Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú. Decana de América
Facultad de Ciencias Biológicas
Escuela Profesional de Ciencias Biológicas

Investigación, docencia y curaduría en paleontología de vertebrados

TRABAJO PROFESIONAL

Para optar el Título Profesional de Biólogo con Mención en Zoología

AUTOR

Rodolfo Martín SALAS GISMONDI

ASESOR

Dr. César Augusto AGUILAR PUNTRIANO

Lima, Perú

2023



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Salas, R. (2023). *Investigación, docencia y curaduría en paleontología de vertebrados*. [Trabajo Profesional de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ciencias Biológicas, Escuela Profesional de Ciencias Biológicas]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	Rodolfo Martín Salas Gismondi
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	07867419
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0001-9990-8841
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	César Augusto Aguilar Puntriano
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	06667817
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0001-6372-7926
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	José Miguel Pérez Zúñiga
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	09648785
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Oscar Diego Evangelista Vargas
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	46626302
Datos de investigación	
Línea de investigación	A.1.1.4. Paleobiología

Grupo de investigación	No aplica
Agencia de financiamiento	No aplica
Ubicación geográfica de la investigación	Universidad Nacional Mayor de San Marcos País: Perú Departamento: Lima Provincia: Lima Distrito: Lima 15081 Latitud: -12.05586 Longitud: -77.08450
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Septiembre 2023 – Noviembre 2023
URL de disciplinas OCDE	Paleontología https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.05.03 Biología (teoría, matemática, térmica, criobiología, ritmo biológico), biología evolutiva https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.06.15

Universidad Nacional Mayor de San Marcos

(Universidad del Perú, Decana de América)

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

ACTA DE SESIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE BIÓLOGO CON MENCIÓN EN ZOOLOGIA

TITULACIÓN EXTRAORDINARIA VIRTUAL (MODALIDAD: TRABAJO PROFESIONAL)

Siendo las 14:09 horas del 11 de diciembre de 2023, en el Salón de Grados Virtual de la Facultad de Ciencias Biológicas cuya dirección electrónica fue https://meet.google.com/mue-opgz-sea, y en presencia del Jurado formado por los profesores que suscriben, se inició la sesión para optar al **Título Profesional de Bióloga con mención en Zoología** de **RODOLFO MARTÍN SALAS GISMONDI.**

Luego de dar lectura y conformidad al expediente Nº **UNMSM-20230104719**, el titulando expuso su Trabajo Profesional: **INVESTIGACIÓN, DOCENCIA Y CURADURÍA EN PALEONTOLOGÍA DE VERTEBRADOS,** y el Jurado efectuó las preguntas del caso calificando la exposición con la nota ……**20**……,calificativo: ……**Aprobado con máximos honores**……...

Habiéndose cumplido con las disposiciones del Reglamento, el expediente será enviado a la Escuela Profesional de Ciencias Biológicas y luego al Consejo de Facultad para que se apruebe otorgar el **Título Profesional de Bióloga con mención en Zoología** a **RODOLFO MARTÍN SALAS GISMONDI** y se eleve lo actuado al Rectorado de la Universidad para conferir el respectivo Título, conforme a ley.

Siendo las 16:10 horas se levantó la sesión.

Ciudad Universitaria, 11 de diciembre de 2023.

Dr. JOSE MIGUEL PEREZ ZUÑIGA
(PRESIDENTE)

Dr. CESAR AUGUSTO AGUILAR PUNTRIANO
(TUTOR)

Mg. OSCAR DIEGO EVANGELISTA VARGAS
(MIEMBRO)

Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú. Decana de América

Vicerrectorado de Investigación y Posgrado

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo CÉSAR AUGUSTO AGUILAR PUNTRIANO en mi condición de asesor de la Escuela Profesional de Ciencias Biológicas, de la Facultad de Ciencias Biológicas; cuyo título es INVESTIGACIÓN, DOCENCIA Y CURADURÍA EN PALEONTOLOGÍA DE VERTEBRADOS presentado por el bachiller RODOLFO MARTÍN SALAS GISMONDI para optar al Título Profesional de Biólogo (a) con mención en: ZOOLOGÍA

CERTIFICO: que se ha cumplido con lo establecido en la Directiva de Originalidad y de Similitud de Trabajos Académicos, de Investigación y Producción Intelectual. Según la revisión, análisis y evaluación mediante el software de similitud textual, el documento evaluado cuenta con el porcentaje de **8 %** de similitud, nivel **PERMITIDO** para continuar con los trámites correspondientes y para su publicación en el repositorio institucional.

Se emite el presente certificado en cumplimiento de lo establecido en las normas vigentes, como uno de los requisitos para la obtención del grado/ título/ especialidad correspondiente.

Firma del Asesor

César Augusto Aguilar Puntriano
DNI: 06667817



TABLA DE CONTENIDO

1. **INTRODUCCIÓN**
2. **CAPÍTULO I – INVESTIGACIÓN**
   - **2.1 Perfil de las Instituciones**
   - **2.2 Marco teórico**
   - **2.3 Métodos y acciones**
   - **2.4 Resultados**
3. **CAPÍTULO II – DOCENCIA**
   - **3.1 Perfil de la institución**
   - **3.2 Marco teórico**
   - **3.3 Métodos y acciones**
   - **3.4 Resultados**
4. **CAPÍTULO III – CURADURÍA**
   - **4.1 Perfil de la institución**
   - **4.2 Marco teórico**
   - **4.3 Métodos y Acciones**
   - **4.4 Resultados**
5. **COMPETENCIAS ALCANZADAS DURANTE LOS ESTUDIOS DE CIENCIAS BIOLÓGICAS EN LA UNMSM**
6. **CONCLUSIONES**
7. **PERSPECTIVAS**
8. **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. INTRODUCCIÓN

Desde la obtención de mi bachillerato en Ciencias Biológicas con mención en Zoología de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos me he desempeñado en tres áreas profesionales principales: la investigación científica, la docencia universitaria y la curaduría, en cada caso con una clara orientación a la paleontologíade vertebrados con especialidad en cocodrilianos, evolución, sistemática filogenética y anatomía comparada.

La paleontología de vertebrados es la ciencia que estudia los organismos con columna vertebral (i.e., Vertebrata) del pasado a través del registro fósil. La paleontología es la biología del pasado y complementa los estudios realizados tradicionalmente por la biología de organismos vivientes o neontología (Briggs & Crowther, 2003). El registro fósil de vertebrados incluye productos y cualquier evidencia de su actividad, tales como huesos, dientes, huevos, coprolitos, marcas de dentelladas, pisadas, etc. (Benton & Harper, 2020).

El registro fósil en el Perú es abundante, pero ha sido poco valorado por el Estado. Su importancia radica en que son archivos o documentos de la historia de la vida y de los ecosistemas. A través de este registro se puede entender el origen de la gran diversidad del Perú y se puede usar como modelo para entender aspectos del cambio climático y las extinciones que ahora lo afectan (Briggs & Crowther, 2003). Por ejemplo, ¿cómo se originó la enorme riqueza del mar frente a las costas del Perú? ¿cuál fue el proceso que consolidó la megadiversidad amazónica? El registro fósil puede ayudar a responder estas importantes

preguntas (ver Salas-Gismondi et al., 2015, Salas-Gismondi et al., 2022), que directamente servirán para tomar decisiones sobre su conservación.

El registro fósil es, además, evidencia fundamental para la evolución. La teoría evolutiva fue concebida por Darwin en gran medida en base a sus observaciones de los fósiles de Bahía Blanca en Buenos Aires y de las faunas actuales, que en conjunto mostraban que las especies delpasado y la actualidad en ciertos lugares estaban emparentadas y podían representar una relación de ancestro-descendiente (Dupré, 2005). Incorporar el estudio del registro fósil y la historia de la vida en la enseñanza de la evolución es fundamental y ayuda a cerrar la brecha existente entre la paleontología y la biología del presente.

La sistemática estudia las relaciones de parentesco entre los grupos de organismos y es crucial en el entendimiento de los procesos de diversificación y extinción. La anagénesis y la cladogénesis, como procesos evolutivos, ocurren y ocurrieron en la historia de la vida (Briggs & Crowther, 2003). Además, ambos son de gran importancia en la conceptualización de la especie biológica (De Queiroz, 2007). La anagénesis es el proceso evolutivo que ocurre en una metapoblación o especie sin diversificación. La cladogénesis ocurre cuando esta metapoblación se separa en dos y se inicia un proceso de especiación, después del cual el resultado son dos especies hijas (ver Mayr, 1974). A diferencia de la anagénesis, la cladogénesis es promotora de biodiversidad y por lo tanto su entendimiento resulta importante en el conocimiento y conservación de la biodiversidad del Perú.

