

# VERTEBRADOS MESOZOICOS DEL DESIERTO DE ATACAMA

Museo de Historia Natural y Cultural  
del Desierto de Atacama  
EDITOR



Monografías del Museo de Historia Natural y Cultural del Desierto de Atacama N°2





**MUSEO DE HISTORIA NATURAL Y CULTURAL DEL DESIERTO DE ATACAMA**

**LOS VERTEBRADOS MESOZOICOS DEL DESIERTO DE ATACAMA**

MONOGRAFÍAS DEL MUSEO DE HISTORIA NATURAL Y CULTURAL DEL DESIERTO DE ATACAMA ©

Inscripción en el Registro de Propiedad Intelectual de Chile N.º 2020-A-3423.  
Todos los derechos reservados.

ISBN: 978-956-09449-1-7

Impreso por Gráfica LOM, Santiago. Primera Edición de 500 copias.  
Impreso en Chile - Printed in Chile

IMAGEN DE PORTADA: *Pliosaurus* tras dos individuos de *Atacamichthys greeni*, mientras un  
'*Metriorhynchus*' *casamiquelai* se acerca.

IMAGEN PÁGINA INICIAL: afloramientos del Aaleniano-Bajociano en Ojo Opache.

# LOS VERTEBRADOS MESOZOICOS DEL DESIERTO DE ATACAMA


Monografías del Museo de Historia Natural  
y Cultural del Desierto de Atacama N.º 2



Texto e Ilustraciones  
Rodrigo A. Otero

**Museo de Historia Natural y Cultural del Desierto de Atacama**  
Corporación de Cultura y Turismo de Calama  
Ilustre Municipalidad de Calama  
Codelco, Distrito Norte





**Dedicado a don Ernesto Pérez D'Angelo,**  
*como un homenaje póstumo  
por todo su apoyo y su amistad en mis años difíciles.*

**A Gloria Arratia, Zulma Brandoni de Gasparini  
y Guillermo Chong** por abrirnos las puertas al pasado del desierto  
y ser motivación permanente para conocer nuestra historia natural.



<b>ÍNDICE</b>	<b>Páginas</b>
<b>PALABRAS INICIALES</b>	<b>13</b>
<b>PRÓLOGO</b>	<b>15</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>17</b>
<b>CAPÍTULO I: Conceptos introductorios</b>	<b>19</b>
Paleontología	21
Fósil	21
Vertebrados	21
Registro fósil	22
Tiempo geológico. El "cuándo" del registro fósil	22
Yacimiento paleontológico	22
Registro fósil	23
Paleogeografía: el "dónde" del registro fósil	23
Bibliografía	24
<b>CAPÍTULO II: La investigación paleontológica</b>	<b>25</b>
El hallazgo paleontológico: donde todo comienza	27
Recuperando el hallazgo	27
Preparación	28
Estudio y reconocimiento del valor científico-cultural de los fósiles y los yacimientos paleontológicos	28
Ley referente a la herencia paleontológica en Chile	30
Bibliografía	30
<b>CAPÍTULO III: Paleogeografía del Desierto de Atacama</b>	<b>31</b>
Paleozoico superior	33
Triásico	34
Jurásico Inferior	34
Jurásico Medio	38
Cretácico Superior	38
Bibliografía	38
<b>CAPÍTULO IV: Antes del Mesozoico: los escasos vertebrados paleozoicos de Chile</b>	<b>41</b>
Posibles Anfibios	43
Peces cartilaginosos (condrictios)	44
Peces óseos (Osteichthyes)	44
Bibliografía	45
<b>CAPÍTULO V: Vertebrados del Triásico</b>	<b>47</b>
Chilenosuchus forttae Casamiquela, 1980	49



Silesauridae	50
Crocodylomorpha	51
Peces de agua dulce	51
Peces Proleptolepidae de Quebrada La Carreta	52
Peces Perleidiformes de Quebrada San Pedrito, Región de Atacama	52
Ictiosaurios de Quebrada Doña Inés Chica: entre los más antiguos de Pangea	52
Bibliografía	53
<b>CAPÍTULO VI: Vertebrados del Jurásico Inferior</b>	<b>55</b>
Peces óseos	57
<i>Atacamaia solitaria</i> Arratia y Schultze, 2015	57
Ictiosaurios	58
Plesiosaurios	59
Cocodrilos marinos	59
Bibliografía	59
<b>CAPÍTULO VII: Vertebrados del Jurásico Medio</b>	<b>61</b>
Peces óseos	63
Ictiosaurios	63
Plesiosaurios	64
Cocodrilos marinos	64
Metriorhynchoidea indet.	64
Geosaurini indet.	65
' <i>Metriorhynchus</i> ' <i>casamiquelai</i> Gasparini y Chong, 1977	65
' <i>Metriorhynchus</i> ' <i>westermanni</i> Gasparini, 1980	65
' <i>Metriorhynchus</i> ' sp.	66
Bibliografía	66
<b>CAPÍTULO VIII: Vertebrados del Jurásico Superior</b>	<b>68</b>
Peces óseos	71
<i>Lepidotes</i> sp.	71
' <i>Pholidophorus</i> ' <i>domeykanus</i> Arratia et al., 1975c	71
<i>Protoclupea chilensis</i> Arratia, Chong y Chang, 1975b	71
<i>Bobbichthys opercularis</i> (Arratia et al., 1975a)	71
<i>Varasichthys ariasi</i> Arratia, 1981	72
<i>Chongichthys dentatus</i> Arratia, 1982	72
<i>Domeykos profetaensis</i> Arratia y Schultze, 1985	72
<i>Protoclupea atacamensis</i> Arratia y Schultze, 1985	72
<i>Antofagastaichthys mandibularis</i> Arratia, 1986	72

<i>Atacamichthys greeni</i> Arratia y Schultze, 1987	73
Pycnodontiformes indet.	73
<i>Protoclupea</i> sp.	73
Teleostei indet. (2 taxa)	73
<i>Gyrodus</i> sp.	74
<i>Leedsichthys</i> sp.	74
Pachycormiformes indet.	75
Ictiosaurios	75
Plesiosaurios	75
Cryptoclididae	75
Pliosauridae	78
Cocodrilos marinos	79
Metryorhynchidae indet.	79
Reptiles Voladores (Pterosauria)	79
Rhamphorhynchidae indet.	79
Huellas fósiles (icnitas)	80
Bibliografía	81
<b>CAPÍTULO IX: Vertebrados del Cretácico</b>	<b>85</b>
Peces óseos del Cretácico Inferior	87
<i>Pseudovinctifer chilensis</i> Arratia, 2015	87
<i>Lepidotes</i> sp.	87
Dinosaurios del Cretácico Inferior	87
Pterosauria del Cretácico Inferior	88
Dinosaurios del Cretácico Superior del Norte Grande: <i>Atacamatitan chilensis</i> Kellner et al., 2011	89
Bibliografía	90
<b>CAPÍTULO X: Paleontología sistemática</b>	<b>93</b>
Bibliografía	121
<b>CAPÍTULO XI: Interpretando el registro de vertebrados mesozoicos del Desierto de Atacama</b>	<b>127</b>
Paleobiogeografía	129
Antes del Mesozoico: los escasos registros locales en el Paleozoico	129
Durante el Triásico (251 a 201 millones de años atrás)	130
Durante el Jurásico (201 a 145 millones de años atrás)	131
Durante el Cretácico (145 a 66 millones de años atrás)	133
Comparación del registro local de vertebrados mesozoicos con el registro global	135
Bibliografía	139

<b>CAPÍTULO XII: Conclusiones</b>	<b>147</b>
Conclusiones	149
Consideraciones finales	154
Bibliografía	155
<b>GLOSARIO</b>	<b>157</b>
<b>CRÉDITOS DE LAS IMÁGENES</b>	<b>164</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	<b>167</b>

## PALABRAS INICIALES

Cuando se recorre el desierto, sin más compañía que el viento y el sol que ya en los atardeceres se diluye en rojo intenso que pinta el firmamento, ahí en las paredes y llanos del desierto, están escritos los procesos de la vida en el pasado hierático, petrificado, esperando contarnos su historia.

El Loa, corazón del desierto de Atacama, es donde las rocas estallan por las noches y el sol calcina la herida tierra, que se torna misteriosa y enigmática cuando comienza a entregar sus secretos, aquí están las respuestas a las interrogantes del hombre de hoy, nos relata una historia fascinante en torno a la vida, visión cautivadora, la cual podemos descubrir con solo mirar bajo nuestros pies. Aquí está la historia de la vida en la Tierra, el Triásico con sus escurridizos reptiles corriendo en las ciénagas de agua dulce, en los lagos interiores, grandes dinosaurios recorriendo las plataformas continentales en una Tierra que nace, y sus gigantescos y maravillosos reptiles marinos, hoy extintos, que poblaron los mares jurásicos de la actual comuna de Calama.

Esta historia cautivante, sin duda, no la podemos caminar solos, y es ahí donde encontramos el firme compromiso en esta aventura, de destacados académicos y técnicos, quienes nos acompañan en estos senderos. Mi gratitud a Rodrigo Otero González, Sergio Soto Acuña, Jhonatan Alarcón Muñoz, Jennyfer Rojas y tantas otras personas que son parte fundamental de este trabajo. Mención especial a quienes confían en nuestras actividades y nos permiten llegar con nuestras investigaciones a los habitantes del territorio, especialmente a nuestros estudiantes, quienes constituyen nuestro público objetivo. En este trabajo de valorización de nuestra zona y aporte al acervo científico de la nación, nuestro agradecimiento al Sr. alcalde de la comuna, don Daniel Augusto Pérez, al cuerpo de concejales de la comuna, a la directora de La Corporación de Cultura y Turismo de Calama, Sra. Evelyn Pizarro Peña, al señor Claudio Flores Álvarez, gerente de Asuntos Comunitarios y Sustentabilidad de Codelco Norte, don Leonardo Herrera Valenzuela, director de Asuntos Comunitarios y Medio Ambiente de Codelco Norte, a la señora Lilian Rosales Núñez, jefa de Desarrollo Comunitario de Codelco Norte; don Héctor Cortés González, director de Proyectos de Codelco Norte, a todos nuestro agradecimiento y reconocimiento por permitirnos llegar con este trabajo, a los habitantes de esta amada tierra.

**Oswaldo Rojas Mondaca, Calama. Agosto, 2019**



Cada sonrisa y cada gesto de curiosidad que vemos a diario reflejado en los rostros de las niñas y niños que participan en las actividades culturales que promovemos como Distrito Norte de Codelco, nos motivan a continuar siendo parte del trabajo que se hace para difundir la enorme riqueza patrimonial de nuestra Provincia de El Loa. Y lo hacemos con cariño y con un enorme compromiso con este inmenso desierto en el que todas y todos habitamos y que esconde apasionantes secretos sobre la vida que desarrollaron nuestros antepasados.

Por eso, cuando vemos resultados exitosos como los que se pueden apreciar en cada página de este libro, sentimos una motivación especial para reforzar nuestro compromiso de realizar una minería sustentable y amigable con el entorno, en términos ambientales y también de responsabilidad social. Con una mirada colaborativa y escuchando a las comunidades.

Codelco vive actualmente una transformación sin precedentes y esto no sólo lo desarrollamos a diario en los yacimientos, sino que este cambio está directamente asociado a consolidarnos como una compañía rentable y sustentable, que sea capaz de contribuir al desarrollo del país y de mejorar las condiciones de vida de las chilenas y chilenos más desposeídos.

La cultura y el rescate patrimonial, vinculado a la educación de la comunidad y de nuestras niñas y niños, es un paso más en ese camino y en el gran desafío de convertir todas estas aspiraciones en una realidad cada vez más palpable.

En este contexto, saludamos a los autores y estamos convencidos que este libro se convertirá en un documento de consulta indispensable para todas y todos quienes amamos esta tierra y queremos conocer cada vez más sobre sus apasionantes orígenes.

**Claudio Flores Álvarez**

Gerente Distrital de Asuntos Comunitarios y Sustentabilidad  
Vicepresidencia de Operaciones Norte  
Codelco Distrito Norte  
Calama, octubre 2019.



# PRÓLOGO

RODRIGO A. OTERO Y OSVALDO ROJAS MONDACA

Nadie puede quedar indiferente a la inmensidad del desierto más seco del mundo. Caminar por sus arenas es un llamado a la humildad y fragilidad del ser humano, en donde la vida se enfrenta al desafío total de la supervivencia. Esas mismas arenas y cerros resguardan una historia natural de una riqueza enorme y de una profundidad temporal tal, que hoy nos permite explorar paisajes que existieron incluso antes que los dinosaurios. Este mismo desierto fue antes una selva, un mar, un archipiélago, un llano fértil, un valle con enormes animales. Estamos comenzando a asomarnos a esta profunda y fascinante historia.

Es difícil hablar del tiempo cuando la limitada existencia del ser humano se reduce, esperanzadamente, a un siglo. En este trabajo daremos un vistazo a maravillosas formas de vida que existieron en lo que hoy es el desierto de Atacama, en el norte de Chile, en rangos de tiempo que se miden en decenas de miles de siglos. Es necesario decir que es un vistazo preliminar, pues apenas comenzamos a reconocer la diversidad de vertebrados que habitaron esta zona en el pasado profundo. Sin miedo a equivocarnos, podemos afirmar que esta área del conocimiento aumentará en los años venideros.

Es aquí donde el Museo de Historia Natural y Cultural del Desierto de Atacama (MUHNCAL), la Corporación de Cultura y Turismo de Calama y su Ilustre Municipalidad, juegan un rol fundamental en la investigación, conservación y exhibición de restos de vertebrados fósiles, materia que hoy nos convoca en este volumen. Estos materiales están paulatinamente completando el rompecabezas de la historia natural del desierto de Atacama, mostrándonos la presencia de estas formas de vida, incluso antes del Mesozoico, remontándose hasta unos 290 millones de años atrás, con hallazgos de peces cartilaginosos.

Esta contribución continúa la labor ya abordada en la primera monografía de esta serie, que dio a conocer la rica diversidad de fauna que existió durante el Pleistoceno en la cuenca de Calama. El presente esfuerzo intenta dar una visión general sobre aquella diversidad que existió en estas latitudes entre unos 250 hasta hace 66 millones de años atrás, lapso conocido como Mesozoico. Aún quedan ámbitos por abordar, tales como la diversidad de invertebrados fósiles, la paleobotánica del desierto de Atacama, la historia cultural de esta región y muchos otros temas que, en conjunto, podrán darnos una visión más completa sobre el pasado de nuestra tierra y ser abordados por volúmenes venideros de esta serie.

La investigación es una labor que permanentemente empuja el borde del conocimiento, ampliando la información previamente acumulada a través de nuevos resultados obtenidos. Sin embargo, no puede quedar solamente como una lectura entre pares científicos, pues el conocimiento debe ser público y debe encontrarse disponible para todo aquel que desee acceder a él. En este sentido, el presente texto recopila décadas de investigación paleontológica, llevada adelante por múltiples especialistas de ciencias de la Tierra. El objetivo de este volumen es entregar un resumen de aquellos hitos más importantes en materia de vertebrados mesozoicos hallados principalmente en las regiones de



Antofagasta y Atacama, mostrando la profunda importancia de estos registros y esperando que el lector de este texto pueda reconocer el valor científico y cultural de esta herencia natural presente en nuestro desierto. Estos elementos del pasado profundo son también parte de nuestra historia, y somos nosotros como pueblo los que debemos indagar en ella, develarla, atesorarla y, por sobre todo, reconocerla y abrazarla como nuestra.

Con honesto anhelo, esperamos que esta contribución quede prontamente obsoleta, debido a los nuevos hallazgos paleontológicos que ocurran y se sumen a este creciente conocimiento, dando cuenta de una continua investigación en el área de la paleontología de vertebrados del desierto de Atacama.



# INTRODUCCIÓN

El desierto de Atacama es actualmente el lugar más seco del mundo. Se extiende por aproximadamente 1.000 kilómetros, desde el norte de Chile hasta el sur del Perú. Alberga una riquísima herencia paleontológica, que da cuenta de la historia natural del norte de Chile desde el Paleozoico, 250 millones de años atrás, hasta nuestros tiempos.

Para el presente texto se ha escogido a un grupo particular de formas de vida: los vertebrados. Respecto de este grupo, las regiones de Antofagasta, Atacama y otras localidades del norte de Chile, han proporcionado múltiples e importantes hallazgos. Hasta el momento, apenas conocemos de ellos durante fines del Paleozoico. A partir del Triásico se han hallado algunos registros continentales y marinos que, en conjunto, nos dan una primera idea sobre los ambientes que existieron en el norte de Chile hace unos 230 millones de años. Desde el Jurásico, predominaron registros de vertebrados principalmente marinos. La mayor diversidad local ha sido reconocida cerca de la ciudad de Calama, en rocas del Jurásico Medio y Superior. A partir del Cretácico Inferior, se ha reconocido un relevante registro de huellas de dinosaurios y evidencias de reptiles voladores. Junto con esto, la presencia de dinosaurios saurópodos está documentada en el Cretácico Superior. Esta fauna antigua prueba la existencia de una serie de paisajes completamente ausentes en el actual desierto. Es precisamente esa historia antigua la que buscamos indagar con este volumen, y para cumplir con dicho objetivo, se ha organizado el contenido de este libro de manera tal que quien lo lea pueda comprender cómo y dónde se trabaja en paleontología de vertebrados, pasando luego a una narración ordenada a través del tiempo, introduciendo al lector en la antigua geografía del norte de Chile, extendiéndose luego a una breve mirada al aún escaso registro Paleozoico, a modo de introducción al Mesozoico, para posteriormente entrar en extenso al registro de vertebrados mesozoicos. Como complemento, se han incluido reconstrucciones de vertebrados que existieron en lo que hoy es el desierto de Atacama. Estas reconstrucciones están basadas en información extraída de los restos fósiles conocidos, tanto a nivel local como en otras partes del mundo.

A continuación de esta narración, se ha dedicado una sección completa a la Paleontología Sistemática, la cual se encuentra orientada a la persona interesada en aspectos taxonómicos, datos estratigráficos y localidades de ocurrencia del registro de vertebrados fósiles locales. En dicho capítulo, se ha intentado incluir la mayor cantidad de fotografías de los fósiles reales, los que muchas veces solo se pueden ver en publicaciones científicas de acceso restringido, o bien, visitando colecciones. De esta manera, esperamos que esta "galería virtual" permita a los interesados el poder saber cómo lucen los fósiles provenientes del desierto de Atacama.

Además, se ha dedicado un capítulo completo para la discusión del registro fósil aquí expuesto, buscando integrar las ocurrencias de vertebrados





mesozoicos en el desierto de Atacama dentro de un contexto más amplio a nivel global, intentando revelar los patrones de intercambio y que, finalmente, ayudaron a moldear la diversidad de vertebrados que existió en este rincón del mundo.

El presente volumen finaliza con un capítulo sintético de conclusiones, exponiendo al lector una primera aproximación a los paisajes naturales que existieron en nuestro actual desierto de Atacama durante el Triásico, el Jurásico y el Cretácico. Estas interpretaciones se sostienen en el registro fósil aquí resumido y son el resultado de la investigación paleontológica acumulada a la fecha en el norte de Chile.

Al cierre de este libro, hemos incluido un glosario dedicado a explicar de manera simple todos aquellos términos técnicos utilizados a lo largo del texto, con la intención de facilitar al lector una familiarización con el lenguaje comúnmente utilizado en la paleontología.

Esperamos que el presente volumen sea una suerte de viaje en el tiempo y que estimule la imaginación de quien lo lee. Hoy es el desierto más árido del mundo, pero en el pasado tuvo una historia de selvas y mares que albergaron una gran diversidad de formas de vida, las que empezaremos a revelar poco a poco.



## CAPÍTULO I: Conceptos introductorios



Restos del húmero de un pliosaurio hallado en Cerritos Bayos.



## Paleontología

La paleontología (del griego, *palaeos*, antiguo, y *ontos*, ser) es la disciplina dedicada al estudio de las formas de vida antiguas en todos sus ámbitos. Abarca la descripción anatómica, relaciones de ancestro-descendiente de las distintas formas de vida, su desarrollo ontogenético, la historia evolutiva de los distintos linajes, el estudio de su ecología, hábitat, comportamiento, las evidencias metabólicas y, en general, todos los aspectos relativos a los organismos que habitaron en el pasado geológico.

## Fósil

La paleontología tiene un objeto de estudio primario y fundamental: el fósil. Corresponde a cualquier evidencia de vida antigua, ya sean organismos completos preservados excepcionalmente en algún medio (momificación, permafrost, ámbar, brea, entre otros), o bien partes de un organismo (esqueletos completos o parciales, elementos anatómicos aislados), e incluso moldes dejados por organismos o parte de ellos. También son considerados como fósiles evidencias metabólicas antiguas como fecas, evertidos gástricos, egagrópilas, etcétera. Las huellas dejadas por la actividad de un organismo en tiempos pasados también son consideradas como fósiles.

La antigüedad de un fósil se encuentra sujeta a discusión. Algunos autores como Carvalho (2010) consideran que un fósil es todo resto cuya antigüedad supere el límite Holoceno-Pleistoceno, lo que equivale actualmente a 11.700 años. Independientemente de la aceptación de un límite arbitrario para determinar la edad absoluta en la que se separa un fósil de un subfósil, los restos de organismos antiguos poseen intrínsecamente un valor científico-cultural, ya que permiten a los especialistas contar con evidencias que ayudan a completar la historia evolutiva de las diferentes formas de vida existentes o extintas. La paleontología encontrará algunas veces un campo común con la arqueología y la antropología, puesto que a todas les compete el estudio de la evolución humana. Sin embargo, el campo exclusivo de la paleontología se encuentra en las evidencias de formas de vida (fósiles), contenidas en depósitos y rocas de centenares de miles o de millones de años.

## Vertebrados

Los cordados (Chordata) son un grupo de animales que se caracterizan por la presencia de una notocorda, que es una estructura esquelética que aparece temprano en el desarrollo embrionario, y que, salvo algunas excepciones, determina un tipo de simetría en animales, denominada simetría bilateral. Los Chordata incluyen a los Cephalochordata (e.g., *Amphioxus*), los Urochordata (e.g., el piure, *Pyura chilensis*), y los Craniata. Estos últimos incluyen a los Myxini y a los Vertebrata, grupo al que se dedica el presente volumen. Los Vertebrata corresponden a aquellos cordados que poseen espina dorsal o columna vertebral. En este grupo, a partir de la notocorda embrionaria, se desarrolla una estructura osificada y segmentada en centros, que finalmente constituye la columna vertebral. Dentro de los Vertebrata, un grupo particular denominado Gnatostomata, contiene a todas las formas de vertebrados que además poseen



un aparato masticatorio de movimiento vertical, denominado mandíbula. Así, los Gnatostomata incluyen a todos los peces cartilaginosos (Chondrichthyes), peces óseos (Osteichthyes), anfibios y amniotos.

## Registro fósil

El registro fósil corresponde al total de fósiles descubierto hasta la fecha, representando el medio de documentación de la propia historia de la vida. Este registro es inherentemente incompleto, ya que nunca contaremos con todos los organismos del pasado, sin embargo, también está en permanente complemento, en la medida en que se descubren nuevas formas de vida que permiten enriquecer, corregir y/o proponer nuevas hipótesis acerca de sus relaciones de ancestro-descendiente. Es decir, se complementa en la medida que podemos entender mejor su evolución, sobre la base de los fósiles conocidos. Por esto es que los fósiles y su contexto son tan importantes. Cada vez que se retira un fósil desde un cerro sin un estudio de por medio, se borra una parte de la propia historia de la vida.

## Tiempo geológico. El “cuándo” del registro fósil

El tiempo geológico abarca desde la formación de nuestro planeta hasta el presente. La antigüedad de la Tierra ha sido sujeto de debate de forma temprana durante la historia humana. En la actualidad, se discute en un orden de magnitud cercano a los 4.500 millones de años (Rudge et al., 2010). La estratigrafía ha permitido generar criterios para el ordenamiento relativo de los estratos, proponiendo una edad relativa al distinguir aquellos más recientes de los más antiguos. Lo anterior se ha complementado con las dataciones radioisotópicas que han permitido conferir una edad absoluta, es decir, una edad numérica a las rocas, lo que se refiere, básicamente, a cuántos años tienen. Conociendo el ordenamiento relativo de los estratos a través del tiempo, y sumando la posibilidad de saber su edad numérica, en la actualidad es posible ordenar el tiempo geológico en diferentes divisiones, las que responden a estos criterios.

## Yacimiento paleontológico

Si bien en ocasiones es posible hallar fósiles aislados y descontextualizados por causas naturales, generalmente, los fósiles pueden ser buscados bajo algunas condiciones predecibles, tales como rocas de origen favorable para su ocurrencia. Debido a su origen por depositación paulatina, las rocas sedimentarias son las que contienen restos fósiles en forma más frecuente. Sin embargo, también es posible encontrar restos fósiles en algunas rocas volcánicas. Las rocas volcánicas de alta energía y alta temperatura ocasionarán la destrucción de tejidos en aquellos organismos atrapados por este tipo de eventos. Por otro lado, los sucesos volcánicos, tales como la precipitación de cenizas, pueden causar asfixia y a la vez un rápido enterramiento de los organismos, favoreciendo su preservación y posterior fosilización. En ocasiones también se preservan los troncos de árboles sepultados por flujos piroclásticos u otros eventos volcánicos de temperaturas moderadas, que admitan la preservación total o parcial de las partes más delicadas. Finalmente, y de manera excepcional, algunas rocas metamórficas pueden albergar restos fósiles, debido a que provienen de protolitos (rocas previas) de origen



sedimentario. La deformación de estas rocas sedimentarias puede afectar plásticamente a los fósiles contenidos en ellas, y en casos excepcionales, dichos fósiles pueden perseverar pese a la severa alteración de la roca. En Chile existen ejemplos concretos de estas excepciones. En rocas volcánicas se conoce una rica diversidad de mamíferos cenozoicos que ha sido recuperada en el río Tinguiririca (Flynn et al., 2007). A su vez, los diferentes especímenes del enigmático dinosaurio *Chilesaurus diegosuarezi* hallado en las rocas del Jurásico superior de Aysén, también provienen de rocas volcánicas (Novas et al., 2015). Existen también registros de fauna fósil (trazas) en rocas metamórficas paleozoicas en la localidad de Lumaco (Tavera, 1979).

De esta manera, distintos tipos de unidades geológicas pueden contener fósiles. A estas unidades se les denomina yacimientos paleontológicos. La ocurrencia de fósiles puede tener lugar en distintos afloramientos de la unidad y no necesariamente a lo largo de toda esta. En algunos casos, al aparecer restos fósiles en diferentes tipos de litología y en niveles de diferentes características, el yacimiento paleontológico puede abarcar varias unidades geológicas.

Adicionalmente, resulta apropiado destacar que las rocas intrusivas, abundantes en Chile, corresponden a rocas formadas a gran temperatura y profundidad, producto del enfriamiento del magma. Debido a su génesis, resulta prácticamente imposible que puedan albergar restos fósiles.

## Registro fósil

Corresponde al conjunto de fósiles hasta ahora conocidos, que han sido sujeto de análisis, ordenamiento cronoestratigráfico y de una determinación taxonómica. Los especímenes que forman el registro fósil deben ser accesibles para su revisión y para nuevos estudios. De esta manera, deben formar parte de colecciones institucionales que los resguarden. Excepcionalmente, algunos casos históricos son conocidos solo por imágenes o ilustraciones, puesto que han sido extraviados o destruidos por diferentes razones (por ejemplo, existen tristes ejemplos de especímenes destruidos en la Segunda Guerra Mundial, y que fueron documentados por fotografías antes del inicio del conflicto). El registro fósil es de naturaleza incompleta, permanentemente creciente y en actualización. Es el mecanismo de prueba de los cambios evolutivos de las diferentes formas de vida a través del tiempo geológico.

## Paleogeografía: el “dónde” del registro fósil

Etimológicamente, la paleogeografía corresponde al estudio de la geografía antigua. Esta disciplina se dedica a interpretar las condiciones del planeta a través del tiempo geológico, tales como la configuración y dinámica de los continentes, hitos geográficos, nivel del mar, elevaciones, arcos volcánicos, entre otros. Se basa fundamentalmente en la geología histórica y en la geografía, bajo una perspectiva actualista.

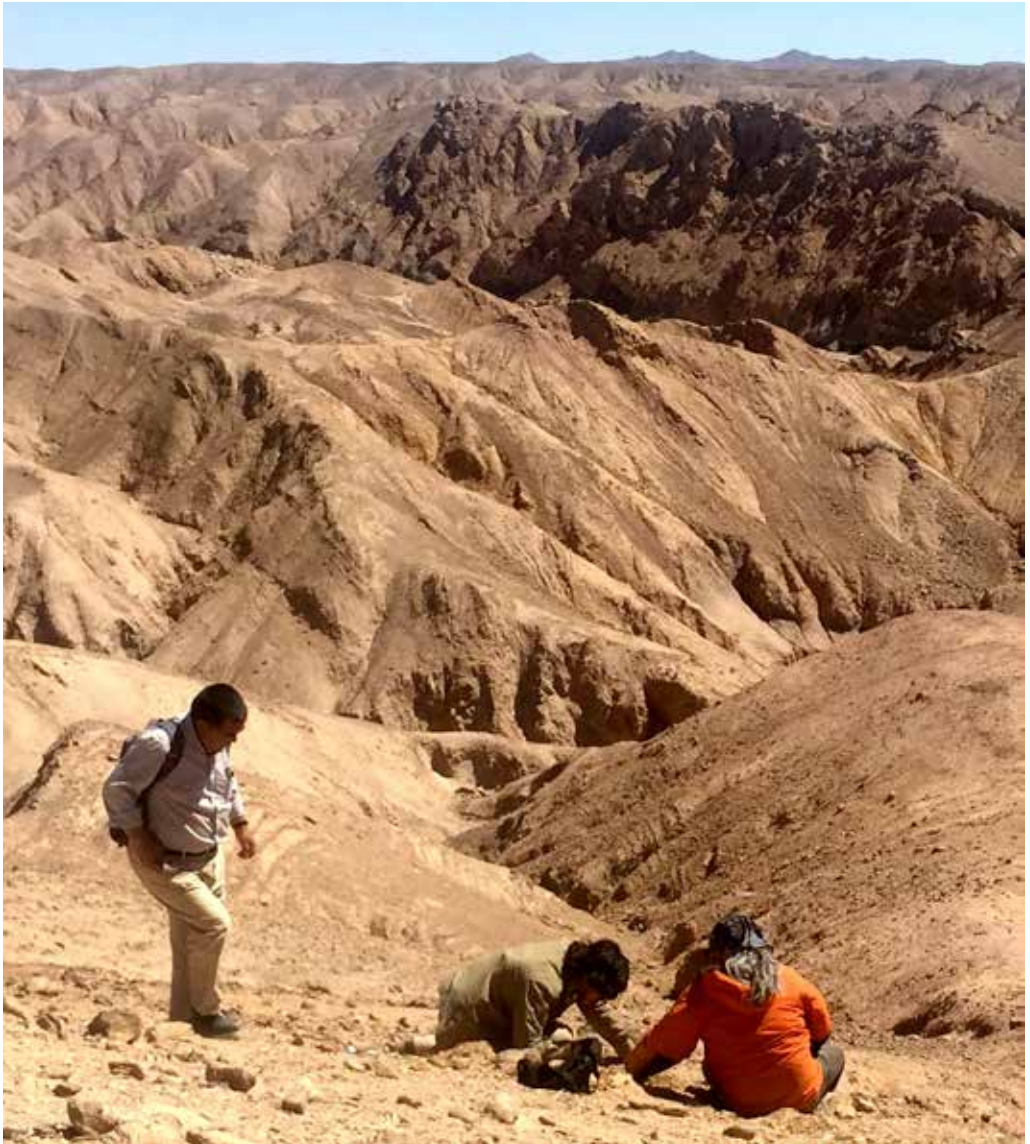


## Bibliografía

- Carvalho, I.S. 2010.** Paleontologia – Volume 1: Conceitos e Metodos 3a edicao, Minas Gerais, 734 p.
- Flynn, J.J.; Wyss, A.R.; Charrier, R. 2007.** South America's missing mammals. *Scientific American* 296:68–74.
- Novas, F.E.; Salgado, L.; Suárez, M.; Agnolín, F.L.; Ezcurra, M.D.; Chimento, N.R.; De la Cruz, R.; Isasi, M.P.; Vargas, A.O.; Rubilar- Rogers, D. 2015.** An enigmatic plant-eating theropod from the Late Jurassic period of Chile. *Nature* 522:331–334.
- Rudge, J.F.; Kleine, T.; Bourdon, B. 2010.** Broad bounds on Earth's accretion and core formation constrained by geochemical models. *Nature Geoscience* 3:439–443.
- Tavera, J. 1979.** Contribución a la estratigrafía y paleontología del basamento cristalino. Departamento de Geología de la Universidad de Chile, monografía. Imprentas Gráficas, Conchalí, Santiago. 14 p.



## CAPÍTULO II: La investigación paleontológica



Paleontólogos prospectando en la localidad de Cerritos Bayos.





## El hallazgo paleontológico: dónde todo comienza

Para el paleontólogo, la ocurrencia de un hallazgo no es casualidad. En la actualidad, existe información base acumulada que permite decidir cuáles son los lugares en los que existe una mayor probabilidad para realizar un hallazgo. Así, la cartografía geológica resulta fundamental para evaluar la presencia de rocas favorables para la preservación de fósiles. Del mismo modo, la información existente sobre edad, ambientes y hallazgos paleontológicos previos, entre otros, permite tomar decisiones respecto a los futuros lugares donde prospectar. También, la tecnología actual funciona como una herramienta de utilidad, ya que el uso de imágenes satelitales permite evaluar en gabinete la presencia de afloramientos, su continuidad espacial y otros aspectos claves para una buena campaña. Junto con esto, también se requiere la habilidad propia del especialista, porque nada reemplaza a un ojo entrenado y familiarizado con las formas fósiles de un yacimiento, el tipo de erosión que sufren los fósiles, su textura, color, y en general, aquellas características que permiten distinguirlo entre los sedimentos. Estas habilidades son resultado de la experiencia.

## Recuperando el hallazgo

La magnitud del problema ante un hallazgo va en directa relación al tamaño de este, su calidad de preservación y al lugar de su ocurrencia. En paleontología de vertebrados es posible trabajar desde microvertebrados obtenidos a través de tamices y lupas, hasta yacimientos ricos en animales de gran tamaño, como dinosaurios o ballenas. La manera en que los restos se preservan también es un factor importante, puesto que, en el caso de sedimentos no consolidados y ricos en fósiles de pequeño tamaño, se suelen usar técnicas como el *dry screen*, que permite remover grandes volúmenes de sedimento levantados en cuadrículas, los que posteriormente son tamizados con una malla acorde al tamaño de los restos fósiles que se quieran recuperar. Luego, se utiliza el *screen washing*, aplicado en condiciones de laboratorio, lo que permite disgregar los sedimentos y recuperar el material fosilífero (véase Kaluza et al., 2018b). Esta técnica es ideal para la recuperación de microvertebrados.

En contraposición, podemos considerar hallazgos de animales de gran tamaño contenidos en rocas bien consolidadas, y en donde no es posible establecer *a priori* la distribución de los elementos óseos al interior del sedimento. En este caso, la técnica básica es la elaboración de bochones o *jackets*, que implican la delimitación en terreno del esqueleto o secciones discretas de él, las que son separadas del estrato mediante elementos mecánicos (martillos, cinceles, rotomartillos, demolidores o sierras diamantadas), y posteriormente, protegidos mediante papel humedecido, más capas sucesivas de arpillera con yeso, buscando fijar la integridad de los bloques que contienen a los fósiles (Figura 1). Normalmente, se utilizan refuerzos de madera o fierro, según lo amerite el caso (véase Kaluza et al., 2018a). Los bochones obtenidos son trasladados al laboratorio, en donde comienza la preparación del material.





**Figura 1:** Preparación de un bochón para recuperar una aleta de pliosaurio en riesgo de erosión, durante octubre de 2018 en la Región de Antofagasta.

## Preparación

Ya en condiciones de laboratorio, el material obtenido es preparado. En el caso de los microvertebrados, son separados con la ayuda de una lupa, discriminándolos del resto del sedimento y manteniendo su información respecto a la cuadrícula de proveniencia. Lo anterior permitirá evaluar su eventual pertenencia a un único espécimen o si se encuentra asociado a un contexto más amplio, incluyendo diferentes formas. Para el caso de material recuperado en bochones, estos últimos son abiertos cuidadosamente, resguardando la información de campo para no dañar el espécimen durante la apertura. Tras abrir el bochón, la remoción del sedimento se lleva a cabo mediante el uso de herramientas neumáticas, como, por ejemplo, el Aircscribe 9100, microjacks, etc. (Figura 2). La selección de la herramienta a utilizar dependerá de la dureza del sedimento, de la preservación de los restos óseos y de la naturaleza del contacto entre los huesos y la matriz sedimentaria.

## Estudio y reconocimiento del valor científico-cultural de los fósiles y los yacimientos paleontológicos

Tras recuperar los restos fósiles desde terreno y luego de su adecuada preparación, es posible continuar con el proceso de investigación. En esta etapa, la investigación dependerá de la preservación del material y de la completitud de los restos esqueléticos. Por ejemplo, es frecuente que algunos organismos se preserven como improntas en dos dimensiones, como es el caso de las hojas fósiles. En otras ocasiones, los restos se presentan con un discreto sobrerrelieve y buena parte del espécimen reposa sobre la matriz sedimentaria. Este caso es frecuente en peces fósiles y en pterosaurios, usualmente preservados en concreciones, y que quedan expuestos casi en dos dimensiones. Para el estudio de vertebrados, el caso más favorable es la preservación tridimensional. Tras la preparación de restos tridimensionales, es posible evaluar la anatomía de los elementos preservados. En aquellos casos en que se cuenta con esqueletos



articulados, durante la preparación ocasionalmente se mantiene de forma temporal parte de la matriz, de manera de entender la disposición espacial de los distintos huesos al interior de la roca. A veces, los restos se encuentran dispersos dentro de la roca, sin mantener sus respectivas posiciones anatómicas. Por ello, es importante dentro de la investigación lograr comprender los factores que pudieron alterar tales restos. La tafonomía se encarga de analizar los factores que intervinieron en la formación del fósil, desde su muerte hasta su hallazgo, tratando de interpretar aquellos factores que alteraron su orden anatómico.



**Figura 2:** Labores de preparación de restos fósiles con Airscribe 9100, en el Laboratorio de Paleontología de la Universidad de Chile.

La posibilidad de observar y estudiar los elementos anatómicos en todas sus vistas disponibles permite una comprensión detallada de las características corporales del espécimen, lo que es fundamental para comprender las posibles relaciones de ancestro-descendiente del espécimen estudiado. Mediante la anatomía comparada es posible develar relaciones de parentesco con formas conocidas y de características anatómicas cercanas. De esta manera, podrá determinarse si se trata de alguna forma previamente conocida o de un taxón nuevo para el registro fósil. Finalmente, los hallazgos son dados a conocer, en primer lugar, a medios científicos, tales como revistas especializadas. En complemento de lo anterior, la singularidad de una nueva forma fósil puede ser de interés público, razón por la cual en oportunidades también se realizan notas de prensa en forma conjunta a la publicación científica.

El valor científico-cultural de un fósil está asociado a su singularidad dentro del registro fósil. Cuando se trata de una forma nueva, su valor reside en ser el primero de su tipo en ser descrito, independiente de otros criterios como la preservación. Otros criterios de valoración son, por ejemplo, una novedad en la edad del registro, es decir, si el fósil hallado ocurre en edades en donde no se tenía registro de dicha forma. Del mismo modo, resulta valioso una nueva ocurrencia de una forma fósil en localidades en donde no se tenía registro previo, extendiendo geográficamente la distribución conocida para dicho fósil. Complementando lo anterior, resultarán valiosos aquellos restos que proporcionen especímenes con una mejor preservación que los previamente conocidos. En múltiples casos, el material tipo de una especie está fijado a restos incompletos o mal preservados, entonces, es de alto valor científico-cultural el



contar con esqueletos más completos y que permitan un mayor conocimiento de dichas formas.

Finalmente, la ley chilena cuenta con una normativa referente a todos los fósiles y los lugares donde ellos se encuentran. Aún cuando un resto fósil carezca de los valores científicos y culturales aquí explicados, su protección está regulada por el marco legal explicado a continuación.

## Ley referente a la herencia paleontológica en Chile

En Chile, la Ley N.º 17.288 de 1970 declara que todos los objetos (...) paleontológicos (fósiles) son Monumento Nacional por el solo ministerio de la ley, quedando también bajo la misma protección los lugares donde estos ocurran (yacimientos paleontológicos). La tuición y protección de estos elementos queda delegada al Consejo de Monumentos Nacionales. Por otra parte, la ya mencionada Ley en su Artículo 21.º establece la categoría de Monumento Arqueológico, dentro de la cual queda incluido para todos los efectos los objetos paleontológicos y lugares donde se hallaren. A su vez, el Decreto Supremo N.º 484 de 1990 del Mineduc establece un reglamento para las prospecciones y/o excavaciones (...) paleontológicas. De esta manera, la Ley de Monumentos Nacionales (véase CMN, 2016) establece con referencia a los objetos paleontológicos, los siguientes puntos relevantes, entre otros:

-Toda excavación que involucre la obtención de fósiles deberá contar con autorización del Consejo de Monumentos Nacionales (Arts. 22.º y 23.º).

-Todo hallazgo fortuito debe ser denunciado (Art. 26.º).

-Los objetos paleontológicos obtenidos deben ser depositados en instituciones adecuadas (Arts. 24.º, 25.º, 27.º, 28.º, y D.S. N.º 484 de 1990 del Mineduc).

-Existen multas asociadas a la tenencia no regulada de fósiles y a su extracción sin autorización del Consejo de Monumentos Nacionales.

## Bibliografía

**CMN. 2016.** Ley N.º 17.288 de Monumentos Nacionales y Normas Relacionadas 2016. República de Chile, Ministerio de Educación, Dirección de Bibliotecas, Archivos y Museos, Consejo de Monumentos Nacionales, Sexta Edición, Alvimpress Impresores, Santiago, Chile.

