the Late Jurassic period of Chile. Nature, 522(7556):331-4. doi: 10.1038/nature14307.
- » Ortlieb, L., A. Diaz, N. Guzman. 1996b. A warm interglacial episode during oxygen isotope stage 11 in Northern Chile. Quaternary Science Reviews, 15: 857-871.
- » Pardo-Pérez, j., E. Frey, w. Stinnesbeck & I. Rivas. 2011. Early cretaceous ichthyosaurs from the tyndall glacier in torres del paine national park, southernmost chile. Vol 31, Supplement 2. Special Issue: Program, and abstracts, 71st Annual Meeting Society of Vertebrate Paleontology, Las Vegas, Nevada, USA. p. 71.
- Pardo-Pérez, J., E. Frey, W. Stinnesbeck, M. Fernández, L. Rivas, C. Salazar & M. Leppe. 2012. An ichthyosaurian forefin from the Lower Cretaceous Zapata Formation of southern Chile: implications for morphological variability within Platypterygius Palaeobio Palaeoenv (2012) 92:287–294. doi: 10.1007/s12549-012-0074-8.
- » Parenzt, H., G. Schweigert & G. Meléndez. 2006. Oxfordian perisphinctid ammonites from Chacay Melehue, Argentina. Paläontologische Zeitschrift, 80: 307-324.
- » Pyenson, N. & E. Hoch. 2007. Tortonian pontoporiid odontocetes from the eastern North Sea. Journal of Vertebrate Paleontology, 27(3): 757-762.
- » Pyenson, N., C. Gutstein, J. Parham, J. Le Roux, C. Chavarría, H. Little, A. Metallo, V. Rossi, A. Valenzuela-Toro, J. Velez-Juarbe, C. Santelli, D. Rubilar-Rogers, M. Cozzuol, & M. Suárez. 2014. Repeated mass strandings of Miocene marine mammals from Atacama Region of Chile point to sudden death at sea. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences 281 (1781), 20133316 http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2013.3316.
- » Quezada, J., G. González, T. Dunai, A. Jensen & J. Juez-Larré. 2007. Alzamiento litoral Pleistoceno del norte de Chile: edades 21Ne de la terraza costera más alta del área deCaldera-Bahía Inglesa. Revista geológica de Chile, 34(1): 81-96. https://dx.doi. org/10.4067/S0716-02082007000100005.
- » Rech, J., B. Currie, G. Michalski, A. Cowan. 2006. Neogene climate change and uplift in the Atacama Desert, Chile. Geology, 34: 761-764.
- » Rubilar-Rogers, D., R. Otero, R. Yury, A. Vargas & C. Gutstein. 2012. An overview of the dinosaur fossil record from Chile. Journal of South American Earth Sciences. 37: 242–255. doi: 10.1016/j.jsames.2012.03.003.

- » Rubilar-Rogers, D., K. Moreno, N. Blanco & Calvo, J. 2008. Theropod Dinosaur Trackways from the Lower Cretaceous of the Chacarilla Formation, Chile. Revista geológica de Chile, 35(1):175-184. https://dx.doi.org/10.4067/S0716-02082008000100009.
- » Sallaberry, M., S. Soto-Acuña, R. Yury-Yáñez, J. Alarcón, D. Rubilar-Rogers. 2015. Aves fósiles de Chile. En: Vertebrados fósiles de Chile (Rubilar-Rogers, D., R. Otero, A. Vargas & M. Sallaberry, editores). Publicación Ocasional del Museo Nacional de Historia Natural, Santiago, 63: 265-291.
- » Shirihai, H. 2002. The complete guide to Antarctic wildlife. Princeton University Press, New Jersey. 510 pp.
- » Simpson, G. 1965. New record of a fossil penguin in Australia. Proceedings of the Royal Society of Victoria, 79: 91-93.
- » Simpson, G. 1975. Notes on variation in penguins and on fossil penguins from the Pliocene of Langebaanweg, Cape Province, South Africa. Annals of the South African Museum, 69(4): 59-72.
- Slack, K.; C. Jones,T. Ando, G. Harrison, R. Fordyce, U. Arnason, & D. Penny. 2006. Early penguin fossils, plus mitochondrial genomes, calibrate avian evolution. Molecular Biology and Evolution, 23: 1144-1155.
- » Soto-Acuña, S., Otero, R., Rubilar-Rogers, D. & A. Vargas. 2015. Arcosaurios no avianos de Chile. En: Los Vertebrados Fósiles de Chile. (Rubilar-Rogers, D., R. Otero, A. Vargas & M. Sallaberry, editores). Publicación Ocasional del Museo Nacional de Historia Natural, Santiago, 63: 209-263.
- » Soto-Acuña, S., R. Yury-Yáñez, M. Sallaberry & D. Rubilar-Rogers. 2009. Nuevos cráneos de Sulidae (Aves: Pelecaniformes) del Neógeno del Desierto de Atacama, Chile. Ameghiniana 46(4): 49R.
- » Soto-Acuña, S., R. Yury-Yáñez, R. Otero, R., D. Rubilar-Rogers. 2008. Rectificación de los materiales de Spheniscidae de la colección del Museo Nacional de Historia Natural. Actas I Simposio Paleontología en Chile, Santiago, p. 122-127.
- Stinnesbeck, W., E. Frey, L. Rivas, J. Pardo-Pérez, M. Leppe, C. Salazar & P. Zambrano. 2014. A Lower Cretaceous ichthyosaur graveyard in deep marine slope channel deposits at Torres del Paine National Park, Southern Chile. Geological Society of America Bulletin. 126 (9-10): 1317-1339. http://dx.doi.org/10.1130/B30964.1.
- Stucchi, M.; M. Urbina, A. Giraldo. 2003. Una nueva especie de Spheniscidae del Mioceno tardío de la Formación Pisco. Boletín del Instituto Francés de Estudios Andinos, 32: 361–375.
- » Suárez, M. & C. Marquardt. 2003. Revisión preliminar de las faunas de peces elasmobranquios del Mesozoico y Cenozoico de Chile y comentarios sobre su valor cronoestratigráfico. In Congreso Geológico Chileno N° 10, Sesión temática 3, Paleontología, Actas CD-Rom: 9 p. Concepción.