Los fósiles son esencialmente restos de la anatomía de los organismos, la cual es estudiada e interpretada para la comprensión de las relaciones de parentesco, ecología de alimentación, modo de vida, locomoción, etc. Por lo tanto, el paleontólogo es un anatomista especializado en reconocer e interpretar la morfología de estructuras biológicas para entender aspectos de su evolución y ecología (ver Carroll, 1988). En general, los fósiles se circunscriben a las partes duras de los organismos y por lo tanto la información que proporcionan es incompleta y sesgada. En el caso de los vertebrados, los dientes y huesos son relativamente comunes mientras que la conservación de otros tejidos es escasa. Sin embargo, el territorio peruano ha demostrado que es muy rico en fósiles de vertebrados y en algunas localidades, la preservación es excepcional e incluye estructuras proteicas, como plumas, ranfotecas, barbas de ballenas, y cartílago. Esta preservación excepcional es particularmente recurrente en unidades geológicas de la costa sur de origen marino y en una localidad andina (e.g., Clarke et al. 2010; Salas-Gismondi et al., 2023).

Como otros documentos de gran valor para la paleobiología (ver Allmon, 2005), los fósiles se conservan en museos de historia natural o institutos de investigación, donde se preparan, catalogan, almacenan y estudian por los investigadores. Las colecciones de fósiles están bajo la tutela de un curador, encargado de velar por el cuidado y el uso adecuado de los fósiles para la investigación, docencia, difusión, etc. Los museos de historia natural son centros de diversidad ex-situ tanto del pasado como del presente. En el Perú, la colección más grande y de mayor importancia científica se encuentra en el Departamento de Paleontología de Vertebrados del Museo de Historia Natural de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima (DPV-MUSM).

Otros laboratorios de paleontología con colecciones se encuentran en las siguientes instituciones: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET; Lima), Universidad Ricardo Palma (URP; Lima), Universidad Peruana Cayetano Heredia (UPCH; Lima), Universidad Nacional de Piura (UNP; Piura), Universidad Nacional San Antonio Abad de Cusco (UNSAC; Cusco), Museo Municipal de Espinar (MUESP; Espinar), entre otros.

En taxonomía, se denomina grupo corona a aquel clado que incluye a especies vivientes y el ancestro común más cercano. Mis estudios se centraron en el grupo corona Crocodylia, también conocidos como cocodrilianos, clado que incluye aligátores, caimanes, verdaderos cocodrilos y gaviales (Brochu et al., 2009). Su origen se remonta al periodo Cretáceo y se trata esencialmente de formas semiacuáticas y algunas en el registro fósil de posibles hábitos terrestres (Brochu, 2003). En el Perú, el registro de cocodrilianos es abundante tanto en la costa como en la Amazonia (Salas-Gismondi et al., 2015; 2016; 2023). Por ser animales ectotermos, pues su temperatura corporal depende delmedio, son importantes indicadores de cambios climáticos y variaciones en la temperatura (Scotese, 2015). Asimismo, por ser mayormente semiacuáticos brindan información sobre las características del medio ambiente del pasado y sus transformaciones. Además, son depredadores generalistas en el presente, pero en el pasado tuvieron roles diversos en ecosistemas marinos, terrestres y de agua dulce que brindan información sobre nichos ecológicos ausentes en el presente (ver Grigg & Kirshner, 2015).

Este informe presenta los diferentes aspectos de mi desempeño orientado a la paleontología de vertebrados en tres capítulos: investigación científica, docencia y

curaduría. Estas tres actividades son complementarias y en conjunto representan los pilares del desarrollo básico y la valoración de cualquier disciplina científica, en este caso la paleontología de vertebrados.

2. CAPÍTULO I – INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

2.1 Perfil de las Instituciones

La investigación científica la realicé principalmente en el MUSM (2008-presente), en el Instituto de Ciencias de la Evolución de la Université Montpellier durante la realización de mi doctorado (2013-2015), en la Universidad de Zürich y el Smithsonian Tropical Research Institute durante mi posdoctorado (2016-2017) y en la Universidad Peruana Cayetano Heredia (2017-presente). Todas son instituciones académicas orientadas al desarrollo de la investigación científica de alto nivel.

2.2 Marco teórico

Mi investigación científica se ha centrado (no exclusivamente) en el estudio de la evolución de los cocodrilianos de Sudamérica y el Caribe durante el Cenozoico (últimos 66 millones de años).

La evolución de los cocodrilianos en Sudamérica y el Caribe se ha caracterizado por su diversidad y disparidad morfológica, a tal punto que en la Amazonía durante el Mioceno medio (~13 millones de años) se ha registrado el mayor número de especies sincrónicas y sintópicas de todos los tiempos (Salas-Gismondi et al., 2015). Los grupos de cocodrilianos más comunes registrados en el Mioceno sudamericano

son los caimanes, los gaviales y *Charactosuchus*, este último una forma enigmática de hocico largo de afinidades inciertas (Langston, 1965).

Los caimanes neotropicales más antiguos se han registrado en la Patagonia argentina y proceden del Paleoceno (hace unos 63 millones de años; ver Bona & Barrios, 2015). Estas especies parece que tuvieron hábitos generalistas y durófagos. El conocimiento de los caimanes del Paleoceno y Eoceno está limitado a material fragmentario del cráneo y la mandíbula (Bona & Barrios, 2015). Uno los géneros mejor conocidos es *Eocaiman* pues de este se cuenta con un cráneo parcial (Simpson, 1933). Otros taxones como *Protocaiman*, *Necrosuchus* y *Notocaiman* no se han podido caracterizar con claridad y su identidad es poco comprendida (Bona & Barrios, 2015). En la zona tropical de Sudamérica, los caimanes del Paleógeno (Paleoceno, Eoceno y Oligoceno) son virtualmente desconocidos, con excepción de un pequeño caimán atribuido al género *Caiman* representado por una mandíbula incompleta procedente del Oligoceno tardío de Tremembé (Brasil) y dientes aislados colectados en la Amazonía peruana (Chiappe, 1988; Antoine et al., 2016, 2021). El registro más antiguo de esta región recién ocurre en el Mioceno medio y tardío de Colombia, Perú, Venezuela y Brasil (ver Langston, 1965; Salas-Gismondi et al., 2015). Esta etapa se caracteriza por la existencia de especies de gran tamaño y de ecologías diversas. En la actualidad existen tres géneros de caimanes, tales como *Caiman*, *Melanosuchus* y *Paleosuchus*, todos de hábitos generalistas (Grigg & Kirshner, 2015).

Los caimanes son el grupo hermano de los aligátores y en general presentan rostros relativamenteanchos (ver Brochu, 1999). Los gaviales incluyen cocodrilianos con rostro largo y delgado (longirrostros) con dos géneros estrictamente de agua dulce que viven en Asia, *Tomistoma* y *Gavialis*. Aunque *Tomistoma* tiene una dieta relativamente amplia que incluye mamíferos terrestres, ambos muestran preferencia por alimentarse de presas pequeñas (Grigg & Kirshner, 2015). La mayor diversificación de gaviales al parecer ocurrió en Sudamérica pues se han descrito varias especies tanto en ambientes marinos como de agua dulce, principalmente durante el Mioceno, aunque existen restos más antiguos aún no descritos (Salas-Gismondi et al., 2022). En el Perú, durante el Mioceno diversas especies de gaviales vivían tanto en la Amazonia como en los ambientes marinos de la costa (Salas-Gismondi et al., 2016, 2022).