**Kaluza, J.; Soto-Acuña, S.; Manríquez, L.; Otero, R.; Fernández, R.; Aravena, B.; Suazo, F.; Alarcón, J.; Milla, V.; Pino, J.; Ortiz, H. 2018a.** Excavación de un nuevo dinosaurio de la Formación Dorotea (Cretácico Superior), Valle del río de Las Chinas, Provincia de Última Esperanza. I Congreso de Paleontología de Chile, Libro de Resúmenes p. 18–20. Punta Arenas.

**Kaluza, J.; Soto-Acuña, S.; Suazo, F.; Aravena, B.; Manríquez, L.; Fernández, R.; Alarcón, J.; Milla, V.; Otero, R.; Ortiz, H.; Pino, J. 2018b.** Técnicas para la extracción de micro vertebrados fósiles en un “bonebed” de la Formación Dorotea (Cretácico Superior), valle del río de Las Chinas, Provincia de Última Esperanza. I Congreso de Paleontología de Chile, Libro de Resúmenes p. 33–35. Punta Arenas.



## CAPÍTULO III: Paleogeografía del desierto de Atacama



Actual fauna y ambiente del desierto de Atacama,  
otrota un mar durante el Jurásico.



En la actualidad, el Norte Grande se caracteriza por la puna de Atacama, gigantesco altiplano compartido por Perú, Bolivia, Chile y Argentina, alcanzando elevaciones cercanas a los 4.000 metros sobre el nivel del mar. Hacia el oeste, se desarrollan varias zonas de planicies en superficies conformadas principalmente por rellenos volcánicos y sedimentos del Cenozoico. Estas planicies son interrumpidas por cordones montañosos, los que dan cuenta de las características de las rocas que conforman el basamento regional, siendo de carácter principalmente sedimentario y depositadas desde el Paleozoico en adelante. A su vez, la zona costera se caracteriza por grandes acantilados, formados por alzamientos tectónicos de terrazas marinas de Neógeno.

Los actuales afloramientos de rocas mesozoicas existentes en el norte de Chile son, en gran parte, el resultado de cambios tectónicos ocurridos desde comienzos del Jurásico hasta el presente, y se encuentran combinados secundariamente con eventos erosivos y/o depósitos recientes que condicionan su exposición en superficie. Al norte del paralelo 39°, las condiciones paleogeográficas desarrolladas desde el Jurásico Inferior se caracterizan por la aparición y el establecimiento de un arco magmático de orientación norte-sur, definiendo una cuenca de antearco al oeste de lo que es actualmente la cordillera de la Costa, y a la vez, definiendo las cuencas de trasarco al este de la misma. La aparición de estas condiciones está acoplada a un cambio en la posición del arco magmático, previamente ubicado hacia el este durante el Carbonífero-Pérmico (Charrier et al., 2007). Este cambio radical estuvo relacionado a una disminución de la subducción durante el Jurásico, la cual generó las condiciones extensionales que permitieron el desarrollo y crecimiento de las cuencas de trasarco y antearco. A este esquema paleogeográfico se le ha denominado Primera Etapa del Ciclo Tectónico Andino (CTA en adelante). A su vez, esta etapa se divide en dos subetapas, la primera desde el Jurásico Inferior hasta el Kimmeridgiano, y la segunda, desde el Kimmeridgiano hasta el Albiano. La primera subetapa del CTA se caracterizó por una intensa actividad del arco magmático, junto con el desarrollo de ciclos de transgresión-regresión marina en la cuenca de trasarco; mientras que la segunda subetapa del CTA estuvo caracterizada por una reducción en la actividad del arco, y por la mantención de condiciones continentales en las zonas entre Iquique y Antofagasta (Charrier et al., 2007).

## **Paleozoico superior**

Previo al registro Mesozoico, los hallazgos más antiguos de vertebrados conocidos hasta ahora en Chile se remontan al Paleozoico, con algunos de ellos representados en el Norte Grande (particularmente, cerca de Antofagasta). Según Cecioni (1970), durante el Paleozoico superior, dos grandes embahiamientos afectaron el margen continental de lo que hoy es Chile. Cabe recordar que, para dicho momento, toda Sudamérica era aún parte de Pangea. El primer embahiamiento habría abarcado desde el sur de Perú y extremo norte de Chile, entrando hacia lo que hoy es Argentina, a la altura de la ciudad de Los Vilos, en la Región de Coquimbo. El segundo embahiamiento habría entrado desde la ciudad de Chañaral hacia el sur, llegando cerca de la actual ciudad de Talca. Entre estas dos gigantescas bahías se extendió una masa continental, denominada como Península El Toco (Cecioni, 1970: p. 50), y en este contexto, se habrían desarrollado los depósitos paleozoicos de





la Formación Cerro de Cuevitas, rica en invertebrados (Cisterna et al., 2014), como así también los depósitos de la Formación Cerro El Árbol, que cuenta con antecedentes de vertebrados marinos (Breitkreutz, 1986). Se ilustra en Figura 3 el aspecto de esta geografía en relación con los actuales límites de Chile.

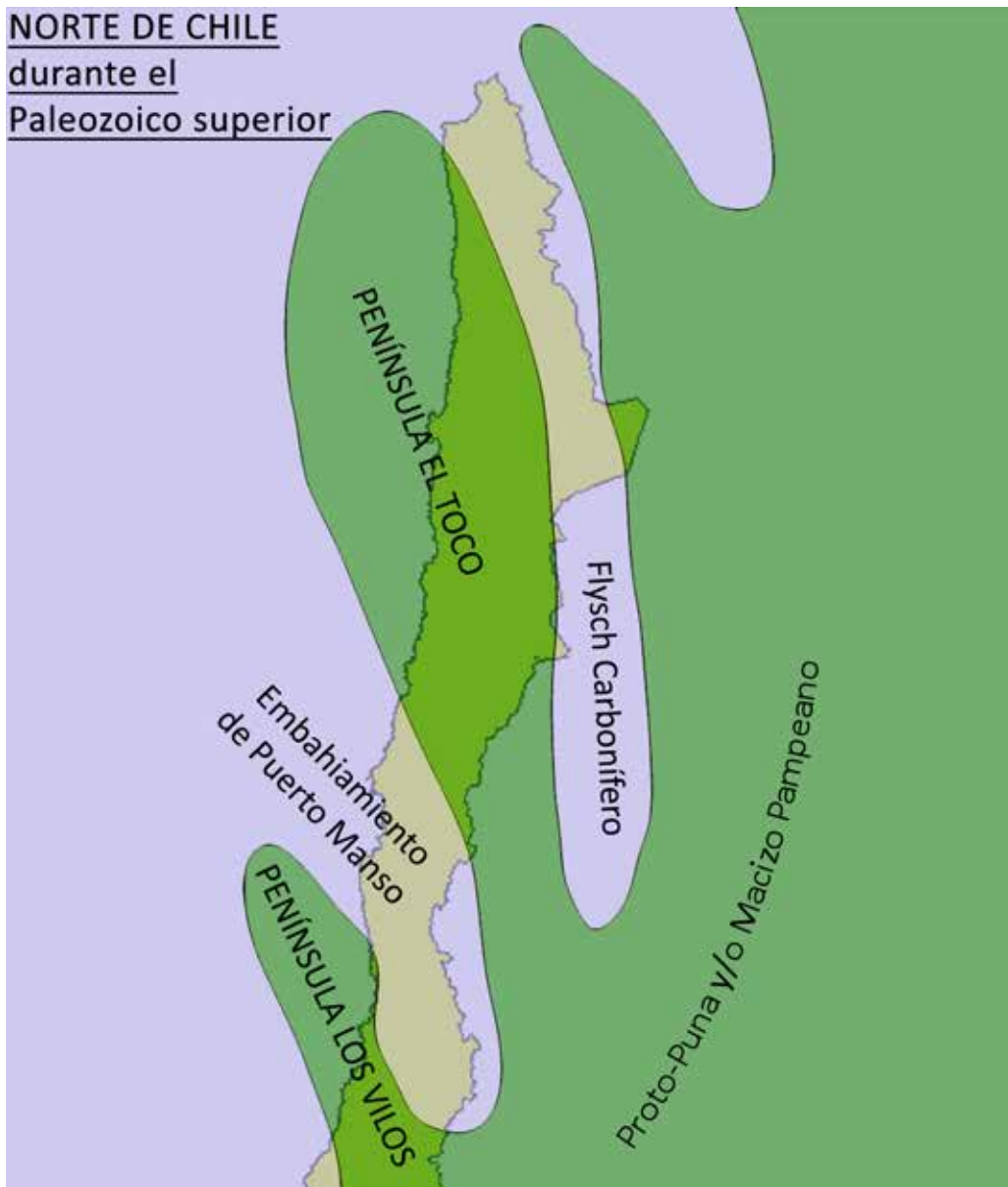
## Triásico

Durante este periodo, la Península El Toco posiblemente tomó contacto con el Macizo Pampeano, dejando atrapadas aquellas cuencas lacustres derivadas de las ingresiones marinas paleozoicas (Figura 4). En este tipo de ambientes ocurrió una importante diversidad de diápsidos, destacando los yacimientos de Ischigualasto, Los Colorados y El Tranquilo, en Argentina, como así también los yacimientos triásicos del sur de Brasil, también ricos en diápsidos (Bonaparte, 2007). En Chile, hasta el momento, se conoce una discreta diversidad de diápsidos, los cuales se encuentran en la zona de Cerro Quimal.

## Jurásico Inferior

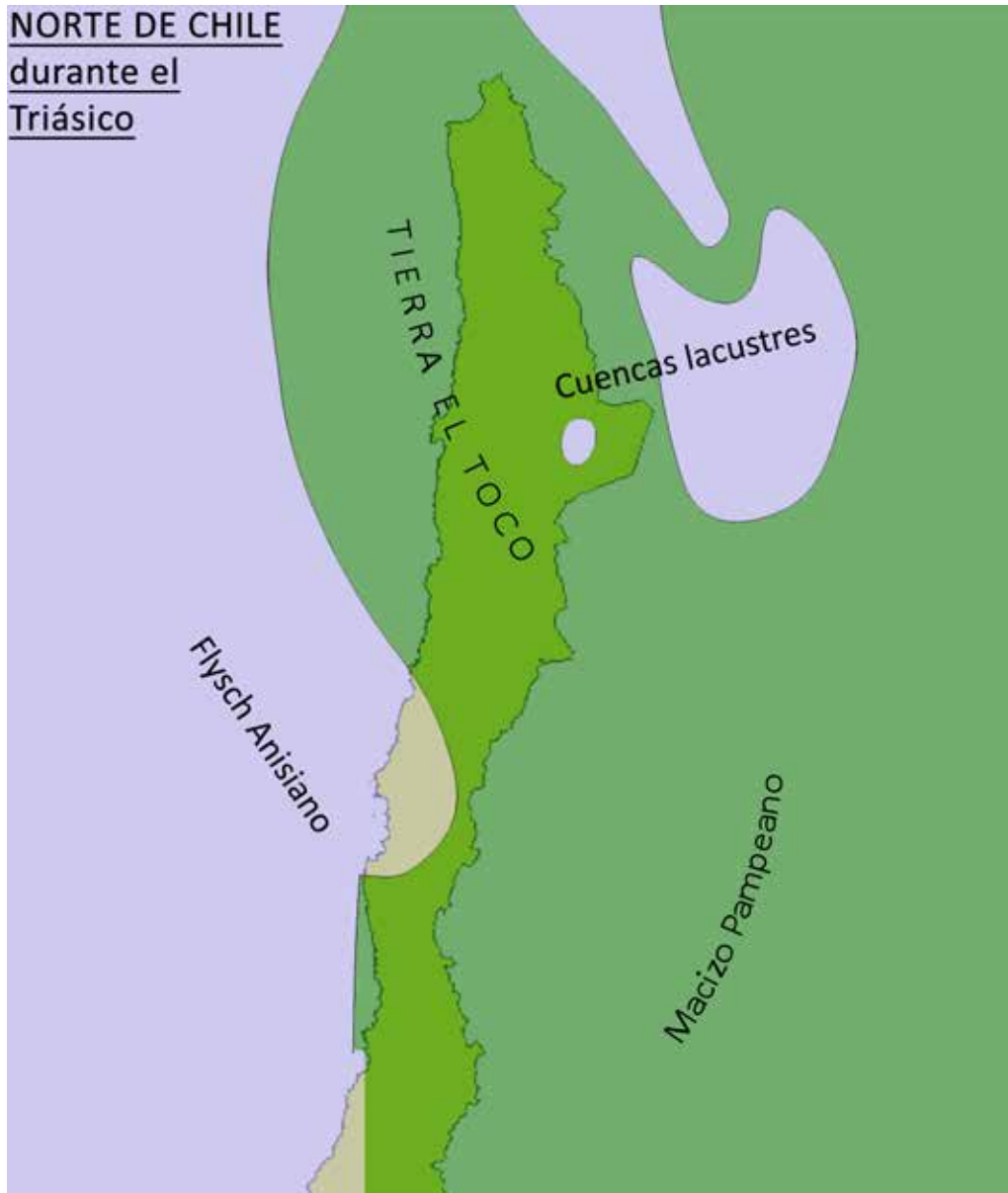
A partir del Jurásico se desarrolla un arco magmático en sentido norte-sur, que origina condiciones continentales e incluso elevaciones hacia el oeste de la cuenca (Charrier et al., 2007). Se desarrollan nuevamente ingresiones marinas en sentido norte-sur, formando mares epicontinentales delimitados hacia el este por el Macizo Pampeano, y hacia el oeste, posiblemente, por una condición de archipiélago. Lo anterior representaría la disgregación de la antigua Península El Toco, destacando la Tierra de Antofagasta, posiblemente, como una gran isla. La apertura de la cuenca hacia el sur fue aparentemente discreta, estando en contacto con una segunda cuenca más austral, interrumpida parcial y de forma ocasional por masas continentales.





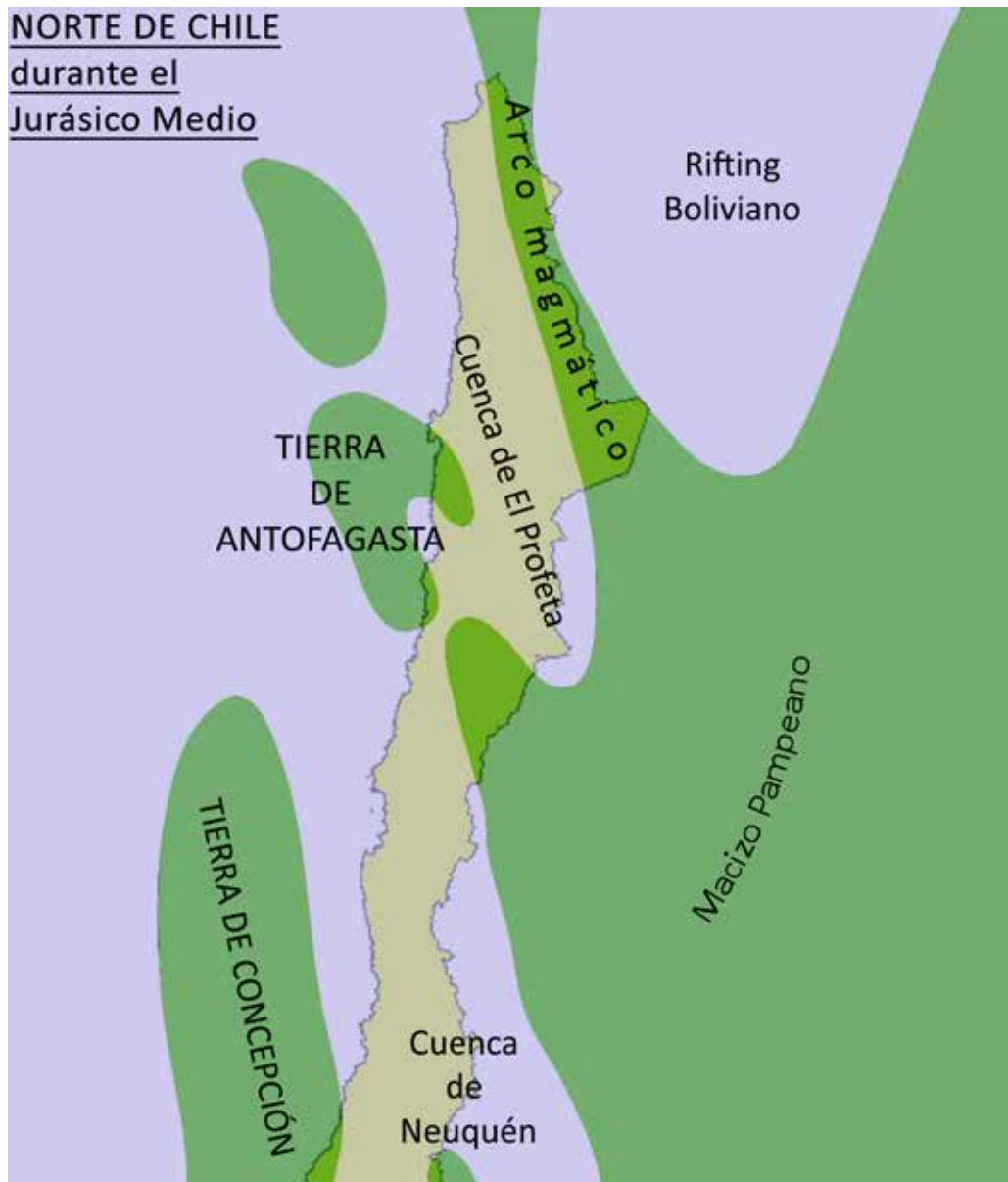
**Figura 3:** Esquema paleogeográfico del norte de Chile durante el Paleozoico superior. Basado en Cecioni, 1970.





**Figura 4:** Esquema paleogeográfico del norte de Chile durante el Triásico. Basado en Cecioni, 1970.





**Figura 5:** Esquema paleogeográfico del norte de Chile durante el Jurásico Medio. Basado en Cecioni, 1970.



## **Jurásico Medio**

Durante este lapso, la gran cuenca sur se profundizó (Figura 5), conformando la llamada Cuenca de Neuquén, desarrollada desde la actual ciudad de Copiapó, hasta la Provincia de Neuquén en Argentina, que se encuentra ubicada a la altura de la actual ciudad chilena de Valdivia. La gran cuenca norte, que comenzaremos a llamar Cuenca del Profeta-La Ternera (Charrier et al., 2007), se desarrolló al este del arco magmático. En ella se depositaron, entre otros, sedimentos marinos del Jurásico, ricos en vertebrados. El mar epicontinental que existió en la Cuenca del Profeta-La Ternera pudo tener un estrecho contacto con la Cuenca de Atacama al sur, durante el Jurásico Medio.

## **Jurásico Superior**

Este lapso se caracterizó por una tendencia regresiva del mar, dando paso a niveles continentales hacia fines del Jurásico. En el sector de Cerritos Bayos, las rocas del Kimmeridgiano presentan abundante contenido de yeso acumulado por efecto de la evaporación de masas de agua, lo que denota una somerización del mar. Durante el Kimmeridgiano, comienza la segunda subetapa del Ciclo Tectónico Andino, caracterizada por un establecimiento de condiciones continentales en el norte de Chile y que prevalecieron hasta el Albiano.

## **Cretácico Inferior**

A partir del Cretácico Inferior se establece en el norte del país un sistema continental, en el cual se han hallado evidencias de vertebrados. Existen algunas evidencias de rocas marinas de esta edad en afloramientos de extensión discreta, como, por ejemplo, aquellos de la Formación Lomas Negras, en donde se encontraron vertebrados marinos, lo que puede representar el relicto de un mar epicontinental. En niveles continentales, los vertebrados han sido registrados en varias regiones del Norte Grande. Localmente, restos óseos de dinosaurios se conocen en múltiples localidades distribuidas entre las regiones de Tarapacá y Atacama. Durante este lapso, también se conocen fósiles de reptiles voladores (Pterosauria) en varias localidades del Norte Grande. Finalmente, durante el Albiano concluye la segunda subetapa del CTA.

## **Cretácico Superior**

Tras la segunda subetapa del CTA y posterior al Albiano, comienza durante el Cretácico Superior la segunda etapa del CTA. Esta última se caracterizó por una fase de alta generación de corteza oceánica en el Pacífico durante mediados del Cretácico y, probablemente, estuvo relacionada con una disminución en el ángulo de subducción entre la placa de Nazca y la Sudamericana. La consecuencia más evidente de este cambio fue el establecimiento de un intenso episodio de deformación por contracción, al que se asocia el alzamiento y erosión de unidades antiguas, como así también de la drástica migración hacia el este del arco magmático, el establecimiento de amplias superficies continentales de trasarco y la aparición de una amplia región de antearco (Charrier et al., 2007). Básicamente, es aquí cuando se establecieron las condiciones tectónicas principales que ocasionarán durante el Cenozoico nuestro actual paisaje, con una cordillera de la costa resultante de un arco



magmático extinto, la presencia de vastos valles centrales, y el establecimiento de una gran Cordillera de Los Andes al este de los valles centrales. La cordillera de Los Andes representa el actual arco magmático activo. A su vez, las grandes planicies en lo que es actualmente Argentina representan la cuenca de trasarco.

## Bibliografía

- Bonaparte, J.F. 2007.** Dinosaurios y Pterosaurios de América del Sur. Editorial Albatros, Primera Edición, Buenos Aires, Argentina. 228 p.
- Breitkreutz, C. 1986.** Das Paläozoikum in den Kordilleren Nordchiles (21°–25°S). Geotektonische Forschungen 70: 1–88.
- Cisterna, G.; Sterren, A.; Niemeyer, H. 2014.** Las sucesiones carbonáticas marinas del Pérmico Temprano en Antofagasta, norte de Chile. *Andean Geology* 41:626–638.
- Charrier, R.; Pinto, L.; Rodríguez, M.P. 2007.** Tectonostratigraphic evolution of the Andean Orogen in Chile. In: T. Moreno and W. Gibbons, (Eds.) *The Geology of Chile*, The Geological Society, London, 21–114.





## CAPÍTULO IV:

Antes del Mesozoico: los escasos vertebrados paleozoicos de Chile



*Hybodus* sp.; tiburón presente en el Pérmico del norte de Chile



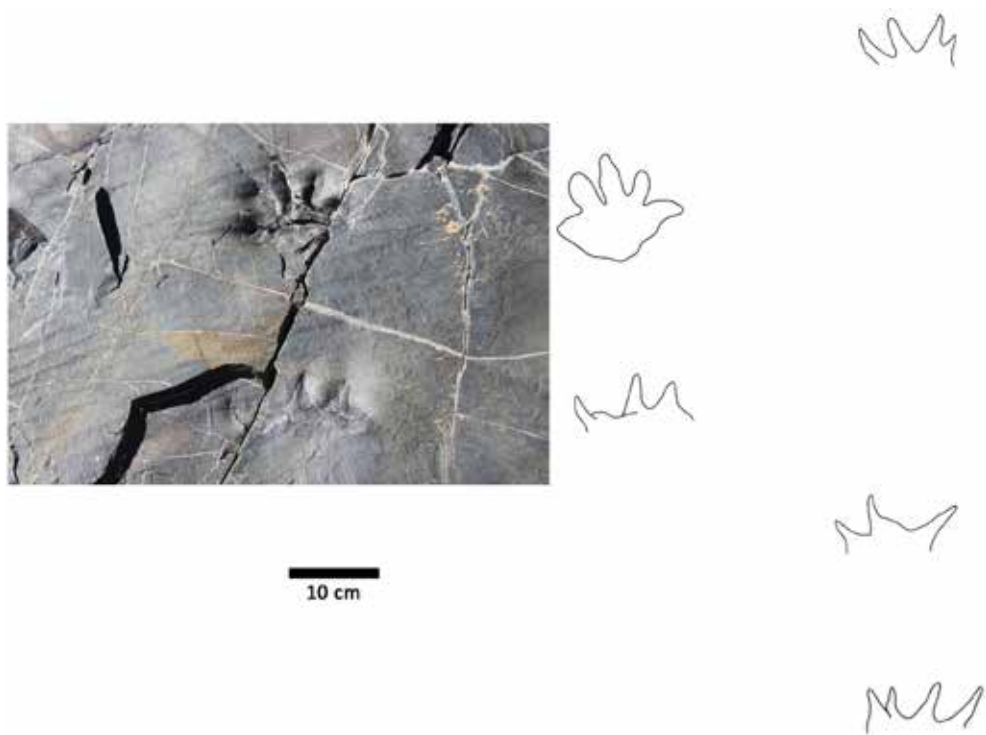


Si bien esta contribución está dedicada a los vertebrados del Mesozoico, hemos querido también reseñar brevemente aquellos registros, aún escasos, de vertebrados paleozoicos en Chile.

### Posibles anfibios

Uno de los registros de vertebrados más antiguos del norte de Chile corresponde a huellas halladas cerca del salar de Maricunga, en la Región de Copiapó. Rocas sedimentarias de edad carbonífera de la Formación Chinchas contienen una rastrillada con 10 huellas referibles a un tetrápodo indeterminado (Figura 6), posiblemente un anfibio (Bell y Boyd, 1986).

Previo al registro Mesozoico, los hallazgos más antiguos de vertebrados conocidos hasta ahora en Chile se remontan al Paleozoico.



**Figura 6:** Izquierda, huellas *in situ* de tetrápodo indeterminado, halladas cerca del salar de Maricunga, Región de Atacama (fotografía tomada de *La Tercera*, 17 de mayo de 2020). Derecha, esquema de las mismas huellas, más las descritas por Bell y Boyd (1986). Formación Chinchas, Carbonífero (358-303 millones de años atrás).



## Peces cartilagosos (condrictios)

Otro registro Paleozoico relevante corresponde a un diente de tiburón, hallado en Cerro 1584, Región de Antofagasta. El material proviene de rocas del Pérmico inferior pertenecientes a la Formación Cerro El Árbol. El diente aislado fue descrito por Breitskreutz (1986), y referido a *Hybodus* sp. (Figura 7).



**Figura 7:** *Hybodus* sp.: aspecto general interpretado sobre la base de especímenes relativamente completos conocidos en el registro fósil.

El *Hybodus*, cuyo nombre significa en latín "tiburón de dientes hundidos", es un tipo de tiburón de unos dos metros de largo, con distintivas espinas dorsales y craneales. Fue muy abundante durante fines del Paleozoico y durante el Mesozoico, alcanzando una amplia distribución en todo el planeta. El registro de *Hybodus* en rocas del Pérmico inferior de la Región de Antofagasta, corresponde a uno de los más antiguos conocidos, y que a la vez representa el único registro de este tipo de peces cartilagosos en el suroeste del megacontinente Pangea. Dicho registro de *Hybodus* es la única evidencia conocida hasta ahora de tiburones en el Paleozoico de Chile, y es el más antiguo de este grupo a nivel nacional.

## Peces óseos (Osteichthyes)

También durante el Pérmico, se conocen restos de peces óseos hallados en el Norte Grande. En particular, se han descrito cinco especímenes recolectados en Quebrada Sipico, cerca del salar de Atacama, referidos a un género y especie endémica, *Arratiaichthys chilensis* Richter y Breitskreutz, 1997. Este taxón corresponde a un pez Palaeoniscidae, siendo la única especie de este grupo descrita en Chile. Adicionalmente, se ha mencionado la presencia de escamas referidas a paleoniscoides ('palaeoniscoid fish scales') en rocas carboníferas de la Formación Chinchas (Bell y Boyd, 1986), aunque el material no fue figurado.



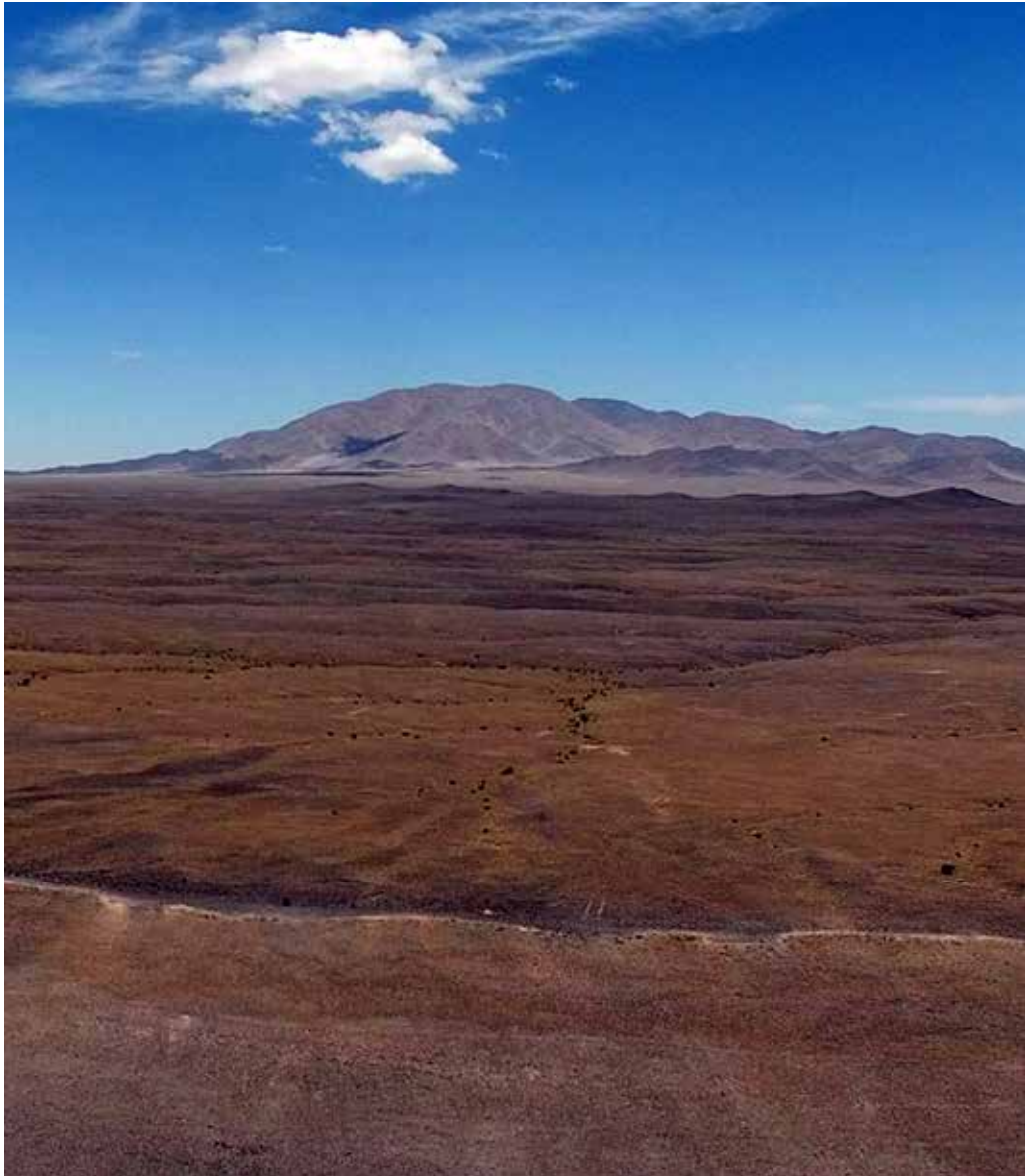
## Bibliografía

- Bell, C.M.; Boyd, M.J. 1986.** A tetrapod trackway from the Carboniferous of northern Chile. *Palaeontology* 26: 519–526.
- Breitkreutz, C. 1986.** Das Paläozoikum in den Kordilleren Nordchiles (21°–25°S). *Geotektonische Forschungen* 70: 1-88.
- Richter, M.; Breitkreutz, C. 1997.** Permian fish remains from the Peine Formation of northern Chile. *Modern Geology* 21:171–184.





## **CAPÍTULO V:** Vertebrados del Triásico



Fotografía aérea de los Estratos de El Bordo (Triásico),  
a los pies del Cerro Quimal.



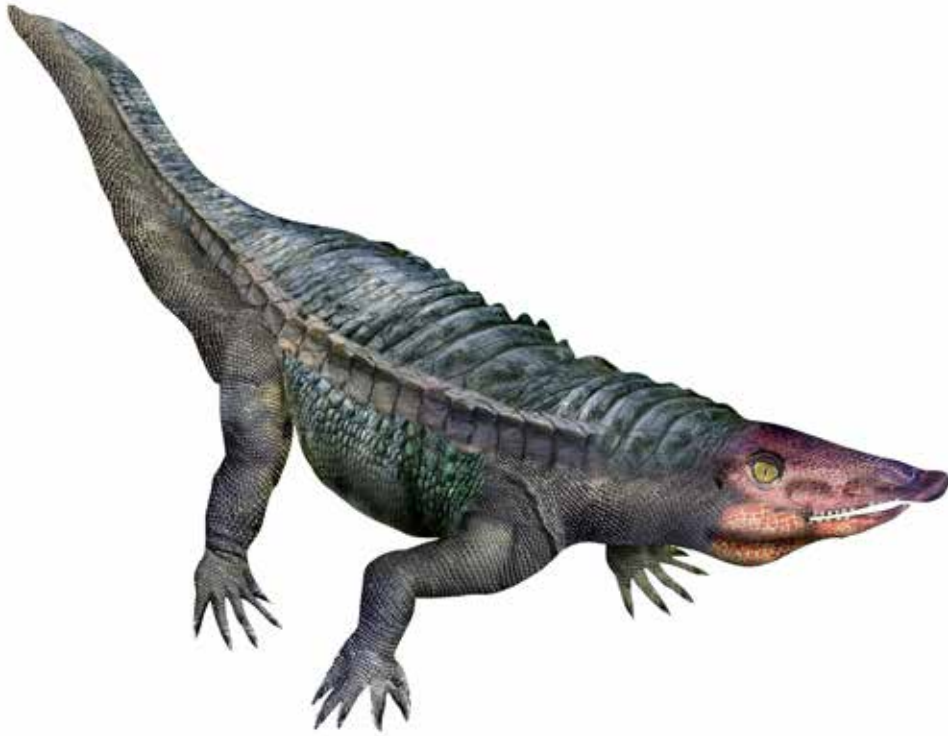
Durante el Triásico, en Sudamérica se conocen ricos yacimientos de vertebrados, particularmente en el sur de Brasil y norte de Argentina (Bonaparte, 2007). En Chile, una discreta sucesión de rocas continentales de del Trásico superior aflora en las cercanías de San Pedro de Atacama, particularmente, cerca de Cerro Quimal. En este sector se hallaron restos referidos por ahora a aetosaurios endémicos y que corresponderían a arcosaurios de aspecto similar a cocodrilos, aunque no emparentados directamente con ellos, con múltiples escudos dérmicos que formaban una armadura cubriendo sus cuerpos y correspondientes a formas hasta ahora solo conocidas en Chile. Junto a estos, se ha descrito la presencia de dinosauromorfos de la familia Silesauridae, linaje antiguo, hermano de todos los dinosaurios y un húmero referible a un Crocodylomorpha, grupo que incluye, entre otros, al linaje que derivará en los cocodrilos. Asociados a esta diversidad, se hallaron recientemente peces óseos de agua dulce, recuperados desde rocas con abundante contenido vegetal. De este modo, el paisaje de Cerro Quimal, actualmente transicional entre el desierto de Atacama y la puna, fue hace más de 200 millones de años, un sistema de ambiente húmedo, con lagunas que albergaron formas dulceacuícolas, así como también abundante vegetación, la que permitió sostener comunidades de arcosaurios, tanto hervíboros como carnívoros.

### ***Chilenosuchus forttae* Casamiquela, 1980**

El *Chilenosuchus forttae* ha sido referido a un aetosario endémico del norte de Chile, de unos dos metros de largo. Los aetosaurios fueron un grupo de arcosaurios caracterizados por poseer una armadura dorsal y ventral conformada por múltiples escudos dérmicos denominados osteodermos. Estos osteodermos son tan distintivos que permiten identificar a qué aetosaurio pertenecieron. El *Chilenosuchus* (Figura 8), cuyo nombre genérico significa "cocodrilo de Chile", realmente no estaba emparentado en forma cercana con los cocodrilos (Mesoeucrocodylia), sino que pertenecía a un linaje denominado Pseudosuchia o "falsos cocodrilos". A diferencia de los actuales cocodrilos, *Chilenosuchus* era completamente terrestre, aunque sabemos que habitó ambientes de abundante vegetación, próximos a sistemas lacustres (Basso y Mpodozis, 2012).





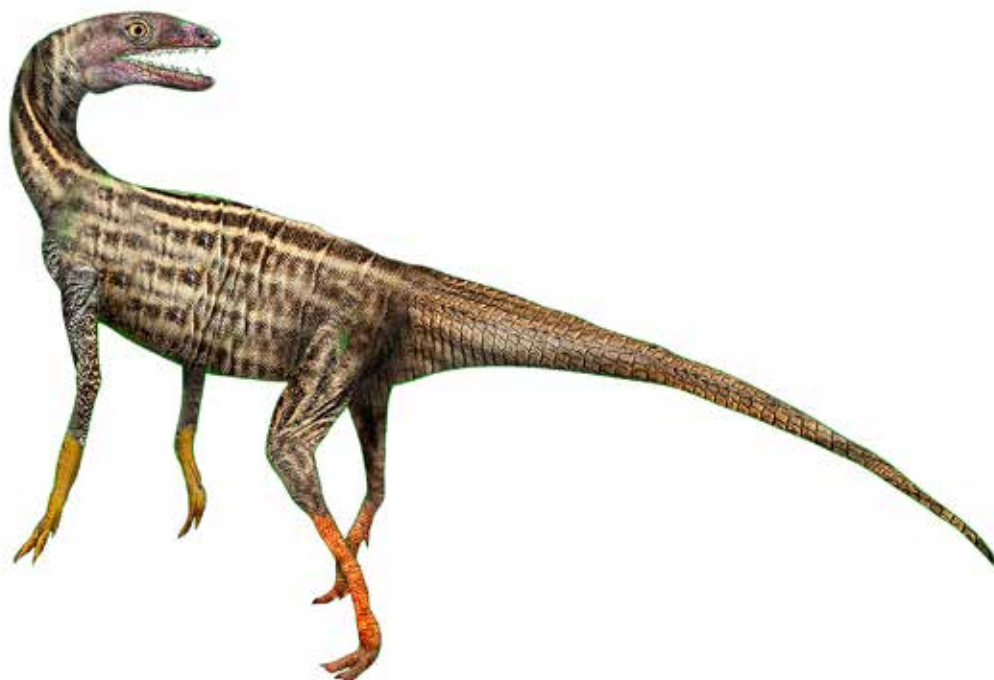


**Figura 8:** *Chilenosuchus forttae*, Casamiquela, 1980: reconstrucción paleobiológica basada en formas taxonómicamente cercanas.

## Silesauridae

En la primera descripción del *Chilenosuchus forttae*, Casamiquela (1980) mencionó dos ejemplares incompletos de reptiles (Desojo, 2003), uno de los cuales nunca se describió. Este espécimen restante fue posteriormente estudiado por Rubilar-Rogers et al. (2002), quienes refirieron el material a un Crocodylomorpha indeterminado. Posteriormente, a la luz de nuevos hallazgos y especímenes más completos, fue posible reconocer que el fémur de esta especie poseía una singular cabeza articular de forma triangular, la cual es diagnóstica de Silesauridae (Figura 9), un grupo de dinosauromorfos que corresponde al linaje hermano de todos los dinosaurios. El Silesauridae hallado en Quimal era un grácil reptil de aproximadamente un metro y medio. El presente registro corresponde a uno de los más australes de Pangea y al primer registro en territorio chileno (Rubilar-Rogers et al., 2013; Soto-Acuña et al., 2015).





**Figura 9:** Silesauridae indet.: aspecto estimado de un silesáurido como el hallado cerca de Cerro Quimal.

## Crocodylomorpha

Se conoce un único húmero derecho proveniente del Quimal, preservado como molde, de aspecto muy grácil, el que sugiere afinidades a crocodylomorfos (Soto-Acuña et al., 2016). Este grupo incluye varias formas basales y hermanas de Crocodyliformes, linaje que a su vez incluye a los actuales cocodrilos y otras formas fósiles extintas. La presencia de Crocodylomorpha durante el Triásico superior de Cerro Quimal añade un nuevo elemento a la fauna de reptiles. Su tamaño pequeño es interesante, ya que Silesauridae y *Chilenosuchus* no corresponden a arcosaurios de tamaños importantes, sugiriendo indirectamente que la fauna de dichos arcosaurios de Quimal podrían estar dominada por una diversidad de talla más bien pequeña.

## Peces de agua dulce

Durante 2016, y en un reconocimiento en terreno por parte del MUHNCAL y el Museo Argentino de Ciencias Naturales Bernardino Rivadavia de Buenos Aires, fueron hallados restos fósiles de peces óseos, preservando impresiones de las escamas y parte de las aletas, que contenían finos rayos. Las características escamas romboidales sugieren afinidades con peces Semionotidae. Los sedimentos que contienen a estos fósiles indican un ambiente de depositación de tipo lacustre y que convivieron con el *Chilenosuchus* y con los silesáuridos que habitaron en el sector de Cerro Quimal. La fauna descubierta hasta ahora en dicho cerro muestra una amplia diversidad de diápsidos y peces óseos, depositados en rocas volcánicas. A lo anterior, se suman frecuentes restos vegetales directamente asociados, los que incluyen *Neocalamites* sp., *Taeniopteris* spp., *Pterophyllum*, y *Dicroidium* sp. (Covacevich, En Ramirez y



Gardeweg, 1982). También se han registrado peces Semionotidae en rocas triásicas de la Quebrada San Pedrito, en la Región de Atacama (Chong y Gasparini, 1976).

### **Peces Proleptolepidae de Quebrada La Carreta**

Abundantes restos desarticulados y restos parciales fueron referidos a este grupo (Arratia, 1987; Arratia y Schultze, 1999). Cabe destacar que los proleptolépidos solo se conocen en el Sinemuriano de Gran Bretaña y Europa (Arratia y Schultze, 1999), lo que abre importantes preguntas respecto a los corredores marinos que pudieron existir entre ambos hemisferios durante principios del Jurásico.

### **Peces Perleidiformes de Quebrada San Pedrito, Región de Atacama**

Cuatro individuos de preservación regular fueron descritos por Arratia y Schultze (1999), y referidos a Perleidiformes incertae sedis. Corresponden a peces de pequeño tamaño, inferiores a 4 cm, los cuales han sido descritos principalmente en el Triásico y Jurásico de Europa (Arratia, 2015).