- » Suárez, M. 2015. Peces Elasmobranquios fósiles de Chile. En: Los Vertebrados Fósiles de Chile. (Rubilar-Rogers, D., R. Otero, A. Vargas & M. Sallaberry, editores). Publicación Ocasional del Museo Nacional de Historia Natural 63: 17-33.
- » Suárez, M., A. Encinas & D. Ward. 2006. An early Miocene elasmobranch fauna from the Navidad Formation, central Chile, South America. Cainozoic Research, 4: 3-18.
- » Suárez, M., A. Valenzuela-Toro, C. Gutstein, M. Cozzuol & N. Pyenson. 2011. Nuevos restos de Thalassocnus (nothrotheriidae, thalassocninae) del neógeno de la Formación Bahía Inglesa, Región de Atacama, Norte de Chile. In Libro de Resúmenes IV Congreso de Paleontología de Vertebrados, san Juan, p. 371.
- » Tambussi, C., M. Reguero, S. Marenssi & S. Santillana. 2005. Crossvallia unienwillia, a new Spheniscidae (Sphenisciformes, Aves) from the Late Paleocene of Antarctica. Geobios. 38: 667-675.
- » Tavera, J. 1960. El Plioceno de Bahía Horcón en la provincia de Valparaíso. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Anales, 17: 346-367.
- » Valenzuela-Toro, A., C. Gutstein & D. Rubilar-Rogers. 2009. Nuevos materiales fósiles referidos a Acrophoca Muizon y Piscophoca Muizon (Pinnipedia: Phocidae) del Neógeno de la Formación Bahía Inglesa, Chile. En: Actas del XXIV Jornadas Argentinas de Paleontología de Vertebrados, pp. 61–62.
- Valenzuela-Toro, A., C. Gutstein, R. Varas-Malca & M. Suárez. 2013. Pinniped turnover in the South Pacific Ocean: new evidence from the Plio-Pleistocene of the Atacama Desert, Chile. Journal of Vertebrate Paleontology, 33(1): 216-233.
- Walsh, S. & D. Naish. 2002. Fossil seals from late Neogene deposits in South America: a new pinniped (Carnivora, Mammalia) assemblage from Chile. Palaeontology, 45(4): 821-842.
- Walsh, S. & M. Suárez. 2005. First post–Mesozoic record of Crocodyliformes from Chile. Acta Palaeontologica Polonica, 50(3): 595–600.
- Walsh, S. & M. Suárez. 2006. New penguin remains from the Pliocene of Northern Chile. Historical Biology, 18:115-126.
- » Walsh, S.A.; Hume, J.G. 2001 A new Neogene marine avian assemblage from northcentral Chile. Journal of Vertebrate Paleontology, 21: 484-491.
- Yury-Yáñez, R., M. Sallaberry, M. Suárez, C. Gutstein & D. Rubilar-Rogers. 2012a. Avifauna marina del Pleistoceno de la costa del desierto de Atacama, norte de Chile. Ameghiniana 49(4): R68-69.
- » Yury-Yáñez, R., S. Soto-Acuña, C. Gutstein, D. Rubilar-Rogers. 2009. A Nearly complete skeleton of Spheniscus urbinai Stucchi (Aves, Sphenisciformes), in the Bahía Inglesa Formation (Miocene-Pliocene), Atacama Desert, Chile. Journal of Vertebrate Paleontology,

Autoras

Carolina Simon Gutstein Ana Valenzuela Toro

Coordinación editorial

Daniela Aravena Sánchez

Revisión de textos

Alejandro Cornejo Salazar Sergio Soto Acuña Daniela Aravena Sánchez

Colaboración

Alexis Caro Fuentes Patricio Ogalde Hernández Pablo Cuevas Gaete

Diseño y edición

María Villegas Oliveres

Fotografías

Rodrigo Otero González Judith Pardo Pérez David Rubilar Rogers Sven Nielsen Karen Moreno Fuentealba Museo Nacional de Historia Natural

Ilustraciones

Mauricio Álvarez Abel

Impresión

Ograma Impresores