Un aspecto destacable de los gaviales radica en que sus relaciones de parentesco han sido tema de arduos debates entre paleontólogos y molecularistas (Figura 1; ver Brochu, 1997). Recientemente se ha llegado al consenso de que tanto *Gavialis* como *Tomistoma* son parte de un grupo monofilético. Si embargo, aún no se resuelve la trayectoria evolutiva de la morfología del clado debido a la falta de fósiles bien preservados y al hecho de que el gavial de la India *Gavialis* presenta una anatomía muy diferente a aquella que muestran los gaviales en el registro fósil (ver Brochu, 1997). Aunque ya se reconoció que los llamados “toracosaurios” –un grupo de

cocodriliformes longirostros del Cretáceo y Paleógeno– no son verdaderos gaviales, aún no se ha establecido con certeza la posición filogenética de otra forma antigua de África llamada *Argochampsa* (Jouve et al., 2008). Si *Argochampsa* es un gavialoideo entonces el grupo se originó en el límite Cretáceo-Paleógeno (K-Pg) o antes, es decir hace más de 66 millones de años. Esto genera enormes incongruencias temporales porque en recientes análisis filogenéticos este animal se encuentra enraizado con los gaviales sudamericanos del Mioceno y posterior a la divergencia de *Eogavialis* + *Gavialis* (ver abajo).

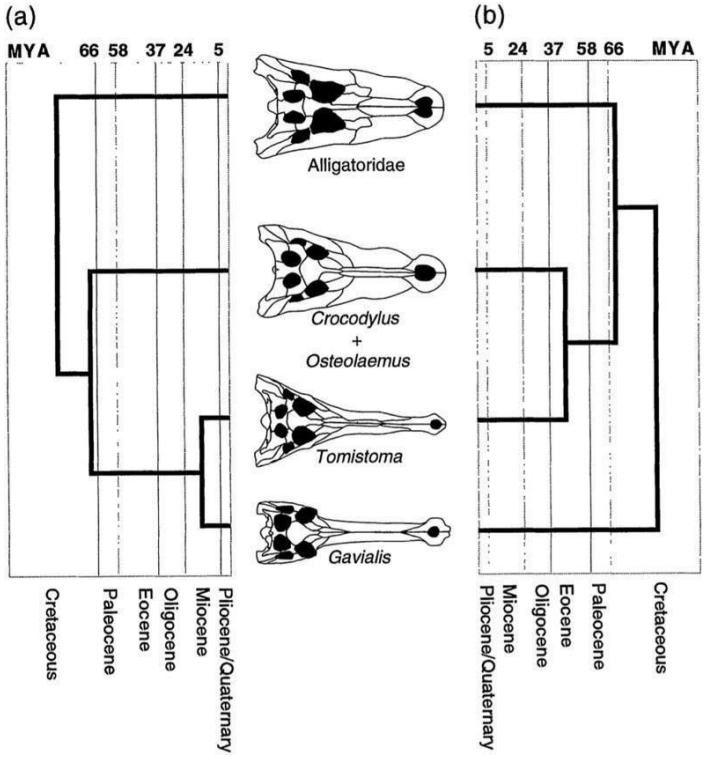

Figura 1. Hipótesis filogenéticas discrepantes en relación a la posición de *Gavialis*, según datos moleculares (a) y morfológicos (b). Tomado de Brochu, 1997.

2.3 Métodos y acciones

Para explorar la evolución de los cocodrilianos se ha analizado sus relaciones de parentesco con métodos filogenéticos usando data morfológica de especies extintas y actuales. La base de datos se construyó a partir de las matrices de caracteres de Christopher Brochu (1999 y 2011) para Alligatoridae y Stephen Jouve y colaboradores (2008) para gaviales. A partir de esta primera matriz, se hicieron numerosas revisiones de la codificación y de los caracteres. La matriz revisada incluye 200 caracteres o más e incluye caracteres craneales, mandibulares y poscraneanos. La matriz de caracteres fue analizada por el método de parsimonia en el programa TNT (Goloboff, 1999). Los diversos resultados filogenéticos fueron sometidos a pruebas adicionales (Bremer, Bootstrap) para establecer el soporte de las hipótesis filogenéticas. Asimismo, a través de estudios de morfometría geométrica en contexto filogenético realizados en MorphoJ (Klingenberg, 2011), se ha estudiado la variación de la forma dentro de clados de cocodrilianos para analizar estrategias de alimentación, hábitat y ecología de alimentación. Además, he realizado análisis biogeográficos en el programa S-DIVA (Yu et al., 2010) para establecer aspectos de los eventos ocurridos durante su historia biogeográfica (e.g., por vicarianza o migración).

Se realizaron estudios anatómicos comparativos para establecer la identidad taxonómica de las especies. La matriz de caracteres tiene alrededor de 75 taxones de todo el mundo incluidas tanto especies fósiles como vivientes. El outgroup está representado por *Bernissartia fagesi*, un crocodyliforme neosuchio del Cretáceo inferior de Bélgica (ver Martin et al., 2020).

2.4 Resultados

Doctorado en Université Montpellier, Francia. Durante el doctorado en el Institut des Sciences de l'Evolution de Montpellier realicé la tesis titulada: "Evolution of Neotropical Biodiversity: Phylogeny, Ecology and Biogeography of the Mesoeucrocodylia (Vertebrata: Crocodyliformes) from the Peruvian Amazonia", en la que describí y analicé las características de la fauna de cocodriliformes que habitó la Amazonia peruana en el llamado Sistema Pebas durante el Mioceno. El Sistema Pebas fue un conjunto de ecosistemas dominado por lagos, pantanos y ciénagas que existió en la Amazonia occidental desde hace ~23 hasta hace ~ 10.5 millones de años (ver Hoorn et al., 2010). Este sistema drenaba en mar Caribe y era episódicamente inundado por aguas marinas. Los fósiles fueron colectados en la formación Pebas del área de Iquitos (Loreto) en 2004-2013 y en el arco de Fitzcarrald (Ucayali) en 2005-2008. La tesis fue sustentada en diciembre del 2015 en la Université Montpellier y aprobada con honores. El doctorado fue realizado gracias al otorgamiento de una beca en 2012 por la Escuela Doctoral Franco-Peruana de Ciencias de la Vida que patrocina la Embajada de Francia, el Institut du Recherche pour le Development (IRD), la UPCH y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONCYTEC).

La primera contribución, correspondiente al primer capítulo de la tesis de doctorado, trata sobre los Caimaninae y fue publicada en 2015 en la prestigiosa revista inglesa Proceedings of the Royal Society B:

Salas-Gismondi, R., Flynn, J., Baby, P., Tejada-Lara, J. Wesselingh, F. & Antoine, P.-O., (2015). A Miocene hyperdiverse crocodylian community reveals peculiar trophic dynamics in proto-Amazonian mega-wetlands**.** *Proceedings of the Royal Society B* 282:20142490.

En esta investigación se reveló que la mayor diversidad de especies de cocodrilianos de todos los tiempos ocurrió en el Mioceno medio de la Amazonia peruana. Además, se describieron tres nuevos taxones de caimanes con dientes globulares para la ciencia: *Kuttanacaiman iquitosensis*, *Caiman wannlangstoni* y *Gnatusuchus pebasensis*, este último con notables modificaciones en la mandíbula asociadas con la excavación y la alimentación de moluscos infaunales (Figura 2).

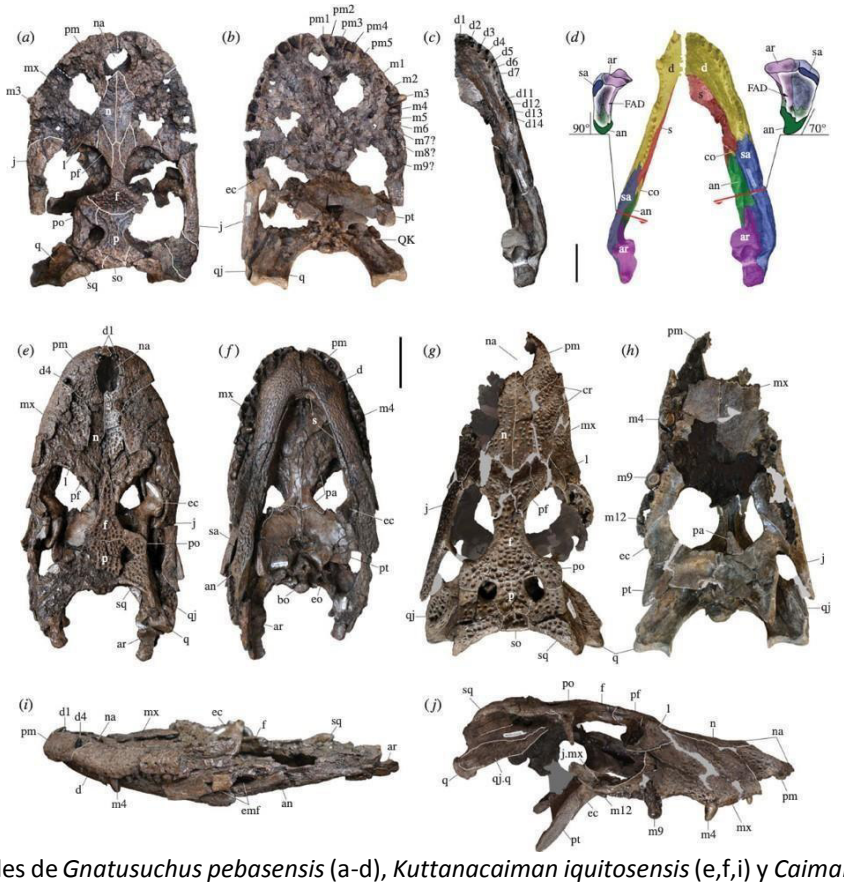

Figura 2. Fósiles de *Gnatusuchus pebasensis* (a-d), *Kuttanacaiman iquitosensis* (e,f,i) y *Caiman wannlangstoni* (g,h,j). Escala 5 cm. Tomado de Salas-Gismondi et al., 2015).