### **Ictiosaurios de Quebrada Doña Inés Chica: entre los más antiguos de Pangea**

Hasta ahora, el registro más antiguo de ictiosaurios en Chile y en Sudamérica, corresponde a restos hallados en rocas del Triásico superior, expuestas al norte de la Región de Atacama (Suárez et al., 1992). En su descripción original se señaló la presencia de restos asociados correspondientes a un hueso de la aleta, un fragmento de escápula o húmero y cinco dientes quebrados. En la publicación original solo se figuró un diente, el cual fue nuevamente revisado por Pardo-Pérez et al. (2015), sin poder añadir más elementos a la descripción del espécimen.



## Bibliografía

- Arratia, G. 1987.** Jurassic fishes from Chile and critical comments. En: Bioestratigrafía de los sistemas regionales del Jurásico y Cretácico de América del Sur, Vol 1. Jurásico anterior a los movimientos intermálmicos. Volkheimer W; Musacchio, E.A. (eds.), pp. 257-286. Mendoza, Argentina.
- Arratia, G. 2015.** Los peces osteóctios fósiles de Chile y su importancia en los contextos paleobiogeográfico y evolutivo. En: Rubilar-Rogers, D.; Otero, R.A.; Vargas, A.; Sallaberry, M. (eds.), Vertebrados Fósiles de Chile. Publicación Ocasional del Museo Nacional de Historia Natural, Chile, 63:35–83.
- Arratia, G.; Schultze, H. P. 1999.** Mesozoic fishes from Chile. En: Arratia, G.; Schultze, H. P. (Eds.), Mesozoic Fishes 2, Systematics and Fossil Record, pp. 565-593. Verlag Dr. Friedrich Pfeil, München, Germany.
- Basso, M.; Mpodozis, C. 2012.** Carta cerro Quimal, Región de Antofagasta. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica 143: 48 p., 1 mapa escala 1:100.000. Santiago.
- Bordas, A. 1944.** Peces triásicos de la quebrada de Santa Clara (Mendoza y San Juan). Physis 19:23–40.
- Casamiquela, R. 1980.** Notas sobre restos de un reptil aetosauroideo (Thecodontia, Aetosauria) de Quimal, cordillera de Domeyko, Antofagasta. Prueba de la existencia del Neotriásico continental en los Andes del Norte de Chile. En: Actas del Congreso Argentino de Paleontología y Bioestratigrafía, N.º 2, y Congreso Latinoamericano de Paleontología, N.º 1. Buenos Aires, 135–142.
- Chong, G.; Gasparini, Z. 1976.** Los vertebrados mesozoicos de Chile y su aporte geopaleontológico. En: Actas del IV Congreso Geológico Argentino. Bahía Blanca, 45–67.
- Desojo, J. 2003.** Redescrición del aetosauro *Chilenosuchus forttae* Casamiquela (Diapsida: Arcosauria): presencia de Triásico continental en el norte de Chile. Revista Geológica de Chile 30: 53–63.
- Ramírez, C.; Gardeweg, M. 1982.** Hoja Toconao. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile 54: 121 p., 1 mapa escala 1:250.000. Santiago.
- Rubilar-Rogers, D.; Chatterjee, S.; Vargas, A. O. 2002.** A crocodylomorph from the Late Triassic of Chile. En: I Congreso Latinoamericano de Paleontología de Vertebrados. Santiago, 47–48.
- Rubilar-Rogers, D.; Ezcurra, M.; Irmis, R.; Desojo, J.; Soto-Acuña, S. 2013.** A silesaurid (Archosauria: Dinosauriformes) from the Triassic of the Atacama Desert, Chile. En: Actas del 73 Meeting of the Society of Vertebrate Paleontology. Los Angeles, 202A.
- Soto-Acuña, S.; Otero, R.A.; Rubilar-Rogers, D.; Vargas, A. 2015.** Arcosaurios no avianos fósiles de Chile. In: Rubilar-Rogers, D.; Otero, R.A.; Vargas, A.; Sallaberry, M. (eds.), Vertebrados Fósiles de Chile. Publicación Ocasional del Museo Nacional de Historia Natural, Chile, 63: 209–263.



**Soto-Acuña, S.; Rubilar-Rogers, D.; Otero, R.A.; Vargas, A.O. 2016.** Arcosaurios del Triásico medio-superior de Cerro Quimal, Desierto de Atacama. V Simposio de Paleontología de Chile, Libro de Resúmenes, p. 48.

**Suárez, M.; Bell, C.M. 1992.** The oldest South American ichthyosaur from the late Triassic of northern Chile. *Geological Magazine* 129: 247–249.



**CAPÍTULO VI:**  
Vertebrados del Jurásico Inferior



Diente de *Temnodontosaurus* sp. Jurásico Inferior de Antofagasta

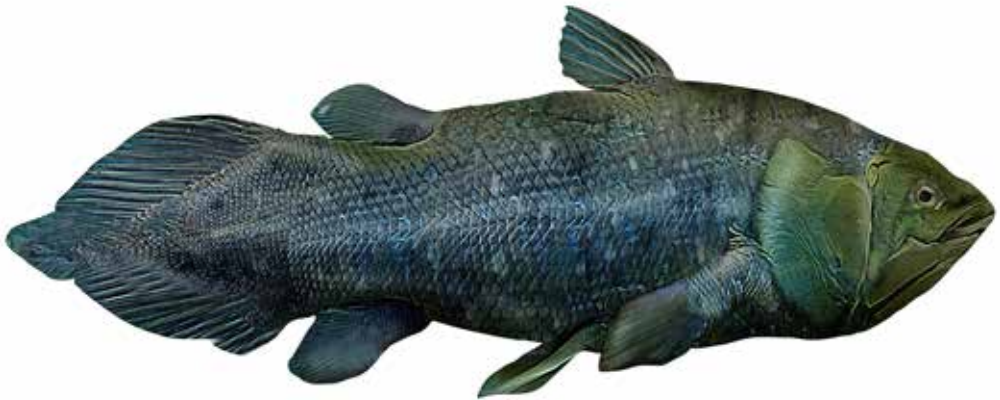


## Peces óseos

Se han registrado peces Pycnodontiformes indeterminados en Quebrada Vaquillas Altas, en rocas de edad sinemuriana (Arratia y Cione, 1996). Además, en la misma unidad, se han hallado también peces de morfología similar a Pachycormiformes (Arratia, obs. pers.; In Arratia y Cione, 1996) y peces Proleptolepidae indeterminados (Arratia, 1987; Arratia y Cione, 1996).

### ***Atacamaia solitaria* Arratia y Schultze, 2015**

El celacanto es un célebre pez óseo, conocido mundialmente por su "redescubrimiento", en 1938, en aguas de Madagascar. Si bien era conocido en formas fósiles, la aparición de especímenes vivos, que en realidad corresponden al género *Latimeria* y no *Coelacanthus*, le confirieron el popular denominativo de "fósil viviente". *Latimeria* representa sin dudas a un Coelacantiformes, grupo que cuenta con ancestros antiguos que se remontan incluso al Triásico. En Chile se conoce una forma endémica de celacanto, hallado en el Jurásico Inferior, correspondiente al género y especie *Atacamaia solitaria* (Figura 10), descrita por Arratia y Schultze (2015). Sus restos conocidos corresponden a un cráneo parcial.



**Figura 10:** *Atacamaia solitaria*, Arratia y Schultze, 2015: celacanto que habitó los mares del norte de Chile durante el Jurásico. Aspecto general interpretado a partir del fósil y considerando el aspecto de sus formas cercanas existentes hoy.





## Ictiosaurios

El primer registro histórico de ictiosaurios en el Jurásico inferior en Chile corresponde a vértebras mencionadas por Casamiquela (1970), provenientes de las rocas del Sinemuriano expuestas en Quebrada Punta del Viento, Región de Antofagasta. Posteriormente, Chong y Gasparini (1972) mencionaron otras vértebras de ictiosaurio en rocas del Sinemuriano en Alto de Varas, Región de Antofagasta. Chong y Gasparini (1976) reportaron restos de ictiosaurios cerca de Quebrada Incahuasi, provenientes de rocas del Toarciano medio, representando los hallazgos locales más tempranos dentro del Jurásico Inferior.



**Figura 11:** *Temnodontosaurus* sp.: Ictiosaurio de gran tamaño, posiblemente el depredador tope durante el Jurásico Inferior del norte de Chile. Forma interpretada a partir de especímenes completos de Europa.

Los registros más antiguos de ictiosaurios dentro del Jurásico de Chile, corresponden a centros vertebrales hallados en el año 2010 por el paleontólogo Mario Suárez en Pan de Azúcar, Región de Atacama. Estos restos incluyen 10 vértebras de hasta 11 cm de diámetro, dando cuenta de un espécimen de tamaño mediano a grande, el que fue hallado en rocas de edad hettangiana (Suárez y Otero, 2010; Pardo-Pérez et al., 2015).

En rocas del Hettangiano-Sinemuriano, Otero y Sepúlveda (2017) dieron a conocer restos de un ictiosaurio de gran tamaño, referible a la familia *Temnodontosauridae* (Figura 11), siendo posteriormente determinado como perteneciente al género *Temnodontosaurus* por Otero y Sepúlveda (2020). El espécimen fue hallado en la unidad Estratos de Rencoret, al sur de Mantos Blancos, Región de Antofagasta. Este sería el primer registro de un temnodontosáurido en el hemisferio sur, verificando además la presencia de grandes depredadores en los mares de Pangea suroeste durante el Jurásico Inferior.



## Plesiosaurios

Se han reportado restos de plesiosaurios indeterminados en rocas del Sinemuriano, existentes en la Cordillera de Domeyko, pertenecientes a la Formación El Profeta (Chong y Gasparini, 1976). Estos corresponden a uno de los registros más antiguos de plesiosaurios en el hemisferio sur, sin embargo, el material recuperado no ha sido suficiente para determinaciones más significativas.

## Cocodrilos marinos

Del mismo modo, restos de *Thalattosuchia* indeterminados también se han recuperado en el sector de Alto de Varas, desde rocas sinemurianas de la Formación el Profeta (Chong y Gasparini, 1972). Estos restos fueron inicialmente referidos a *Teleosauridae* indet., sin embargo, no existen rasgos suficientemente diagnósticos para referirlos a este grupo.

## Bibliografía

- Arratia, G. 1987.** Jurassic fishes from Chile and critical comments. En: Bioestratigrafía de los sistemas regionales del Jurásico y Cretácico de América del Sur, Vol 1. Jurásico anterior a los movimientos intermálmicos. Volkheimer W; Musacchio, E.A. (eds.), pp. 257-286. Mendoza, Argentina.
- Arratia, G.; Cione, L.A. 1996.** The record of fossil fishes of southern South America. En: Arratia, G. (Ed.), Contributions of southern South America to vertebrate paleontology. Munchner Geowissenschaftliche Abhandlungen 30, pp. 9-72. Verlag Dr. Friedrich Pfeil, München.
- Arratia, G.; Schultze, H. P. 2015.** A new fossil actinistian from the Early Jurassic of Chile and its bearing on the phylogeny of Actinistia. *Journal of Vertebrate Paleontology* e983524: 12 p.
- Casamiquela, R. 1970.** Los vertebrados jurásicos de la Argentina y Chile. *Actas IV Congreso Latinoamericano de Zoología*. Caracas. 2: 873-890.
- Chong, G.; Gasparini, Z. 1972.** Presencia de crocodilia marino en el Jurásico de Chile. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 27: 406-409.
- Chong, G.; Gasparini, Z. 1976.** Los vertebrados mesozoicos de Chile y su aporte geopaleontológico. En: *Actas del IV Congreso Geológico Argentino*. Bahía Blanca, 45-67.
- Otero, R.A.; Sepúlveda, P. 2017.** Nuevo material de Ichthyosauria (Diapsida, Ichthyopterygia) del Jurásico Inferior de la Región de Antofagasta. I Reunión de Paleontología de Vertebrados de Chile, Libro de Resúmenes, p. 20. Santiago.
- Otero, R.A.; Sepúlveda, P. 2020.** First temnodontosaurid (Ichthyosauria, Parvipelvia) from the Lower Jurassic of the Atacama Desert, northern Chile. *Journal of South American Earth Sciences* 98: 102459. 7 p.
- Pardo-Pérez, J.; Otero, R.A., Suárez, M.E. 2015.** Síntesis del registro fósil de ictiosaurios (Reptilia: Ichthyosauria) en Chile. In: Rubilar-Rogers, D.; Otero, R.A.; Vargas, A.; Sallaberry, M. (eds.), *Vertebrados Fósiles de Chile*.



Publicación Ocasional del Museo Nacional de Historia Natural, Chile, 63: 113–150.

**Suárez, M. E.; Otero R. A. 2010.** Dos nuevas localidades con presencia de ictiosaurios (Reptilia; Ichthyosauria) en el Jurásico Inferior del norte de Chile. Segundo Simposio Paleontología en Chile, Libro de Actas, p. 53. Concepción, 13 al 15 de diciembre de 2010.



## CAPÍTULO VII: Vertebrados del Jurásico Medio



Cráneo de '*Metriorhynchus*' *casamiquelai* Gasparini y Chong, 1977; Jurásico Medio, norte de Calama.

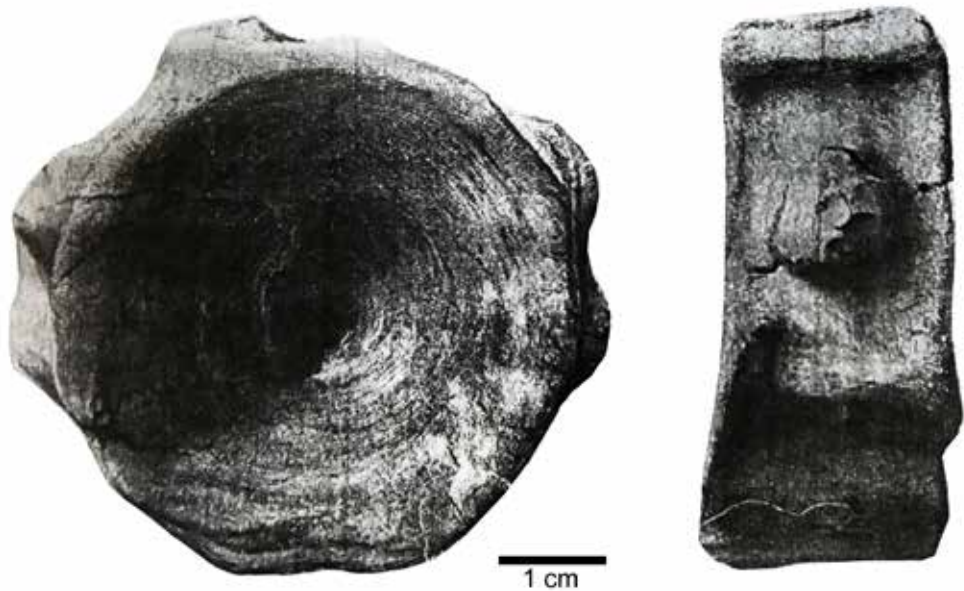


## Peces óseos

Existen registros de peces óseos en rocas del Caloviano de Cerritos Bayos. En particular, Biese (1961) mencionó la presencia de *Lepidotes* y *Pachycormus* en afloramientos locales asignados al Caloviano inferior, sin embargo, estos materiales nunca fueron figurados ni se proporcionó repositorio, haciendo imposible la verificación de las determinaciones taxonómicas propuestas.

## Ictiosaurios

Burmeister y Giebel (1861) describieron por primera vez en territorio chileno restos referibles a ictiosaurios (Figura 12). Una vértebra aislada proveniente de Cerro Blanco, Río Juntas, Copiapó, fue entonces identificada como una nueva especie, *Ichthyosaurus leukopetraeus*. Actualmente, esta especie no se considera válida, dado que una vértebra aislada no presenta suficientes elementos diagnósticos para determinaciones más exclusivas que a nivel de orden.

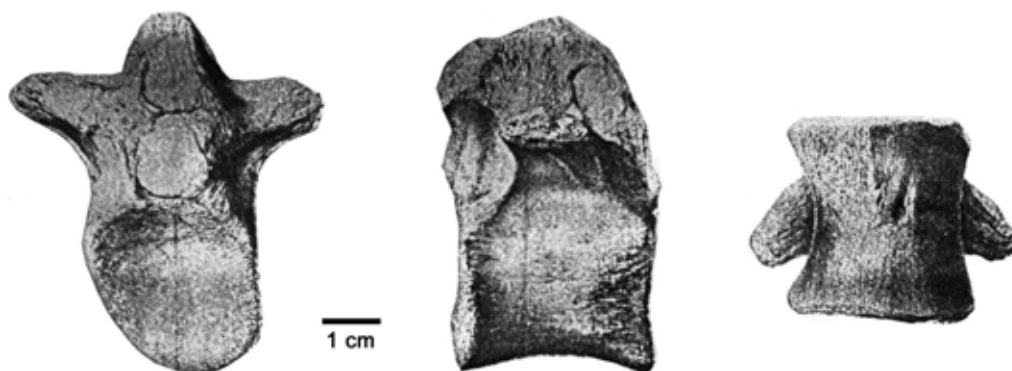


**Figura 12:** Ichthyosauria indet.: vértebra proveniente de rocas del Bajociano del Río Juntas, cerca de la ciudad de Copiapó. Fue el primer resto de ictiosaurio descrito en Chile. Tomado de Burmeister y Giebel (1861).



## Plesiosaurios

A su vez, Burmeister y Giebel (1861) también describieron una vértebra aislada (Figura 13), inicialmente referida a un cocodrilo marino y determinada como una nueva especie, *Teleosaurus neogaeus*. Posteriormente, Von Huene (1927) revisó el material y notó su real afinidad con *plesiosaurios*, por lo que reasignó el taxón a *Plesiosaurus neogaeus*. La vértebra efectivamente corresponde a un plesiosaurio, sin embargo, no es posible asegurar una determinación a nivel de género ni de especie (Otero et al., 2015).



**Figura 13:** Plesiosauroidea indet. Primera vértebra de plesiosaurio hallada en el norte de Chile, proveniente del Bajociano de río Juntas, interior de la ciudad de Copiapó. Tomado de Burmeister y Giebel (1861).

## Cocodrilos marinos

### Metriorhynchoidea indet.

Jensen (1976) dió a conocer en su memoria de título restos óseos de un reptil (T-330) provenientes de Quebrada La Iglesia, sector de río Juntas, al sureste de la ciudad de Copiapó. Los restos fueron inicialmente considerados como un ictiosaurio. La proveniencia estratigráfica del material fue señalada desde rocas del Bajociano de la Formación Lautaro, por sobre niveles con ammonoideos referidos a *Emileia* sp. *Otoites contractus* (Sowerby), *Sphaeroceras submicrostoma* Gottsche. Posteriormente, Tavera (1981) describió en mayor detalle el material, refiriéndolo a dos especies, *Ichthyosaurus acutirostris* Owen, e *Ichthyosaurus posthumus* Wagner, sobre la base de un cráneo sin rostro y sobre los restos rostrales pertenecientes a otro espécimen. Luego, Gasparini et al. (2000) redescubrieron el cráneo sin rostro, notando que en realidad correspondía a un cocodrilo *Thalattosuchia*. Dichos autores se refirieron el material a '*Metriorhynchus*' sp., siendo uno de los pocos especímenes de *Thalattosuchia* conocidos en el Bajociano de Sudamérica. Lamentablemente, tras la remodelación del Departamento de Geología de la Universidad de Chile, a mediados de la década del 2000, el material fue extraviado. Pese a ello, este importante espécimen ha sido incluido en distintos análisis filogenéticos del clado *Thalattosuchia*, siendo obtenido como un *Metriorhynchoidea* basal (Young y De Andrade, 2009; Young et al., 2013).

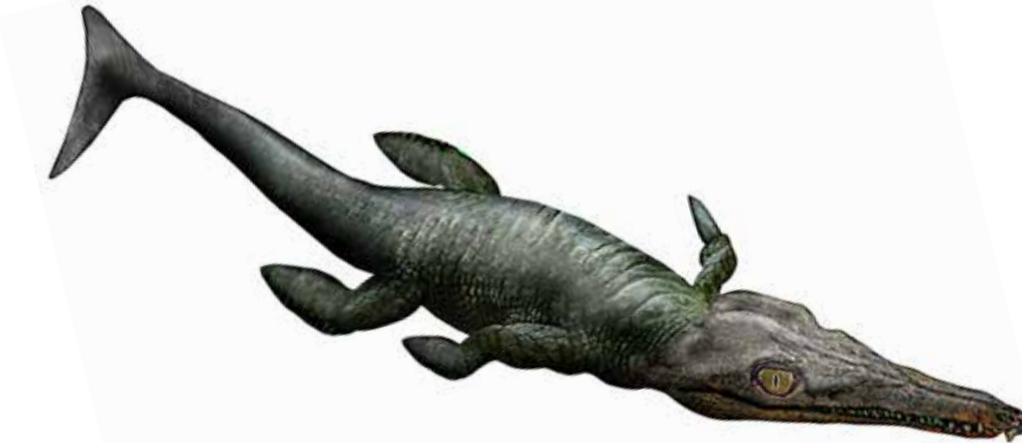


## **Geosaurini indet.**

Un nuevo material craneal fue dado a conocer por Soto-Acuña et al. (2018), proveniente de niveles bajocianos de la Formación Torcazas, aflorantes en Sierra Gorda. El espécimen fue determinado por el momento como un *Metriorhynchidae* Geosaurini, siendo uno de los registros más antiguos de *Metriorhynchidae* conocidos hasta ahora.

## **'*Metriorhynchus*' casamiquelai Gasparini y Chong, 1977**

Uno de los registros más relevantes de reptiles marinos en Chile, corresponde al cráneo de '*Metriorhynchus*' *casamiquelai* Gasparini y Chong (1977), descubierto en rocas de edad caloviana expuestas en Quebrada Sajasa. El material corresponde a un cráneo virtualmente completo, con excelente preservación tridimensional. Adicionalmente, se conocen otros especímenes referidos a la misma especie. Un fragmento craneal de gran tamaño (MGHF-181097) y proveniente de rocas calovianas en Sierra Candeleros, ha sido también referido a esta especie (Figura 14).



**Figura 14:** '*Metriorhynchus*' *casamiquelai* Gasparini y Chong, 1977: cocodrilo marino del Jurásico Medio del norte de Chile. Contorno del cráneo basado en el holotipo de esta especie.

## **'*Metriorhynchus*' westermanni Gasparini, 1980**

Adicionalmente, se ha descrito una segunda especie de cocodrilo marino, '*Metriorhynchus*' *westermanni* Gasparini, 1980, también recuperado en rocas de edad caloviana. De esta especie se conocen dos individuos, el holotipo (MGHF 1-010199), proveniente de Placilla de Caracoles, y un segundo material craneal (MDA 1), del sector de Sierra del Medio, al norte de la ciudad de Calama. Si bien el holotipo fue considerado como un individuo juvenil de '*M.*' *casamiquelai* (Gasparini et al., 2000), la especie fue posteriormente revalidada sobre la base de un nuevo espécimen (MDA.1), el cual preserva rasgos suficientemente diagnósticos para distinguir a *westermanni* de '*M.*' *casamiquelai*.





## '*Metriorhynchus*' sp.

Otro cráneo con excelente preservación (SGO.PV.249), aunque sin rostro, se ha recuperado desde la localidad de Sierra Moreno, próximo al lugar del hallazgo de '*Metriorhynchus casamiquelai*'. El cráneo fue recuperado por Arturo Thomas, y mencionado por primera vez por Chong y Gasparini (1976). Soto-Acuña et al. (2012) describieron por primera vez el fósil, refiriéndolo a '*Metriorhynchus casamiquelai*', sin embargo, a la luz de nueva evidencia y comparaciones de mayor detalle, la pieza podría corresponder a una forma diferente.

Recientes estudios filogenéticos (Young et al., 2013) han obtenido las formas chilenas ('*M.* *casamiquelai*' y '*M.* *westermanni*') en politomía con *Purranisaurus potens*, del límite Jurásico-Cretácico en la ciudad de Neuquén en Argentina, y también como una rama hermana de otros geosaurinos, sugiriendo que su asignación a nivel de género debe ser revisada. Por esa razón, se ha hecho mención en esta publicación al género '*Metriorhynchus*', entre comillas. Del mismo modo, se reconoce una diversidad de cocodrilos marinos *Thalattosuchia* presentes en el Jurásico Medio del norte de Chile.

## Bibliografía

- Biese, W. 1961.** El Jurásico de Cerritos Bayos. Instituto de Geología, Universidad de Chile, Santiago, Publicación 19. 61 p.
- Burmeister, H.; Giebel, C. 1861.** Die Versteinerungen von Juntas im Thal des Rio Copiapo. Abhandlungen der Naturforschenden Gessellschaft zu Halle 6:122–132.
- Chong, G.; Gasparini, Z. 1976.** Los vertebrados mesozoicos de Chile y su aporte geopaleontológico. En: Actas del IV Congreso Geológico Argentino, pp. 45–67. Bahía Blanca,
- Gasparini, Z. 1980.** Un nuevo cocodrilo marino (*Crocodylia*, *Metriorhynchidae*) del Caloviano del norte de Chile. *Ameghiniana* 17:97–103.
- Gasparini, Z.; Chong, G. 1977.** *Metriorhynchus casamiquelai* n. sp. (*Crocodylia*, *Thalattosuchia*), a marine crocodile from the Jurassic (Callovian) of Chile, South America. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie* 153:431–464.
- Gasparini, Z.; Vignaud, P.; Chong, G. 2000.** The Jurassic *Thalattosuchia* (*Crocodyliformes*) of Chile: a paleobiogeographic approach. *Bulletin Société Géologique de France* 171:657–664.
- Jensen, O. 1976.** Geología de la Cordillera de las nacientes de Río Copiapó entre los 27°53' y 28°20' de la latitud sur, Provincia de Atacama, Chile. Universidad de Chile, Departamento de Geología, Memoria de Título (inédito), Santiago. 249 p.

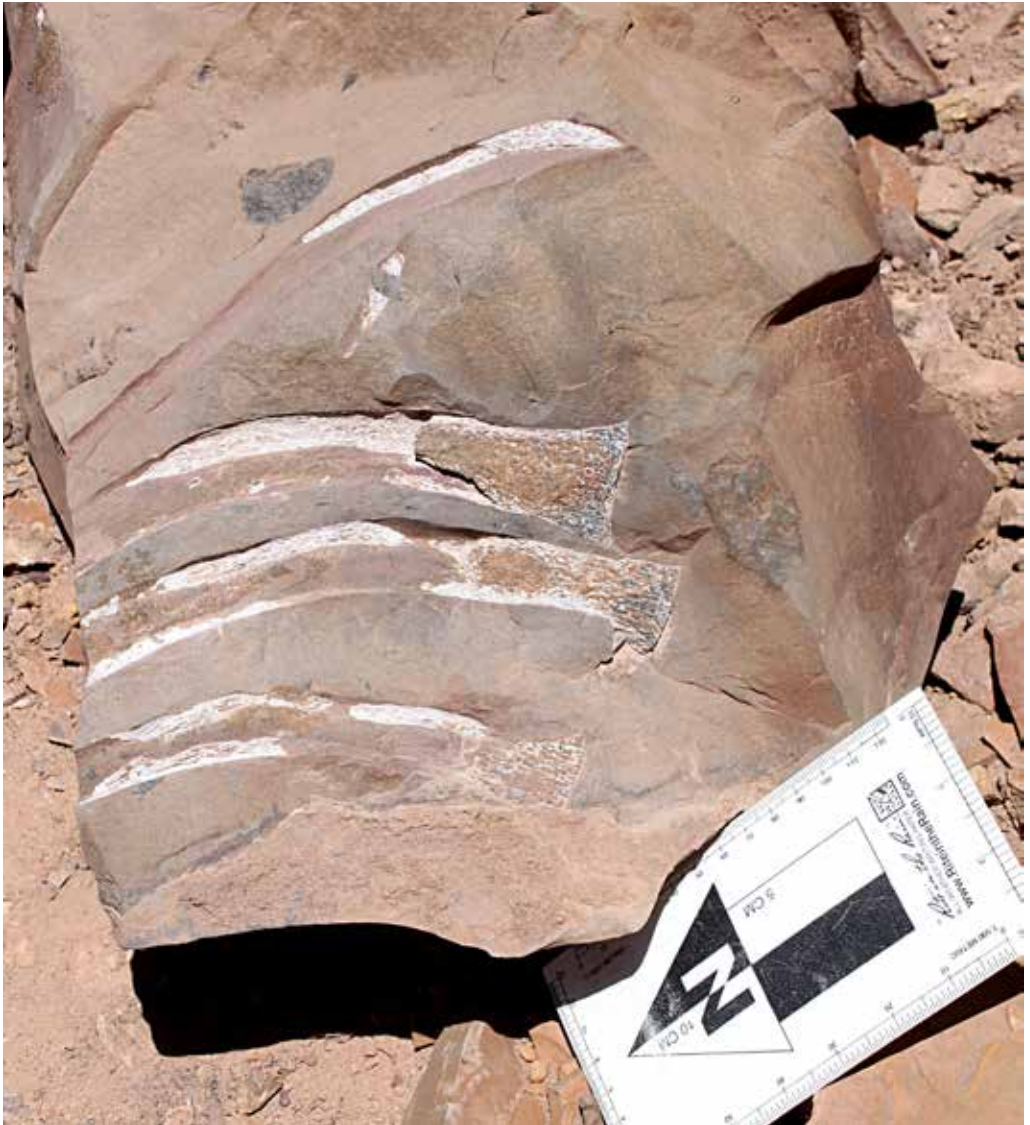


- Soto-Acuña, S.; Otero, R.A.; Rubilar-Rogers, D. 2012.** Un nuevo ejemplar de '*Metriorhynchus*' *casamiquelai* Gasparini y Chong, 1977 (Crocodylomorpha: Thalattosuchia) del Caloviano de Sierra de Moreno, Región de Antofagasta. En: Actas del XIII Congreso Geológico Chileno, pp. 755–757. Antofagasta.
- Soto-Acuña, S.; González, E.; Bajor, D.; Mourgues, F.A. 2018.** Presencia de cocodrilos marinos (Thalattosuchia, Metriorhynchidae) en el Bajociano del Grupo Caracoles, norte de Chile. Primer Congreso de Paleontología de Chile, Libro de Resúmenes, pp. 3493–523. Punta Arenas.
- Tavera, J. 1981.** Ichthyosaurus de la Formación Lautaro, en el área de Manflas, Región de Atacama, Chile. Comunicaciones (Departamento de Geología, Universidad de Chile) 33:1–16.
- Von Huene, F. 1927.** Beitrag zur Kenntnis mariner mesozoischer Wirbeltiere in Argentinien. Centralblatt für Mineralogie, Geologie und Paläontologie, B 1927:22–29.
- Young, M.T.; de Andrade, M.B. 2009.** What is *Geosaurus*? Redescription of *Geosaurus giganteus* (Thalattosuchia: Metriorhynchidae) from the Upper Jurassic of Bayern, Germany. Zoological Journal of the Linnean Society 157:551–585.
- Young, M.T.; De Andrade, M.B.; Brusatte, S.L.; Sakamoto, M.; Liston, J. 2013.** The oldest known metriorhynchid super-predator: a new genus and species from the Middle Jurassic of England, with implications for serration and mandibular evolution in predacious clades. Journal of Systematic Palaeontology 11:475–513.





## CAPÍTULO VIII: Vertebrados del Jurásico Superior



Restos de plesiosaurio *Cryptoclididae*  
del Jurásico Superior de Cerritos Bayos.



## **Peces óseos**

Los depósitos del Jurásico Superior del norte de Chile han probado ser uno de los yacimientos paleontológicos más relevantes a nivel mundial en cuanto al registro de peces óseos oxfordianos. Hasta el momento, se han descrito dos nuevas familias de peces del Jurásico Superior (Varasichthyidae y Chongichthyidae) sobre la base de especímenes recuperados en el norte de Chile, y al menos, se han reconocido 12 géneros diferentes. A continuación, se mencionan los taxa más relevantes conocidos actualmente en la zona.

### ***Lepidotes* sp.**

Biese (1961) mencionó por primera vez determinaciones taxonómicas de peces fósiles hallados en el Desierto de Atacama. Este autor indicó la presencia de *Lepidotes* y *Pachycormus* en rocas de edad oxfordiana expuestas en Cerritos Bayos. Lamentablemente, no se proporcionó figuras ni repositorio. Posteriormente, Ossa-Fuentes et al. (2015) confirmaron por primera vez la presencia del género *Lepidotes*, inicialmente mencionado por Biese (1961).

### **'*Pholidophorus*' *domeykanus* Arratia et al., 1975c**

Posteriormente, Arratia et al. (1975c) dieron a conocer un material de excelente preservación, proveniente de Quebrada Aguada Chica, recuperado desde niveles de edad Oxfordiano. Estos autores describieron una nueva especie, *Pholidophorus domeykanus*, correspondiente a un pez de unos 10 a 11 cm de largo. Posteriormente, su posición taxonómica ha sido discutida, dado que la preparación original en su descripción no permitió evaluar las características de sus escamas (Arratia, 1987; Arratia y Schultze, 1999), las que revelan afinidades con la familia Varasichthyidae (ver texto a continuación). En consecuencia, no corresponde a un *Pholidophoridae*, por lo que su asignación al género *Pholidophorus* aguarda su correspondiente reasignación.

### ***Protoclupea chilensis* Arratia, Chong y Chang, 1975b**

Arratia et al. (1975b) describieron un nuevo género y especie, *Protoclupea chilensis*, también proveniente de niveles oxfordianos de la Formación El Profeta, expuestos en Quebrada Aguada Chica y Quebrada El Profeta. En su primera descripción, fue considerado como un Clupeidae, pero posteriormente fue incluido en la familia Varasichthyidae (Arratia, 1981).

### ***Bobbichthys opercularis* (Arratia et al., 1975a)**

Entre los materiales primeramente recuperados desde el Oxfordiano de la Formación El Profeta, se encuentra *Bobbichthys opercularis* (Arratia, 1986), que corresponde a un pez de entre 15 y 20 cm de longitud. En su primera descripción, el mismo material fue determinado como *Leptolepis opercularis* (Arratia et al., 1975a), y posteriormente, como un nuevo género, *Bobbichthys*, de familia incierta (Arratia, 1986). Actualmente, es incluido dentro de la familia Varasichthyidae (Arratia, 2015).



### ***Varasichthys ariasi* Arratia, 1981**

Un nuevo material obtenido desde niveles oxfordianos en la Cordillera Domeyko, fue determinado como una nueva familia, género y especie. *Varasichthys ariasi* Arratia, 1981 constituye la primera forma conocida de la familia Varasichthyidae (Arratia, 1981), y corresponde a un pez de unos 25 a 30 cm de largo. La posición filogenética de este grupo del Oxfordiano sudamericano y del Caribe (Cuba) ha sido discutida. Inicialmente, considerada como incierta (Arratia, 1981). Actualmente, se considera a Varasichthyidae dentro del orden Crossognathiformes (Arratia, 2015).

### ***Chongichthys dentatus* Arratia, 1982**

Otra familia endémica del Oxfordiano del norte de Chile, corresponde a la familia Chongichthyidae, representada por un único género y especie conocida, *Chongichthys dentatus* Arratia, 1982. Del mismo modo que con Varasichthyidae, la familia Chongichthyidae fue inicialmente considerada de posición incierta y, actualmente, también se encuentra incluida dentro de los Crossognathiformes (Arratia, 2015). *Chongichthys dentatus* corresponde a un pez de unos 25 cm de largo que poseía un aspecto fusiforme.

### ***Domeykos profetaensis* Arratia y Schultze, 1985**

Arratia y Schultze (1985) aportaron nuevas formas del Oxfordiano de la Formación El Profeta. Nuevo material fue referido a un nuevo género y especie, *Domeykos profetaensis* Arratia y Schultze, 1985, que corresponde a un pez de unos 17 cm. Actualmente, se le considera incluido en la familia Varasichthyidae (Arratia, 2015).

### ***Protoclupea atacamensis* Arratia y Schultze, 1985**

Una segunda especie de Protoclupea fue además descrita por Arratia y Schultze (1985), la cual también era proveniente de niveles oxfordianos de la Formación El Profeta. A diferencia de *Protoclupea chilensis*, de tamaño entre 10 a 11 cm, *Protoclupea atacamensis* corresponde a un pez que alcanzaba los 13 a 15 cm.

### ***Antofagastaichthys mandibularis* Arratia, 1986**

Otro nuevo género y especie fundado sobre material proveniente del Oxfordiano de la Formación El Profeta, fue dado a conocer por Arratia (1986). *Antofagastaichthys mandibularis* corresponde a un pez de unos 25 cm de largo, considerado inicialmente como de posición filogenética incierta.



### ***Atacamichthys greeni* Arratia y Schultze, 1987**

Es un nuevo género y especie, descrito inicialmente por Arratia y Schultze (1987). Proviene también del Oxfordiano de la Quebrada El Profeta. Corresponde a un pez de unos 30 cm de longitud (Figura 15) que se caracteriza por poseer grandes parietales y pequeños postparietales (Arratia, 2015). Su asignación taxonómica es incierta, dado que su combinación de caracteres es hasta ahora desconocida en otros peces de América del Sur.



**Figura 15:** *Atacamichthys greeni* Arratia y Schultze, (1987). Estimación del aspecto en vida, basado en el holotipo Oxfordiano del norte de Chile.

### **Pycnodontiformes indet.**

Arratia (1987) señaló la presencia de este grupo de peces en rocas oxfordianas de la Formación El Profeta, expuestas en la Quebrada homónima y en rocas oxfordianas de la localidad de Caracoles. Este material fue posteriormente estudiado por Martill et al. (1998) y Kriwet (2001). Véase *Gyrodus*, más adelante.

### ***Protoclupea* sp.**

Teleosteos indeterminados fueron determinados por Arratia (1987), y corresponden al material mencionado por Biese (1961), entonces referido a *Thrissops*. A su vez, Arratia (1987) describió un nuevo espécimen muy completo referido a *Protoclupea* sp., también proveniente de Cerritos Bayos.

### **Teleostei indet. (2 taxa)**

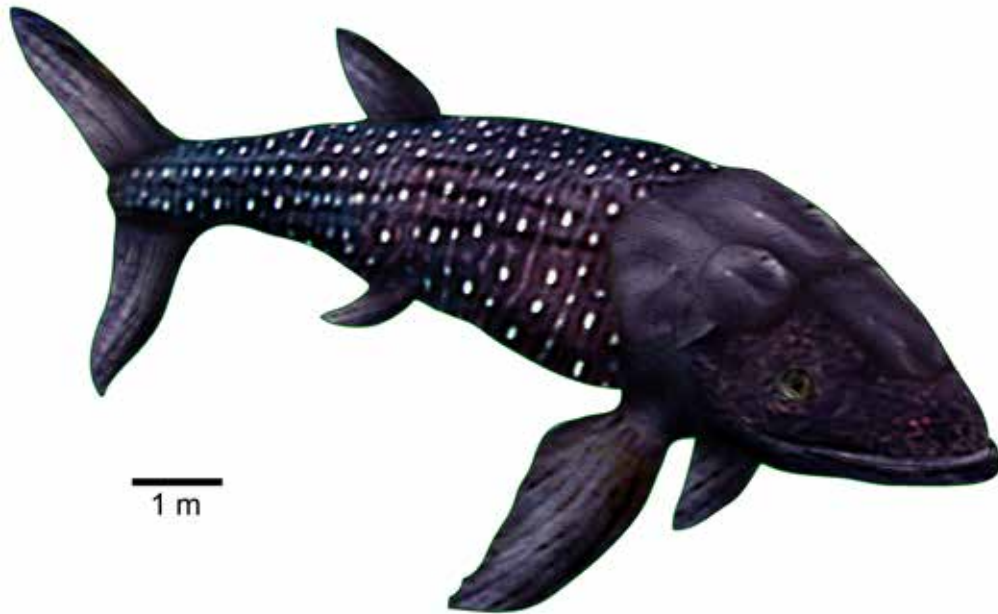
Arratia (1987) revisó los especímenes del Kimmeridgiano de Cerritos Bayos, referidos inicialmente por Biese (1961) al género *Thrissops* (calizas de 'Trissops' en Biese, 1961). Arratia (1987) señaló la ausencia de rasgos suficientemente diagnósticos para una determinación incluso a nivel de orden. Sin embargo, distinguió dos tipos de vértebras que permitieron señalar la presencia de dos taxa diferentes.





## **Gyrodus sp.**

Corresponde a un material craneal articulado que incluye la dentición distintiva de este grupo y que fue primeramente descrito por Martill et al. (1998). El espécimen, proveniente del Oxfordiano de la Quebrada El Profeta, fue referido a una nueva especie, *Mesturus cordillera* (Martill et al., 1998). Posteriormente, el mismo espécimen fue reestudiado por Kriwet (2001), reasignándose a una especie indeterminada del género *Gyrodus*.