Estas características no han sido observadas previamente en cocodrilianos. Se estableció que las dinámicas de los ecosistemas acuáticos de esa época eran muy diferentes a las de la Amazonia actual. En esa época, en el sistema de pantanos y lagos disóxicos del Sistema Pebas había una gran diversidad taxonómica y abundancia de moluscos. Al parecer *Gnatusuchus*, *Kuttanacaiman* y *Caiman wannlangstoni* habían evolucionado características asociadas a la durofagia, como dientes globulares, hocicos cortos y anchos, y mandíbulas robustas en respuesta a la existencia de este importante recurso. Alternativamente, la durofagia pudo haber sido la característica ancestral de los Caimaninae, en cuyo caso la presencia de las referidas morfologías fueron heredadas y retenidas al menos en *Gnatusuchus* y *Kuttanacaiman*, pues ambos ocupan posiciones basales en la filogenia (Figura 3).

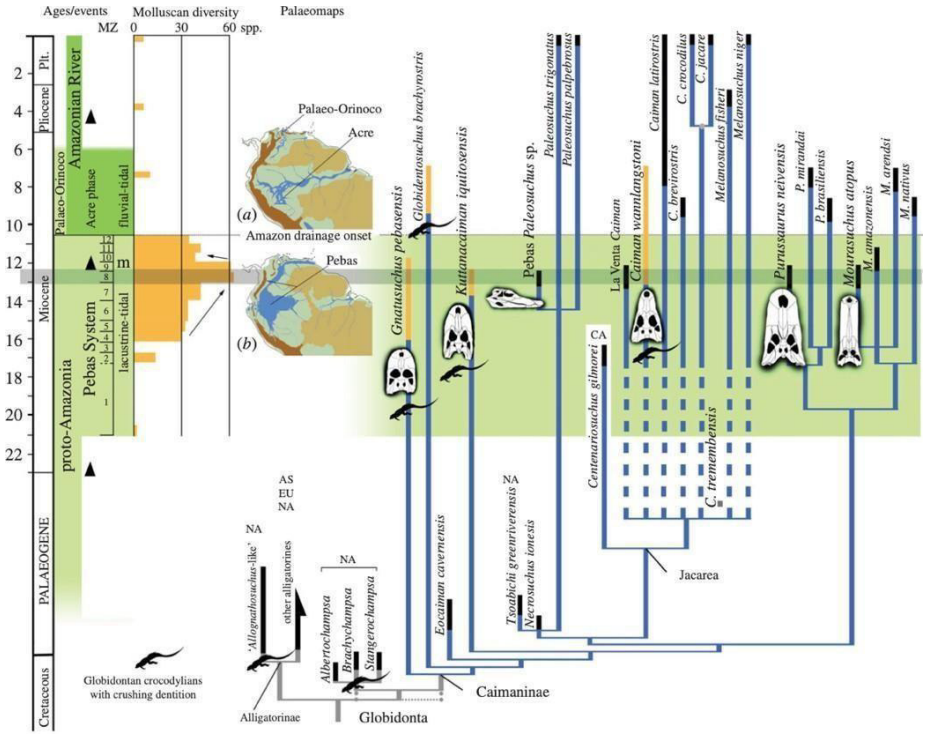

Figura 3. Filogenia de los Caimaninae, diversidad de moluscos y paleogeografía de la Amazonia. Tomado de Salas-Gismondi et al. 2015.

El reinado de caimanes durófagos y moluscos en la Amazonia termina hace unos 10.5 millones de años, con un pico de crecimiento andino que precipita la formación del río Amazonas y el fin de los ambientes lacustres y pantanosos del Sistema Pebas. Nace entonces el Sistema Acre del Mioceno tardío, de carácter fluvial, y en el que predominan especies gigantescas de caimanes y gaviales (Bocquentin Villanueva et al., 1989; Rift et al., 2014). Paralelamente, un relicto del Sistema Pebas se mantiene en el extremo norte de Sudamérica, en la región donde se cree que este sistema drenaba en el Caribe. Esto se sustenta en la evidencia paleontológica de Urumaco (Venezuela) en el Mioceno tardío, donde se han documentado caimanes con dientes globulares, tales como *Globidentosuchus brachyrostris* y *Caiman wannlangstoni*, en asociación con una gran diversidad de moluscos (Scheyer et al., 2013; Salas-Gismondi et al., 2015).

La segunda contribución, corresponde al segundo capítulo de mi tesis, y fue publicada en la revista PloS ONE en 2016:

Salas-Gismondi, R., Flynn, J. J., Baby, P., Tejada-Lara, J. V., Claude, J., Antoine, P.-O. (**2016**). A new 13 million year old gavialoid crocodylian from proto-Amazonian Mega-Wetlands reveals parallel evolutionary trends of skull shape linked to longirostry. *PLoS ONE* 11:e0152453.

Esta investigación describe una nueva especie de gavial, *Gryposuchus pachakamue*, que habitó hace 13 millones de años en los pantanos del Sistema Pebas (Figura 4).

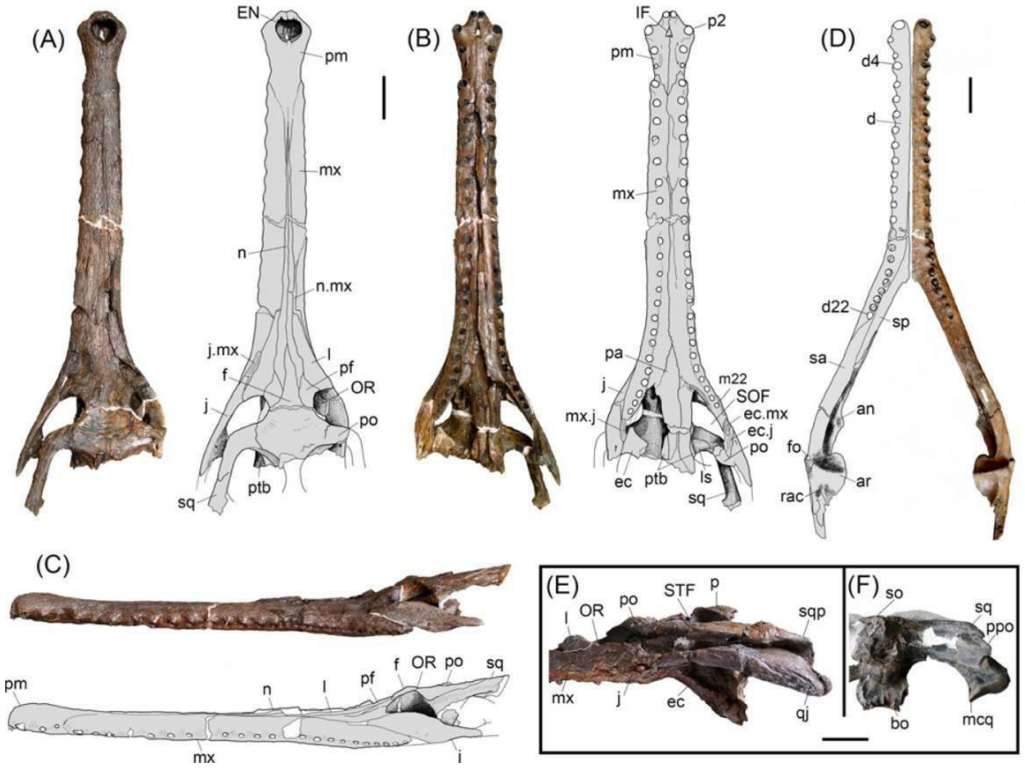

Figura 4. Fósiles y esquemas del cráneo de *Gryposuchus pachakamue*. Escala 5 cm. Tomado de Salas-Gismondi et al., 2016.

A través del análisis filogenético se estableció que la adquisición de las órbitas prominentes típicas del gavial de la India, *Gavialis gangeticus* y de *Gryposuchus colombianus* –un gavial del Mioceno medio de La Venta, Colombia– son resultado de procesos evolutivos independientes y, por consiguiente, de valor adaptativo. Esta contribución ayuda a entender que la forma prominente y gran separación entre las órbitas se acentúa en los ambientes de agua dulce, particularmente durante la evolución en ambientes fluviales. Las formas marinas no presentan esta adaptación, como se aprecia en *Piscogavialis jugaliperforatus* del Mioceno tardío de la costa peruana (Figura 5; Kraus, 1997; Salas-Gismondi et al., 2016). Los resultados fueron obtenidos a partir de análisis de morfometría geométrica realizados sobre la región rostral de diversas especies de cocodrilianos.

Al menos en los gaviales, la forma de las órbitas oculares está asociada al hábitat.

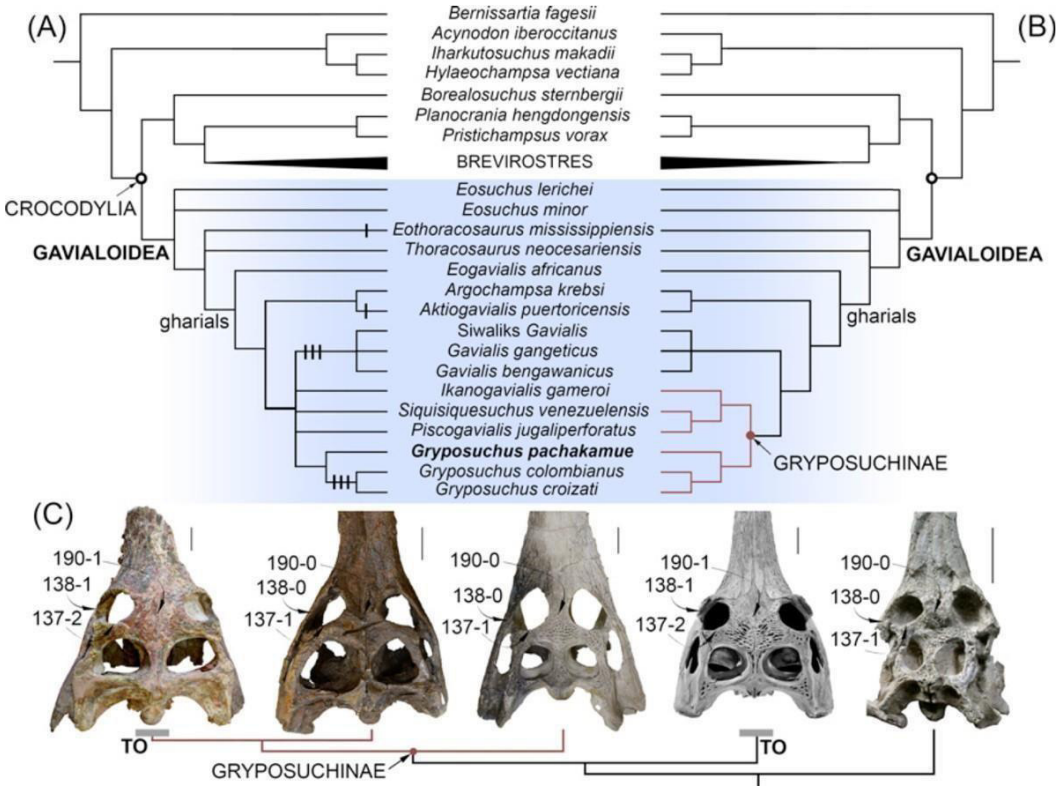

Figura 5. Filogenia de los Crocodylia, con especial detalle en Gavialoidea (A, B) y filogenia simplificada en la que se muestran los caracteres asociados con las órbitas prominentes y separadas. Escala 5 cm. Tomado de Salas-Gismondi et al., 2016.

Posdoctorado en la Universidad de Zurich, Suiza y el Smithsonian Tropical Research Institute, Panamá. La investigación se centró en el estudio de dos nuevos gaviales del Caribe y la evolución los patrones de la longirrostría en los cocodrilianos. La contribución de publicó en la revista inglesa Journal of Systematic Palaeontology en 2019.

Salas-Gismondi, R., Moreno-Bernal, J. W., Scheyer, T. M., Sánchez-Villagra, M. R., & Jaramillo, C. (2019). New Miocene Caribbean gavialoids and patterns of longirostry in crocodylians. *Journal of Systematic Palaeontology*, *17*(12), 1049-1075.

Se describió a *Dadagavialis gunai* del Mioceno temprano de Panamá y *Artiogavialis caribesi* del Mioceno tardío de Venezuela (Figuras 6 y 7).

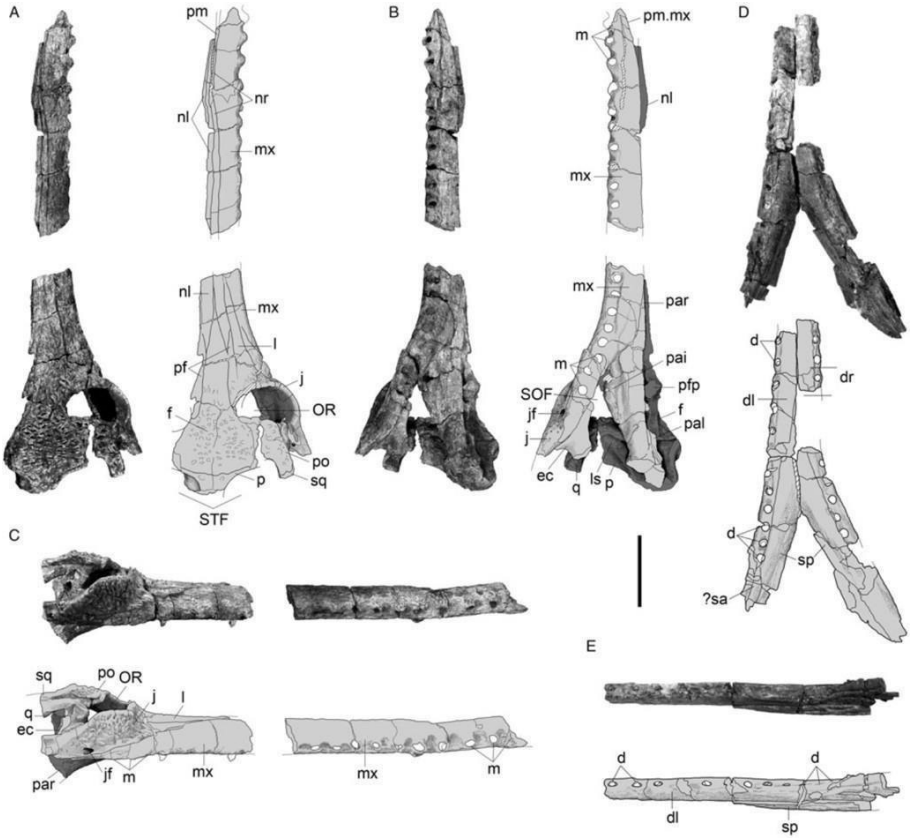

Figura 6. Fósiles y esquemas del cráneo y mandíbula de *Dadagavialis gunai* del Mioceno inferior de Panamá. Escala 5 cm. Tomado de Salas-Gismondi et al., 2019.

La investigación la realicé sobre nuevo material fósil descubierto en Panamá y Venezuela, para lo cual visité el Museo Nacional de Caracas y el Smithsonian Tropical Research Institute de ciudad de Panamá.



Figura 7. Fósiles y esquemas del cráneo de *Aktiogavialis caribesi* del Mioceno tardío de Venezuela. Escala 5 cm. Tomado de Salas-Gismondi et al., 2019.