**Figura 16:** *Leedsichthys* sp.: Enorme pez filtrador presente en el Oxfordiano del norte de Chile.

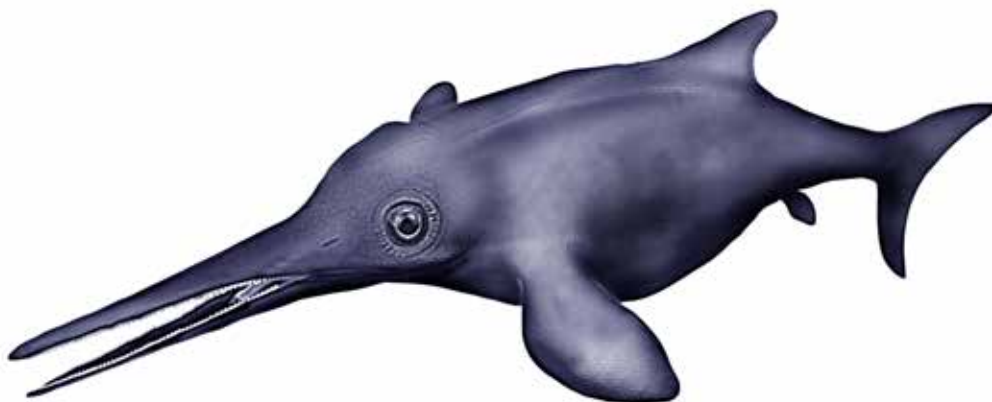
## ***Leedsichthys* sp.**

Restos de grandes peces óseos provenientes de rocas del Jurásico Medio de la Región de Antofagasta, fueron hallados en una localidad desconocida en la Cordillera de Domeyko. Posteriormente fueron reconocidos por H.P. Shultze en 1978, siendo identificados inicialmente como posibles peces acipenseroides/condróssteos. Posteriormente al estudio del material, permitió reconocer elementos referibles al gigantesco pez filtrador *Leedsichthys* (Arratia y Schultze, 1999; Liston, 2010). Martill et al. (1999) refirieron material adicional a una nueva especie, *Leedsichthys notocetes*, sin embargo, los rasgos diagnósticos de la especie fueron considerados como artefactos tafonómicos, descartando su posible asignación específica (Liston, 2010). Otro material adicional, proveniente del Oxfordiano de Cerritos Bayos y también referido a *Leedsichthys*, fue descrito por Ossa-Fuentes et al. (2015). El *Leedsichthys* (Figura 16) fue un gigantesco pez de un tamaño estimado de 10 m y se alimentaba filtrando nutrientes y microorganismos retenidos en sus rastrillos branquiales.



## **Pachycormiformes indet.**

Pachycormiformes de al menos dos tipos diferentes a *Leedsichthys*, y provenientes del Oxfordiano de Cerritos Bayos, fueron descritos por Ossa-Fuentes et al. (2015). Entre ellos, se reconoció un morfotipo filtrador distinto a *Leedsichthys* y Pachycormiformes con afinidades al género Eugnathides.



**Figura 17:** Ophthalmosauridae: forma de ictiosaurio de grandes ojos y aletas redondeadas, presente en el Jurásico Superior del norte de Chile.

## **Ictiosaurios**

Se han reportado restos de ictiosaurios indeterminados en múltiples niveles expuestos en la localidad de Cerritos Bayos. Biese (1961) indicó la presencia de distintos restos fragmentarios referibles a este grupo, en rocas del Aaleniano, Bajociano, Caloviano inferior, Caloviano superior y Oxfordiano de la mencionada localidad. Sin embargo, este autor no figuró ninguno de los especímenes, como tampoco indicó algún repositorio, siendo imposible hasta ahora reevaluar esos materiales. Posteriormente, Otero et al. (2018c) propusieron por primera vez determinaciones a nivel de familia, señalando la presencia de al menos dos restos craneales (MUHNCAL.20187 y MUHNCAL.20189) referibles a Ophthalmosauridae (Figura 17).

## **Plesiosaurios**

Frecuentes restos de plesiosaurios se han reconocido en Cerritos Bayos. Material referible a este grupo fue previamente reportado en la unidad (Biese, 1961; Chong y Gasparini, 1976; Gasparini, 1979; Otero et al., 2015). Si bien hasta la fecha no se han recuperado especímenes que permitan determinaciones a nivel de género y/o especie, sí se han reconocido al menos dos grupos principales, que se mencionan a continuación:

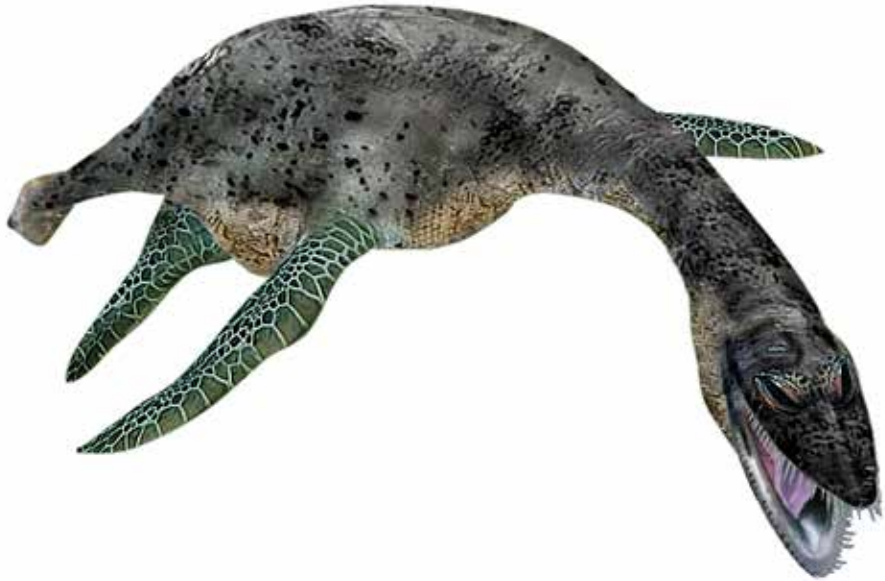
## **Cryptoclididae**

El primer espécimen parcial de plesiosaurio articulado hallado en el Oxfordiano de Cerritos Bayos, fue descrito por Otero et al. (2015). Este material (MUHNCAL.20174) corresponde a una serie vertebral de la transición cervical-dorsal. Se preservan 11 vértebras sucesivas. Las vértebras cervicales muestran una forma lateralmente ensanchada, con una cara articular algo bilobada

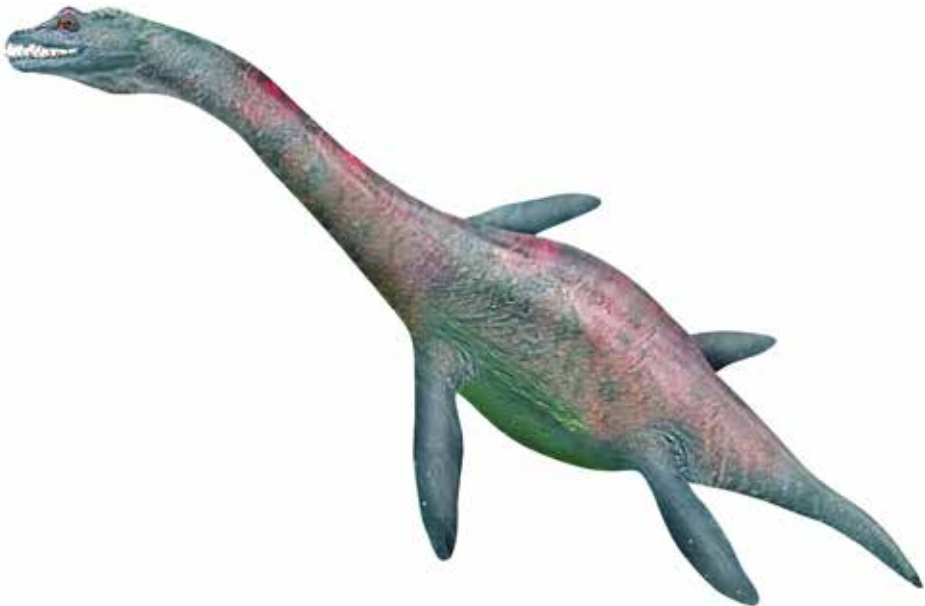


y una espina neural alta. Estas características son típicas de plesiosaurios elasmosáuridos, grupo muy abundante durante el Cretácico, y ocasionalmente reportado en el Jurásico (Gasparini y Spalletti, 1993; Long y Cruickshank, 1998), aunque basado en material vertebral aislado. Las características morfológicas observadas en las vértebras cervicales, llevaron a Otero et al. (2015) a considerar este espécimen inicialmente como un Elasmosauridae. Sin embargo, posteriores materiales recuperados en la misma unidad y en niveles de idéntica edad, permitieron un mejor alcance sobre estas formas de plesiosaurio. Parte de un segundo espécimen articulado (MUHNCAL. 20176) también fue descrito en Otero et al. (2015) y considerado entonces como un Elasmosauridae, sin embargo, posteriores labores de campo llevaron a recuperar elementos adicionales del mismo espécimen. Sobre este nuevo material, ahora más completo, Otero et al. (2018a) determinaron que tanto MUHNCAL.20174, como MUHNCAL. 20176, corresponden a plesiosaurios Cryptoclididae (Figura 18), grupo previamente conocido en el Jurásico Medio y Superior de Europa, Estados Unidos, Cuba y Argentina. Más aún, MUHNCAL.20174 y MUHNCAL.20176 han sido recientemente identificados como pertenecientes al género *Muraenosaurus*, previamente conocido en Inglaterra y Argentina. A su vez, un tercer espécimen (MUHNCAL.20205) correspondiente a una mandíbula proveniente de Cerritos Bayos, ha sido identificado como perteneciente al género *Vinialesaurus* (Figura 19), taxón que previamente se conocía solo en el Oxfordiano de Cuba (Otero et al., 2020).





**Figura 18:** *Muraenosaurus* sp. Aspecto general de la forma presente en el Jurásico Medio-Superior de Cerritos Bayos.



**Figura 19:** *Vinalesaurus* sp. Reconstrucción tentativa de la forma presente en el Jurásico Medio-Superior de Cerritos Bayos.



## Pliosauridae

Los pliosaurios (Figura 20) fueron los depredadores tope durante el Jurásico Superior, con algunas formas de tamaños estimados hasta en 12 metros, con cráneos de un largo similar a la altura de una persona adulta y dientes del tamaño de un plátano. Se han recuperado en las cercanías de Calama dos especímenes referibles a Pliosauridae (Otero et al., 2018b; 2020). Se conoce un fragmento de mandíbula con parte de los dientes (MUHNCAL.20181), y un segundo espécimen (MUHNCAL.20188) del que se han recuperado ambos húmeros y un fémur, mientras que parte del esqueleto aún está en terreno. Ambos representan pliosaurios aún indeterminados, sin embargo, llama la atención su tamaño pequeño en comparación con las formas gigantes conocidas en Inglaterra. Estos materiales corresponden a la única evidencia de Pliosauridae conocida en el Oxfordiano de Chile.



**Figura 20:** aspecto general de un pliosaurio (*Pliosaurus*), similar al hallado en rocas del Jurásico Superior de Cerritos Bayos, Región de Antofagasta.



## **Cocodrilos marinos**

### **Metriorhynchidae indet.**

Varios restos craneales de cocodrilos marinos han sido recuperados desde rocas oxfordianas en Cerritos Bayos (Soto-Acuña et al., 2015). La mayoría de ellos, es fragmentario, no obstante, muestran una frecuencia relativamente alta de cocodrilos marinos en la unidad. Entre estos restos destaca MUHNCAL.20177, correspondiente a un cráneo parcial y sus respectivas vértebras cervicales, junto con el espécimen MUHNCAL.20152, correspondiente a una cola articulada. También se cuenta con moldes del interior del cráneo (MUHNCAL.20170).

## **Reptiles voladores (Pterosauria)**

### **Rhamphorhynchidae indet.**

A nivel mundial se conocen muy pocos pterosaurios durante el Oxfordiano. Pese a ello, existe un único registro de pterosaurio proveniente del Oxfordiano de Cerritos Bayos (Alarcón et al. (2015). El mismo material fue reestudiado por Alarcón et al. (2018), determinando su pertenencia a un pterosaurio no pterodactyloideo del clado Rhamphorhynchidae (Figura 21).



**Figura 21:** aspecto estimado de un Rhamphorhynchidae, similar al hallado en Cerritos Bayos.



## Huellas fósiles (icnitas)

En la Región de Antofagasta se han reportado posibles huellas “de un lagarto chico”, descritas en la parte superior del perfil de Cerritos Bayos (Biese, 1961: p. 20), pero el material nunca fue figurado. Adicionalmente, se conocen registros en Quebrada San Salvador, que incluyen al menos dos morfotipos de Theropoda, más un tercer tipo referido a Caracichnos isp., que correspondería a huellas de terópodos desplazándose en medio acuático (Moreno et al., 2004). Dichas huellas provienen de rocas pertenecientes a la Formación San Salvador, de edad Kimmeridgiano. También se han descrito en la misma localidad huellas de Sauropoda referidas a “Parabrontopodus isp.” (Moreno et al. 2004) (Figura 22).

En Quebrada Arca, Región de Antofagasta, se han descrito en rocas de la Formación Quinchamale (Kimmeridgiano-Cretácico Inferior) huellas referidas a Brontopodus isp. y Theropoda (Rubilar-Rogers y Otero 2008; Rubilar-Rogers 2010).



**Figura 22:**  
arriba, huellas  
de dinosaurios  
terópodos  
existentes en rocas  
del Kimmeridgiano  
en Quebrada San  
Salvador, ciudad  
de Calama.  
Abajo, en el  
mismo lugar, pero  
diferente estrato,  
se observan huellas  
de dinosaurios  
saurópodos.



## Bibliografía

- Alarcón, J.; Soto-Acuña, S.; Otero, R.A.; Ossa-Fuentes, L.; Rojas, O. 2015.** Primer registro de pterosaurios en el Jurásico Superior (Oxfordiano) de la Formación Cerritos Bayos, Calama, Región de Antofagasta. XIV Congreso Geológico de Chile, Actas Volumen III, Área Temática 5, Bioestratigrafía y Paleontología Andina, pp. 694–697. La Serena.
- Alarcón, J.; Soto-Acuña, S.; Otero, R.A.; Rojas, O. 2018.** El primer pterosaurio no pterodactyloideo de Chile. I Congreso de Paleontología de Chile, Libro de Resúmenes, pp. 334–337. Punta Arenas.
- Arratia, G. 1981.** *Varasichthys ariasi* n. gen. et sp. from the Upper Jurassic from Chile (Pisces, Teleostei, Varasichthyidae n. fam.). *Palaeontographica A* 175:107–139.
- Arratia, G. 1982.** *Chongichthys dentatus*, new genus and species, from the Late Jurassic of Chile (Pisces: Teleostei: Chongichthyidae, new family), *Journal of Vertebrate Paleontology* 2:133–149.
- Arratia, G. 1986.** New Jurassic fishes (Teleostei) of Cordillera de Domeyko, northern Chile. *Palaeontographica A* 192:75–91.
- Arratia, G. 1987.** Jurassic fishes from Chile and critical comments. En: Volkheimer W; Musacchio, E.A. (Eds), *Bioestratigrafía de los sistemas regionales del Jurásico y Cretácico de América del Sur, Vol 1. Jurásico anterior a los movimientos intermálmicos.*, pp. 257–286. Mendoza, Argentina.
- Arratia, G. 2015.** Los peces osteíctios fósiles de Chile y su importancia en los contextos paleobiogeográfico y evolutivo. En: Rubilar-Rogers, D.; Otero, R.A.; Vargas, A.; Sallaberry, M. (eds.), *Vertebrados Fósiles de Chile. Publicación Ocasional del Museo Nacional de Historia Natural, Chile*, 63:35–83.
- Arratia, G.; Schultze, H.P. 1985.** Late Jurassic teleosts (Actinopterygii, Pisces) from northern Chile and Cuba. *Palaeontographica A* 189:29–61.
- Arratia, G.; Schultze, H.P. 1987.** A new halecostome fish (Actinopterygii, Osteichthyes) from the Late Jurassic of Chile and its relationships. *Dakoterra* 3:1–13.
- Arratia, G.; Chang, A.; Chong, G. 1975a.** *Leptolepis opercularis* n. sp. of the Upper Jurassic from Chile. *Ameghiniana* 12:350–358.
- Arratia, G.; Chang, A.; Chong, G. 1975b.** Sobre un pez fósil del Jurásico de Chile y sus relaciones con clupeidos sudamericanos vivientes. *Revista Geológica de Chile* 2:20–31.
- Arratia, G.; Chang, A.; Chong, G. 1975c.** *Pholidophorus domeykanus* n. sp. del Jurásico de Chile. *Revista Geológica de Chile* 2:1–19.
- Arratia, G.; Schultze, H. P. 1999.** Mesozoic fishes from Chile. En: Arratia, G.; Schultze, H. P. (Eds.), *Mesozoic Fishes 2, Systematics and Fossil Record*, pp.565–593. Verlag Dr. Friedrich Pfeil, München, Germany. Biese, W. 1961. El Jurásico de Cerritos Bayos. Instituto de Geología, Universidad de Chile, Santiago, Publicación 19. 61 p.





- Chong, G.; Gasparini, Z. 1976.** Los vertebrados mesozoicos de Chile y su aporte geopaleontológico. En: Actas del IV Congreso Geológico Argentino, pp. 45–67. Bahía Blanca.
- Gasparini, Z. 1979.** Comentarios críticos sobre los vertebrados mesozoicos de Chile. En: Actas del II Congreso Geológico Chileno, H15–H32. Arica.
- Gasparini, Z.; Spalletti, L. 1993.** First Callovian plesiosaurs from the Neuquen Basin, Argentina. *Ameghiniana* 30:245–254.
- Kriwet, J. 2001.** Revision of *Mesturus cordillera* Martill et al., 1998 (Actinopterygii, Pycnodontiformes) from the Oxfordian (Upper Jurassic) of northern Chile. *Journal of Vertebrate Paleontology* 20:450–455.
- Liston, J. 2010.** The occurrence of the Middle Jurassic pachycormid fish *Leedsichthys*. *Oryctos* 9: 2–36.
- Long, D.J.; Cruickshank, A.R.I. 1998.** Further records of plesiosaurian reptiles of Jurassic and Cretaceous age from Western Australia. *Records of the Western Australian Museum* 19:47–55.
- Martill, D.M.; Chong, G.; Pardo, R. 1998.** A new pycnodont (Pisces, Actinopterygii) from the Jurassic of Chile. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie Monatshefte* 1988:485–493.
- Martill, D.M.; Frey, E.; Caceras, R.P.; Chong-Díaz, G. 1999.** The giant pachycormid *Leedsichthys* (Actinopterygii) in the southern hemisphere: further evidence for a Jurassic Atlanto-Pacific marine faunal province. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Monatshefte*, 1999:243–256.
- Moreno, K., Blanco, N., Tomlinson, A. 2004.** Nuevas huellas de dinosaurios del Jurásico Superior en el norte de Chile. *Ameghiniana* 41:535–544.
- Ossa-Fuentes, L., Soto-Acuña, S., Otero, R.A., Alarcón, J., and Rojas, O. 2015.** Nuevos ejemplares de peces óseos (Osteichthyes: Actinopterygii) del Jurásico Superior de Cerritos Bayos, Calama, norte de Chile. XIV Congreso Geológico de Chile, Actas Volumen III, Área Temática 5, Bioestratigrafía y Paleontología Andina, pp. 694–697. La Serena.
- Otero, R.A., Soto-Acuña, S., Alarcón, J., Ossa-Fuentes, L., Rojas, O. 2015.** Los elasmosáuridos más antiguos hasta ahora conocidos: primer registro en el Oxfordiano de Gondwana. XIV Congreso Geológico de Chile, Actas Volumen III, Área Temática 5, Bioestratigrafía y Paleontología Andina, pp. 683–685. La Serena.
- Otero, R.A.; Rojas, O.; Rojas, J. 2018a.** Un nuevo espécimen de plesiosaurio del Oxfordiano del norte de Chile. I Congreso de Paleontología de Chile, Libro de Resúmenes, pp. 359–363. Punta Arenas.
- Otero, R.A.; Soto-Acuña, S.; Rojas, O.; Rojas, J. 2018b.** Primer registro de pliosaurios (Plesiosauria, Pliosauridae) en el Oxfordiano del norte de Chile. I Congreso de Paleontología de Chile, Libro de Resúmenes, pp. 313–317. Punta Arenas.
- Otero, R.A.; Pardo-Pérez, J.; Rojas, O.; Rojas, J. 2018c.** Ictiosaurios oftalmosáuridos (Ichthyopterygia, Ophthalmosauridae) del Oxfordiano del norte de Chile. I Congreso de Paleontología de Chile, Libro de Resúmenes, pp. 354–357. Punta Arenas.



- Otero, R.A.; Soto-Acuña, S.; Rojas, J.; Rojas, O.** *En prensa*. First pliosaur remains (Sauropterygia, Pliosauridae) from the Oxfordian of the Atacama Desert. *Journal of South American Earth Sciences*.
- Otero, R.A.; Alarcón-Muñoz, J.; Soto-Acuña, S.; Rojas, J.; Rojas, O.; Ortíz, H. 2020.** Cryptoclidid plesiosaurs (Sauropterygia, Plesiosauria) from the Upper Jurassic of the Atacama Desert. *Journal of Vertebrate Paleontology* 40: e1764573, 14 p.
- Soto-Acuña, S.; Otero, R.A.; Alarcón, J.; Ossa-Fuentes, L.; Rojas, O. 2015.** Presencia de cocodrilos marinos (Thalattosuchia: Metriorhynchidae) en la Formación Cerritos Bayos (Oxfordiano), Cuenca de Tarapacá, Región de Antofagasta. XIV Congreso Geológico de Chile, Actas Volumen III, Área Temática 5, Bioestratigrafía y Paleontología Andina, pp. 690–693. La Serena.





## CAPÍTULO IX: Vertebrados del Cretácico



Afloramientos de la Formación Tolar, unidad geológica desde donde se recuperó al dinosaurio saurópodo *Atacamatitan chilensis*.



## Peces óseos del Cretácico Inferior

### *Pseudovinctifer chilensis* Arratia, 2015

Este género y especie fundado por Arratia (2015) fue recuperado desde rocas del Cretácico inferior (indiferenciado) de la Formación Lomas Negras, en la localidad homónima, ubicada al este de la ciudad de Calama. Corresponde a un pez de rostro elongado (Figura 23), siendo uno de los pocos registros de *Aspidorhynchiformes* en Chile. Inicialmente, fue referido con dudas a un *Saurichthyiformes* (Arratia y Cione, 1996).



Figura 23: reconstrucción paleobiológica de *Pseudovinctifer chilensis* Arratia, 2015.

### *Lepidotés* sp.

La presencia de *Lepidotés* sp. ha sido mencionada en rocas del Cretácico Inferior expuestas en Quebrada La Carreta y Cerro Isote, en la Cordillera Domeyko (Arratia y Schultze, 1999). La presencia de este pez óseo en estas dos localidades prueba la persistencia del género a través del límite Jurásico-Cretácico en el norte de Chile.

## Dinosaurios del Cretácico Inferior

Se han hallado múltiples localidades en el Norte Grande con huellas de dinosaurios. Al respecto, se destaca el registro existente al sur de la Región de Tarapacá, donde se conocen dos importantes localidades. Estas corresponden a Quebrada Chacarilla y Quebrada Huatacondo, ambas con afloramientos de estratos fosilíferos de la Formación Chacarilla, del Cretácico Inferior. En Quebrada Chacarilla se han hallado una diversidad de huellas de dinosaurios terópodos y ornitópodos (Moreno et al., 2000; Rubilar-Rogers, 2003; Rubilar-Rogers et al., 2000a; 2000b), con algunas determinaciones que requieren revisión, entre ellas, formas referidas a estegosaurios (Salinas et al. 1991). También se han reconocido huellas de saurópodos referidas a '*Brontopodus?*' isp. (Moreno et al. 2000).

En Quebrada Huatacondo, se han reconocido huellas de terópodos de tamaño variable (Salinas et al., 1991; Moreno, 2008), y presumibles ornitópodos, primeramente referidos a *Camptosauridae* (Salinas et al., 1991; Rubilar-Rogers, 2003).

Hacia el sur, en la Región de Atacama, se han descrito huellas de dinosaurios ornitópodos presentes en rocas de la Formación Pabellón de edad Barremiano superior-Aptiano inferior (Rubilar-Rogers et al., 2014).



En cuanto a restos óseos, se ha descrito material fragmentario referible a Sauropoda, proveniente de Cerro La Isla, en la Región de Atacama, y recuperados desde niveles del Cretácico Inferior de la Formación Quebrada Monardes (Bell y Suárez, 1989; Salinas et al., 1991; Soto-Acuña et al., 2015).

## Pterosauria del Cretácico Inferior

Existen dos localidades del Cretácico Inferior en el Norte Grande con presencia de pterosaurios. En Quebrada La Carreta, al sur de la Región de Antofagasta, Casamiquela y Chong (1980), registraron la presencia de restos de pterosaurios que fueron atribuidos a *Pterodaustro guiñazui*, forma previamente conocida en el Cretácico de Argentina. Los restos fueron reestudiados por Martill et al., (2000), refiriéndolos a un nuevo género y especie, *Domeykodactylus ceciliae* (Figura 24), y asignándolo a la familia Dsungaripteridae. Dicho material fue colectado desde rocas pertenecientes a una unidad geológica no formalizada, de edad Cretácico Inferior.

La segunda localidad con pterosaurios del Cretácico Inferior en el Desierto de Atacama corresponde al Cerro La Isla. En esta localidad afloran estratos de la Formación Quebrada Monardes (Cretácico Inferior). La presencia de pterosaurios indeterminados fue reportada en diversas oportunidades (Bell y Suárez, 1989; 1993; Bell y Padian, 1995). Posteriormente, Martill et al., (2006) determinaron los restos como pertenecientes a la familia Ctenochasmatidae, y posiblemente, a la subfamilia Gnathosaurinae.

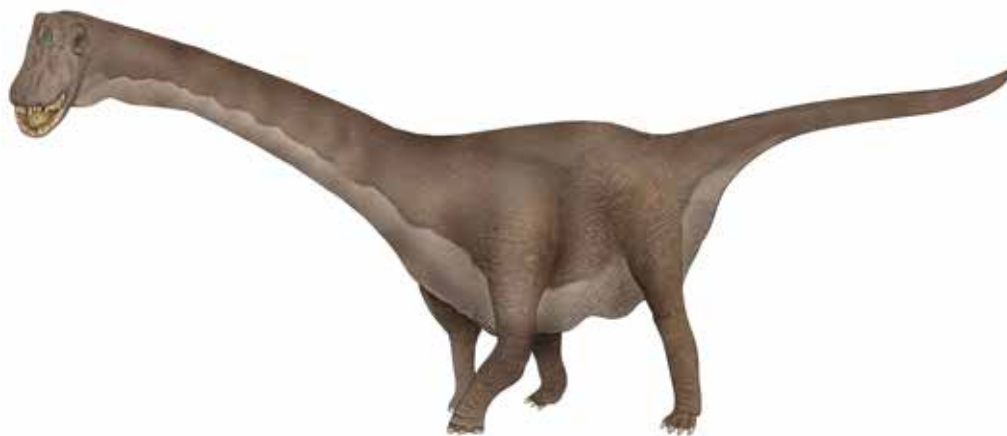


Figura 24: Interpretación paleobiológica de *Domeykodactylus ceciliae* Martill et al., 2000, basado en su material tipo y complementado con el aspecto general de pterosaurios Dsungaripteridae.



## Dinosaurios del Cretácico Superior del Norte Grande: *Atacamatitan chilensis* Kellner et al., 2011

El primer dinosaurio saurópodo endémico de Chile corresponde a *Atacamatitan chilensis* Kellner et al., 2011 (Figura 25). El material tipo consiste en un esqueleto poscranial incompleto recuperado desde rocas de la Formación Tolar, de edad Cretácico Superior. Los elementos anatómicos preservados incluyen el fémur derecho, el extremo proximal de un húmero, dos vértebras dorsales, vértebras caudales posteriores, costillas dorsales, parte de un esternón y algunos otros elementos fragmentarios. Este esqueleto parcial representa hasta ahora el material más completo de saurópodos Titanosauriformes descritos y publicados en Chile.



**Figura 25:** Reconstrucción paleobiológica de *Atacamatitan chilensis* Kellner et al., 2011, basado en Titanosauria más completos.

Además de *Atacamatitan*, se conocen otros registros fragmentarios referibles a Sauropoda indeterminados. Estos han sido hallados en Quebrada Pajonales, Región de Antofagasta, en la Formación Pajonales, de edad maastrichtiana (Salinas et al., 1991; Rubilar-Rogers et al., 2012; Soto-Acuña et al., 2015). Restos referibles a Sauropoda *Lithostrotia* indeterminados han sido hallados en la Región de Atacama, particularmente, en Cerro Algarrobito y Quebrada La Higuera, en rocas pertenecientes a la Formación Hornitos, de edad Cretácico Superior (Chong, 1985; Rubilar-Rogers, 2003; Soto-Acuña et al., 2015).





## Bibliografía

- Arratia, G. 2015.** Los peces osteíctios fósiles de Chile y su importancia en los contextos paleobiogeográfico y evolutivo. In: Rubilar-Rogers, D.; Otero, R.A.; Vargas, A.; Sallaberry, M. (eds.), *Vertebrados Fósiles de Chile*. Publicación Ocasional del Museo Nacional de Historia Natural, Chile, 63: 35–83.
- Arratia, G.; Cione, L.A. 1996.** The record of fossil fishes of southern South America. En: Arratia, G. (Ed.), *Contributions of southern South America to vertebrate paleontology*. Munchner Geowissenschaftliche Abhandlungen 30, pp. 9–72. Verlag Dr. Friedrich Pfeil, München.
- Arratia, G.; Schultze, H. P. 1999.** Mesozoic fishes from Chile. En: Arratia, G.; Schultze, H. P. (Eds.), *Mesozoic Fishes 2, Systematics and Fossil Record*. Verlag Dr. Friedrich Pfeil, München, Germany, 565–593.
- Biese, W. 1961.** El Jurásico de Cerritos Bayos. Instituto de Geología, Universidad de Chile, Santiago, Publicación 19. 61 p.
- Bell, C.M.; Padian, K. 1995.** Pterosaur fossils from the Cretaceous of Chile: evidence for a pterosaur colony on an inland desert plain. *Geological Magazine* 132: 31–38.
- Bell, C.M.; Suárez, M. 1989.** Vertebrate fossils and trace fossils in the Upper Jurassic–Lower Cretaceous red beds in the Atacama Region, Chile. *Journal of South American Earth Sciences* 2: 351–357.
- Bell, C.M.; Suárez, M. 1993.** The depositional environment and tectonic development of a Mesozoic intra-arc basin, Atacama Region, Chile. *Geological Magazine* 130: 417–430.
- Casamiquela, R.; Chong, G. 1980.** La presencia de Pterodaustro Bonaparte -Pterodactyloidea-, del neojurásico (?) de la Argentina, en los Andes del norte de Chile. En: *Actas del Congreso Argentino de Paleontología y Bioestratigrafía, No. 2, y Congreso Latinoamericano de Paleontología, N.º 1*. Buenos Aires, 201–209.
- Chong, G. 1985.** Hallazgo de restos óseos de dinosaurios en la Formación Hornitos, Tercera Región (Atacama, Chile). En: *Actas del IV Congreso Geológico Chileno*. Antofagasta, 152–159.
- Kellner, A.W.A.; Rubilar-Rogers, D.; Vargas, A.; Suárez, M.E. 2011.** A New Titanosaur sauropod from the Cretaceous of Atacama Desert, Chile. *Proc. Third Gondwanan Dinosaurs Symposium. Anais da Academia Brasileira de Ciências* 83: 211–219.
- Martill, D.; Frey, E.; Chong, G.; Bell, M. 2000.** Reinterpretation of a Chilean pterosaur and the occurrence of Dsungaripteridae in South America. *Geological Magazine* 137: 19–25.
- Martill, D.; Frey, E.; Bell, M.; Chong, G. 2006.** Ctenochasmatid pterosaurs from Early Cretaceous deposits in Chile. *Cretaceous Research* 27(5): 603–610.
- Moreno, K. 2008.** Valoración y estado de conservación de huellas de vertebrados mesozoicos en Chile. *Actas del I Simposio Paleontología en Chile*. Santiago, 13–17.



- Moreno, K.; Rubilar-Rogers, D.; Blanco, N. 2000.** Icnitas de dinosaurios de la Formación Chacarilla, I y II Región, norte de Chile. *Ameghiniana* 37(4): 30R.
- Rubilar-Rogers, D. 2003.** Registro de dinosaurios en Chile. *Boletín Museo Nacional de Historia Natural* 52: 137–150.
- Rubilar-Rogers, D.; Moreno, K.; Blanco, N. 2000a.** Grandes huellas de dinosaurios ornitópodos en la Formación Chacarilla (Jurásico Superior-Cretácico Inferior), I Región de Tarapacá, Chile. En: *Actas del IX Congreso Geológico Chileno*. Puerto Varas, 550–554.
- Rubilar-Rogers, D.; Moreno, K.; Blanco, N.; Calvo, J. 2000b.** Report of theropod trackways from Chacarilla Formation (Upper Jurassic - Lower Cretaceous), Chile. *Journal of Vertebrate Paleontology* 20(3): 66A.
- Rubilar-Rogers, D.; Moreno, K.; Blanco, N.; Calvo, J. 2008.** Theropod dinosaur trackways from the Lower Cretaceous of the Chacarilla Formation, Chile. *Revista Geológica de Chile* 35:175–184.
- Rubilar-Rogers, D.; Otero, R. A.; Yury-Yáñez, R.; Vargas, A. O.; Gutstein, C. S. 2012.** An overview of the dinosaur fossil record from Chile. *Journal of South American Earth Sciences* 37:242-255.
- Salinas, P.; Marshall L.; Sepúlveda, P. 1991.** Vertebrados continentales del Paleozoico y Mesozoico de Chile. En: *Actas del VI Congreso Geológico Chileno*. Viña del Mar, 310–313.





## CAPÍTULO X: Paleontología sistemática



Estudio de vertebrados fósiles en gabinete.



A continuación, se presentan los restos fósiles de vertebrados fósiles más relevantes del Norte Grande, proporcionando información respecto a su correspondiente categoría taxonómica. De esta manera, el lector podrá indagar dentro de las relaciones de parentesco de las formas halladas hasta ahora en el Norte Grande de Chile.

Se ha querido entregar una visión del aspecto general de estos fósiles, a modo de galería para el lector interesado. Estas imágenes no corresponden a vistas para una descripción sistemática, sino que representan vistas generales de cómo lucen los fósiles correspondientes a algunas de las formas ya mencionadas.

Se destacan los espectaculares especímenes de peces óseos colectados durante décadas por el equipo de la Dra. Gloria Arratia. También se incluye una vista general a los restos del dinosaurio *Atacamatitan*, el impresionante cráneo de '*Metriorhynchus*' *casamiquelai*, y también de los materiales de reptiles marinos en estudio, provenientes de Cerritos Bayos y otras localidades del Norte Grande.



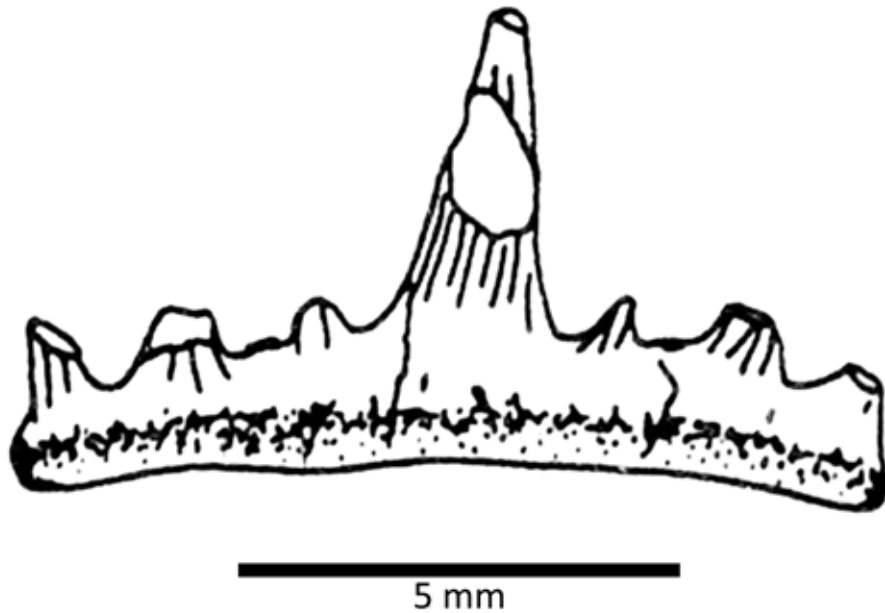
Chondrichthyes Huxley, 1880  
Elasmobranchii Bonaparte, 1838  
Hybodontiformes Maisey, 1987  
Hybodontidae Owen, 1846  
Género *Hybodus* Agassiz, 1837

***Hybodus* sp.  
(Figura 26)**

**Material:** Numeración desconocida. 1 diente anterolateral aislado.

**Localidad:** Cerro 1584, Región de Antofagasta.

**Unidad litoestratigráfica y edad:** Formación Cerro El Árbol. Pérmico inferior (298-272 millones de años atrás).



**Figura 26:** *Hybodus* sp.: Numeración desconocida. Cerro, 1584, Región de Antofagasta. Formación Cerro El Árbol, Pérmico inferior. Modificado de Brietzkreutz, 1986.



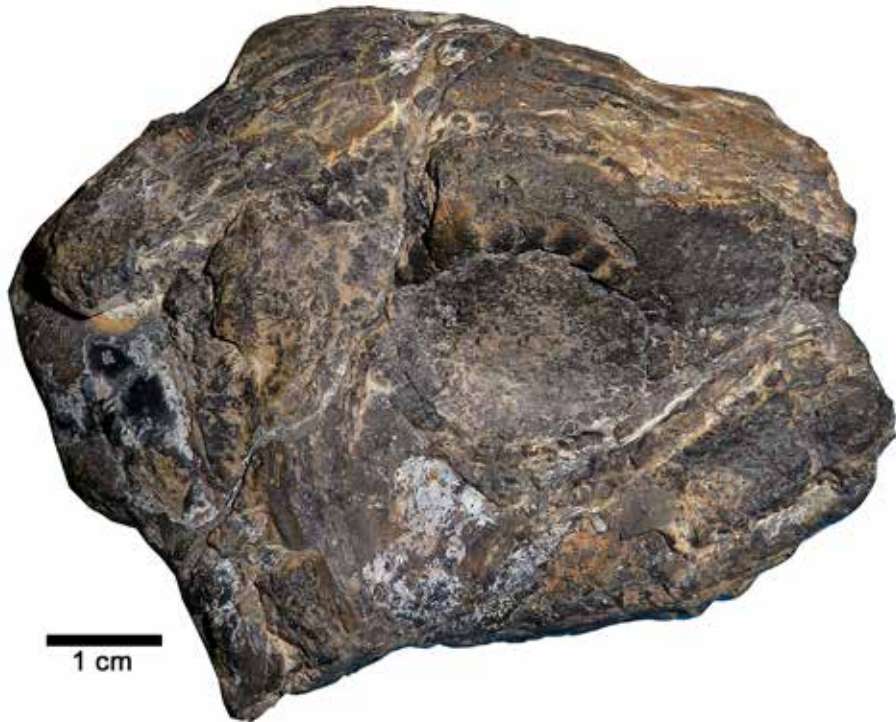
Osteichthyes Huxley, 1880  
Sarcopterygii Romer, 1955  
Actinistia Cope, 1871  
Coelacanthiformes Huxley, 1861  
Whiteiidae Schultzze, 1993  
Género *Atacamaia* Arratia y Schultzze, 2015

***Atacamaia solitaria* Arratia y Schultzze, 2015  
(Figura 27)**

**Holotipo:** SGO.PV.288, cráneo.

**Localidad:** Quebrada Vaquillas Altas, Región de Antofagasta.

**Unidad litoestratigráfica y edad:** Estratos equivalentes a la Formación El Profeta. Sinemuriano.



**Figura 27:** *Atacamaia solitaria* Arratia y Schultzze, 2015: SGO.PV.288, Holotipo. Cráneo en vista lateral derecha. Quebrada Vaquillas Altas, Región de Antofagasta. Formación El Profeta, Sinemuriano medio a superior.





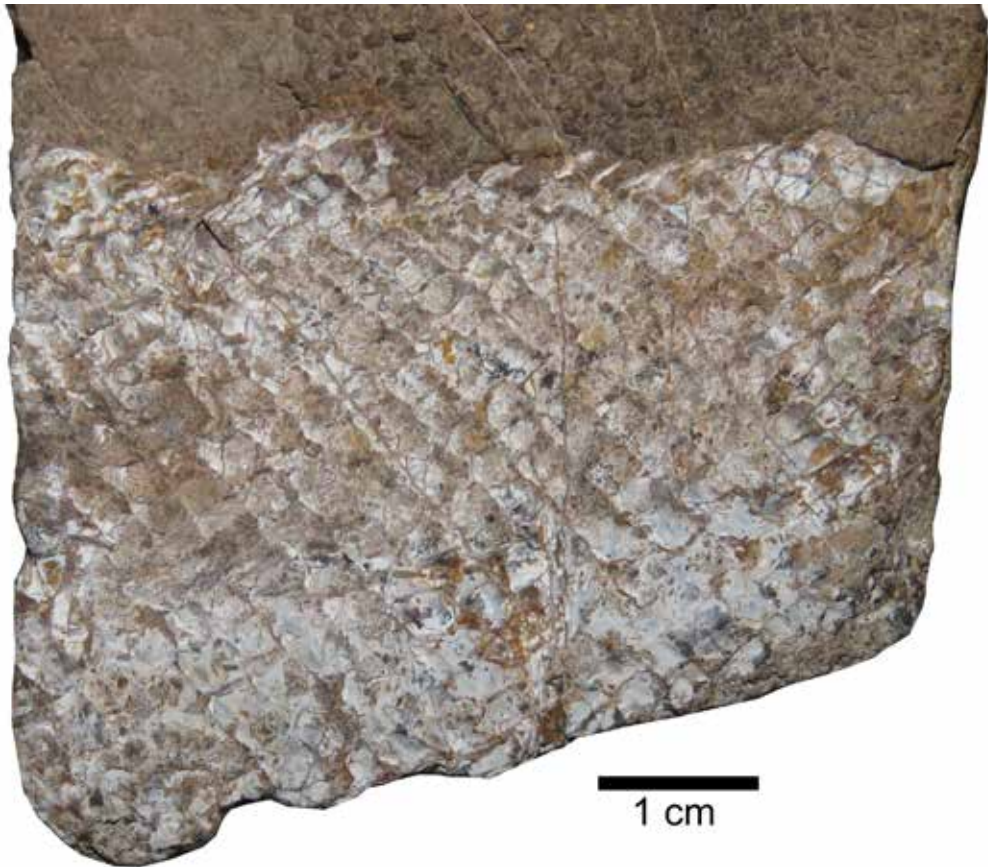
Superdivisión Neopterygii Regan 1923  
Semionotiformes Arambourgh y Bertin, 1958

**Semionotiformes indet.  
(Figura 28)**

**Material:** MUHNCAL.20233. Impresión parcial del cuerpo.

**Ocurrencia local:** Cerro Quimal, suroeste de San Pedro de Atacama.

**Unidad litoestratigráfica y edad:** Estratos El Bordo. Triásico superior (227-201 millones de años atrás).



**Figura 28:** Semionotiformes indet.: MUHNCAL.20233, impresión parcial del cuerpo. Cerro Quimal, Región de Antofagasta. Estratos El Bordo, Triásico superior



Semionotidae Woodward, 1890  
Género *Lepidotes* Agassiz, 1832

**'*Lepidotes*' sp.**  
**(Figura 29)**

**Material:** MUHNCAL.20011. Impresión parcial del cuerpo.

**Ocurrencia local:** Cerro Quimal, suroeste de San Pedro de Atacama.

**Unidad litoestratigráfica y edad:** Estratos El Bordo. Triásico superior (227-201 millones de años atrás).



**Figura 29:** '*Lepidotes*' sp.: MUHNCAL.20011, espécimen que preserva escamas y aleta dorsal articuladas, proveniente de rocas de edad oxfordiana expuestas en Cerritos Bayos, cercanías de Calama.



Aspidorhynchiformes Bleeker, 1859  
Aspidorhynchidae Nicholson y Lydekker, 1889  
Género *Pseudovinctifer* Arratia, 2015

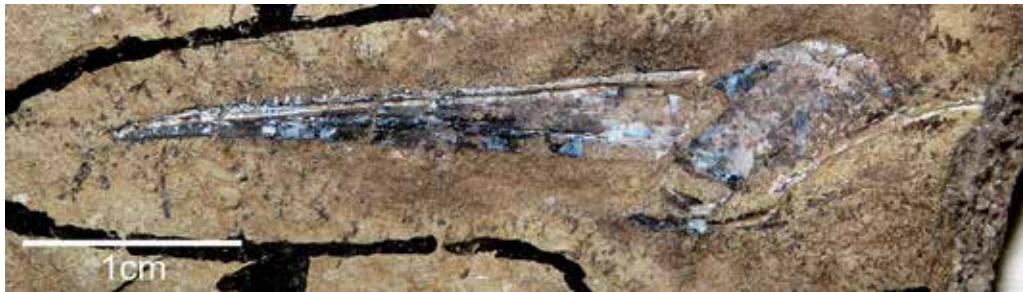
***Pseudovinctifer chilensis* Arratia, 2015  
(Figura 30)**

**Holotipo:** SGO.PV.22401. Mandíbula inferior en vista lateral.

**Paratipos:** SGO.PV.22402. Cleitro y opérculo en vista lateral; SGO.PV.22403. Cleitro.

**Localidad:** Lomas Negras, oeste de El Tatio, Región de Antofagasta.

**Unidad litoestratigráfica y edad:** Formación Lomas Negras, Cretácico inferior.



**Figura 30:** *Pseudovinctifer chilensis* Arratia, 2015: SGO.PV.22401, holotipo. Mandíbula inferior en vista lateral. Lomas Negras, Región de Antofagasta. Formación Lomas Negras, Cretácico inferior.



Varasichthyidae Arratia, 1981  
Género *Protoclupea* Arratia et al., 1975b

***Protoclupea chilensis* Arratia, Chong y Chang, 1975b  
(Figura 31)**

**Holotipo:** SGO.PV.1147. Especimen casi completo en concreción.

**Localidad:** Quebrada Aguada Chica, Región de Antofagasta.

**Unidad litoestratigráfica y edad:** Formación El Profeta, Oxfordiano.



**Figura 31:** *Protoclupea chilensis* Arratia et al., 1975c: SGO.PV.1147, holotipo. Especimen en concreción. Quebrada Aguada Chica, Región de Antofagasta. Formación El Profeta, Oxfordiano.



***Protoclupea atacamensis* Arratia y Schultze, 1985  
(Figura 32)**

**Holotipo:** SGO.PV.1146. Espécimen casi completo en concreción.

**Localidad:** Quebrada El Profeta, Región de Antofagasta.

**Unidad litoestratigráfica y edad:** Formación El Profeta, Oxfordiano.



**Figura 32:** *Protoclupea atacamensis* Arratia y Schultze, 1985: SGO.PV.1146, holotipo. Espécimen en concreción. Quebrada El Profeta, Región de Antofagasta. Formación El Profeta, Oxfordiano.



Género *Bobbichthys* Arratia., 1986

***Bobbichthys opercularis* (Arratia et al., 1975a)  
(Figura 33)**

**Holotipo:** SGO.PV.306. Espécimen completo en concreción.

**Localidad:** Sierra de Varas, Región de Antofagasta.

**Unidad litoestratigráfica y edad:** Formación El Profeta, Oxfordiano.



**Figura 33:** *Bobbichthys opercularis* (Arratia et al., 1975a): SGO.PV.306, holotipo. Espécimen en concreción. Sierra de Varas, Región de Antofagasta. Formación El Profeta, Oxfordiano.



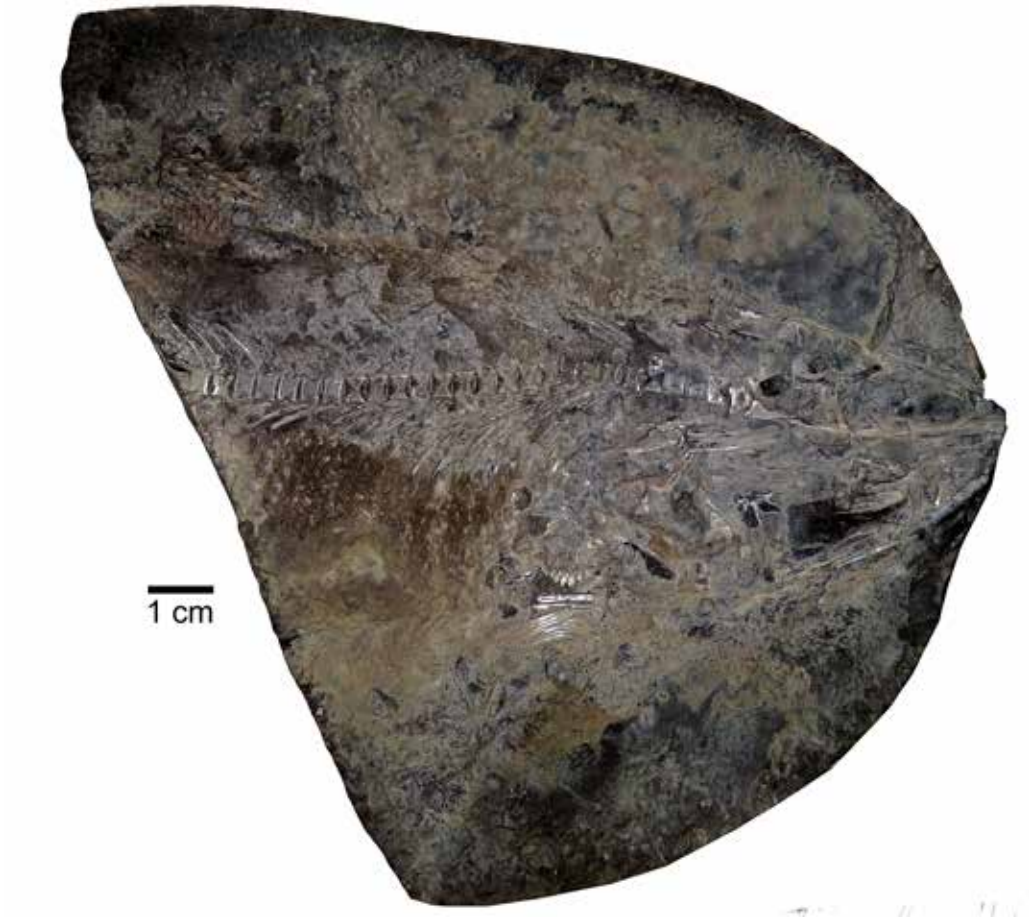
Género *Chongichthys* Arratia, 1982

***Chongichthys dentatus* Arratia, 1982  
(Figura 34)**

**Holotipo:** SGO.PV.1145. Cráneo y parte del tronco, en concreción.

**Localidad:** Quebrada El Profeta, Región de Antofagasta.

**Unidad litoestratigráfica y edad:** Formación El Profeta, Oxfordiano.



**Figura 34:** *Chongichthys dentatus* Arratia, 1982: SGO.PV.1145, holotipo. Especimen en concreción. Quebrada El Profeta, Región de Antofagasta. Formación El Profeta, Oxfordiano.



Pycnodontiformes Berg, 1937  
Gyrodontoidei Nursall, 1996  
Gyrodontidae Nursall, 1996  
Género *Gyrodus* Agassiz, 1833

***Gyrodus* sp.  
(Figura 35)**

**Material:** SGO.PV.303

**Localidad:** Quebrada El Profeta, Región de Antofagasta.

**Unidad litoestratigráfica y edad:** Formación El Profeta, Oxfordiano.



**Figura 35:**  
*Gyrodus* sp.:  
SGO.PV.303,  
cráneo parcial  
en vista lateral  
derecha.  
Quebrada El  
Profeta, Región  
de Antofagasta.  
Formación  
El Profeta,  
Oxfordiano.





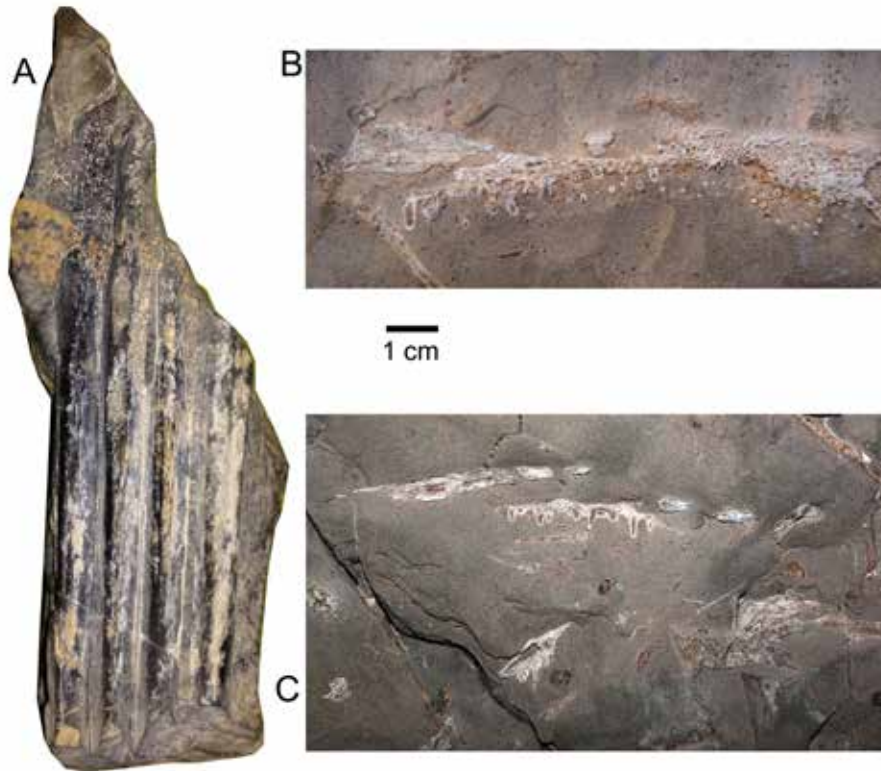
Pachycormiformes Berg, 1937  
Género *Leedsichthys* Woodward, 1895

***Leedsichthys* sp.  
(Figura 36)**

**Material:** MUHNCAL.20006, restos de arcos branquiales. MUHNCAL.20150, fragmento de rayos de aleta, articulados. MUHNCAL.20164, restos de arcos branquiales semiarticulados. MUHNCAL.20179, gran concreción con restos de rastrillos branquiales.

**Localidad:** Restos recuperados en distintas localidades dentro de Cerritos Bayos: Cerro Campamento, Biese 3, Loma Larga Sur y Quebrada Campamento.

**Unidad litoestratigráfica y edad:** Formación Cerro Campamento (Duhart et al., 2018), Oxfordiano.



**Figura 36:** restos referibles a *Leedsichthys* sp. A) MUHNCAL.20150, fragmento de aleta. B, C) MUHNCAL.20179, rastrillos branquiales. Cerro Campamento, Formación Cerro Campamento, Oxfordiano.



Diapsida Osborn, 1903  
Archosauria Cope, 1869  
Pseudosuchia Zittel 1887  
Suchia Krebs, 1974  
Aetosauria Lydekker, 1889  
Género *Chilenosuchus* Casamiquela, 1980

***Chilenosuchus forttae* Casamiquela, 1980  
(Figura 37)**

**Sintipo:** SNGM 987. Esqueleto parcial desarticulado, incluyendo placas dérmicas.

**Localidad:** Cerro Quimal, suroeste de San Pedro de Atacama.

**Unidad litoestratigráfica y edad:** Estratos El Bordo. Triásico superior (227-201 millones de años atrás).



**Figura 37:** *Chilenosuchus forttae* (Casamiquela, 1980): SNGM 987, Sintipo. Tomado de Casamiquela, 1980. Sierra de Quimal, Estratos de El Bordo. Triásico superior. Barra de escala = 5 cm.



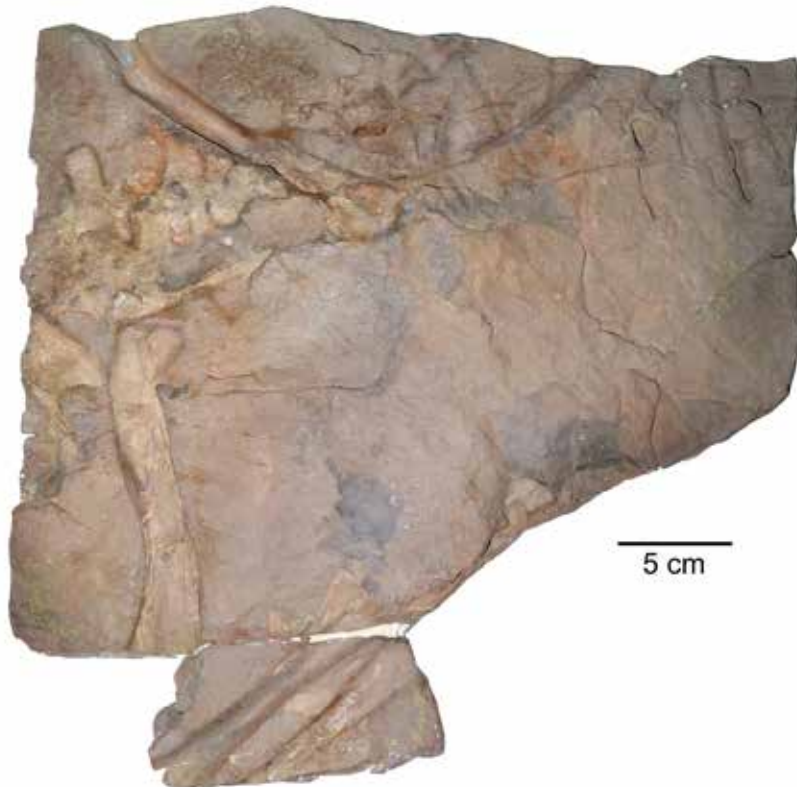
Avemetatarsalia Benton, 1999  
Ornithodira Gauthier, 1986  
Dinosauromorpha Benton, 1985  
Silesauridae Langer et al., 2010

**Silesauridae indet.  
(Figura 38)**

**Material:** SGO.PV.22250. Esqueleto parcial preservando la parte posterior del tronco, la pélvis, ambos fémora y parte de otros elementos apendiculares posteriores.

**Localidad:** Cerro Quimal, suroeste de San Pedro de Atacama.

**Unidad litoestratigráfica y edad:** Estratos El Bordo. Triásico superior (227-201 millones de años atrás).



**Figura 38:** Silesauridae indet.: SGO.PV.22250. Cerro Quimal, Región de Antofagasta. Estratos El Bordo. Triásico superior.



Crocodyliformes Hay, 1930  
Thalattosuchia Frass, 1902  
Metriorhynchoidea Fitzinger, 1843

**Metriorhynchoidea indet.  
(Figura 39)**

**Material:** T-330, cráneo sin rostro.

**Localidad:** Quebrada de La Iglesia, interior de Copiapó.

**Unidad litoestratigráfica y edad:** Formación Lautaro. Bajociano inferior, aproximadamente 170 millones de años atrás.



**Figura 39:** Metriorhynchoidea indet. T-330, cráneo en vista dorsal. Quebrada de La Iglesia, interior de Copiapó, Región de Atacama. Quebrada de La Iglesia, Región de Atacama. Formación Lautaro. Bajociano.



Metriorhynchidae Fitzinger, 1843  
Geosaurinae Lydekker, 1889  
Género *Metriorhynchus* von Meyer, 1830

**'*Metriorhynchus*' sp.**  
**(Figura 40)**

**Material:** SGO.PV.249, cráneo sin rostro.

**Localidad:** Sierra de Moreno, norte de Calama.

**Unidad litoestratigráfica y edad:** Formación Quinchamale. Caloviano (166 a 163 millones de años atrás).



**Figura 40:** '*Metriorhynchus*' sp. SGO.PV.249, cráneo sin rostro en vista dorsal. Sierra de Moreno, Región de Antofagasta. Formación Quinchamale. Caloviano.



**'*Metriorhynchus*' casamiquelai Gasparini y Chong, 1977  
(Figura 41)**

**Holotipo:** MGHF 1-080573 (ex IIG 1-080573). Cráneo completo.

**Localidad:** Quebrada Sajasa, norte de Calama.

**Unidad litoestratigráfica y edad:** Formación Quinchamale. Caloviano medio (166 a 163 millones de años atrás).



**Figura 41:** '*Metriorhynchus*' casamiquelai Gasparini y Chong, 1977: MGHF 1-080573 (ex IIG 1-080573), holotipo. Quebrada Sajasa, Región de Antofagasta. Formación Quinchamale. Caloviano medio.



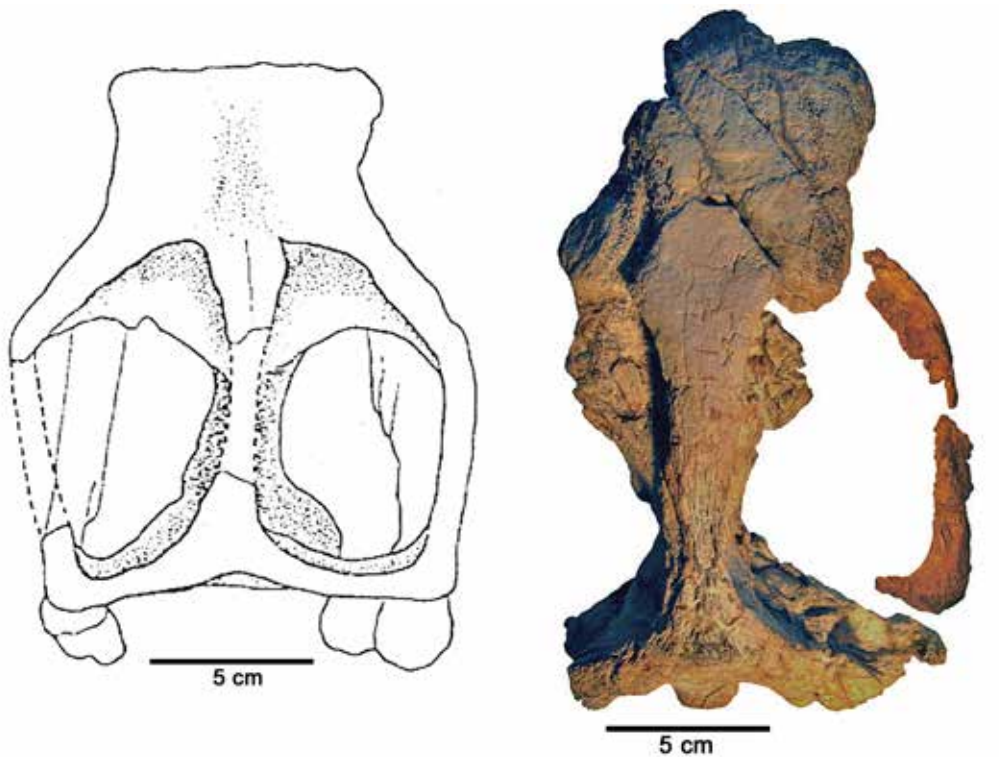
**'Metriorhynchus' westermanni Gasparini, 1980  
(Figura 42)**

**Holotipo:** MGHF 1-010199 (McMJ 1151r). Cráneo y mandíbula sin rostro.

**Material referido:** MDA-1

**Localidad:** Sierra de Moreno, norte de la ciudad de Calama.

**Unidad litoestratigráfica y edad:** Formación Quinchamale. Caloviano medio (166 a 163 millones de años atrás).



**Figura 42:** '*Metriorhynchus*' *westermanni* Gasparini, 1980: Izquierda, MGHF 1-010199, holotipo. Derecha, MDA-1, parte posterior del cráneo de un individuo referido a la misma especie. Modificado de Gasparini et al. (2000) y Gasparini et al. (2008). Sierra de Moreno, Región de Antofagasta. Formación Quinchamale. Caloviano medio.



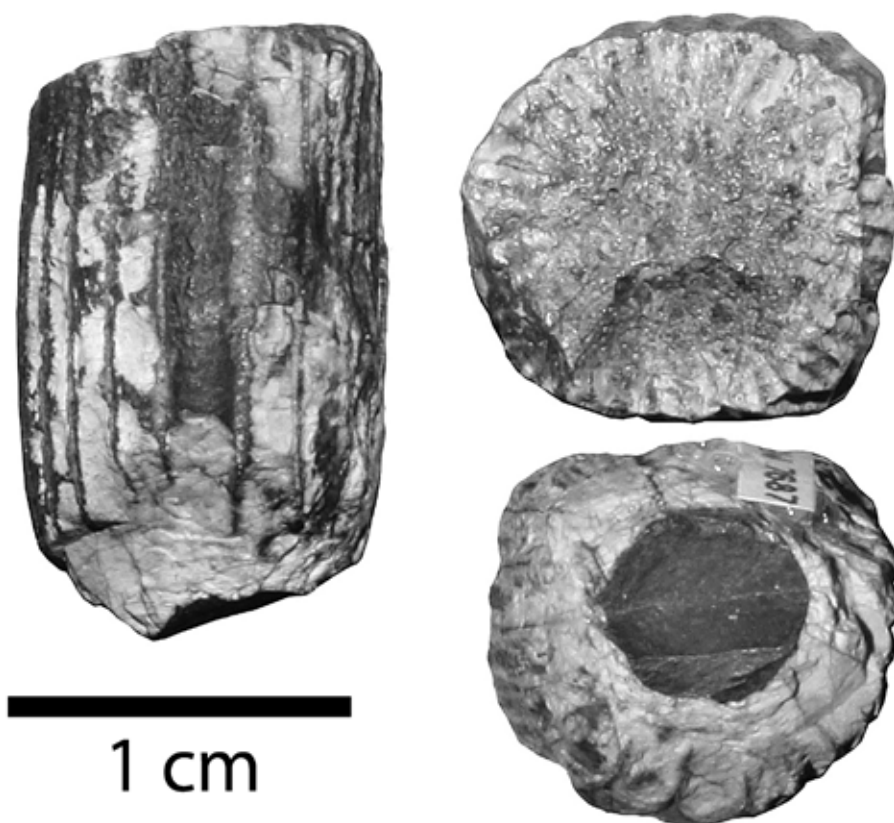
Diapsida Osborn, 1903  
Ichthyopterygia Owen, 1840  
Ichthyosauria de Blainville 1835

**Ichthyosauria indet.  
(Figura 43)**

**Material:** SNGM.7687. Dientes y fragmentos de cráneo y aletas.

**Localidad:** Quebrada Doña Inés Chica, Región de Atacama.

**Unidad litoestratigráfica y edad:** Formación el Profeta, Triásico superior (195 a 190 millones de años atrás).



**Figura 43:** Ichthyosauria indet. SNGM.7687, diente en vista lateral (izquierda), oclusal (derecha, arriba) y basal (derecha, abajo). Quebrada Doña Inés Chica, Región de Atacama. Formación el Profeta, Triásico superior. Modificado de Pardo-Pérez et al., (2015).





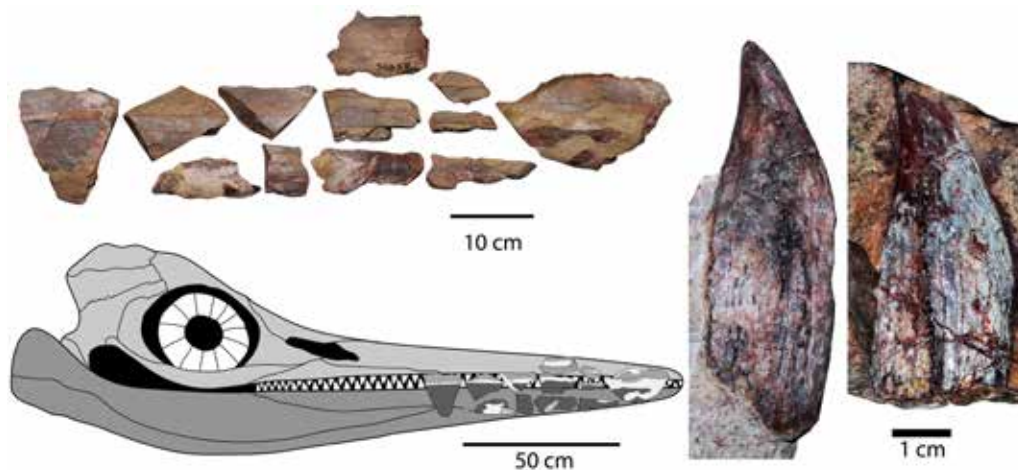
Parvipelvia Motani, 1999  
Temnodontosauridae Mcgowan, 1974  
Género *Temnodontosaurus* Lydekker, 1889

***Temnodontosaurus* sp.  
(Figura 44)**

**Material:** SGO.PV.324. Fragmentos de un rostro de gran tamaño, incluyendo 11 dientes.

**Localidad:** Sur de Mantos Blancos, Región de Antofagasta.

**Unidad litoestratigráfica y edad:** Estratos de Rencoret, niveles superiores. Sinemuriano medio a superior (195 a 190 millones de años atrás).



**Figura 44:** *Temnodontosaurus* sp.: SGO.PV.324, fragmentos rostrales incluyendo dientes. Se muestra en esquema abajo la ubicación relativa de los fragmentos. Mantos Blancos, Región de Antofagasta. Estratos de Rencoret, Sinemuriano.



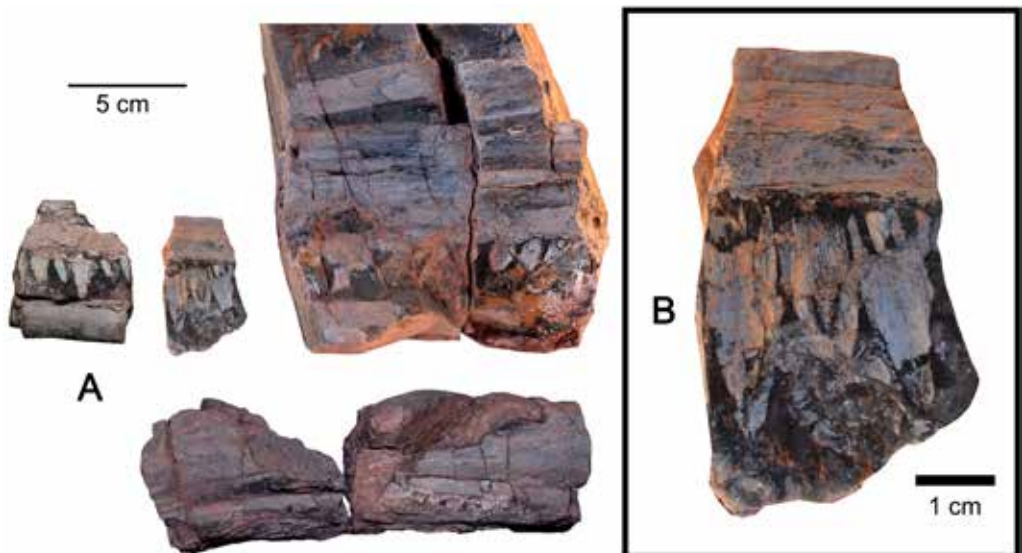
Thunnosauria Motani, 1999  
Ophthalmosauridae Baur, 1887

**Ophthalmosauridae indet.  
(Figura 45)**

**Material:** MUHNCAL.20189, rostro fragmentado, preservado en tres dimensiones, incluyendo parte de la premaxila, maxila, dentario, palatino y varios dientes bien preservados. El espécimen incluye otras porciones anatómicas sin preparar aún.

**Localidad:** Cerro Campamento, oeste de la ciudad de Calama.

**Unidad litoestratigráfica y edad:** Formación Cerro Campamento, Oxfordiano.



**Figura 45:** Ophthalmosauridae indet.: MUHNCAL.20189. A) Fragmentos rostrales incluyendo dientes, premaxila maxila, posiblemente nasal, y palatino, más múltiples dientes. B) Detalle de los dientes. Cerro Campamento, oeste de la ciudad de Calama. Formación Cerro Campamento. Oxfordiano.



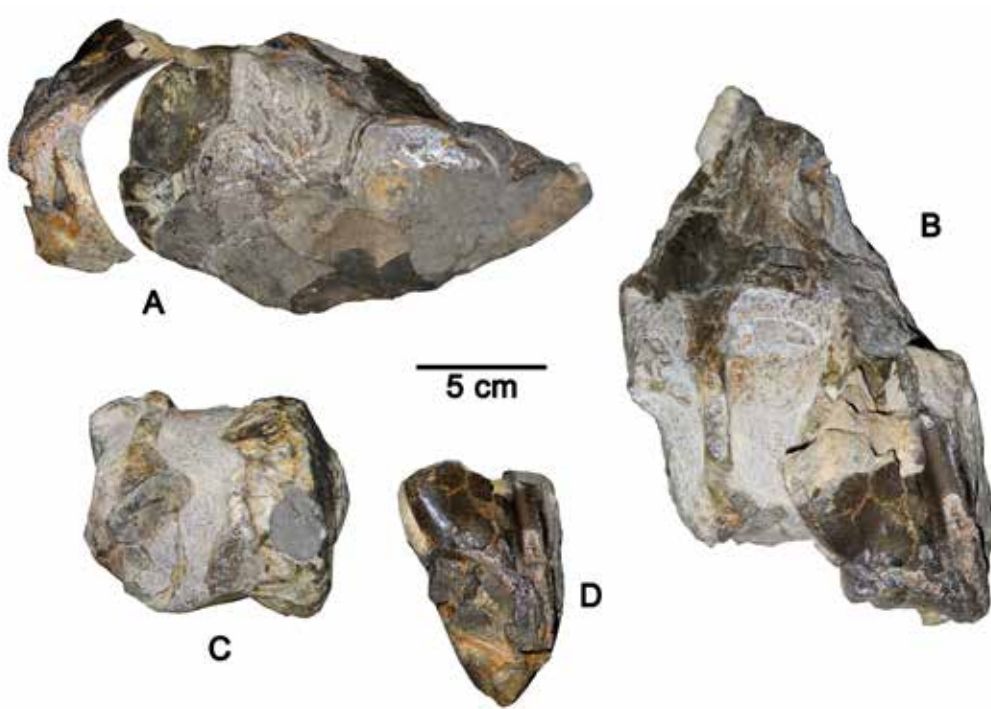
Ophthalmosaurinae Baur, 1887 sensu Fischer et al., 2012.

**Ophthalmosaurinae indet.  
(Figura 46)**

**Material:** MUHNAL.20187, parte posterior derecha del cráneo, incluyendo la órbita, anillo esclerótico, margen dorsal de la narina exterior, parte dorsoposterior de la fosa temporal (impresión del escamoso y posfrontal), impresión del 'estribo' (stape) derecho, fragmento de un exoccipital y fragmentos de costillas asociados.

**Localidad:** Cerro Amarillo, suroeste de la ciudad de Calama.

**Unidad litoestratigráfica y edad:** Formación Cerro Campamento, Oxfordiano.



**Figura 46:** Ophthalmosaurinae indet.: MUHNAL.20187, cráneo parcial. A) Vista lateral. La matriz del bloque complementario ha sido digitalmente removida para visualizar el anillo esclerótico. B) Vista dorsal. C) Vista posterior de ambos bloques complementarios. Cerro Amarillo, Región de Antofagasta. Formación Cerro Campamento, Oxfordiano.



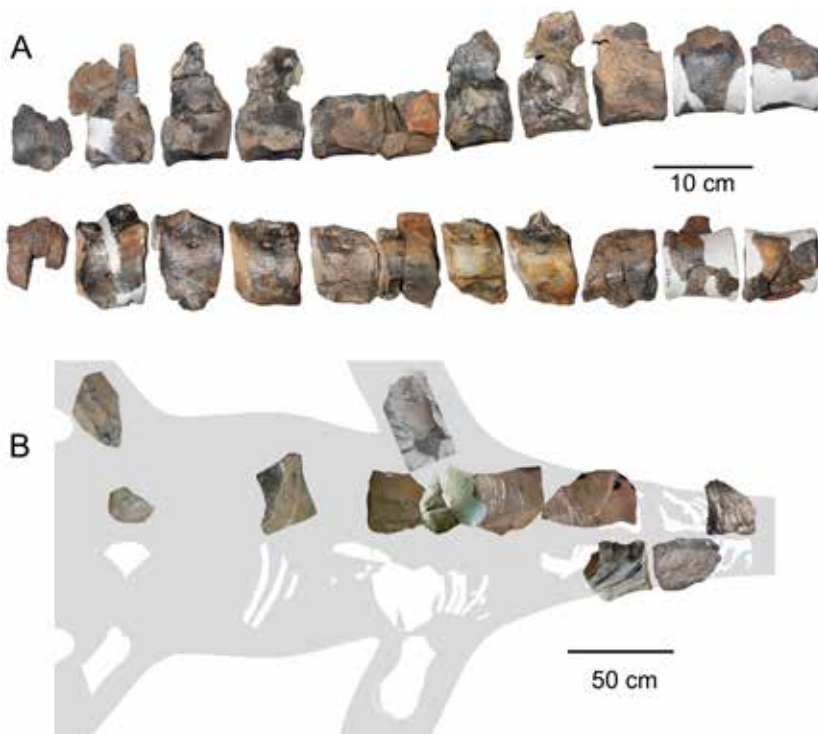
Sauropterygia Owen, 1860  
Plesiosauria de Blainville, 1835  
Plesiosauroidea Welles, 1943  
Cryptoclididae Williston, 1925  
Género *Muraenosaurus* Seeley, 1874a

***Muraenosaurus* sp.  
(Figura 47)**

**Material:** MUHNCAL.20174, serie vertebral articulada. MUHNCAL.20176, esqueleto poscranéal articulado, preservando moldes de al menos ocho vértebras cervicales posteriores, ambos húmeros, parte de un coracoides, costillas cervicales, pectorales y dorsales anteriores.

**Localidad:** MUHNCAL.20174, Cerro Amarillo, este de la ciudad de Calama. MUHNCAL.20176, localidad informal 'Biese 3', 800 m al sur del Río Loa, Cerritos Bayos, ciudad de Calama.

**Unidad litioestratigráfica y edad:** Formación Cerro Campamento, Oxfordiano inferior.



**Figura 47:**  
*Muraenosaurus*  
sp.: A)  
MUHNCAL.20176.  
Serie vertebral  
cervical-dorsal  
articulada, en  
vista lateral  
izquierda  
(arriba) y ventral  
(abajo). Cerro  
Amarillo, ciudad  
de Calama. B)  
MUHNCAL.20176.  
Esqueleto parcial.  
Localidad Biese  
3, Región de  
Antofagasta.  
Formación Cerro  
Campamento,  
Oxfordiano  
inferior.



Género *Vinialesaurus* Gasparini et al., 2001

***Vinialesaurus* sp.  
(Figura 48)**

**Material:** MUHNCAL.20205. Rama mandibular derecha incompleta.

**Localidad:** Localidad informal 'Biese 3', 800 m al sur del Río Loa, Cerritos Bayos, ciudad de Calama.

**Unidad de proveniencia y edad:** Formación Cerro Campamento, Caloviano-Oxfordiano.



**Figura 48:** *Vinialesaurus* sp.: MUHNCAL.20205. Fragmento de mandíbula. Localidad Biese 3, Región de Antofagasta. Formación Cerro Campamento, Oxfordiano inferior.



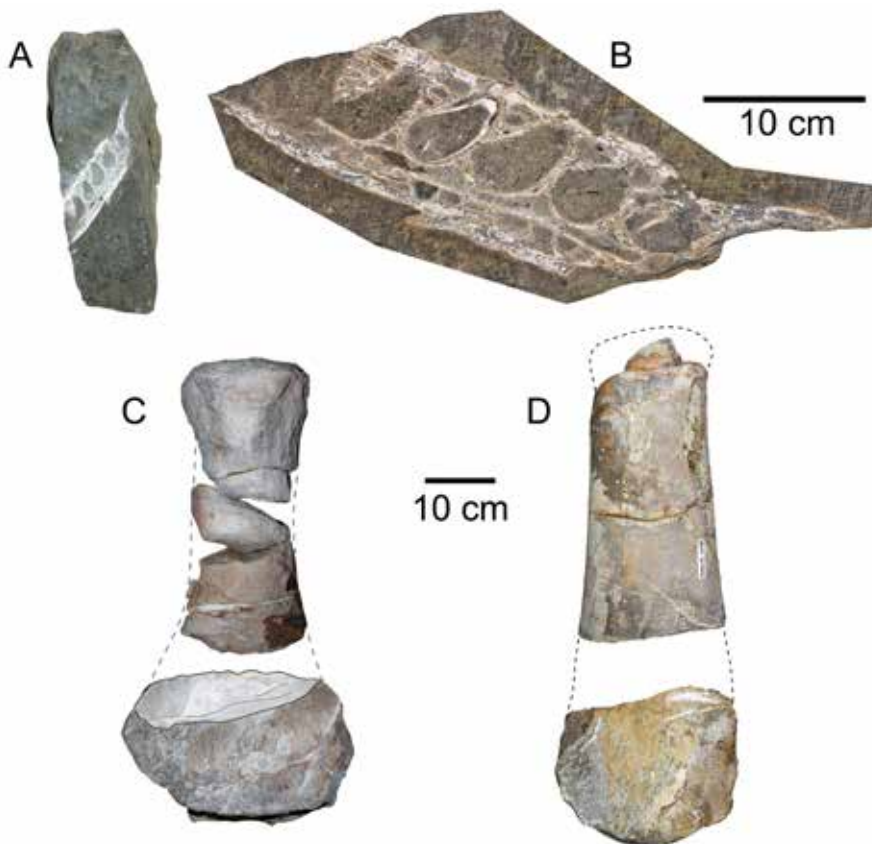
Pliosauridae Seeley, 1874b

**Pliosauridae indet.  
(Figura 49)**

**Material:** MUHNCAL.20181. Fragmento de dentario izquierdo. MUHNCAL.20188. Restos de un húmero y un fémur.

**Localidad:** MUHNCAL.20181 proviene de Loma Larga Sur, 20 km al WSW de Calama. MUHNCAL.20188 proviene de la ocalidad informal 'Biese 3', 800 m al sur del Río Loa, Cerritos Bayos, Calama.

**Unidad de proveniencia y edad:** Formación Cerro Campamento, Oxfordiano.



**Figura 49:** Pliosauridae indet.: MUHNCAL.20181. A) vista general del bloque. B) Detalle del dentario izquierdo. MUHNCAL.20188. C) Húmero. D) Fémur. Localidad Biese 3, Formación Cerro Campamento, Oxfordiano inferior.



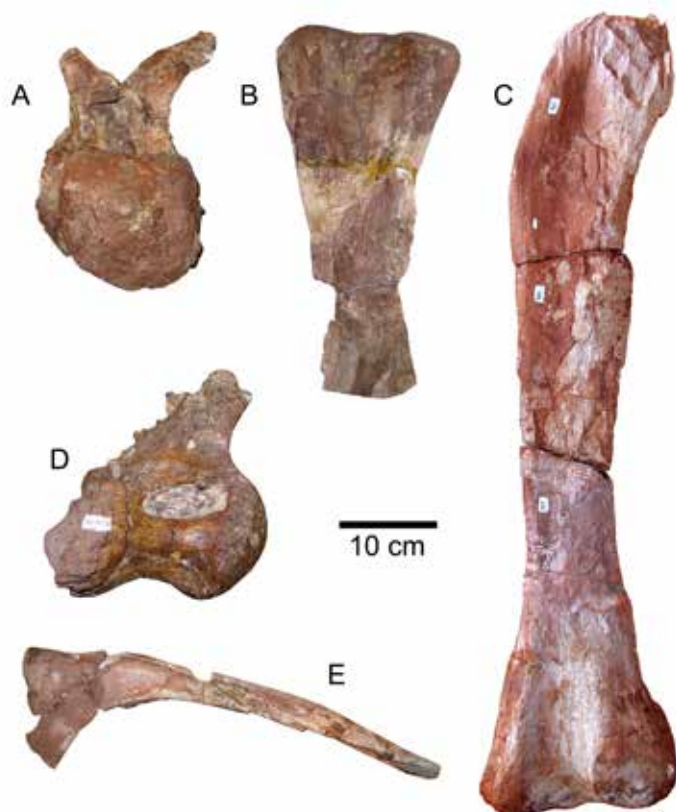
Dinosauria Owen, 1842  
Saurischia Seeley, 1887  
Sauropodomorpha Von Huene, 1932  
Sauropoda Marsh, 1878  
Titanosauria Bonaparte y Coria, 1993  
Género *Atacamatitan* Kellner et al., 2011

***Atacamatitan chilensis* Kellner et al., 2011  
(Figura 50)**

**Holotipo:** SGO.PV.961. Fémur derecho, parte proximal de un húmero, dos vértebras dorsales, una vértebra caudal posterior, costillas dorsales, un posible esternón y otros restos óseos incompletos.