El estudio también incluyó un análisis de los patrones de longirrostría en los cocodrilianos con la existencia de análisis de morfometría geométrica de la región rostral y el maxilar. Se determinó que mientras la región orbitaria cambia su morfología ampliamente entre los gaviales, la región del maxilar es más estable, a

pesar de que estos animales hayan tenido ecologías diversas a lo largo de millones deaños de evolución (Figura 8).

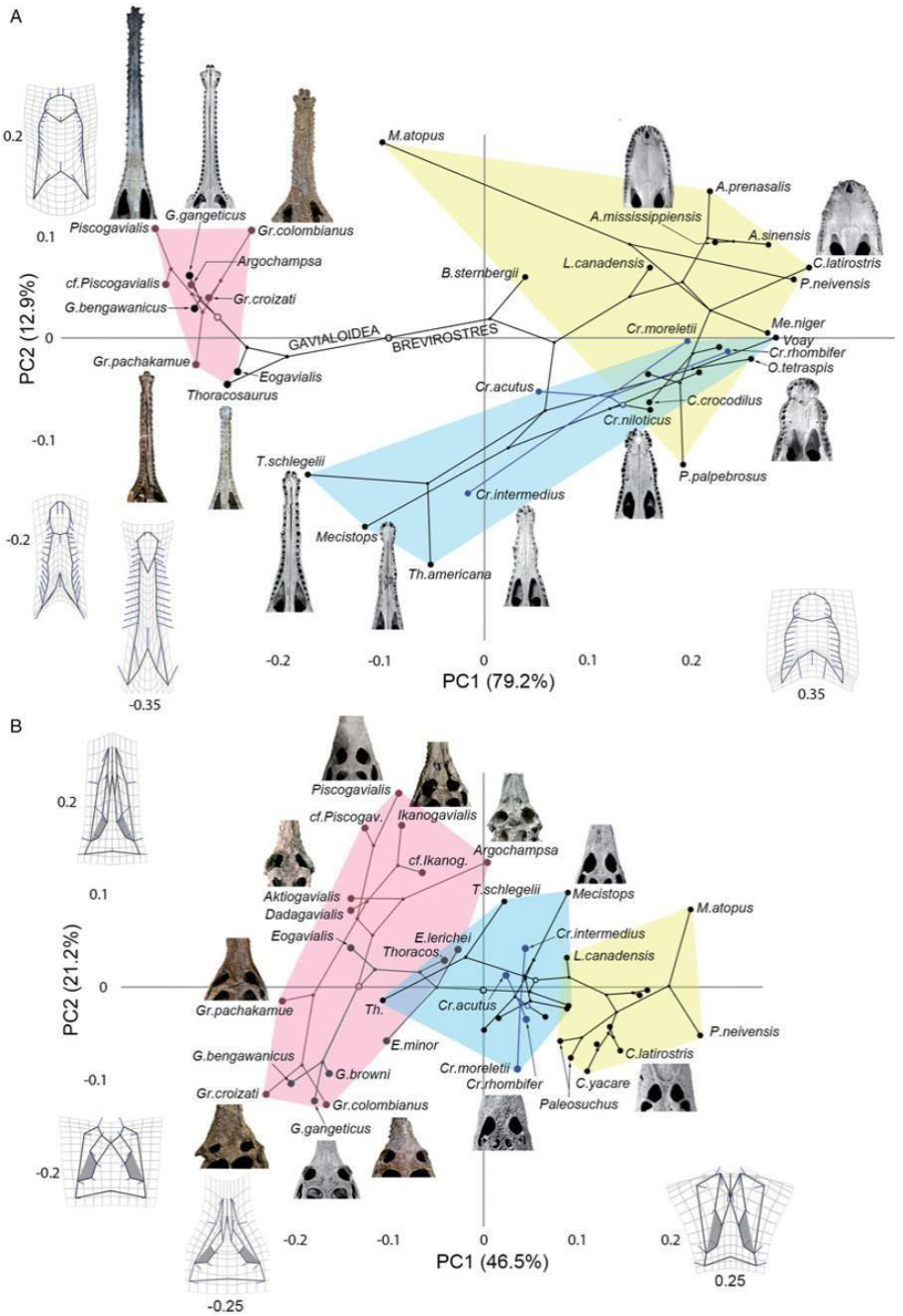

Figura 8. Análisis de componentes principales del maxilar (A) y la región rostral (B) de los cocodrilianos. Tomado de Salas-Gismondi et al., 2019.

Los análisis filogenéticos indicaron que *Aktiogavialis caribesi* estaba emparentado con un gavial conocido a partir de una mesa craneana del Oligoceno de Puerto Rico (Vélez-Juarbe et al., 2007). Por otro lado, *Dadagavialis gunai* resultó estar emparentado con *Ikanogavialis gameroi* del Mioceno tardío de Venezuela. En ambos casos, estos fósiles demuestran que los gaviales se dispersaban entre masas continentales e islas separadas por el océano (Figura 9).

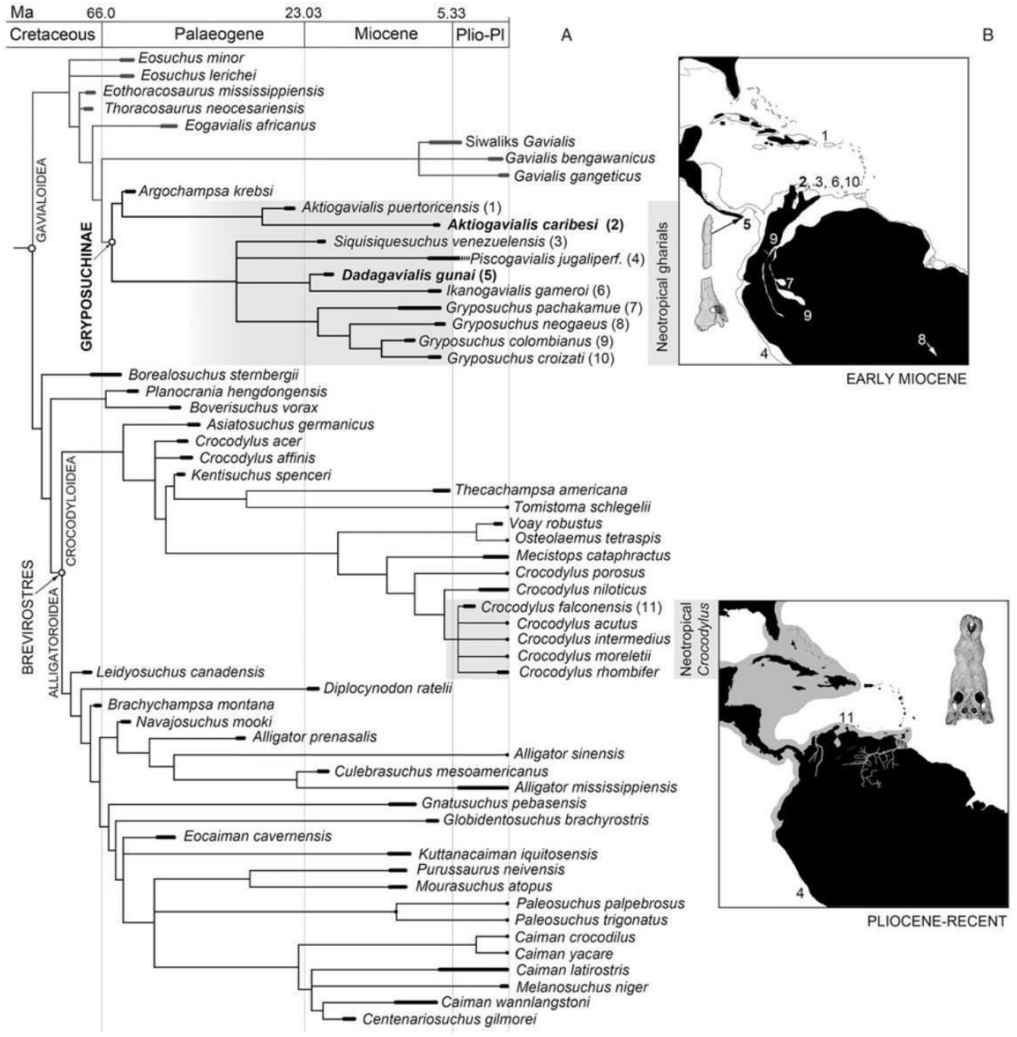

Figura 9. Hipótesis filogenética de la posición de *Dadagavialis* y *Aktiogavialis caribesi* (a). Mapas de Sudamérica en el Mioceno temprano y la actualidad (b). Tomado de Salas-Gismondi et al., 2019.