**Localidad:** Cercanías de Conchi Viejo, Región de Antofagasta.

**Unidad de proveniencia y edad:** Formación Tolar, Cretácico Superior indiferenciado.



**Figura 50:** Página anterior.  
*Atacamatitan chilensis*  
Kellner et al., 2011. SGO.  
PV.961, Holotipo. A, D)  
vértebras dorsales. B)  
Fragmento proximal  
de húmero. C) Fémur  
derecho. E) Costilla.  
El Abra, Región de  
Antofagasta. Formación  
Tolar, Cretácico Superior.



## Bibliografía

- Agassiz, L. 1832.** Untersuchungen über die fossilen Fische der Lias-Formation. Jahrbuch für Mineralogie, Geognosie, Geologie und Petrefaktenkunde 3:145.
- Agassiz, L. 1837.** Recherches sur les poissons fossiles. Neuchatel, 1833-1843-139.
- Arambourg, C.; Bertin, L. 1958.** Superordres des Holostéens et des Halécostomes (Holostei et Halecostomi). *Traité de Zoologie*. XIII, 2173-2203. Paris.
- Arratia, G. 1981.** *Varasichthys ariasi* n. gen. et sp. from the Upper Jurassic from Chile (Pisces, Teleostei, Varasichthyidae n. fam.). *Palaeontographica A* 175:107-139.
- Arratia, G. 1982.** *Chongichthys dentatus*, new genus and species, from the Late Jurassic of Chile (Pisces: Teleostei: Chongichthyidae, new family), *Journal of Vertebrate Paleontology* 2:133-149.
- Arratia, G. 2015.** Los peces osteíctios fósiles de Chile y su importancia en los contextos paleobiogeográfico y evolutivo. In: Rubilar-Rogers, D.; Otero, R.A.; Vargas, A.; Sallaberry, M. (eds.), *Vertebrados Fósiles de Chile*. Publicación Ocasional del Museo Nacional de Historia Natural, Chile, 63:35-83.
- Arratia, G.; Chang, A.; Chong, G. 1975a.** *Leptolepis opercularis* n. sp. of the Upper Jurassic from Chile. *Ameghiniana* 12:350-358.
- Arratia, G.; Chang, A.; Chong, G. 1975b.** Sobre un pez fósil del Jurásico de Chile y sus relaciones con clupeidos sudamericanos vivientes. *Revista Geológica de Chile* 2:20-31.
- Arratia, G.; Chang, A.; Chong, G. 1975c.** *Pholidophorus domeykanus* n. sp. del Jurásico de Chile. *Revista Geológica de Chile* 2:1-19.
- Arratia, G.; Schultze, H.P. 1985.** Late Jurassic teleosts (Actinopterygii, Pisces) from northern Chile and Cuba. *Palaeontographica A* 189:29-61.
- Arratia, G.; Schultze, H. P. 2015.** A new fossil actinistian from the Early Jurassic of Chile and its bearing on the phylogeny of Actinistia. *Journal of Vertebrate Paleontology* e983524: 12 p.
- Baur G. 1887.** On the morphology and origin of the Ichthyopterygia. *American Naturalist* 21: 837-840.
- Benton, M.J. 1985.** Classification and phylogeny of diapsid reptiles. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 84, 97-164.
- Benton, M.J. 1999.** *Scleromochlus taylori* and the origin of dinosaurs and pterosaurs. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 354:1423-1446.
- Berg, L.S. 1937.** A classification of fish-like vertebrates. *Bulletin of the Academy of Sciences of the URSS (Cl. Sci. math. Natur.)* 1937:1277-1280. [En inglés con resumen en Ruso].





- Bleeker, P. 1859.** Enumeratio specierum piscium hucusque in Archipelago indico observatarum. Acta Societatis scientiarum Indo-Neerlandae, 6: i-xxxvi, 1-276.
- Bonaparte, C.L. 1838.** Selachorum tabula analytica, Systema Ichthyologicum. Memoires de la Societe Neuchateloise des Sciences Naturelles, 2:1-16.
- Bonaparte, J. F.; Coria, R.A. 1993.** Un Nuevo y gigantesco saurópodo Titanosaurio de la Formación Río Limay (Albiano-Cenomaniano) de la provincia del Neuquén, Argentina. Ameghiniana 30:271-282.
- Breitkreutz, C. 1986.** Das Paläozoikum in den Kordilleren Nordchiles (21°-25°S). Geotektonische Forschungen 70: 1-88. .
- Casamiquela, R. 1980.** Notas sobre restos de un reptil aetosauroideo (Thecodontia, Aetosauria) de Quimal, Cordillera de Domeyko, Antofagasta. Prueba de la existencia del Neotriásico continental en los Andes del Norte de Chile. En: Actas del Congreso Argentino de Paleontología y Bioestratigrafía, No. 2, y Congreso Latinoamericano de Paleontología, N.º 1. Buenos Aires, 135-142.
- Cope, E.D. 1869.** On the reptilian orders, Pythonomorpha and Streptosauria. Proceedings of the Boston Society of Natural History 12: 250-266.
- Cope, E.D. 1871.** Contribution to the ichthyology of the Lesser Antilles. Transactions of the American Philosophical Society 14:445-483.
- de Blainville, H.M.D. 1835.** Description de quelques espèces de reptiles de la Californie précédé de l'analyse d'un système général d'erpétologie et d'amphibiologie. Nouvelles Annales du Muséum d'Histoire Naturelle de Paris, Série 3, 4:233-296.
- Duhart, P.; Muñoz, J.; Quiróz, D.; Mestre, A.; Varas, G. 2018.** Carta Sierra Gorda, Región de Antofagasta. Carta Geológica de Chile N.º 198, mapa Escala 1:100.000. Servicio Nacional de Geología y Minería, 84 p. Santiago.
- Fischer, V.; Maisch, M.W.; Naish, D.; Kosma, R.; Liston, J.; Joger, U.; Krüger, F.J.; Tainsh, J.; Appleby, R.M. 2012.** New Ophthalmosaurid Ichthyosaurs from the European Lower Cretaceous Demonstrate Extensive Ichthyosaur survival across the Jurassic--Cretaceous Boundary. PLoS One 7: 1-23.
- Fitzinger, L.J.F.J. 1843.** Systema reptilium. Wien: Braumüller et Seidel.
- Fraas E. 1902.** Die Meer-Krocodilier (Thalattosuchia) des oberen Jura unter specieller berücksichtigung von Dacosaurus und Geosaurus. Paleontographica 49:1-72.
- Gasparini, Z. 1980.** Un nuevo cocodrilo marino (Crocodylia, Metriorhynchidae) del Caloviano del norte de Chile. Ameghiniana 17:97-103.
- Gasparini, Z.; Chong, G. 1977.** *Metriorhynchus casamiquelai* n. sp. (Crocodylia, Thalattosuchia), a marine crocodile from the Jurassic (Callovian) of Chile, South America. Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie 153:431-464.
- Gasparini, Z., N. Bardet, and M. Iturralde-Vinent. 2001.** A new cryptoclidid Plesiosaur from the Oxfordian (Late Jurassic) of Cuba. Geobios 35:201-211.



- Gasparini, Z.; Vignaud, P.; Chong, G. 2000.** The Jurassic Thalattosuchia (Crocodyliformes) of Chile: a paleobiogeographic approach. *Bulletin Société Géologique de France* 171:657–664.
- Gasparini, Z.; Carabajal, A.P.; Chong, G. 2008.** Un nuevo espécimen de cocodrilo marino del Jurásico Medio del norte de Chile: revalidación de *Metriorhynchus westermanni* (Crocodyliformes: Metriorhynchidae). *Revista Geológica de Chile* 35: 335–346.
- Gauthier, J.A. 1986.** Saurischian monophyly and the origin of birds. *Memoirs of the California Academy of Science*, 8:1–55.
- Hay, O.P. 1930.** Second bibliography and catalogue of the fossil vertebrata of North America 2. Washington, DC: Carnegie Institute Washington.
- Huxley, T.H. 1861.** Preliminary essay upon the systematic arrangement of the fishes of the Devonian epoch. *Memoirs of the Geological Survey of the United Kingdom, Decade 10*:1–40.
- Huxley, T.H. 1880.** On the application of the laws of evolution to the arrangement of the Vertebrata, and more particularly of the Mammalia. *Proceedings of the Zoological Society of London* 43: 649–661.
- Krebs, B. 1974.** Die Archosaurier. *Naturwissenschaften*. 61:17–24.
- Langer, M.C.; Ezcurra, M.D.; Bittencourt, J.S.; Novas, F.E. 2010.** The origin and early evolution of dinosaurs. *Biological Reviews* 85:55–110.
- Lydekker R. 1889.** On the remains and affinities of five genera of Mesozoic reptiles. *Quarterly Journal of the Geological Society* 45: 41–59.
- Maisey, J.G. 1987.** Cranial anatomy of the lower Jurassic shark *Hybodus reticulatus* (Chondrichthyes: Elasmobranchii), with comments on hybodontid systematics. *American Museum Novitates*, 2878:1–39.
- Marsh, O.C. 1878.** Principal characters of American Jurassic dinosaurs. *American Journal of Science, Series 3*, 16:411–416.
- McGowan, C. 1974.** A revision of the longipinnate ichthyosaurs of the Lower Jurassic of England, with descriptions of two new species (Reptilia: Ichthyosauria). *Life Sciences Contributions, Royal Ontario Museum* 97:1–37.
- Motani, R. 1999.** Phylogeny of the Ichthyopterygia. *Journal of Vertebrate Paleontology* 19:473–496.
- Nicholson, H.A.; Lydekker, R. 1889.** A manual of palaeontology. 2nd. edition. Edinburgh and London, p. 1–1624.
- Nursall, J. R. 1996.** The phylogeny of pycnodont fishes. En: Arratia G.; Viehl, G. (Eds.), *Mesozoic Fishes—Systematics and Paleoecology*, pp. 125–152. Verlag Dr. Friedrich Pfeil, München, Germany.
- Otero, R.A.; Alarcón-Muñoz, J.; Soto-Acuña, S.; Rojas, J.; Rojas, O.; Ortiz, H. 2020.** Cryptoclidid plesiosaurs (Sauropterygia, Plesiosauria) from the Upper Jurassic of the Atacama Desert. *Journal of Vertebrate Paleontology* 40: e1764573, 14 p.



- Osborn, H.F. 1903.** The reptilian subclasses Diapsida and Synapsida and the early history of the Diaptosauria. *Memoirs of the American Museum of Natural History* 1:451–507.
- Owen, R. 1840.** *Odontography or, a Treatise of the Comparative Anatomy of the Teeth*. Vol 1, Hippolyte Bailliere, London, 655 pp.
- Owen, R. 1842.** Report on British fossil reptiles. Part II. Report of the Eleventh Meeting of the British Association for the Advancement of Science; Held at Plymouth in July 1841:60–204.
- Owen, R. 1846.** *Lectures on the Comparative Anatomy and Physiology of the Vertebrate Animals*. Part 1. Fishes. XI + 304 pp. (Longman, Brown, Green, and Longmans), London.
- Owen, R. 1860.** On the orders of fossil and recent Reptilia and their distribution in time. *Report of the British Association for the Advancement of Science* 29:153–166.
- Pardo-Pérez, J.; Otero, R.A., Suárez, M.E. 2015.** Síntesis del registro fósil de ictiosaurios (Reptilia: Ichthyosauria) en Chile. En: Rubilar-Rogers, D.; Otero, R.A.; Vargas, A.; Sallaberry, M. (Eds.), *Vertebrados Fósiles de Chile*. Publicación Ocasional del Museo Nacional de Historia Natural, Chile, 63:113–150.
- Seeley, H. G. 1874a.** On *Muraenosaurus leedsii*, a plesiosaurian from the Oxford Clay. Part I. *Quarterly Journal of the Geologic Society of London* 30:197–208.
- Seeley, H.G. 1874b.** Note on some of the generic modifications of the plesiosaurian pectoral arch. *Quarterly Journal of the Geological Society (London)* 30:436–449.
- Seeley, H.G. 1887.** On the classification of the fossil animals commonly called Dinosauria. *Royal Society of London* 43:165–171.
- Regan, C.T. 1923.** The Skeleton of *Lepidosteus*, with remarks on the origin and evolution of the lower Neopterygian Fishes. *Journal of Zoology*. 93: 445–461.
- Romer, A.S. 1955.** Herpetichthyes, Amphibioidei, Choanichthyes or Sarcopterygii? *Nature* 176:126.
- Schultze, H.-P. 1993.** Osteichthyes: Sarcopterygii. En: Benton, M.J. (Ed.), *The Fossil Record* 2, pp. 657–663. Chapman and Hall, London.
- von Huene, F. 1932.** Die fossile Reptile-Ordnung Saurischia, ihre Entwicklung und Geschichte. *Monographien zur Geologie und Palaeontologie* 4:1–361.
- von Meyer, C.E.H. 1830.** Achte Versammlung der Naturforscher und Aerzte zu Heidelberg im September 1829. *Isis von Oken* 1830:517–519.
- Welles, S.P. 1943.** Elasmosaurid plesiosaurs with description of new material from California and Colorado. *Memoirs of the University of California* 13:125–254.
- Williston, S.W. 1925.** *The osteology of reptiles*. Harvard University Press. 324 pp.
- Woodward, A.S. 1890.** The fossil fishes of the Hawkesbury Series at Gosford. *Memoirs of the Geological Survey of New South Wales*. *Palaeontology* 4:1–57.



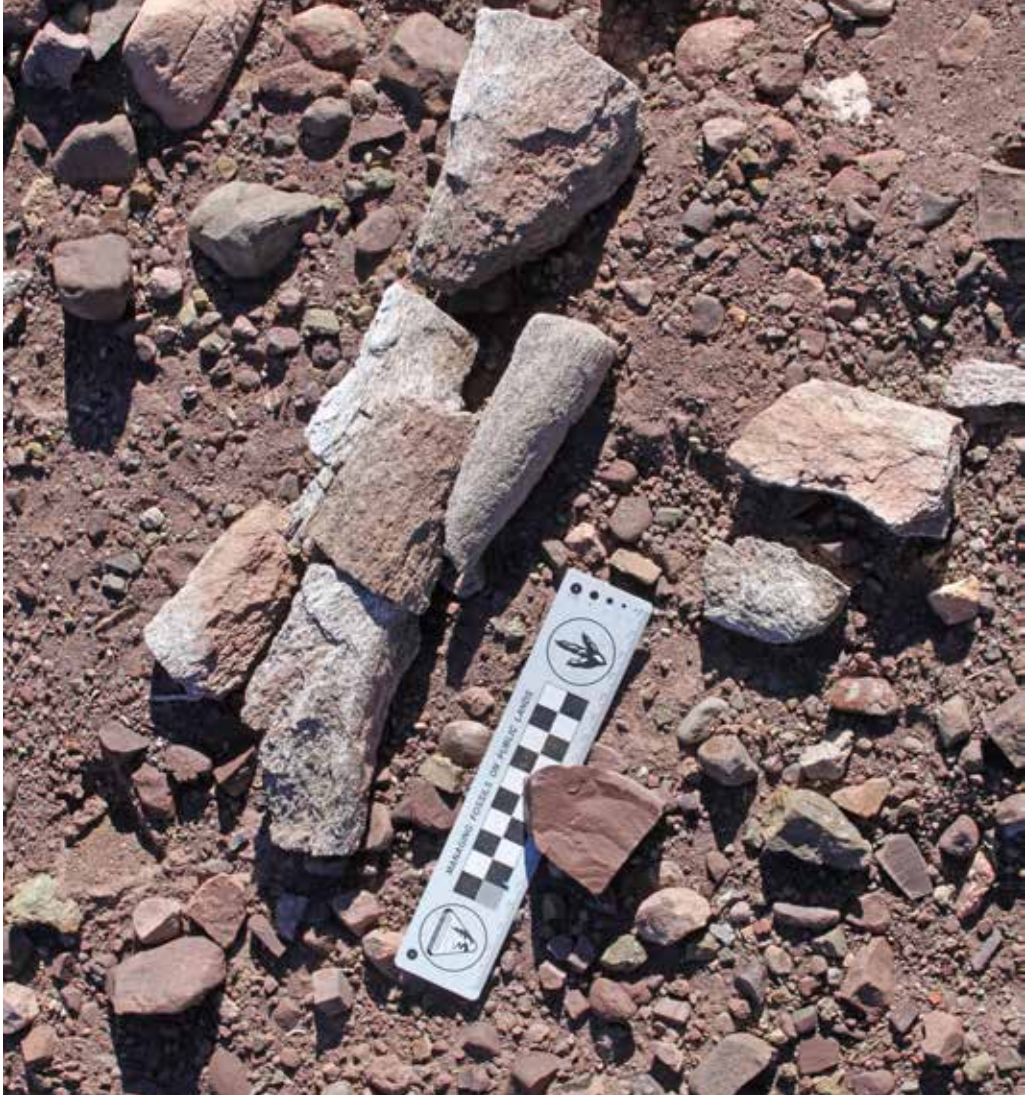
- Woodward, A.S. 1895.** Family Pachycormidae. Catalogue of the Fossil Fishes in the British Museum (Natural History), Volume 3, pp 374-414. British Museum (Natural History), London.
- Zittel. K.A. 1887.** Handbuch der Paläontologie, Part 1: Paläozoologie, 3. Oldenbourg, Munich.





## CAPÍTULO XI:

### Interpretando el registro de vertebrados mesozoicos del desierto de Atacama



Fragmentos de diáfisis de un posible saurópodo en afloramientos de la Formación Tolar en cercanías de El Abra.



## Paleobiogeografía

La Paleobiogeografía es la disciplina dedicada al estudio de la distribución geográfica alcanzada por las diferentes formas de vida que habitaron en el pasado geológico. Aplicada al registro fósil de vertebrados, busca registrar y estudiar aquellas zonas o regiones en donde se conocen hallazgos de cada tipo de vertebrados, asociado a su distribución a través del tiempo (rango cronoestratigráfico), permitiendo develar patrones de distribución, intercambios, migraciones, extinciones locales o totales, zonas de relictos, entre muchas otras informaciones relevantes del registro fósil.

El actual registro de vertebrados mesozoicos del Norte Grande es limitado, en comparación con registros contemporáneos de otras partes del mundo, como, por ejemplo, el Reino Unido, Cuba o Argentina. Sin embargo, pese a su parcial estado de conocimiento, permite realizar comparaciones con otras provincias, permitiendo complementar el registro fósil global, junto con señalar los primeros patrones de distribución que podrían ayudar a conocer el origen de la fauna de vertebrados jurásicos en el Pacífico.

### **Antes del Mesozoico: los escasos registros locales en el Paleozoico**

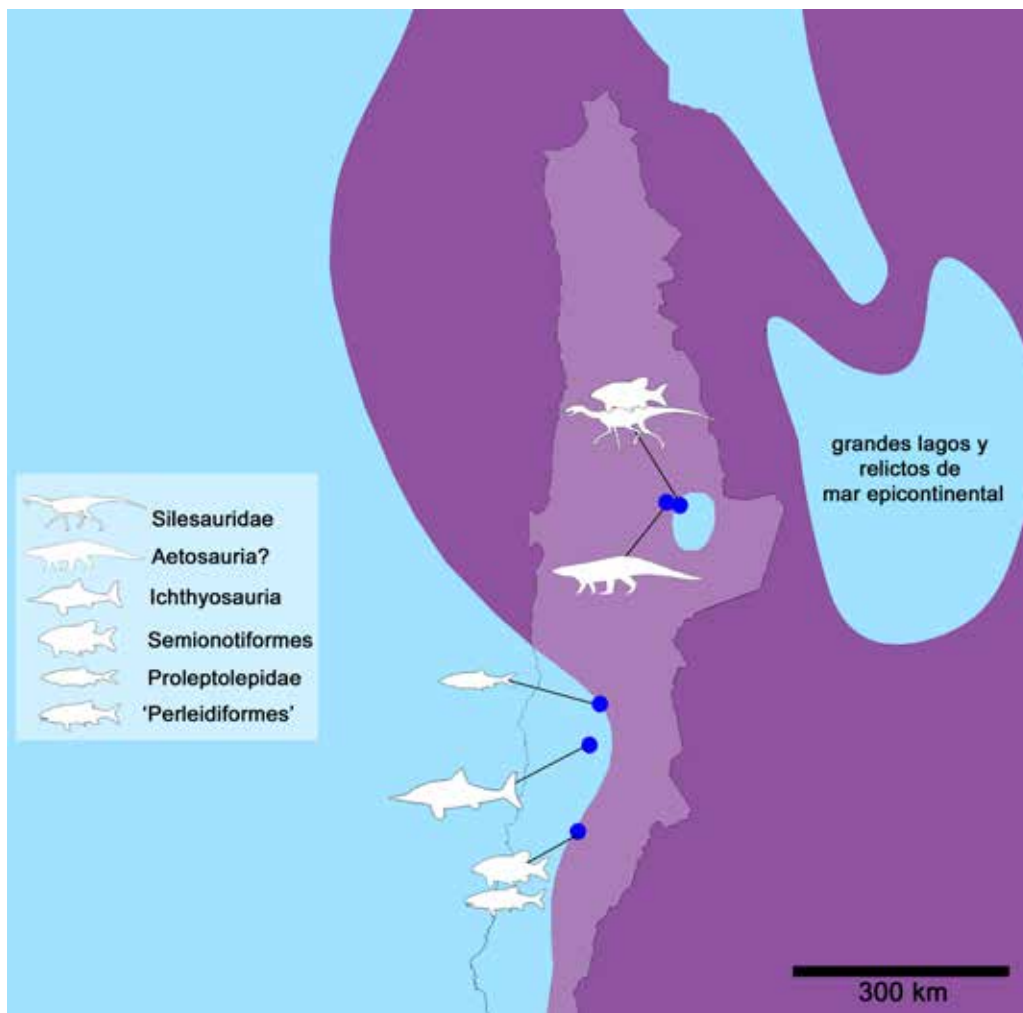
La presencia de *Hybodus* sp. (Hybodontidae) y *Arratiaichthys chilensis* (Palaeoniscidae) en el Pérmico de la Región de Antofagasta, corresponden a las únicas determinaciones genéricas de vertebrados paleozoicos en Chile. También han sido reportadas escamas de Palaeoniscidae en el Carbonífero de la Región de Atacama (Bell y Boyd, 1986), mostrando que, durante ese lapso de tiempo, buena parte de lo que hoy es Chile se encontraba bajo el mar, conformando el margen suroeste de Pangea. Durante el Pérmico, los Hybodontidae ya habían alcanzado una distribución cosmopolita, con registros en Argentina (Cione et al., 2010), China (Wang et al., 2007), Japón (Reif y Goto, 1979), Rusia (Ivanov, 1999), Reino Unido (M'Coy, 1855), Norteamérica (Schultze, 1985) y Chile (Breitkreuz, 1986). Respecto de los Palaeoniscidae, durante el Paleozoico superior se han registrado en Brasil (Cox y Hutchinson, 1991), República Checa (Štamberg, 1997), Rusia (Tverdokhlebov et al., 2005), Turquía (Hoşgör y Štamberg, 2014), Reino Unido (Smith-Woodward, 1895), Norteamérica (Dunkle, 1946), Sudáfrica (Kitching, 1977) y Chile (Richter y Breitkreuz, 1997), mostrando también una distribución cosmopolita.





## Durante el Triásico (251 a 201 millones de años atrás)

En el Triásico, el registro de vertebrados del Norte Grande está conformado tanto por formas continentales asociadas a ambientes lacustres, como también por vertebrados marinos. Se ha documentado la presencia de Aetosauria, Silesauridae, Crocodylomorpha, y peces Semionotidae, 'Perleidiformes' y Proleptolepidae (Figura 51).



**Figura 51:** distribución paleobiogeográfica de los vertebrados del Desierto de Atacama durante el Triásico. Basado en Cecioni (1970) y modificado según los registros aquí recopilados.



La escasa fauna de diápsidos conocida en el Triásico chileno aún es poco representativa, dificultando comparaciones biogeográficas informativas. La presencia del Aetosauria endémico *Chilenosuchus forttae* se suma a otros registros previos en la región, particularmente en Argentina (Casamiquela, 1960) y Brasil (Heckert y Lucas, 2002). Además, el grupo ha sido registrado en el Triásico de Escocia, Alemania, México, Estados Unidos, Groenlandia y Madagascar (Lucas, 1998; Heckert y Lucas, 2002; Weiss, 1934).

En cuanto al registro de un Silesauridae aún indeterminado en el Triásico de Cerro Quimal, el hallazgo complementa la ocurrencia conocida para dicho grupo, con registros previos en diferentes partes de Pangea. Silesauridae incluye 5 géneros: i) *Silesaurus*, hallado en Polonia (Dzik, 2003); ii) *Lewisuchus*, proveniente de Argentina (Romer, 1972); iii) *Sacisaurus*, encontrado en Brasil (Ferigolo y Langer, 2006); iv) *Asilisaurus*, encontrado en Tanzania (Nesbitt et al., 2010), y finalmente, *Eucoelophysis*, hallado en México (Sullivan y Lucas, 2010; Ezcurra, 2006).

En cuanto a la fauna de peces óseos en el Triásico del Norte Grande, se cuenta con hallazgos de peces 'Perleidiformes', Proleptolepidae y Semionotidae (Arratia, 2015). Estos últimos presentan registros globales y también son conocidos en el Triásico de Argentina (Bocchino, 2013). Por el contrario, los Proleptolepidae solo fueron registrados en el Jurásico Inferior europeo (Arratia y Schultze, 1999), mientras que los 'Perleidiformes' también se encuentran restringidos a registros principalmente europeos (Arratia, 2015).

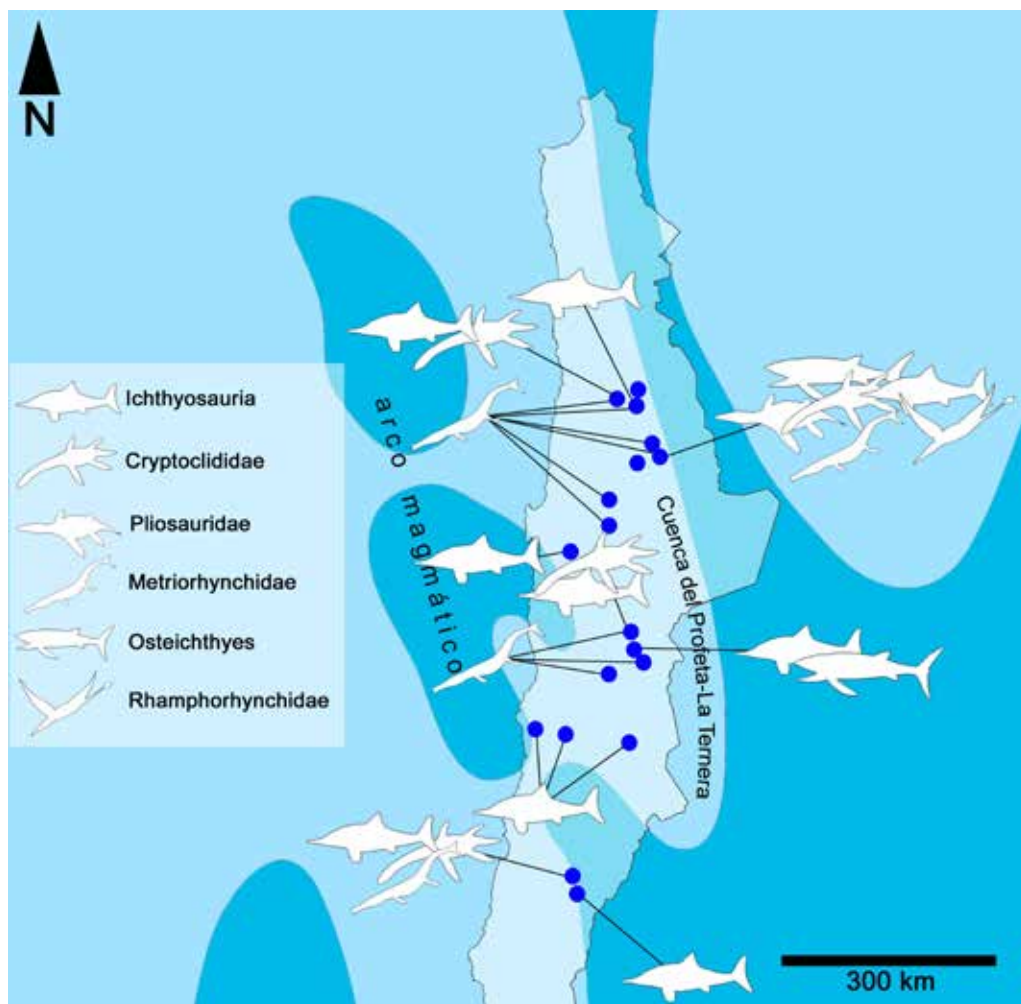
Finalmente, la presencia de restos de ictiosaurios en el norte de la Región de Atacama (Suárez y Bell, 1992) es de alto interés, puesto que los hallazgos más antiguos del grupo se remontan precisamente al Triásico (Ji et al., 2016). Este hallazgo prueba que los ictiosaurios ya habían alcanzado una amplia distribución global durante el Triásico.

### **Durante el Jurásico (201 a 145 millones de años atrás)**

Tras los importantes cambios tectónicos a inicios del Jurásico y la migración del arco magmático hacia el este, la configuración geográfica del Norte Grande cambió a una cuenca principalmente marina. Durante el Jurásico Inferior proliferaron los registros de fauna marina, mientras que los registros continentales son hasta ahora desconocidos en el Norte Grande (Figura 52).

En el Jurásico Inferior del Norte Grande se hallaron diferentes reptiles marinos representados por Plesiosauria, Thalattosuchia y Ichthyosauria indeterminados. La única determinación de ictiosaurios a nivel de género corresponde a restos craneales referidos a *Temnodontosaurus* sp. provenientes del Hettangiano-Sinemuriano de Mantos Blancos, Región de Antofagasta (Otero y Sepúlveda, 2017; 2020). Entre los peces óseos del Jurásico Inferior, destaca el hallazgo de *Atacamaia solitaria* Arratia y Shultze, 2015, siendo el Whiteiidae más reciente conocido hasta ahora y el primero registrado en el margen suroccidental de Pangea.





**Figura 52:** síntesis de la distribución paleobiogeográfica de los vertebrados del desierto de Atacama durante todo el Jurásico. Basado en Cecioni (1970) y modificado según los registros aquí recopilados.

Pese a lo parcial de estos hallazgos, el registro local hasta ahora conocido resulta de alto interés. En Chile, ictiosaurios del Jurásico Inferior son conocidos al menos en seis localidades (Pardo-Pérez et al., 2015), mostrando cierta abundancia, aunque por el momento, escasamente informativa en términos taxonómicos. La presencia de *Temnodontosaurus* en el Hettangiano-Sinemuriano de Antofagasta es notable, ya que registros de este género solo habían sido reportados en unidades de la misma edad en Inglaterra y Alemania (Maisch y Matzke, 2000). En cuanto a la presencia de Plesiosauria y Thalattosuchia indeterminados en el Jurásico Inferior del norte de Chile, si bien no aportan determinaciones taxonómicas significativas, la presencia de ambos grupos en el suroeste de Pangea avalan una amplia distribución cosmopolita para estos. Exceptuando el registro chileno, los Plesiosauria triásicos y del Jurásico Inferior son conocidos principalmente en Europa (Benson y Druckenmiller, 2014). A su vez, la presencia de Thalattosuchia en Chile durante dicho lapso abre importantes interrogantes, puesto que ese grupo se conoce



precisamente desde el Jurásico Inferior, y se encuentra conformado por dos clados: los Teleosauridae y los Metriorhynchoidea (Buffetaut, 1982), estos últimos apareciendo en el registro global durante el Bajociano (Young et al., 2013). De esta manera, queda abierta la pregunta sobre qué tipo de Thalattosuchia habitó en las aguas del norte de Chile durante el Jurásico Inferior, situación que solo se podrá clarificar con la realización de futuras investigaciones.

A partir del Jurásico Medio y Jurásico Superior, aparece la diversidad de vertebrados marinos más informativa hasta ahora conocida en Chile para este período. El registro de reptiles marinos incluye: Thalattosuchia del clado Metriorhynchidae, con dos especies endémicas, '*Metriorhynchus*' casamiquelai y '*Metriorhynchus*' westermanni (Jensen, 1976; Gasparini y Chong, 1977; Gasparini, 1980; Tavera, 1981; Soto-Acuña et al., 2012; 2015a; 2015b; 2018); Plesiosauria de los clados Cryptoclididae (Otero et al., 2015; 2018a), recientemente identificados como *Muraenosaurus* sp. y *Vinialesaurus* sp. (Otero et al., 2020); Pliosauridae indeterminados (Otero et al., 2018b; 2020); e Ichthyosauria del clado Ophthalmosauridae (Otero et al., 2018b).

Adicionalmente, se conoce un único registro de pterosaurio del clado Rhamphorhynchidae (Alarcón et al., 2015; 2018).

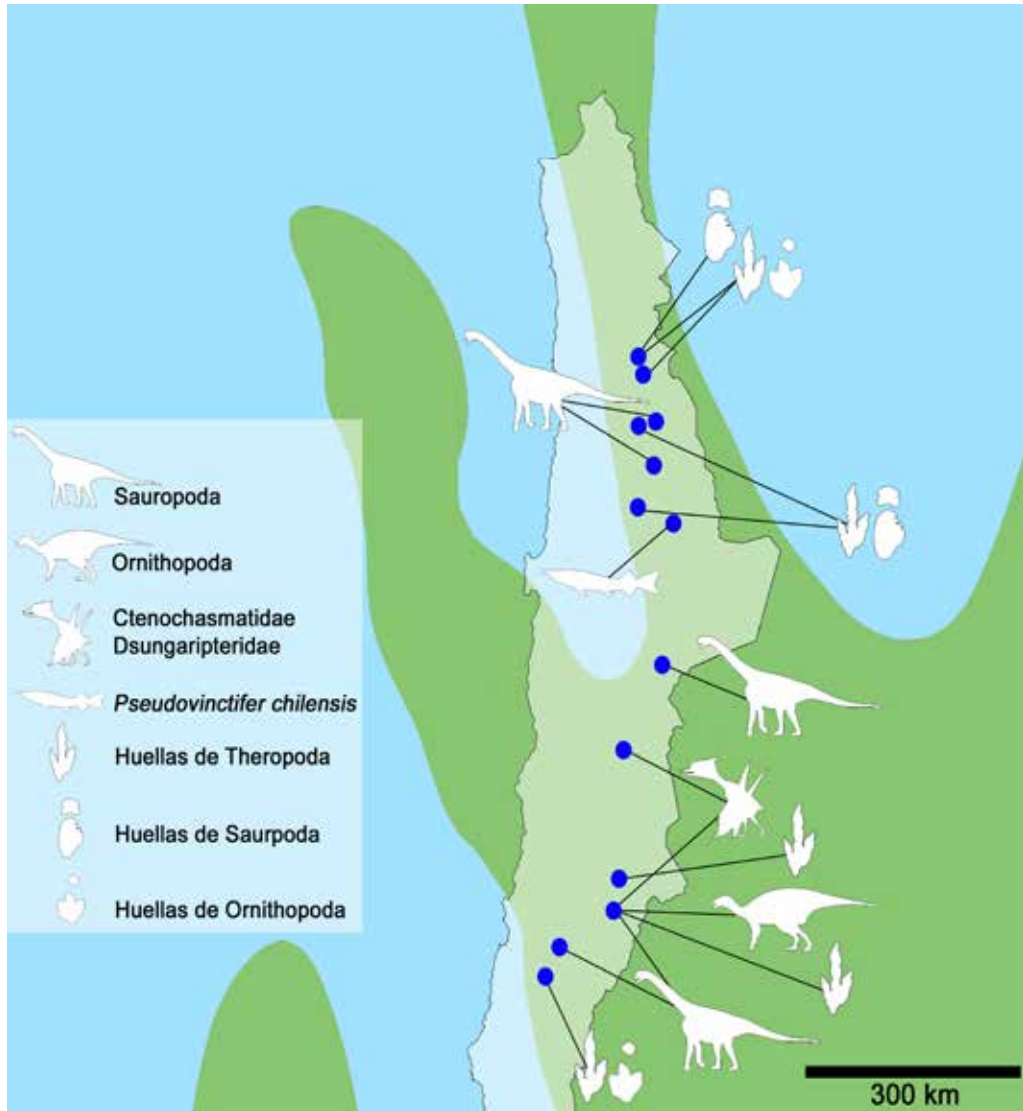
Por su parte, los peces óseos del Jurásico Medio y Jurásico Superior del Norte Grande incluyen la mayor diversidad global del clado Varasichthyidae, con al menos cuatro géneros presentes en Chile, correspondientes a *Varasichthys*, *Protoclupea*, *Domeykos* y *Bobbichthys* (Arratia, 2015). Los Varasichthyidae también se encuentran presentes en el Jurásico Superior de Cuba, representados por el género *Luisichthys* (White, 1942). En el Jurásico Superior del Desierto de Atacama también se ha registrado la presencia del pez Pycnodontiformes referibles al género *Gyrodus* (Kriwet, 2001), y Pachycormiformes de al menos dos tipos, entre los que se reconoce la presencia del pez filtrador gigante *Leedsichthys*, y un segundo tipo con afinidades a *Eugnathides* (Arratia, 2015; Ossa-Fuentes et al., 2015).

## **Durante el Cretácico (145 a 66 millones de años atrás)**

A comienzos del Cretácico se establecieron condiciones continentales en el Desierto de Atacama, dando paso a un registro de vertebrados conformados por dinosaurios, pterosaurios y escasos registros de peces óseos (Figura 53).

Durante el Cretácico Inferior, se han registrado múltiples sitios con icnitas (huellas) de dinosaurios, que incluyen Sauropoda, Ornithopoda y Theropoda (Rubilar-Rogers et al., 2000a; 2000b; 2008). A lo anterior se suman hallazgos locales de restos óseos referibles a Sauropoda y Ornithopoda provenientes del Cretácico Inferior de la Región de Atacama (Bell y Suárez, 1989; Salinas et al., 1991; Soto-Acuña et al., 2015). Todos estos grupos se encuentran bien representados en el Cretácico Inferior de Argentina (Bonaparte, 2007). Por el momento, el registro chileno no añade determinaciones taxonómicas significativas.





**Figura 53:** distribución paleobiogeográfica de los vertebrados del desierto de Atacama durante el Cretácico. Basado en Cecioni (1970) y modificado según los registros aquí recopilados.



Durante el Cretácico Inferior del Desierto de Atacama, se cuenta con registros informativos de Pterosauria. Particularmente, se han descrito hallazgos referibles a Ctenochasmatidae Gnatosaurinae (Martill et al., 2006) y Dsungaripteridae referidos a la especie *Domeykodactylus ceciliae* (Martill et al., 2000).

Para el Cretácico Superior del desierto de Atacama, destaca el registro de dinosaurios. Se cuenta con el hallazgo del *Lithostrotia* endémico *Atacamaitan chilensis*, hallado en rocas de la Formación Tolar (Cretácico Superior indiferenciado), en la Región de Antofagasta. A lo anterior se suman dos hallazgos de *Lithostrotia* indeterminados en rocas Cretácico Superior de la Región de Atacama (Chong, 1985; Rubilar-Rogers, 2003; Soto-Acuña et al., 2015).

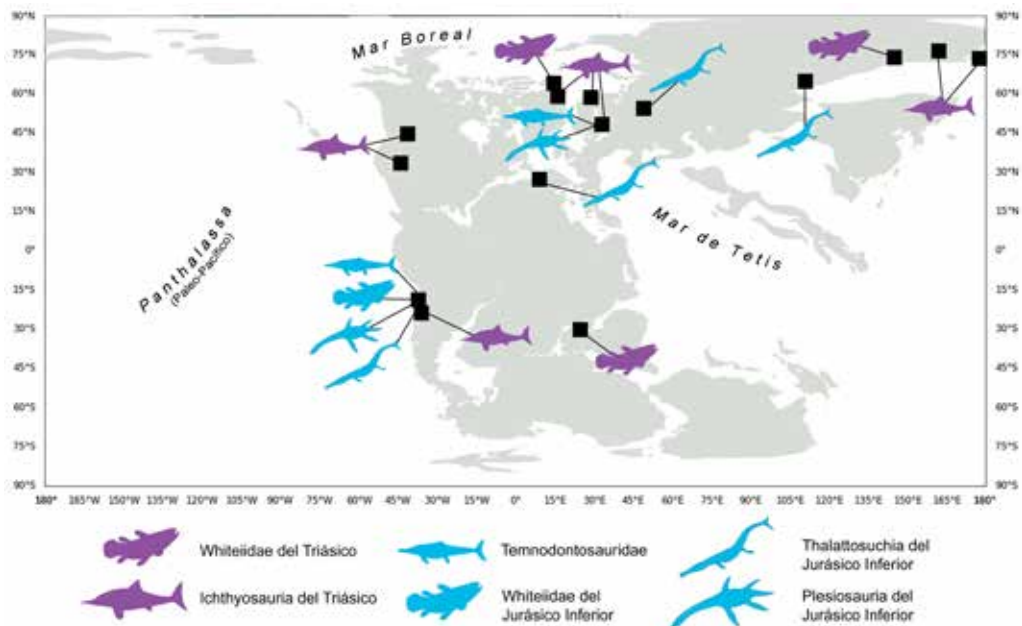
### **Comparación del registro local de vertebrados mesozoicos con el registro global**

Los hallazgos de vertebrados en el Triásico del desierto de Atacama incluyen hasta ahora huellas de posibles Amphibia, peces Semionotidae y Proleptolepidae, junto con Diapsida de los clados Silesauridae, Aetosauria, Crocodylomorpha e Ichthyosauria. Todos estos grupos se encuentran representados en otros lugares de Pangea (véase texto anterior), por lo que son necesarias determinaciones taxonómicas más exclusivas, previo a intentar comprender patrones de distribución durante el Triásico.

A partir del Jurásico Inferior, los hallazgos de Thalattosuchia indeterminados representan uno de los registros más antiguos conocidos del grupo (Gasparini et al., 2000). Sumado a esto, la presencia de Plesiosauria e Ichthyosauria indeterminados, dan cuenta de una amplia distribución, posiblemente cosmopolita, para estos tres grupos. La presencia de un ictiosaurio referible a *Temnodontosaurus*, representa la primera ocurrencia de éste género en el hemisferio sur. A su vez, el Whiteiidae *Atacamaia* solitaria corresponde al registro más tardío conocido para el grupo, sugiriendo una condición relictiva en el norte de Chile.