Como investigador en la Universidad Peruana Cayetano Heredia.

Como doctor repatriado por programas de CONCYTEC, investigué sobre el origen de los ecosistemas peruanos y su biodiversidad utilizando el registro fósil, tanto de la costa, los Andes y la Amazonia, con énfasis en el estudio de la evolución de los cocodrilianos y mamíferos.

Salas-Gismondi, R., Ochoa, D., Jouve, S., Romero, P.E., Cardich, J., Perez, A., DeVries, T., Baby, P., Urbina, M. and Carré, M., 2022. Miocene fossils from the southeastern Pacific shed light on the last radiation of marine crocodylians. *Proceedings of the Royal Society B*, *289*(1974), p.20220380.

El Mioceno fue una época con intervalos cálidos, pero con una tendencia al enfriamiento global progresivo hacia el fin del Mioceno. En esta investigación incluimos el abundante registro fósil de cocodrilianos de las formaciones Chilcatay y Pisco procedente de los yacimientos paleontológicos de las zonas de Ica y Arequipa. La fauna de cocodrilianos del Mioceno de la costa peruana estuvo conformada por al menos dos especies, un gavial conocido como *Piscogavialis*, y un género nuevo identificado por nuestro análisis filogenético como lejanamente emparentado con *Piscogavialis*. Esta especie la describimos como *Sacacosuchus cordovai* (Salas-Gismondi et al., 2022). Los resultados indicaron que estos cocodrilianos habitaron la costa por al menos 14 millones de años, proporcionando evidencia única de una ocupación de larga data de cocodrilianos en el Pacífico sudeste. Al parecer estos animales solo sobreviven hasta los inicios del Plioceno, es decir hasta hace unos 4.5 millones de años (Figura 10).

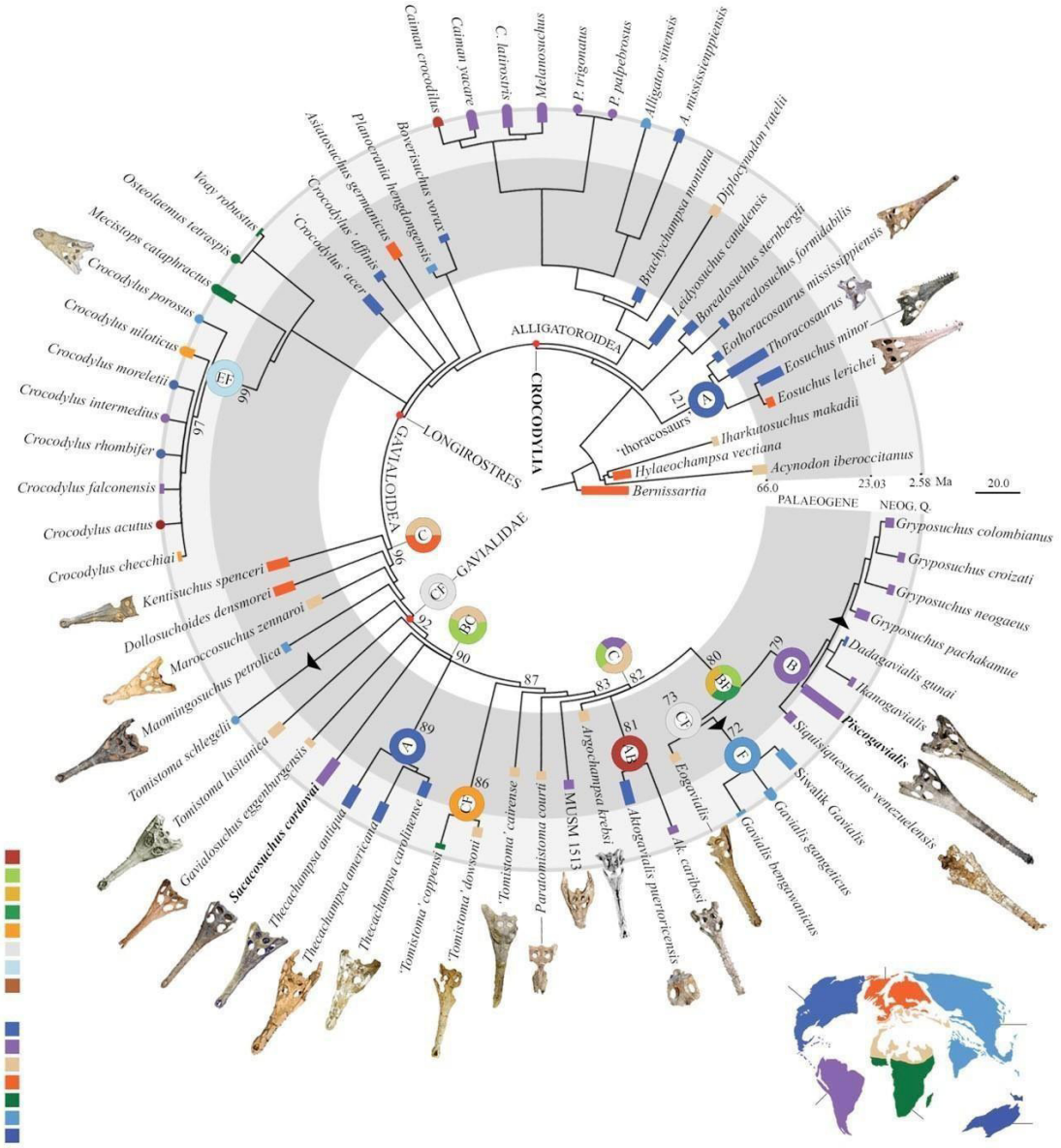

Figura 10. Filogenia y biogeografía de los cocodrilianos marinos, incluidos *Piscogavialis* y *Sacacosuchus*. Tomado de Salas-Gismondi et al., 2022.

La evidencia sugiere que la extinción de los cocodrilianos de la costa peruana fue un evento ligado a cambios en la configuración de la costa y, en menor medida, a cambios climáticos asociados con el enfriamiento general del planeta. El estudio ha permitido reconocer la existencia de condiciones ambientales y climáticas en el

Mioceno favorables para la evolución de cocodrilianos marinos en la costa peruana. Los cambios que condujeron a los ambientes actuales debieron ocurrir hace menos de 4,5 millones de años. Factores regionales, como la actividad tectónica de esa época y el descenso en el nivel del mar, habrían sido determinantes en la extinción de los cocodrilianos de la costa peruana.

Como parte de los estudios sobre la evolución de los ecosistemas marinos de la costa, hicimos revisiones exhaustivas del conocimiento hasta la fecha dela fauna, edad y paleoambientes del yacimiento de Sacaco con interpretaciones ecológicas de la evolución de la evolución de los ecosistemas de Humboldt.

A continuación, se incluyen los artículos que resumen las investigaciones indicadas:

Ochoa, D., **Salas-Gismondi, R.**, DeVries, T.J., Baby, P., de Muizon, C., Altamirano, A., Barbosa-Espitia, A., Foster, D.A., Quispe, K., Cardich, J. and Gutiérrez, D., 2021. Late Neogene evolution of the Peruvian margin and its ecosystems: a synthesis from the Sacaco record. *International Journal of Earth Sciences*, *110*, pp.995-1025.

Ochoa, D., DeVries, T.J., Quispe, K., Barbosa-Espitia, A., **Salas-Gismondi, R.**, Foster, D.A., Gonzales, R., Revillon, S., Berrospi, R., Pairazamán, L. and Cardich, J., 2022. Age and provenance of the Mio-Pleistocene sediments from the Sacaco area, Peruvian continental margin. *Journal of South American Earth Sciences*, *116*, p.103799.

Kiel, S., Jakubowicz, M., Altamirano, A., Belka, Z., Dopieralska, J., Urbina, M. and **Salas-Gismondi, R.**, 2023. The late Cenozoic evolution of the Humboldt Current System in coastal Peru: Insights from neodymium isotopes. *Gondwana Research*, *116*, pp.104-112.

Con fósiles de la Amazonia, trabajé en el conocimiento de las dinámicas agonísticas en los ecosistemas amazónicos en el Mioceno. Esta investigación permite entender como han cambiado los roles de los depredadores tope en la Amazonia (Figura 11).

Pujos, F. and **Salas-Gismondi, R.**, 2020. Predation of the giant Miocene caiman *Purussaurus* on a mylodontid ground sloth in the wetlands of proto-Amazonia. *Biology Letters*, *16*(8), p.20200239.