Durante el Jurásico Inferior, Pangea comienza su fragmentación en la parte norte. Sin embargo, Sudamérica, África, India y Antártica siguen formando una masa continental continua en el sur, con Australia distanciada levemente de Antártica (Figura 54). En este contexto, las rutas de intercambio de fauna marina pudieron realizarse a través de corredores entre el mar Boreal y Panthalassa, y/o entre el Mar de Tetis y Panthalassa. También pudo sumar a este intercambio durante el Jurásico Inferior, la apertura eventual de un corredor marino a través del Caribe (Aberhan, 2002), el cual pudo ser efímero, pero volvió a cobrar relevancia durante la parte alta del Jurásico.

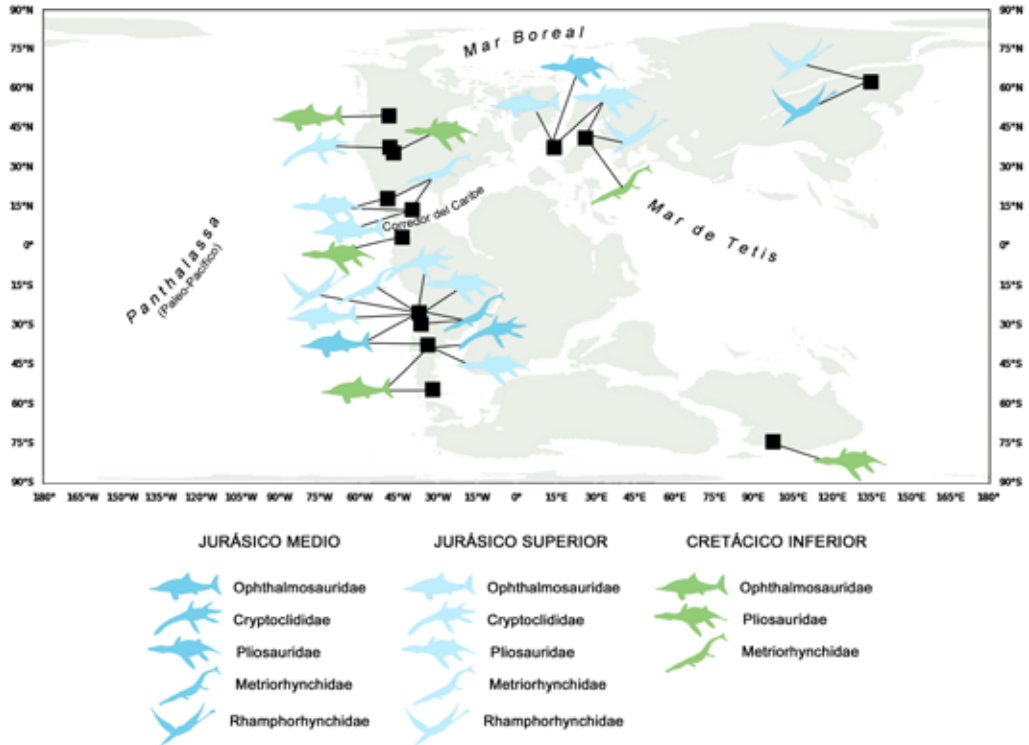




**Figura 54:** mapa paleogeográfico idealizado durante el límite Triásico-Jurásico. Se indica la distribución de los principales grupos de vertebrados conocidos en el Triásico y Jurásico Inferior del Desierto de Atacama, comparándolos con registros contemporáneos de taxa similares en otras partes del mundo. Elaborado en aplicación Paleomap Maker (<http://portal.gplates.org/map/>) y modificado según la información aquí recopilada.

A partir del Jurásico Medio y Jurásico Superior, los hallazgos de vertebrados marinos en el norte de Chile son más abundantes y taxonómicamente informativos. Durante este lapso, Gondwana se separa de Laurasia, dando paso a la consolidación del Corredor del Caribe, ruta que permitió un intercambio de fauna marina directamente entre el Mar de Tetis y Panthalassa. La diversidad local de Diapsida incluye Metriorhynchidae endémicos, ictiosaurios Ophthalmosauridae, plesiosaurios Cryptoclididae y Pliosauridae, y pterosaurios Rhamphorhynchidae. Los grupos de Diapsida hallados en el norte de Chile también han sido reportados en diferentes localidades contemporáneas (Figura 55). Los Metriorhynchidae han sido descritos en Europa desde el Bajociano hasta el Cretácico Inferior (Young et al., 2010), en el Jurásico Superior de México y Cuba (Gasparini e Iturralde-Vinent, 2001; Buchy et al., 2007) y en el Jurásico Medio y Superior de Argentina (Pol y Gasparini, 2007).





**Figura 55:** mapa paleogeográfico idealizado durante el límite Jurásico-Cretácico. Se indica la distribución de los principales grupos de diápsidos marinos y voladores conocidos en el Jurásico y Cretácico del Desierto de Atacama, comparándolos con registros contemporáneos de taxa similares en otras partes del mundo. Elaborado en aplicación Paleomap Maker (<http://portal.gplates.org/map/>) y modificado según la información aquí recopilada.

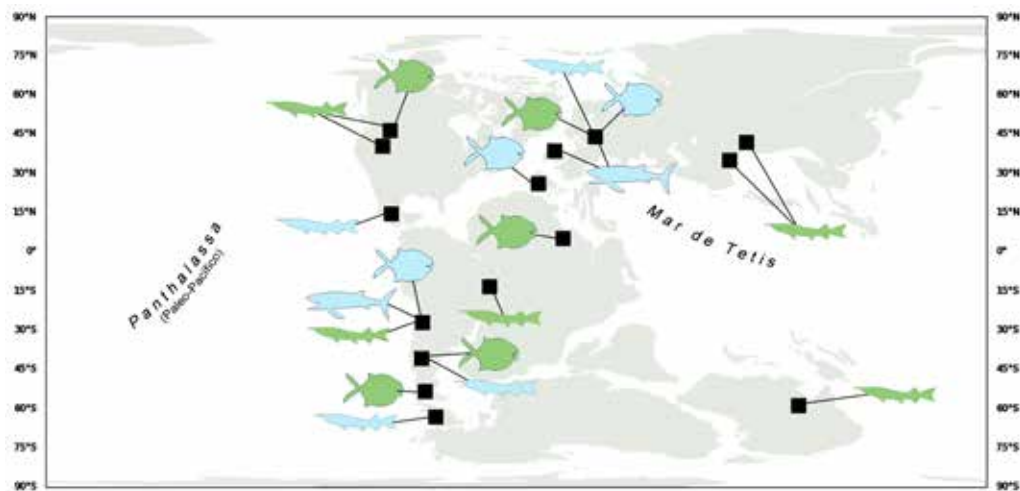
A su vez, los ictiosaurios Ophthalmosauridae han sido previamente reconocidos en el Bajociano de Argentina (Fernández, 1997) Jurásico Medio-Cretácico Inferior de Europa (Bardet y Fernández, 2000), Norteamérica (Maisch y Matzke, 2000; Fischer et al., 2016), en el Jurásico Superior de Cuba (Fernández e Iturralde-Vinent, 2000) y Jurásico Superior-Cretácico Inferior de Sudamérica (Fernández, 2007), extendiéndose durante el Cretácico Inferior incluso en altas latitudes del hemisferio sur (Pardo-Pérez et al., 2015).

Por otro lado, los plesiosaurios Cryptoclididae han sido descritos en el Jurásico Medio de Argentina (Gasparini y Spalletti, 1993). También se conocen por un único género y especie, *Vinialesaurus caroli*, en el Jurásico Superior de Cuba (Gasparini et al., 2001). Cryptoclididae referidos a *Tatenectes laramiensis* se han recuperado en el Jurásico Superior de Estados Unidos (O’Keefe y Wall, 2003; O’Keefe y Street, 2009). El grupo ha sido frecuentemente documentado en el Jurásico Medio y Superior de Inglaterra y Francia (Andrews, 1910; Brown, 1981; Bardet et al., 1991), también en el Jurásico Superior de Noruega (Knutsen et al., 2012a,b), y en el Cretácico Inferior de Rusia (Berezin, 2011).





A lo anterior se suman hallazgos de peces óseos de edad Jurásico Superior que incluyen una diversidad de Varasichthyidae, Pachycormiformes del género *Leedsichthys* y aff. *Eugnathides*, Pycnodontiformes del Género *Gyrodus* y Semionotiformes del género *Lepidotes* (Figura 56). Fuera de Chile, los Varasichthyidae cuentan con un único hallazgo en el Jurásico Medio de Cuba (White, 1942). A su vez, *Leedsichthys* ha sido previamente descrito en el Jurásico Medio de Inglaterra, Alemania y Francia (Liston, 2010). Por su parte, el género *Gyrodus* cuenta con registros desde el Triásico hasta el Cretácico, con una distribución cosmopolita (Gouiric-Cavalli et al., 2019), mientras que el género *Lepidotes* cuenta con registros entre el Jurásico Inferior y Jurásico Superior principalmente en Europa, como también en el Cretácico Inferior de Brasil y Dinamarca (López-Arbarello, 2016). A comienzos del Cretácico, se conoce en el norte de Chile la presencia de peces Aspidorhynchiformes endémicos representados por *Pseudovinctifer chilensis* (Arratia, 2015). Los Aspidorhynchiformes son conocidos desde el Jurásico Medio hasta el Límite Cretácico-Paleógeno (Nelson et al., 2016), con hallazgos en Argentina, Brasil, Norteamérica, norte de África, Uzbekistán (Gouiric-Cavalli et al., 2015), Alemania (López-Arbarello, 2013), México (Cantalice et al., 2018), y Antártica (Arratia et al., 2004).



**Figura 56:** mapa paleogeográfico idealizado durante el límite Jurásico-Cretácico, indicando la distribución de los principales grupos de peces óseos conocidos en el Jurásico y Cretácico del Desierto de Atacama, y comparándolos con registros contemporáneos de taxa similares en otras partes del mundo. Elaborado en aplicación Paleomap Maker (<http://portal.gplates.org/map/>) y modificado según la información aquí recopilada.



## Bibliografía

- Aberhan, M. 2002.** Opening of the Hispanic Corridor and Early Jurassic bivalve biodiversity. *Geological Society London Special Publications* 194: 127–139.
- Alarcón, J.; Soto-Acuña, S.; Otero, R.A.; Ossa-Fuentes, L.; Rojas, O. 2015.** Primer registro de pterosaurios en el Jurásico Superior (Oxfordiano) de la Formación Cerritos Bayos, Calama, Región de Antofagasta. XIV Congreso Geológico de Chile, Actas Volumen III, Área Temática 5, Bioestratigrafía y Paleontología Andina, pp. 694–697. La Serena.
- Alarcón, J.; Soto-Acuña, S.; Otero, R.A.; Rojas, O. 2018.** El primer pterosaurio no pterodactyloideo de Chile. I Congreso de Paleontología de Chile, Libro de Resúmenes, pp. 334–337. Punta Arenas.
- Andrews, C. W. 1910.** A descriptive catalogue of the marine reptiles of the Oxford Clay, Part I. British Museum (Natural History), London, 205 pp.
- Arratia, G. 2015.** Los peces osteíctios fósiles de Chile y su importancia en los contextos paleobiogeográfico y evolutivo. En: Rubilar-Rogers, D.; Otero, R.A.; Vargas, A.; Sallaberry, M. (eds.), *Vertebrados Fósiles de Chile*. Publicación Ocasional del Museo Nacional de Historia Natural, Chile, 63:35–83.
- Arratia, G.; Schultze, H. P. 2015.** A new fossil actinistian from the Early Jurassic of Chile and its bearing on the phylogeny of Actinistia. *Journal of Vertebrate Paleontology* e983524: 12 p.
- Arratia, G.; Scasso, R.A.; Kiessling, W. 2004.** Late Jurassic fishes from Longing Gap, Antarctic Peninsula. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 24: 41–55.
- Bardet, N.; Fernández, M. 2000.** A new ichthyosaur from the Upper Jurassic lithographic limestones of Bavaria. *Journal of Paleontology* 74: 503–511.
- Bardet, N.; Mazin, J.M.; Cariou, E.; Enay, R.; Krishna, J. 1991.** Les Plesiosauria du Jurassique Superieur de la Province de Kachchh (Inde). *Comptes Rendus de l'Academie des Sciences de París* 313/2:1343–1347.
- Bell, C.M.; Boyd, M.J. 1986.** A tetrapod trackway from the Carboniferous of northern Chile. *Palaeontology* 26: 519–526.
- Bell, C.M.; Suárez, M. 1989.** Vertebrate fossils and trace fossils in the Upper Jurassic-Lower Cretaceous red beds in the Atacama Region, Chile. *Journal of South American Earth Sciences* 2: 351–357.
- Benson, R.B.J.; Druckenmiller, P.S. 2014.** Faunal turnover of marine tetrapods during the Jurassic–Cretaceous transition. *Biological Reviews* 89:1–23.
- Berezin, A. Y. 2011.** A New Plesiosaur of the Family Aristonectidae from the Early Cretaceous of the Center of the Russian Platform. *Paleontological Journal* 45:648–660.
- Bocchino, R. 2013.** Semionotidae (Pisces, Holostei, Semionotiformes) de la Formación Lagarcito (Jurásico Superior?), San Luis, Argentina. *Ameghiniana* 10: 254–268.
- Bonaparte, J.F. 2007.** Dinosaurios y Pterosaurios de América del Sur. Editorial Albatros, Primera Edición, Buenos Aires, Argentina. 228 p.



- Brown, D. S. 1981.** The English Late Jurassic Plesiosauroidea (Reptilia) and review of the phylogeny and classification of the Plesiosauria. *Bulletin of the British Museum (Natural History), Geology* 4:225–234.
- Buchy, M.-C.; Stinnesbeck, W.; Frey, E.; Gonzalez, A.H. 2007.** First occurrence of the genus *Dakosaurus* (Crocodyliformes, Thalattosuchia) in the Late Jurassic of Mexico. *Bulletin de la Société Géologique de France* 178: 391–397.
- Buffetaut, E. 1982.** Radiation évolutive, paléoécologie et biogéographie des Crocodiliens mésosuchiens. *Mémoires Société Geologique de France* 142: 1–88.
- Cantalice, K.; Alvarado-Ortega, J.; Brito, P. 2018.** On the occurrence of *Vinctifer ferrusquiai* sp. nov. (Actinopterygii, Aspidorhynchiformes) in the Kimmeridgian (Late Jurassic) deposits near Tlaxiaco, Oaxaca, southern Mexico. *REvista Mexicana de Ciencias Geológicas* 35: 179–187.
- Chong, G. 1985.** Hallazgo de restos óseos de dinosaurios en la Formación Hornitos, Tercera Región (Atacama, Chile). En: *Actas del IV Congreso Geológico Chileno*. Antofagasta, 152–159.
- Cione, A.L.; Gouiric-Cavalli, S.; Mennucci, J.A.; Cabrera, D.A.; Freije, R.H. 2010.** First vertebrate body remains from the Permian of Argentina (Elasmobranchii and Actinopterygii). *Proceedings of the Geologists' Association* 121: 301–312.
- Cox, C.B.; Hutchinson, P. 1991.** Fishes and Amphibians from the Late Permian Pedra de Fogo Formation of Northern Brazil. *Palaeontology* 34: 561–573.
- Dunkle, D.H. 1946.** A new palaeoniscoid fish from the Lower Permian of Texas. *Journal of the Washington Academy of Science* 36: 402–409.
- Dzik, J. 2003.** A beaked herbivorous archosaur with dinosaur affinities from the early Late Triassic of Poland. *Journal of Vertebrate Paleontology* 23: 556–574.
- Ezcurra, M.D. 2006.** A review of the systematic position of the dinosauriform archosaur *Eucoelophysis baldwini* Sullivan & Lucas, 1999 from the Upper Triassic of New Mexico, USA. *Geodiversitas* 28:649–684.
- Ferigolo, J.; Langer, M.C. 2006.** A Late Triassic dinosauriform from south Brazil and the origin of the ornithischian predeontary bone. *Historical Biology* 19: 1–11.
- Fernández, M.S. 1999.** A new ichthyosaur from the Los Molles Formation (Early Bajocian), Neuquen Basin, Argentina. *Journal of Paleontology*. 73: 677–681.
- Fernández M. 2007.** Redescription and phylogenetic position of *Caypullisaurus* (Ichthyosauria: Ophthalmosauridae). *Journal of Paleontology* 81: 368–375.
- Fernández, M.; Iturralde-Vinent, M. 2000.** An Oxfordian Ichthyosauria (Reptilia) from Viñales, Western Cuba: Paleobiogeographic significance. *Journal of Vertebrate Paleontology* 20:191–193.
- Fischer, V.; Maisch, M.W.; Naish, D.; Kosma, R.; Liston, J.; Joger, U.; Krüger, F.J.; Pardo-Pérez, J.; Tainsh, J.; Appleby, R.M. 2012.** New ophthalmosaurid ichthyosaurs from the European Lower Cretaceous demonstrate extensive ichthyosaur survival across the Jurassic–Cretaceous boundary. *PlosOne* 7:e29234. 23 p.



- Gasparini, Z. 1980.** Un nuevo cocodrilo marino (Crocodylia, Metriorhynchidae) del Caloviano del norte de Chile. *Ameghiniana* 17:97–103.
- Gasparini, Z. 1988.** *Ophthalmosaurus monocharactus* Appleby (Reptilia, Ichthyopterygia), en las calizas litográficas titonianas del área Los Catutos, Neuquén, Argentina. *Ameghiniana* 25: 3–16.
- Gasparini, Z.; Chong, G. 1977.** *Metriorhynchus casamiquelai* n. sp. (Crocodylia, Thalattosuchia), a marine crocodile from the Jurassic (Callovian) of Chile, South America. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie* 153:431–464.
- Gasparini, Z.; Iturralde-Vinent, M. 2001.** Metriorhynchid crocodiles (Crocodyliformes) from the Oxfordian of Western Cuba. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie Monatshefte* 9: 534–542.
- Gasparini, Z.; Bardet, N.; Iturralde-Vinent, M. 2001.** A new cryptoclidid Plesiosaur from the Oxfordian (Late Jurassic) of Cuba. *Geobios* 35: 201–211.
- Gasparini, Z.; Spalletti, L. 1993.** First Callovian plesiosaurs from the Neuquén Basin, Argentina. *Ameghiniana* 30: 245–254.
- Gasparini, Z.; Vignaud, P.; Chong, G. 2000.** The Jurassic Thalattosuchia (Crocodyliformes) of Chile: a paleobiogeographic approach. *Bulletin Société Géologique de France* 171: 657–664.
- Gouiric-Cavalli, S. 2015.** *Jonoichthys challwa* gen. et sp. nov., a new Aspidorhynchiform (Osteichthyes, Neopterygii, Teleostomorpha) from the marine Upper Jurassic sediments of Argentina, with comments about paleobiogeography of Jurassic aspidorhynchids. *Comptes Rendus Palevol* 14: 291–304.
- Gouiric-Cavalli, S.; Ramírez, M.; Kriwet, J. 2019.** New pycnodontiform fishes (Actinopterygii, Neopterygii) from the Early Cretaceous of the Argentinean Patagonia. *Cretaceous Research* 94: 45–58.
- Heckert, A.B.; Lucas, S.G. 2002.** South American occurrences of the Adamanian (Late Triassic: Latest Carnian) index taxon *Stagonolepis* (Archosauria: Aetosauria) and their biochronological significance, *Journal of Paleontology* 76: 852–863. trabajo en línea
- Hoşgör, I.; Ştamberg, S. 2014.** A first record of late Middle Permian actinopterygian fish from Anatolia, Turkey. *Acta Geologica Polonica* 64: 147–159.
- Ivanov, A. 1999.** Late Devonian-Early Permian chondrichthyans of the Russian Arctic. *Acta Palaeontologica Polonica* 49: 267–285.
- Jensen, O. 1976.** Geología de la Cordillera de las nacientes de río Copiapó entre los 27°53' y 28°20' de la latitud sur, Provincia de Atacama, Chile. Universidad de Chile, Departamento de Geología, Memoria de Título (inédito), Santiago. 249 p.
- Ji, C.; Jiang, D.-Y.; Motani, R.; Rieppel, O.; Hao, W.-C.; Sun, Z.-Y. 2015.** Phylogeny of the Ichthyopterygia incorporating the recent discoveries from South China. *Journal of Vertebrate Paleontology* 36: e1025956. 18 p.
- Kitching, J.W. 1977.** The distribution of the Karroo vertebrate fauna. *Memoirs of the Bernard Price Institute for Palaeontological Research* 1: 1–131.



- Knutsen, E.M.; Druckenmiller, P.S.; Hurum, J.H. 2012a.** Two new species of long-necked plesiosauroians (Reptilia: Sauropterygia) from the Upper Jurassic (Middle Volgian) Agardhfjellet Formation of central Spitsbergen. *Norwegian Journal of Geology* 92:187–212.
- Knutsen, E.M.; Druckenmiller, P.S.; Hurum, J.H. 2012b.** A new plesiosauroid (Reptilia: Sauropterygia) from the Agardhfjellet Formation (Middle Volgian) of central Spitsbergen, Norway. *Norwegian Journal of Geology* 92: 213–234.
- Kriwet, J. 2001.** Revision of *Mesturus cordillera* Martill et al., 1998 (Actinopterygii, Pycnodontiformes) from the Oxfordian (Upper Jurassic) of northern Chile. *Journal of Vertebrate Paleontology* 20: 450–455.
- Liston, J. 2010.** The occurrence of the Middle Jurassic pachycormid fish *Leedsichthys*. *Oryctos* 9: 1–36.
- López-Arbarello, A. 2012.** Phylogenetic Interrelationships of Ginglymodian Fishes (Actinopterygii: Neopterygii). *PLoS ONE* 7(7): e39370, 44 p.
- López-Arbarello, A.; Schröder, K.M. 2013.** The species of *Aspidorhynchus* Agassiz, 1833 (Neopterygii, Aspidorhynchiformes) from the Jurassic plattenkalks of Southern Germany. *Paläontologische Zeitschrift* 88: 167–185.
- Lucas, S.G. 1998.** Global Triassic tetrapod biostratigraphy and biochronology. *Paleogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 143: 347–384.
- Maisch, M.W.; Matzke, A.T. 2000.** The Ichthyosauria. *Stuttgarter Beiträge zur Naturkunde Serie B (Geologie und Paläontologie)* 298: 1–159.
- Martill, D.; Frey, E.; Chong, G.; Bell, M. 2000.** Reinterpretation of a Chilean pterosaur and the occurrence of Dsungaripteridae in South America. *Geological Magazine* 137: 19–25.
- Martill, D.; Frey, E.; Bell, M.; Chong, G. 2006.** Ctenochasmatid pterosaurs from Early Cretaceous deposits in Chile. *Cretaceous Research* 27(5): 603–610.
- M'Coy, F. 1855.** A synopsis of the classification of the British Palaeozoic rocks, with a systematic description of the British Palaeozoic fossils. Fasciculus 3, Mollusca and Palaeozoic fishes. *British Palaeozoic Fossils, Part II. Palaeontology* 407–666.
- Nelson, J.S.; Grande, T.; Wilson, M. 2016.** *Fishes of the World*. John Wiley & Sons, 5ta Edición. 752 p.
- Nesbitt, S.J.; Sidor, C.A.; Irmis, R.B.; Angielczyk, K.D.; Smith, R.M.H.; Tsuji, L.A. 2010.** Ecologically distinct dinosaurian sister group shows early diversification of Ornithodira. *Nature Letters* 464: 95–98.
- O'Keefe, F.R. and W. Wall. 2003.** Current taxonomic status of the plesiosaur *Pantosaurus striatus* from the Upper Jurassic Sundance Formation, Wyoming. *Paludicola* 4:37–47.
- O'Keefe, F.R., and H. Street. 2009.** Osteology of the *cryptocleidoid* plesiosaur *Tatenectes laramiensis*, with comments on the taxonomic status of the Cimoliasauridae. *Journal of Vertebrate Paleontology* 29:48–57.
- Otero, R.A.; Sepúlveda, P. 2017.** Nuevo material de Ichthyosauria (Diapsida, Ichthyopterygia) del Jurásico Inferior de la Región de Antofagasta. I



- Reunión de Paleontología de Vertebrados de Chile, Libro de Resúmenes, p. 20. Santiago.
- Otero, R.A.; Soto-Acuña, S.; Rubilar-Rogers, D. 2015.** El registro fósil de plesiosaurios (Sauropterygia) en Chile In: Rubilar-Rogers, D.; Otero, R.A.; Vargas, A.; Sallaberry, M. (eds.), Vertebrados Fósiles de Chile. Publicación Ocasional del Museo Nacional de Historia Natural, Chile, 63: 151–188.
- Otero, R.A.; Rojas, O.; Rojas, J. 2018a.** Un nuevo espécimen de plesiosaurio del Oxfordiano del norte de Chile. I Congreso de Paleontología de Chile, Libro de Resúmenes, pp. 359–363. Punta Arenas.
- Otero, R.A.; Soto-Acuña, S.; Rojas, O.; Rojas, J. 2018b.** Primer registro de pliosaurios (Plesiosauria, Pliosauridae) en el Oxfordiano del norte de Chile. I Congreso de Paleontología de Chile, Libro de Resúmenes, pp. 313–317. Punta Arenas.
- Otero, R.A.; Pardo-Pérez, J.; Rojas, O.; Rojas, J. 2018c.** Ictiosaurios oftalmosáuridos (Ichthyopterygia, Ophthalmosauridae) del Oxfordiano del norte de Chile. I Congreso de Paleontología de Chile, Libro de Resúmenes, pp. 354–357. Punta Arenas.
- Otero, R.A.; Soto-Acuña, S.; Rojas, J.; Rojas, O.** En prensa. First pliosaur remains (Sauropterygia, Pliosauridae) from the Oxfordian of the Atacama Desert. *Journal of South American Earth Sciences*.
- Otero, R.A.; Alarcón-Muñoz, J.; Soto-Acuña, S.; Rojas, J.; Rojas, O.; Ortiz, H. 2020.** Cryptoclidid plesiosaurs (Sauropterygia, Plesiosauria) from the Upper Jurassic of the Atacama Desert. *Journal of Vertebrate Paleontology* 40: e1764573, 14 p.
- Pol, D.; Gasparini, Z. 2007.** Crocodyliformes. En: Gasparini, Z.; Salgado, L.; Coria, R. (Eds.), *Patagonian Mesozoic Reptiles*. Indiana University Press, Bloomington & Indianapolis, 116–142.
- Reif, W.E.; Goto, M. 1979.** Placoid scales from the Permian of Japan. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Monatshefte* 1979: 201–207.
- Richter, M.; Breithaupt, C. 1997.** Permian fish remains from the Peine Formation of northern Chile. *Modern Geology* 21:171–184.
- Romer, A.S. 1972.** The Chañares (Argentina) Triassic reptile fauna. XIV. *Lewisuchus admixtus*, gen et sp. nov., a further thecodont from the Chanares beds. *Breviora*. 390: 1–13.
- Rubilar-Rogers, D. 2003.** Registro de dinosaurios en Chile. *Boletín Museo Nacional de Historia Natural* 52: 137–150.
- Rubilar-Rogers, D., Moreno, K., Blanco, N. 2000a.** Grandes huellas de dinosaurios ornitópodos en la Formación Chacarilla (Jurásico Superior-Cretácico Inferior), I Región de Tarapacá, Chile. En: *Actas del IX Congreso Geológico Chileno*. Puerto Varas, 550–554.
- Rubilar-Rogers, D., Moreno, K., Blanco, N., Calvo, J. 2000b.** Report of theropod trackways from Chacarilla Formation (Upper Jurassic - Lower Cretaceous), Chile. *Journal of Vertebrate Paleontology* 20(3): 66A.



- Rubilar-Rogers, D., Moreno, K., Blanco, N., Calvo, J. 2008.** Theropod dinosaur trackways from the Lower Cretaceous of the Chacarilla Formation, Chile. *Revista Geológica de Chile* 35:175–184.
- Salinas, P.; Marshall L.; Sepúlveda, P. 1991.** Vertebrados continentales del Paleozoico y Mesozoico de Chile. En: *Actas del VI Congreso Geológico Chileno*. Viña del Mar, 310–313.
- Schultze, H.P. 1985.** Marine to onshore Vertebrates in the Lower Permian of Kansas and their Paleoenvironmental Implications. *University of Kansas Paleontological Contributions* 113:1–18.
- Smith Woodward, A. 1895.** Catalogue of the Fossil Fishes in the British Museum (Natural History), Part III: 1–544.
- Soto-Acuña, S.; Otero, R.A.; Rubilar-Rogers, D. 2012.** Un nuevo ejemplar de *Metriorhynchus casamiquelai* Gasparini y Chong, 1977 (Crocodylomorpha: Thalattosuchia) del Caloviano de Sierra de Moreno, Región de Antofagasta. En: *Actas del XIII Congreso Geológico Chileno*, pp. 755–757. Antofagasta,
- Soto-Acuña, S.; Otero, R.A.; Rubilar-Rogers, D.; Vargas, A. 2015a.** Arcosaurios no avianos fósiles de Chile. In: Rubilar-Rogers, D.; Otero, R.A.; Vargas, A.; Sallaberry, M. (eds.), *Vertebrados Fósiles de Chile*. Publicación Ocasional del Museo Nacional de Historia Natural, Chile, 63: 209–263.
- Soto-Acuña, S.; Otero, R.A.; Alarcón, J.; Ossa-Fuentes, L.; Rojas, O. 2015b.** Presencia de cocodrilos marinos (Thalattosuchia: Metriorhynchidae) en la Formación Cerritos Bayos (Oxfordiano), Cuenca de Tarapacá, Región de Antofagasta. *XIV Congreso Geológico de Chile, Actas Volumen III, Área Temática 5, Bioestratigrafía y Paleontología Andina*, pp. 690–693. La Serena.
- Soto-Acuña, S.; González, E.; Bajor, D.; Mourgues, F.A. 2018.** Presencia de cocodrilos marinos (Thalattosuchia, Metriorhynchidae) en el Bajociano del Grupo Caracoles, norte de Chile. *Primer Congreso de Paleontología de Chile, Libro de Resúmenes*, pp. 3493–523. Punta Arenas.
- Štamberg, S. 1997.** New discoveries of palaeoniscoid fishes and other fauna and flora from the northern region of Boskovice Furrow, Czech Republic. *Journal of the Czech Geological Society* 42: 111–120.
- Suárez, M.; Bell, C.M. 1992.** The oldest South American ichthyosaur from the late Triassic of northern Chile. *Geological Magazine* 129: 247–249.
- Sullivan, R.M.; Lucas, S.G. 1999.** *Eucoelophysis baldwini*, a new theropod dinosaur from the Upper Triassic of New Mexico, and the status of the original types of *Coelophysis*. *Journal of Vertebrate Paleontology* 19: 81–90.
- Tavera, J. 1981.** *Ichthyosaurus* de la Formación Lautaro, en el área de Manflas, Región de Atacama, Chile. *Comunicaciones (Departamento de Geología, Universidad de Chile)* 33:1–16.
- Tverdokhlebov, V.P.; Tverdokhlebova, G.I.; Minikh, A.V.; Surkov, M.V.; Benton, M.J. 2005.** Upper Permian vertebrates and their sedimentological context in the South Urals, Russia. *Earth-Science Reviews* 69: 27–77.
- Wang, N.; Jin, F.; Wang, W.; Zhu, X. 2007.** Actinopterygian Fishes from the Permian-Triassic Boundary Beds in Zhejiang and Jiangxi Provinces, South China



- and Mass Extinction, Recovery and Radiation. *Vertebrata Palasiatica* 45: 307–329.
- White, T.E. 1942.** A new leptolepid fish from the Jurassic of Cuba. *Proceedings of the New England Zoological Club* 21:97–100.
- Young, M.T.; Brusatte, S.; Ruta, M.; Brandalise de Andrade, M. 2010.** The evolution of Metriorhynchoidea (Mesoeucrocodylia, Thalattosuchia): an integrated approach using geometric morphometrics, analysis of disparity and biomechanics. *Zoological Journal of the Linnean Society* 158: 801–859.
- Young, M.T.; Brandalise de Andrade, M.; Brusatte, S.L.; Sakamoto, M.; Liston, J. 2013.** The oldest known metriorhynchid super-predator: a new genus and species from the Middle Jurassic of England, with implications for serration and mandibular evolution in predacious clades. *Journal of Systematic Palaeontology* 11: 475–513.







## CAPÍTULO XII: Conclusiones



Dinosaurio Saurópodo  
similar al que dejó sus huellas en el Cretácico Inferior  
de Quebrada San Salvador



## Conclusiones

Por más de un siglo, se han conocido hallazgos de vertebrados fósiles en el Desierto de Atacama, y desde los restos descritos por Burmeister y Giebel (1861), se ha acumulado una importante cantidad de evidencias fósiles estudiadas a lo largo de décadas, principalmente, durante los últimos 50 años. Incluso antes del Mesozoico, se conocen algunos escasos vertebrados marinos del Paleozoico superior, los que incluyen peces óseos, cartilaginosos y huellas de posibles anfibios. Este conjunto es aún muy exiguo para permitir inferencias paleobiogeográficas. Sin embargo, las huellas descritas en rocas del Carbonífero de la Formación Chinchas, al interior de la ciudad de Copiapó, documentan la temprana presencia de vertebrados en el sur de Pangea.

Desde la parte alta del Paleozoico, y a través del Mesozoico, la diversidad de vertebrados del desierto de Atacama ha experimentado cambios importantes. Por el momento, las formas marinas del Triásico de Chile solo incluyen restos de un ictosaurio indeterminado, el que corresponde a uno de los hallazgos más antiguos de Sudamérica. Por otro lado, la diversidad continental comienza a conocerse, fundamentalmente, a través de aquellos hallazgos efectuados en los Estratos de El Bordo, cerca del Cerro Quimal, en donde se encontraron aetosaurios (*Chilenosuchus forttae*), silesáuridos indeterminados, *Crocodylomorpha* indeterminados, y recientemente, peces semionotiformes de agua dulce. Estos materiales plantean interesantes perspectivas para futuros hallazgos, al representar grupos diversos en un ambiente tipo laguna y asociado a eventos volcánicos (Figura 57), los cuales son aspectos favorables para la preservación de restos óseos. Del mismo modo, los antecedentes de vertebrados triásicos conocidos en latitudes cercanas de Argentina muestran una altísima diversidad, haciendo esperable la aparición de nuevos y diversos restos de vertebrados en el sector del Cerro Quimal.

Durante el Jurásico Inferior se conocen registros de vertebrados exclusivamente marinos, lo que se encuentra condicionado al desarrollo de una amplia cuenca marina desde Panthalassa (paleo-Pacífico) hacia el interior del continente sudamericano, a la latitud aproximada de las regiones de Tarapacá y Antofagasta. Entre estos hallazgos, destaca la presencia de *Atacamaia solitaria*, un 'celacanto' que corresponde a la forma más tardía conocida del clado Whiteiidae. Se conocen además hallazgos locales de peces proleptolépidos, como así también restos de un gran ictosaurio del género *Temnodontosaurus*, grupo previamente conocido solo en el hemisferio norte. Junto con estos, también se ha registrado la presencia de plesiosaurios y cocodrilos *Thalattosuchia* indeterminados.

La presencia de Whiteiidae, Proleptolepidae y *Temnodontosaurus* en el norte de Chile, abre interrogantes paleobiogeográficas, ya que los Whiteiidae son conocidos en el Triásico de China, Madagascar y Spitsbergen (Arratia y Schultze, 2015). A su vez, los Proleptolepidae y *Temnodontosaurus* son conocidos durante el Jurásico Inferior en Europa (Arratia, 2015; Maisch y Matzke, 2000), sugiriendo la existencia de rutas marinas plenamente funcionales durante el Jurásico Inferior y que permitieron el intercambio de fauna entre el Tetis y Panthalassa. Por el momento, Este patrón es emergente e insuficiente para reconocer posibles rutas o bien para determinar la dirección del intercambio de cada representante



de esta fauna. La distribución bioceánica de estos vertebrados marinos pudo ocurrir a través del Corredor Boreal, el Corredor Austral, o el Corredor de Mozambique (Benedetto, 2010), dado que Pangea aún no se fragmentaba y el Corredor del Caribe aún no tenía lugar. En este caso, la recolección de más evidencia es fundamental para probar o refutar estas rutas de intercambio.

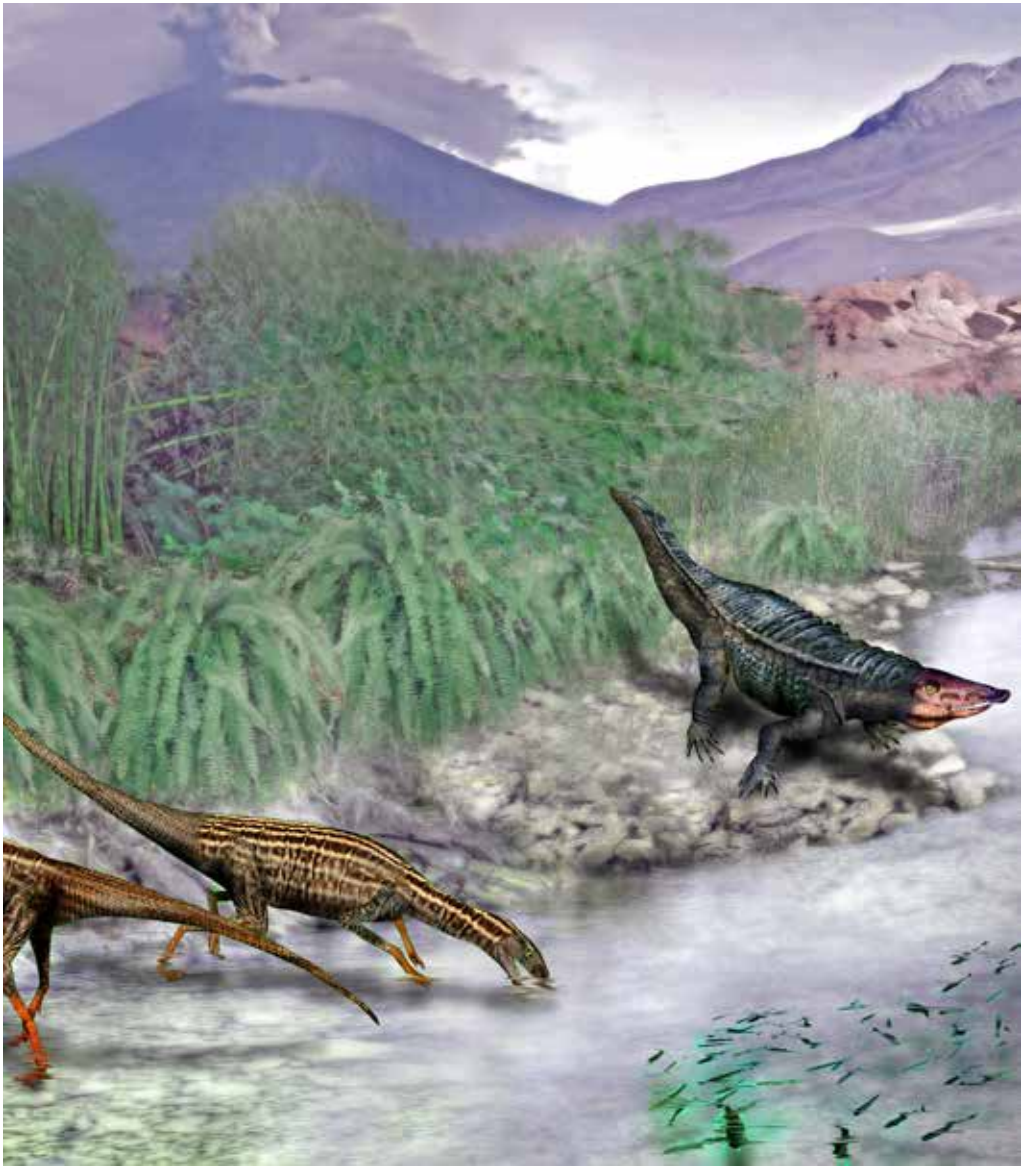
Los hallazgos del Jurásico Medio y Jurásico Superior incluyen la más rica diversidad de vertebrados marinos mesozoicos conocida hasta ahora en Chile. Los reptiles marinos cuentan con múltiples hallazgos de ictiosaurios, plesiosaurios y cocodrilos *Thalattosuchia*. Estos últimos incluyen dos hallazgos de edad bajociana, un *metriorhynchoidea* basal proveniente del interior de Copiapó, y un *Geosaurini* aún indeterminado, proveniente de Sierra Gorda. Ambos hallazgos son de alta importancia, pues representan formas basales y que pueden contribuir a la comprensión de las relaciones de parentesco entre cocodrilos marinos *Thalattosuchia*. Sumado a lo anterior, se conocen al menos dos formas endémicas, '*Metriorhynchus casamiquelai*' y '*Metriorhynchus westermanni*', más un tercer tipo aún en proceso de estudio (SGO.PV.249), y que podría corresponder a una forma diferente a las mencionadas. De esta forma, se revela una interesante diversidad de cocodrilos marinos existente en el Jurásico Medio y Superior del norte de Chile, con interesantes perspectivas futuras para la investigación del grupo.

Los restos de ictiosaurios son frecuentes en el Jurásico Medio-Superior del desierto de Atacama, sin embargo, recientemente se ha podido determinar la presencia del clado *Ophthalmosauridae*, sobre la base de material craneal proveniente del Caloviano-Oxfordiano de Cerritos Bayos.

Los *Ophthalmosauridae* más antiguos conocidos hasta ahora, se encuentran representados por *Mollesaurus periallus* (Fernández, 1999), del Bajociano de Argentina. Durante el Jurásico Medio y Superior, los *Ophthalmosauridae* son conocidos en Europa (Maisch y Matzke, 2000), México (Buchy, 2010) y Cuba (Fernández e Iturralde-Vinent, 2000), mientras que durante el Cretácico Inferior alcanzaron una distribución cosmopolita (Fischer et al., 2012; Pardo-Pérez et al., 2015). La presencia de *Ophthalmosauridae* en el Jurásico My Superior del Desierto de Atacama ayuda a complementar el registro paleobiogeográfico y cronoestratigráfico conocido del grupo.

Desde los años setenta se han registrado diferentes hallazgos de plesiosaurios en el Jurásico Medio y Superior del desierto de Atacama (Chong y Gasparini, 1976), los que no habían aportado suficiente información para determinaciones taxonómicas significativas. En la última década, se ha reconocido la presencia de plesiosaurios *Cryptoclididae* en el Caloviano-Oxfordiano de Cerritos Bayos, y se cuenta con varios especímenes, algunos de ellos con elementos articulados que permiten determinar la presencia del género *Muraenosaurus*, previamente restringido al Caloviano de Inglaterra (Brown, 1981) y al Caloviano de Argentina (Gasparini y Spalletti, 1993). Además, se ha hallado una mandíbula que coincide con el género *Vinialesaurus*, previamente restringido al Oxfordiano de Cuba. Junto con estos, se han registrado, en la misma localidad, los primeros restos referibles a pliosaurios del Oxfordiano hallados en Chile.





**Figura 57:** interpretación paleoambiental del Triásico de Cerro Quimal, Región de Antofagasta.



Adicionalmente, se suma a estos registros la gran diversidad local de peces Varasichthyidae y Chongichthyidae, los que poseen 12 formas diferentes. Los Varasichthyidae cuentan con registros en el Oxfordiano de Cuba (White, 1942). Junto con esto, se ha registrado también la presencia en el norte chileno, del pez filtrador gigante *Leedsichthys*, previamente descrito en el Jurásico Medio de Inglaterra, Alemania y Francia (Liston, 2010).

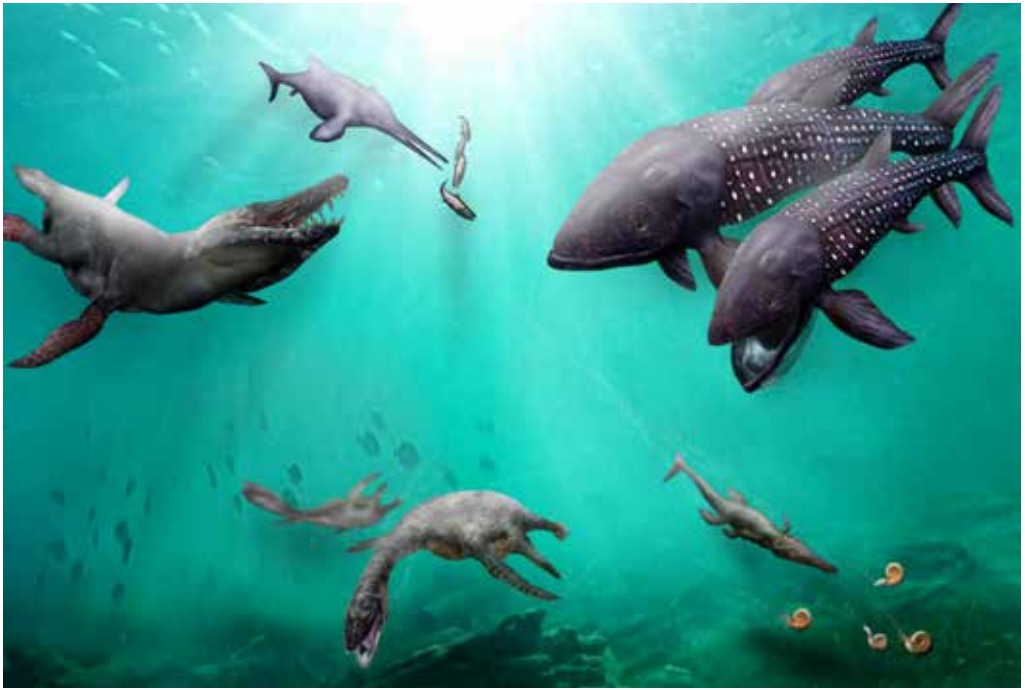
El conjunto de vertebrados reconocido en el Desierto de Atacama e integrado por cocodrilos Metriorhynchidae, ictiosaurios Ophthalmosauridae, plesiosaurios de los géneros *Muraenosaurus* y *Vinialesaurus*, pliosaurios aún indeterminados, peces Varasichthyidae, y del género *Leedsichthys* (Figura 58), robustecen la evidencia disponible respecto a un intercambio de fauna entre el Tetis y Panthalassa a través del Corredor del Caribe durante el Jurásico Medio y Superior.

A su vez, se destaca la primera ocurrencia de un pterosaurio Rhamphorhynchidae en el Oxfordiano de Cerritos Bayos (Alarcón et al., 2018), siendo el registro más antiguo de pterosaurios conocido hasta ahora en Chile.

Con el retroceso de la cuenca marina, ocurre la aparición de vertebrados continentales durante el Cretácico Inferior del Desierto de Atacama, documentada mediante diferentes registros de huellas de dinosaurios, las que incluyen Theropoda, Ornithopoda y Sauropoda (Figura 59). También, en ese mismo período, se han descrito pterosaurios Ctenochasmatidae y Dsungaripteridae, estos últimos representados por la especie endémica *Domeykodactylus ceciliae*. Por ahora se conocen escasos registros de vertebrados marinos del Cretácico Inferior del norte de Chile, estando restringidos al hallazgo del aspidorrínquido endémico *Pseudovinctifer chilensis*.

Hasta el momento, existen múltiples registros fragmentarios de dinosaurios del Cretácico en el norte de Chile, destacándose entre ellos los restos del titanosáurido *Atacamatitan chilensis*, que hasta la fecha es la única especie de saurópodo descrita en Chile.





**Figura 58:** interpretación paleoambiental del Jurásico Medio-Jurásico Superior de Cerritos Bayos, Región de Antofagasta.



**Figura 59:** interpretación paleoambiental del Cretácico Inferior de Quebrada San Salvador, Región de Antofagasta.





## Consideraciones finales

El registro de vertebrados paleozoicos y mesozoicos del norte de Chile conocido, hasta ahora, ha sido principalmente el resultado de prospecciones geológicas y hallazgos fortuitos desde el siglo XIX. Estos hallazgos se han incrementado especialmente durante la segunda mitad del siglo XX y primeras décadas del 2000.

En los últimos años, se han realizado prospecciones paleontológicas que han permitido nuevos e importantes materiales, además de develar nuevas localidades fosilíferas, las que apuntan a una cantidad y diversidad de vertebrados fósiles mucho mayor que la hasta ahora conocida, permitiendo vislumbrar un altísimo potencial para el desarrollo de la paleontología en el norte de nuestro país.

Los hallazgos aquí presentados son de gran relevancia evolutiva, ya que en varios casos permiten completar brechas en el registro fósil mundial. Dichas brechas corresponden a lapsos del tiempo geológico en donde no se conocen hallazgos similares en otras partes del mundo. También corresponden a brechas de carácter geográfico, con nuevos registros locales de formas previamente conocidas en otras partes del planeta.

Son especialmente importantes los hallazgos de vertebrados del Paleozoico superior y Triásico del norte de Chile, ya que representan una de las pocas evidencias del grupo en las aguas del margen suroeste de Pangea. A su vez, los hallazgos de vertebrados del Jurásico del norte de Chile son y serán fundamentales para comprender la evolución de la diversidad de reptiles marinos, peces óseos, condriictios y otras formas marinas, al empezar a complementar el mapa paleobiogeográfico de intercambio entre las faunas del hemisferio norte, aquellas del Caribe, y las formas locales.

Finalmente, los escasos hallazgos de pterosaurios, restos óseos de dinosaurios y sus huellas, comienzan a develar la diversidad continental que predominó en el norte de Chile a partir de inicios del Cretácico. En este sentido, queda una gran labor prospectiva por delante, y con seguridad, nuevos hallazgos permitirán un conocimiento de mayor detalle sobre nuestra fauna de vertebrados mesozoicos del Desierto de Atacama.



## Bibliografía

- Alarcón, J.; Soto-Acuña, S.; Otero, R.A.; Rojas, O. 2018.** El primer pterosaurio no pterodactiloideo de Chile. I Congreso de Paleontología de Chile, Libro de Resúmenes, pp. 334–337. Punta Arenas.
- Arratia, G. 2015.** Los peces osteóctios fósiles de Chile y su importancia en los contextos paleobiogeográfico y evolutivo. En: Rubilar-Rogers, D.; Otero, R.A.; Vargas, A.; Sallaberry, M. (eds.), Vertebrados Fósiles de Chile. Publicación Ocasional del Museo Nacional de Historia Natural, Chile, 63:35–83.
- Arratia, G.; Schultze, H. P. 2015.** A new fossil actinistian from the Early Jurassic of Chile and its bearing on the phylogeny of Actinistia. *Journal of Vertebrate Paleontology* e983524: 12 p.
- Benedetto, J.I. 2010.** El Continente de Gondwana a través del tiempo. Una introducción a la Geología Histórica. Academia Nacional de Ciencias de Córdoba (Argentina), Córdoba, 383 p.
- Brown, D. S. 1981.** The English Late Jurassic Plesiosauroidea (Reptilia) and review of the phylogeny and classification of the Plesiosauria. *Bulletin of the British Museum (Natural History), Geology* 4:225–234.
- Buchy, M–C. 2010.** First Record of *Ophthalmosaurus* (Reptilia: Ichthyosauria) from the Tithonian (Upper Jurassic) of Mexico. *Journal of Paleontology* 84:149–155.
- Burmeister, H.; Giebel, C. 1861.** Die Versteinerungen von Juntas im Thal des Rio Copiapo. *Abhandlungen der Naturforschenden Gessellschaft zu Halle* 6:122–132.
- Chong, G.; Gasparini, Z. 1976.** Los vertebrados mesozoicos de Chile y su aporte geopaleontológico. En: Actas del IV Congreso Geológico Argentino. Bahía Blanca, 45–67.
- Fernández, M.S. 1999.** A new ichthyosaur from the Los Molles Formation (Early Bajocian), Neuquen Basin, Argentina. *Journal of Paleontology*. 73:677–681.
- Fernández, M.S.; Iturralde-Vinent, M. 2000.** An Oxfordian Ichthyosauria (Reptilia) from Viñales, western Cuba: paleobiogeographic significance, *Journal of Vertebrate Paleontology* 20:191–193.
- Fischer, V.; Maisch, M.W.; Naish, D.; Kosma, R.; Liston, J.; Joger, U.; Krüger, F.J.; Tainsh, J.; Appleby, R.M. 2012.** New Ophthalmosaurid Ichthyosaurs from the European Lower Cretaceous Demonstrate Extensive Ichthyosaur survival across the Jurassic–Cretaceous Boundary. *PLoS One* 7:1–23.
- Gasparini, Z.; Spalletti, L. 1993.** First Callovian plesiosaurs from the Neuquen Basin, Argentina. *Ameghiniana* 30:245–254.
- Liston, J. 2010.** The occurrence of the Middle Jurassic pachycormid fish *Leedsichthys*. *Oryctos* 9: 2–36.
- Maisch, M.W., Matzke, A.T., 2000.** The Ichthyosauria. *Stuttgarter Beiträge zur Naturkunde Serie B (Geologie und paläontologie)* 298:1–159.



- Martill, D.; Frey, E.; Chong, G.; Bell, M. 2000.** Reinterpretation of a Chilean pterosaur and the occurrence of Dsungaripteridae in South America. *Geological Magazine* **137**: 19–25.
- Pardo-Pérez, J.; Otero, R.A., Suárez, M.E. 2015.** Síntesis del registro fósil de ictiosaurios (Reptilia: Ichthyosauria) en Chile. En: Rubilar-Rogers, D.; Otero, R.A.; Vargas, A.; Sallaberry, M. (Eds.), *Vertebrados Fósiles de Chile*. Publicación Ocasional del Museo Nacional de Historia Natural, Chile, 63:113–150.
- White, T.E. 1942.** A new leptolepid fish from the Jurassic of Cuba. *Proceedings of the New England Zoological Club* 21:97–100.



## Glosario

- Aetosauria:** clado de diápsidos arcosauromorfos que existieron durante el período Triásico. Incluyen formas herbívoras, caracterizados por poseer una densa armadura dérmica, rostro recurvado dorsalmente, y que pueden alcanzar tallas medias a grandes.
- Afloramiento (de roca):** corresponde a cuerpos de roca expuestos en superficie o de forma masiva, libres de sedimento, vegetación o elementos que son producto de la erosión.
- Albiano:** edad dentro del Cretácico Inferior, comprendida entre los 113 y 100,5 millones de años (International Stratigraphic Chart 2019).
- Amniotos:** clado de vertebrados caracterizados por un embrión que posee cuatro envolturas (corión, alantoides, amnios y saco vitelino), permitiendo la mantención de un medio líquido que posibilita la respiración y alimentación del mismo. La aparición de esta adaptación se considera el paso decisivo para la reproducción fuera del agua, como ocurre en peces y anfibios.
- Análisis filogenético:** análisis orientado a reconstruir las relaciones de parentesco entre diferentes formas de vida o grupos de ellas, sobre la base de su cercanía evolutiva. Se basa principalmente en la dicotomía entre los estados de un carácter morfológico, considerando también la anatomía comparada, la historia de los linajes (paleontología), y la biología molecular, entre otros.
- Anatomía comparada:** la anatomía comparada fue promovida por Georges Cuvier durante el siglo XIX. Es una disciplina enfocada en reconocer similitudes y diferencias entre los distintos elementos anatómicos de diversos organismos. Son fundamentales para esta disciplina los términos biológicos como 'Analogía', que se refiere a estructuras anatómicas de función similar, pero con distinto origen evolutivo, y 'Homología', que dice relación con estructuras anatómicas de función similar o diferente, pero con el mismo origen evolutivo.
- Anfibios:** clase de vertebrados tetrápodos caracterizados por poseer huevos anamniotas, sufriendo metamorfosis durante su desarrollo, con larvas de respiración branquial y adultos con pulmones. Este grupo incluye a las primeras formas de tetrápodos que se internaron en ambientes terrestres, durante el Paleozoico.
- Antearco:** en geología, se le considera a la zona o región confinada entre una fosa oceánica y un arco volcánico adyacente. Actualmente en Chile, el antearco corresponde a los sectores ubicados al este de la fosa de Atacama y al oeste de los volcanes en la Cordillera de Los Andes.
- Antropología:** ciencia dedicada al estudio del ser humano en todos sus aspectos, ya sean físicos y/o culturales.
- Aptiano:** edad dentro del Cretácico Inferior comprendida entre los 125 y 113 millones de años (ISC, 2019).



**Arco magmático:** también denominado "arco volcánico", corresponde a la serie de volcanes alineados en forma paralela a un contacto entre placas tectónicas convergentes. En Chile norte y centro, la subducción de la placa de Nazca bajo la Placa Sudamericana, determina la presencia del arco magmático en la actual Cordillera de Los Andes. En Chile, este arco ha migrado de oeste a este desde el Jurásico hasta la actualidad.

**Arqueología:** ciencia que estudia los materiales culturales elaborados por el ser humano y que se encuentran actualmente en desuso, ya sean conservados en su totalidad o parcialmente, en contextos netamente humanos, o bien asociados o con interacción con la fauna y/o flora antigua.

**Bajociano:** edad dentro del Jurásico Medio, comprendida entre los 170,3 y 168,3 millones de años (ISC, 2019).

**Barremiano:** edad dentro del Cretácico Inferior, comprendida entre los 129,4 y 125 millones de años (ISC, 2019).

**Caloviano:** edad dentro del Jurásico Medio, comprendida entre los 166,1 y 163,5 millones de años (ISC, 2019).

**Cenozoico:** era geológica que transcurre desde hace 66 millones de años hasta la actualidad.

**Condrictios:** corresponden a una clase de vertebrados mandibulados netamente acuáticos (marinos y de agua dulce), caracterizados por tener esqueletos de cartílago. Corresponden al grupo hermano de los Teleostomi (peces Actinopterygii y Sarcopterygii), y se les conoce comúnmente como peces cartilaginosos. Incluyen a las subclases Elasmobranchii (tiburones, rayas y mantas) y Holocephali (quimeras).

**Corredor del Caribe:** en paleogeografía, se le conoce como el cuerpo de agua que separó Gondwana de Laurasia desde el Jurásico, permitiendo la circulación de formas de vida marinas entre el paleo-Atlántico (Tetis) y paleo-Pacífico (Panthalassa). El Corredor del Caribe fue interrumpido durante el Plioceno con la formación del istmo de Panamá, a consecuencia de la actividad volcánica.

**Cretácico:** período geológico que se desarrolló entre 145 y 66 millones de años atrás.

**Cuenca de Neuquén:** cuenca sedimentaria de trasarco originada durante el Jurásico, y que se extendió desde el paleo-Pacífico (Panthalassa) hacia lo que hoy es la ciudad de Neuquén en Argentina. Se reconoce su duración hasta mediados del Cenozoico.

**Edad absoluta:** corresponde a la edad numérica obtenida para un elemento en estudio (rocas, minerales, fósiles), generalmente mediante dataciones radioisotópicas.

**Edad relativa:** edad aproximada de un elemento en estudio (rocas, minerales, fósiles), asignada sobre la base de comparaciones con otros elementos estratigráficos o cronológicamente adyacentes, para los cuales ya se conoce algún criterio de edad, que puede ser absoluta o relativa.



**Equinodermos:** phylum de animales deuterostomados, de vida netamente marina bentónica. Se caracterizan por poseer un esqueleto calcáreo formado por múltiples placas, con simetría pentarradial en el adulto y larvas con simetría bilateral. Incluye a los erizos, estrellas de mar, crinoideos, ofiuroides y holoturias.

**Estratigrafía:** rama de la geología dedicada al estudio e interpretación de las rocas estratificadas, sus relaciones de contacto, descripción, secuencia, correlaciones verticales y horizontales, cartografía y distribución, características de sus estratos y otros aspectos relevantes para la formación de estos y de secciones estratificadas en general.

**Estrato:** unidad macroscópica indivisible de roca que puede distinguirse de otras rocas inmediatamente adyacentes, la cual posee propiedades homogéneas en cuanto a tipo de grano, color, dureza, contenido fosilífero, entre otros.

**Formación:** principal unidad de división litoestratigráfica formal que define cuerpos de rocas de composición y estructura comunes que permiten diferenciarla de unidades adyacentes.

**Fósil:** cualquier evidencia de vida antigua, ya sean organismos completos preservados excepcionalmente en algún medio (momificación, permafrost, ámbar, brea, entre otros), partes de un organismo (esqueletos completos o parciales, elementos anatómicos aislados) o moldes dejados por organismos o parte de ellos. También son considerados como fósiles las evidencias metabólicas antiguas como fecas, evertidos gástricos, egagrópilas, entre otros. Las huellas dejadas por la actividad de un organismo en tiempos pasados también son consideradas como fósiles.

**Geología histórica:** rama de la geología dedicada al estudio y comprensión de los cambios sufridos por el planeta Tierra o aplicado a sectores de este, desde su formación hasta el presente.

**Gondwana:** supercontinente conformado por Sudamérica, África, Madagascar, Península Arábiga, Antártica, Australia e India. Inicialmente, se estima que su conformación inicial se produjo unos 570 millones de años atrás, contactando con Laurasia hace unos 300 millones de años, formando así el megacontinente Pangea. Posteriormente, durante el Jurásico, Gondwana y Laurasia nuevamente se separaron.

**Hettangiano:** edad más antigua dentro del Jurásico Inferior, comprendida entre los 201,3 y 199,3 millones de años (ISC, 2019).

**Holotipo:** espécimen o elemento designado como tipo nomenclatural, al que se fija un nombre, descripción científica diagnóstica, y sobre el cual se justifica la definición del nombre científico de una especie.

**Iconitas:** tipo de traza fósil correspondiente a huellas de desplazamiento dejadas por un organismo caminante.

**Jurásico:** período geológico que se desarrolló entre 252 hasta 145 millones de años atrás.



**Kimmeridgiano:** edad dentro del Jurásico Superior, comprendida entre los 157,3 y 152,1 millones de años (ISC, 2019).

**Laurasia:** supercontinente del hemisferio norte, resultante tras la ruptura de Pangea durante el Paleozoico, tras separarse de Gondwana por el sur. Incluye los actuales continentes de Norteamérica, Europa y parte de Asia.

**Límite Cretácico-Paleógeno:** también mencionado frecuentemente como Límite K/T, en alusión al Cretácico-Terciario. Corresponde a depósitos sedimentarios de 66 millones de años que marcaron el final del Mesozoico y el comienzo del Cenozoico.

**Lithostrotia:** clado de dinosaurios dentro de los Sauropoda Titanosauria, definido como el más reciente ancestro común entre *Malawisaurus*, *Saltasaurus* y todos los descendientes de dicho ancestro. Se caracterizan por tener vértebras caudales con caras articulares anteriores muy cóncavas (procélicas) y vértebras caudales posteriores de caras aplanadas. Los Lithostrotia existieron durante gran parte del Cretácico.

**Litología:** rama de la geología dedicada a la determinación de las características de las rocas que integran una determinada unidad geológica (litostratigráfica).

**Mar Boreal:** corredor oceánico existente durante el Mesozoico, ubicado al norte de Laurasia, que permitió el intercambio de fauna marina entre el Tetis y el norte de Panthalassa.

**Mar de Tetis:** cuerpo oceánico que existió durante gran parte del Mesozoico, confinado hacia el oeste por Gondwana, hacia el norte por Laurasia, y hacia el sur por partes de Gondwana, que incluyeron India, Antártica y Australia. El Mar de Tetis corresponde al antiguo Océano Atlántico.

**Material tipo:** corresponde al ejemplar de un organismo (o evidencia de él), al cual queda fijado el nombre, características taxonómicas, descripción científica y justificación del nombre científico asignado a una especie biológica. Cada material tipo requiere su numeración, conservación permanente y posibilidad de acceso, a cargo de alguna institución idónea.

**Mesozoico:** era geológica comprendida entre los 251,9 y 66,0 millones de años (ISC, 2019).

**Neógeno:** período geológico comprendido entre los 23,3 y 5,3 millones de años (ISC, 2019).

**Notocorda:** elemento diagnóstico del Phylum Chordata, correspondiente a una estructura axial central presente en el embrión, relacionada con la génesis de los tejidos circundantes y que proporciona soporte al organismo en desarrollo. Se encuentra vinculada a la formación de cartílago y a la osificación de los tejidos (aparición de vértebras y formación de esqueleto interno).

**Ornitópodos:** clado de dinosaurios ornitisquios caracterizados, en general, por extremidades posteriores con tres dedos, colas muy rígidas, ausencia de armadura y baterías dentales complejas. Originalmente, fueron bípedos,



pero los miembros más tardíos fueron facultativamente cuadrúpedos. También, en formas tardías, aparecen rostros, un pico córneo similar al de las actuales aves, aparatos masticatorios altamente complejos, aumento de tamaño, y finalmente, la aparición de una curvatura cervical acoplada a la adquisición permanente del desplazamiento cuadrúpedo. Se han registrado desde el Jurásico Inferior hasta fines del Cretácico, siendo mayormente abundantes y diversos en el hemisferio norte.

**Osteichthyes:** superclase (grupo parafilético) de vertebrados mandibulados eminentemente acuáticos, caracterizados por la presencia de un esqueleto interno osificado, con escaso cartílago. Junto con los Chondrichthyes (peces cartilaginosos) conforman el grupo de animales comúnmente denominados peces.

**Oxfordiano:** edad dentro del Jurásico Superior, comprendida entre los 163,5 y los 157,3 millones de años (ISC, 2019).

**Paleobiogeografía:** rama de la paleobiología dedicada al estudio de la distribución geográfica alcanzada por diferentes organismos durante lapsos del pasado geológico. Permite comprender los intercambios de fauna ocurridos en el pasado, como los cambios migratorios, eventos de extinción, relictos y otros casos de distribución que aportaron a configurar la actual diversidad biológica.

**Paleogeografía:** estudio de la geografía antigua existente durante tiempos geológicos.

**Paleozoico:** era geológica comprendida entre 541 hasta 251 millones de años atrás.

**Pangea:** supercontinente existente a fines del Paleozoico y persistente hasta comienzos del Jurásico, conformado por la convergencia y reagrupación de las grandes masas continentales tras la fragmentación de los supercontinentes más antiguos (Rodinia y Pannotia). Pangea corresponde a la etapa continental previa a la separación de Laurasia y Gondwana.

**Panthalassa:** se le denomina al océano central confinado por el supercontinente Pannotia hace unos 600 a 540 millones de años atrás. Tras los cambios de Pannotia a consecuencia de la deriva continental, Panthalassa se integró al Océano Panafricano (que rodeaba exteriormente a Pannotia), transformándose así en el océano global que rodeaba al nuevo supercontinente Pangea, condición que perduró durante la parte alta del Paleozoico y principios del Mesozoico. Tras la separación de Pangea en Gondwana y Laurasia, Panthalassa se dividió, originándose el Mar Boreal, el Mar de Tetis y el paleo-Índico, mientras que el océano remanente hacia el oeste de Gondwana+Laurasia, en general sigue considerándose como Panthalassa durante el Jurásico, correspondiendo a lo que será posteriormente el Océano Pacífico.

**Politomía:** en el contexto de un resultado filogenético (cladograma), corresponde a relaciones de parentesco no resueltas en forma dicotómica. En politomía, múltiples ramas de un árbol filogenético se encuentran sobre





un mismo nodo, representando un resultado estadísticamente poco estable para una propuesta de parentesco entre dichas ramas.

**Posición Filogenética:** en un análisis filogenético, corresponde a la ubicación dentro de un cladograma de un taxón o un linaje, con respecto a sus ancestros y descendientes.

**Primera Etapa del Ciclo Tectónico Andino (CTA):** el Ciclo Tectónico Andino (CTA) corresponde a la serie de eventos tectónicos ocurridos desde hace unos 200 millones de años (límite Triásico-Jurásico), que han determinado la historia geológica de Los Andes, incluyendo procesos de acreción, colisión, subducción, acortamiento, engrosamiento cortical, fallamiento, deformación, magmatismo y sedimentación, los que han sido variables en cantidad y calidad a través del mencionado lapso. La Primera Etapa del CTA se asocia a la reactivación de la subducción en el margen suroeste de Gondwana durante el Jurásico Inferior, acoplada a un régimen extensivo del continente proto-sudamericano, que estaba en proceso de separación con África. Tras su separación, hace aproximadamente 80 millones de años, se considera el inicio de un segundo ciclo determinado por un cambio de ángulo en la subducción y una fuerte compresión del margen suroeste de Sudamérica.

**Protolito:** roca original, precursora de una roca metamórfica, representando la condición inicial de la roca previo al proceso de metamorfismo (deformación por presión y temperatura).

**Pseudosuchia:** clado de diápsidos arcosaurios que incluyen a los cocodrilos y todos los arcosaurios más cercanos a cocodrilos que a aves (Ornithosuchidae, Aetosauria, entre otros). El linaje Pseudosuchia conforma junto a los Avemetatarsalia el clado Archosauria.

**Relictos:** en biología, hace referencia a poblaciones o grupos supervivientes de fenómenos naturales, poblaciones confinadas geográficamente o grupos en peligro de extinción con escasos individuos vivos.

**Rocas intrusivas:** corresponde a aquellas rocas formadas a consecuencia del enfriamiento paulatino y no repentino del magma, caracterizadas por la presencia de cristales. Son el tipo de roca más abundante en la corteza y pueden formar cuerpos de volúmenes kilométricos.

**Rocas sedimentarias:** rocas conformadas por la acumulación y consolidación de sedimentos preexistentes resultantes de procesos erosivos.

**Rocas volcánicas:** rocas formadas por el rápido enfriamiento del magma, caracterizadas por la presencia de cristales pequeños y vidrio.

**Sauropoda:** clado de dinosaurios sauropodomorfos herbívoros y cuadrúpedos, caracterizados por la adquisición de largos cuellos y cola. Existieron desde el Triásico superior hasta fines del Cretácico e incluyeron las formas de dinosaurios más grandes hasta ahora conocidas.

**Simetría bilateral:** morfología presente en organismos cuyo cuerpo puede separarse en dos mitades especulares determinadas por un plano sagital, esto es, a lo largo del cuerpo.



**Sinemuriano:** edad dentro del Jurásico Inferior comprendida entre los 199,3 y 190,8 millones de años (ISC, 2019).

**Subducción:** proceso tectónico convergente mediante el cual una placa litosférica de mayor densidad se hunde bajo otra placa menos densa.

**Subfósil:** cualquier evidencia de vida cuya antigüedad es inferior (más reciente) a la definida por convención para designar a un fósil. Autores como Carvalho (2010) fijan este criterio temporal en el límite Pleistoceno-Holoceno, por lo que todo subfósil queda restringido exclusivamente al Holoceno.

**Tafonomía:** rama de la paleontología dedicada al estudio de los procesos involucrados en la formación de un fósil y/o de los yacimientos paleontológicos donde estos ocurren.

**Taxón:** grupo o linaje de organismos con relaciones de parentesco cercanas. En taxonomía, un taxón agrupa a formas cercanas bajo una denominación, entregando una descripción característica. En el caso de especies, se asigna además un material tipo.

**Theropoda:** clado de dinosaurios sauriscios, caracterizado por la presencia de huesos neumáticos y extremidades posteriores con tres dedos. Fueron mayoritariamente bípedos, y aparecen en el registro fósil durante el Triásico. Las formas gigantes de Theropoda incluyen algunos de los carnívoros más grandes conocidos (e.g., *Tyrannosaurus rex*, *Giganotosaurus carolinii*, *Mapusaurus roseae*), extinguiéndose a fines del Cretácico. Durante el Cenozoico, los Theropoda Avialae se volvieron altamente diversos, continuando presentes hasta hoy día (aves).

**Trasarco:** para placas tectónicas en contacto de subducción, corresponde a los terrenos que se encuentran opuestos a la subducción y al arco magmático.

**Triásico:** período geológico que se desarrolló entre 252 y 201 millones de años atrás.

**Unidad geológica:** corresponde a cuerpos de rocas delimitados según composición y estructura similares, las que permiten diferenciarlos de otras unidades cercanas y/o adyacentes. Formalmente, se utilizan unidades litoestratigráficas de diferente alcance, siendo la unidad fundamental la Formación. Para agrupamientos mayores, se consideran las unidades como Grupo o Superunidad. Una Formación puede dividirse a su vez en miembros.



## Créditos de las imágenes

- Tapa: Dibujos digitales, composición. Rodrigo Otero, 2019.
- Página inicial: Fotografía, estratos en Ojo Opache, comuna de Calama. Rodrigo Otero, 2017.
- pág. 19 Fotografía, restos óseos en Cerritos Bayos, comuna de Calama. Jennyfer Rojas, 2017.
- pág. 25 Fotografía, paisaje de Cerritos Bayos, comuna de Calama. Jennyfer Rojas, 2018.
- pág. 28 Fotografía, paleontólogos en Cerritos Bayos. Mauricio Castro, 2018.
- pág. 29 Fotografía, Laboratorio Universidad de Chile. Rodrigo Otero, 2018.
- pág. 33 Fotografía, guanacos cerca del Cerro Quimal. Rodrigo Otero, 2018.
- pág. 37 Esquema, paleogeografía del Paleozoico del norte de Chile. Rodrigo Otero, 2019.
- pág. 38 Esquema, paleogeografía del Triásico del norte de Chile. Rodrigo Otero, 2019.
- pág. 39 Esquema, paleogeografía del Jurásico Medio del norte de Chile. Rodrigo Otero, 2019.
- pág. 43 Dibujo digital, *Hybodus* sp.; Rodrigo Otero, 2019.
- pág. 45 Fotografía y Esquema, Fotografía tomada de <https://www.latercera.com/que-pasa/noticia/exitosa-primer-expedicion-paleontologica-a-la-precordillera-de-atacama-descubre-fofles-de-320-millones-de-anos/MSAQE5IK2FB7HNY47IFYURTRCI/>; Esquema, Rodrigo Otero, 2018. Modificado de Bell y Boyd (1986).
- pág. 46 Dibujo digital, *Hybodus* sp.; Rodrigo Otero, 2019.
- pág. 49 Fotografía, vista aérea desde dron, sector Cerro Quimal. Jennyfer Rojas, 2018.
- pág. 52 Dibujo digital, *Chilenosuchus forttae*. Rodrigo Otero, 2018.
- pág. 53 Dibujo digital, Silesauridae. Rodrigo Otero, 2018.
- pág. 57 Fotografía, diente de *Temnodontosaurus* sp.; Rodrigo Otero, 2017.
- pág. 59 Dibujo digital, *Atacamaia solitaria*. Rodrigo Otero, 2019.
- pág. 60 Dibujo digital, *Temnodontosaurus* sp.; Rodrigo Otero, 2018.
- pág. 63 Fotografía, cráneo de '*Metriorhynchus*' *casamiquelai*. Rodrigo Otero, 2010.
- pág. 65 Dibujo original. Tomado de Burmeister y Giebel, 1861.
- pág. 66 Dibujo original. Tomado de Burmeister y Giebel, 1861.



- pág. 67 Dibujo digital, '*Metriorhynchus*' *casamiquelai*. Rodrigo Otero, 2018.
- pág. 71 Fotografía, costillas de plesiosaurio *in situ*, Cerritos Bayos. Rodrigo Otero, 2010.
- pág. 75 Dibujo digital, *Atacamichthys greeni*. Rodrigo Otero, 2019.
- pág. 76 Dibujo digital, *Leedsichthys* sp.; Rodrigo Otero, 2019.
- pág. 77 Dibujo digital, Ophthalmosauridae. Rodrigo Otero, 2018.
- pág. 79 Dibujo digital, *Muraenosaurus* sp.; Rodrigo Otero, 2019.
- pág. 79 Dibujo digital, *Vinialesaurus* sp. Rodrigo Otero, 2019.
- pág. 80 Dibujo digital, *Pliosaurus* sp.; Rodrigo Otero, 2018.
- pág. 81 Dibujo digital, *Rhamphorhynchus* sp.; Rodrigo Otero, 2019.
- pág. 82 Fotografías, Huellas de dinosaurios Qda. San Salvador. Facilitadas por Osvaldo Rojas, 2019.
- pág. 87 Fotografía, Formación Tolar. Rodrigo Otero, 2018.
- pág. 89 Dibujo digital, *Pseudovinctifer chilensis*. Rodrigo Otero, 2019.
- pág. 90 Dibujo digital, *Domeykodactylus ceciliae*. Rodrigo Otero, 2019.
- pág. 91 Dibujo digital, *Atacamatitan chilensis*. Rodrigo Otero, 2019.
- pág. 95 Fotografía, estudio en gabinete. Rodrigo Otero, 2019.
- pág. 98 Dibujo original. Modificado de Breitkreutz, 1986.
- pág. 99 Fotografía, *Atacamaia solitaria*, holotipo. Rodrigo Otero, 2018.
- pág. 100 Fotografía, Semionotiformes indet. Rodrigo Otero, 2016.
- pág. 101 Fotografía, '*Lepidotes*' sp.; Rodrigo Otero, 2015.
- pág. 102 Fotografía, *Pseudivinctifer chilensis*, holotipo. Rodrigo Otero, 2018.
- pág. 103 Fotografía, *Protoclupea chilensis*, holotipo. Rodrigo Otero, 2018.
- pág. 104 Fotografía, *Protoclupea atacamensis*, holotipo. Rodrigo Otero, 2018.
- pág. 105 Fotografía, *Bobbichthys opercularis*, holotipo. Rodrigo Otero, 2018.
- pág. 106 Fotografía, *Chongichthys dentatus*, holotipo. Rodrigo Otero, 2018.
- pág. 107 Fotografía, *Gyrodus* sp. Rodrigo Otero, 2018.
- pág. 108 Fotografía, *Leedsichthys* sp. Rodrigo Otero, 2017.
- pág. 109 Fotografía original, *Chilenosuchus forttae*, holotipo. Modificado de Casamiquela, 1980.



- pág. 110 Fotografía, Silesauridae indet. Rodrigo Otero, 2015.
  - pág. 111 Fotografía, *Metriorhynchoidea* indet. Original de Juan Tavera, circa 1981.
  - pág. 112 Fotografía, '*Metriorhynchus*' sp.; Rodrigo Otero, 2015.
  - pág. 113 Fotografía, '*Metriorhynchus*' *casamiquelai*, holotipo. Fotografía obtenida desde su exhibición en el Museo Ruinas de Huanchaca. Rodrigo Otero, 2010.
  - pág. 114 Fotografía, '*Metriorhynchus*' *westermanni*, holotipo. Modificado de Gasparini et al, 2008.
  - pág. 115 Fotografía, dientes de ictiosaurio. Rodrigo Otero, 2013.
  - pág. 116 Fotografía y esquema, *Temnodontosaurus* sp.; Rodrigo Otero, 2017.
  - pág. 117 Fotografía, Ophthalmosauridae. Rodrigo Otero, 2018.
  - pág. 118 Fotografía, Ophthalmosaurinae. Rodrigo Otero, 2018.
  - pág. 119 Fotografía, *Muraenosaurus* sp.; Rodrigo Otero, 2017.
  - pág. 120 Fotografía, *Vinialesaurus* sp.; Rodrigo Otero, 2018.
  - pág. 121 Fotografía, Pliosauridae indet.; Rodrigo Otero, 2018.
  - pág. 122 Fotografía, *Atacamaitan chilensis*, holotipo. Rodrigo Otero, 2018.
  - pág. 129 Fotografía, restos óseos de dinosaurio, norte de El Abra. Rodrigo Otero, 2014.
  - pág. 132 Esquema. Rodrigo Otero, 2019.
  - pág. 134 Esquema. Rodrigo Otero, 2019.
  - pág. 136 Esquema. Rodrigo Otero, 2019.
  - pág. 138 Esquema. Rodrigo Otero, 2019.
  - pág. 139 Esquema. Rodrigo Otero, 2019.
  - pág. 141 Esquema. Rodrigo Otero, 2019.
  - pág. 149 Dibujo digital, extracto. Rodrigo Otero, 2019.
  - pág. 153 Paleoambiente del Triásico. Dibujo digital. Rodrigo Otero, 2019.
  - pág. 155 Paleoambiente del Jurásico Medio-Superior. Dibujo digital. Rodrigo Otero, 2019.
  - pág. 155 Paleoambiente del Cretácico Inferior. Dibujo digital. Rodrigo Otero, 2019.
- Figuras 26, 29, 30, Colección Museo Nacional de Historia Natural, Santiago,  
31, 32, 33, 34, 37, Chile. Uso bajo autorización formal de la institución (2019).  
39, 43 y 49 Fotografías por Rodrigo Otero, 2019.



## Agradecimientos

Este volumen debe su existencia a múltiples personas e instituciones. Agradecimientos a la Corporación de Cultura y Turismo de Calama, a la Ilustre Municipalidad de Calama y a Codelco Distrito Norte por apoyar financieramente la elaboración de este libro, así como parte de las campañas de terreno. El acceso a gran parte de los especímenes aquí incluidos ha sido posible gracias al Museo de Historia Natural y Cultural del Desierto de Atacama, dirigido por el señor Osvaldo Rojas M. Del mismo modo, la preparación e investigación de varios especímenes ha sido posible gracias al apoyo del Laboratorio de Ontogenia y Filogenia, Departamento de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad de Chile. Junto con ello, el Proyecto Anillo ACT-172099, Registro Fósil y Evolución de Vertebrados (Programa de Investigación Asociativa, ANID (ex-Conicyt)-Chile, Director Dr. Alexander Vargas M.), ha apoyado la realización de importantes campañas de terreno, preparación de materiales, junto con el estudio y publicación formal de especímenes provenientes de la comuna de Calama. Agradecemos también al Museo Nacional de Historia Natural por su patrocinio para el uso de imágenes de fósiles albergados en sus colecciones. Gracias también a Consultora Paleosuchus Ltda. por su permanente apoyo a sus funcionarios para la realización de investigación. Finalmente, mi agradecimiento a Daniel Silva (Editorial Digital) por el trabajo de revisión del presente texto.

Vayan mis agradecimientos y reconocimiento a Osvaldo y Jennyfer Rojas, quienes se han vuelto compañeros inseparables en la ciudad de Calama; a ambos les debemos algunos de los más espectaculares hallazgos paleontológicos del desierto de Atacama. Mi gratitud también a los compañeros de terreno con quienes compartimos el esfuerzo de recuperar tantos bloques de roca que, con trabajo y dedicación, terminaron develando la historia en ellos contenida: Sergio Soto Acuña, Jhonatan Alarcón, Mario Suárez, Héctor Ortiz, Alexander Vargas, David Rubilar, Rob O'Keefe, Luis Ossa, Ana Valenzuela, Fernando Novas, Marcelo Isasi, Federico Agnolin, Federico Brisson, Pochino, y a todos quienes aportaron en distintos momentos a la recuperación de especímenes desde los rigores del desierto. Con especial nostalgia y lamentando su prematura ausencia, agradecemos también a Paul Maluenda, quien frecuentemente nos acompañó en terreno durante los primeros años de esta aventura. Especiales agradecimientos al geólogo Patricio Sepúlveda



(autor de contribuciones seminales para la paleontología de vertebrados chilena) por su amistad, generosidad y por compartir su valiosísima experiencia en terreno, la que actualmente se está traduciendo en nuevos hallazgos de vertebrados mesozoicos en el norte de nuestro país.

Mis respetuosos agradecimientos a Gloria Arratia, Guillermo Chong y Zulma Gasparini, quienes comenzaron esta aventura de leer el desierto en busca de alucinantes animales marinos del Jurásico, y quienes nos motivan hoy a seguir en esta búsqueda.

Por supuesto, expreso mi gratitud a todas aquellas personas de la ciudad de Calama que han mantenido su preocupación por la defensa y preservación de su herencia cultural. La historia nos pertenece a todos y cada uno de nosotros estamos llamados a develarla y conservarla. Este libro llega a su término durante días atribulados para Chile y el mundo. Esperamos que este pequeño grano de arena ayude a acercarse, a conocer y a atesorar esta parte de la cultura e identidad de nuestro territorio, esperando que el conocimiento del pasado pueda aportar para construir un mejor futuro para todas las personas.

Rodrigo Otero  
Población J.A. Ríos (Stgo)  
Calama y Pichidegua  
Agosto de 2020.









ISBN 978-956-09449-1-7



9 789560 944917 >



CORPORACIÓN DE  
**CULTURA**  
Y  
**TURISMO**  
CALAMA