BIOLOGY LETTERS

royalsocietypublishing.org/journal/rsbl

Research

Cite this article: Pujos F, Salas-Gismondi R. 2020 Predation of the giant Miocene caiman *Purussaurus* on a mylodontid ground sloth in the wetlands of proto-Amazonia. *Biol. Lett.* **16**: 20200239.
http://dx.doi.org/10.1098/rsbl.2020.0239

Received: 10 April 2020
Accepted: 23 July 2020

Subject Areas:
palaeontology, ecology, evolution

Keywords:
bite marks, *Purussaurus*, ground sloth, Miocene, proto-Amazonia

Author for correspondence:
Rodolfo Salas-Gismondi
e-mail: rodolfo.salas@upch.pe

Electronic supplementary material is available online at https://doi.org/10.6084/m9.figshare.c.5082870.

THE ROYAL SOCIETY PUBLISHING

Palaeontology

Predation of the giant Miocene caiman *Purussaurus* on a mylodontid ground sloth in the wetlands of proto-Amazonia

François Pujos[1] and Rodolfo Salas-Gismondi[2,3]

[1]Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA), CCT-CONICET-Mendoza, Avda. Ruiz Leal s/n, Parque Gral. San Martín, 5500 Mendoza, Argentina
[2]BioGeoCiencias Lab, Facultad de Ciencias y Filosofía, Laboratorios de Investigación y Desarrollo (LID), Centro de Investigación para el Desarrollo Integral y Sostenible (CIDIS), Universidad Peruana Cayetano Heredia, Lima, Peru
[3]Departamento de Paleontología de Vertebrados, Museo de Historia Natural-Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Avenida Arenales 1256, Lima 14, Peru

FP, 0000-0002-6267-3927; RS-G, 0000-0001-9990-8841

Thirteen million years ago in South America, the Pebas Mega-Wetland System sheltered multi-taxon crocodylian assemblages, with the giant caiman *Purussaurus* as the top predator. In these Miocene swamps where reptiles and mammals coexisted, evidence of their agonistic interactions is extremely rare. Here, we report a tibia of the mylodontid sloth *Pseudoprepotherium* bearing 46 predation tooth marks. The combination of round and bisected, shallow pits and large punctures that collapsed extensive portions of cortical bone points to a young or sub-adult *Purussaurus* (approx. 4 m in total length) as the perpetrator. Other known crocodylians of the Pebas System were either too small at adulthood or had discordant feeding anatomy to be considered. The pattern of tooth marks suggests that the perpetrator attacked and captured the ground sloth from the lower hind limb, yet an attempt of dismembering cannot be ruled out. This discovery from the Peruvian Amazonia provides an unusual snapshot of the dietary preferences of *Purussaurus* and reveals that prior to reaching its giant size, young individuals might have fed upon terrestrial mammals of about the size of a capybara.

1. Background

Following the extinction of non-avian dinosaurs, the largest Cenozoic continental predator was neither a mammal nor a bird, but the giant caiman *Purussaurus* [1]. This animal exceeded 10 m long and inhabited South America during the middle and late Miocene (*ca* 13–6 Ma) [2–6], when a system of wetlands flourished in northwestern Amazonia (figure 1*a*) [7,8]. Several lignitic localities of the Pebas Formation near the Peruvian city of Iquitos have yielded geological and palaeontological data regarding the life within this vast complex of lakes and swamps, named the Pebas Mega-Wetland System [2,7–9]. The record includes a plethora of fossil evidence [10,11], among which crocodylians showed notable disparity and diversity [2,12].

In October 2004, a mission to the Napo River (figure 1*b*) discovered new lignitic Miocene bonebeds (*ca* 13 Ma), particularly near Iquitos City. The Na069 bonebed preserves dysoxic swamp deposits bearing a diverse aquatic and terrestrial vertebrate assemblage, particularly rich in fish, turtle, reptile and mammal remains [13]. Among them, a severely damaged tibia of a mammal was discovered and collected by one of us (F.P.). Preparation of the specimen revealed multiple bite marks that were inflicted prior to fossilization.

The aim of this study is to describe and interpret the origin of the bite marks preserved on a 13-million-years-old mammalian long bone. We point to the

© 2020 The Author(s) Published by the Royal Society. All rights reserved.

Figura 11. Primera página de la contribución sobre las interacciones agonísticas de *Purussaurus* y un perezoso en el Mioceno medio de la Amazonia peruana.

En los Andes, estudié la primera fauna de vertebrados del Plioceno temprano de los Andes peruanos descubierta en Espinar, a 4000 m de altitud. Describí una nueva especie de gliptodonte *Andinoglyptodon mollohuancai* y realizamos interpretaciones paleoecológicas sobre los mamíferos herbívoros nativos de los de los últimos 4.5 millones de años (Figura 12).

Salas-Gismondi, R., Ochoa, D., Gamarra, J., Pujos, F., Foster, D.A. and Tejada, J.V., 2023. Pliocene pre-GABI herbivorous mammals from Espinar, Peruvian Andean Plateau. *Journal of Vertebrate Paleontology*, p.e2237079

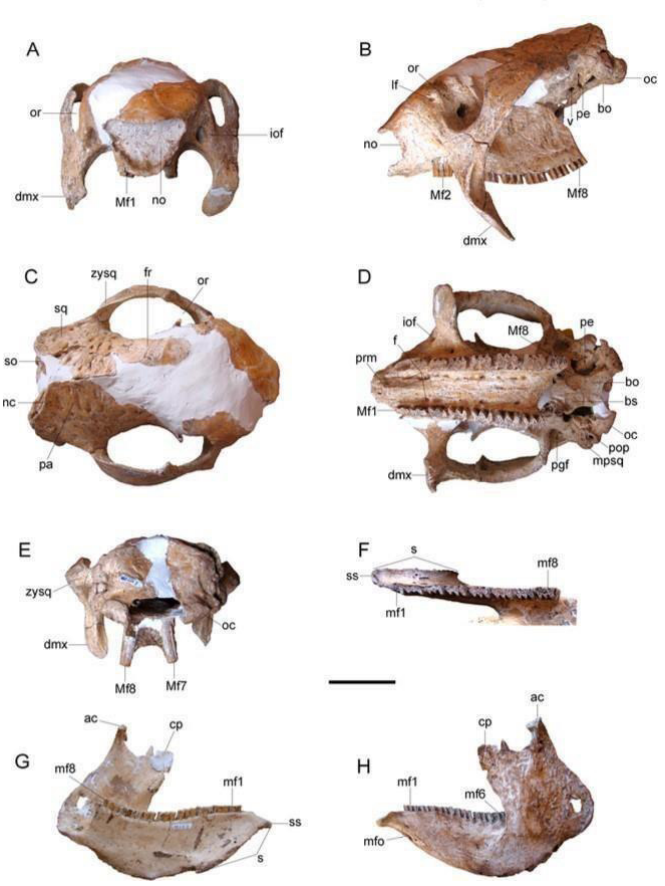

Figura 11. Cráneo y mandíbula del nuevo gliptodonte peruano, *Andinoglyptodon mollohuancai*. Escala 5 cm. Tomado de Salas-Gismondi et al., 2023.

3. CAPÍTULO II – DOCENCIA

La docencia universitaria la realicé en la Facultad de Ciencias e Ingeniería de la UPCH del 2017 al presente. Básicamente, dirigí y participé en cursos relacionados con la investigación científica (Investigación Científica I; Investigación Científica II; Comunicación Científica) y el tema de evolución biológica (Geología e Historia de la Vida; Evolución; Evolución Biológica en ambientes acuáticos y oceánicos) en pregrado y posgrado (2017-2023).

3.1 Perfil de la institución.

La UPCH es una institución educativa universitaria que inculca a sus estudiantes la realización de investigación científica. La carrera de biología se encuentra dentro de la Facultad de Ciencias e Ingeniería y tradicionalmente ha estado orientada al estudio de las ciencias médicas y moleculares. A partir del 2017, nuestro equipo de investigación atraído por programas de repatriación de CONCYTEC (Magnet y Atracción de Investigadores) hemos incorporado a la universidad un fuerte componente de ciencia orientada al estudio del pasado a diferentes escalas de tiempo sobre el clima, la biodiversidad y los ambientes.

3.2 Marco teórico

Las carreras de ciencias biológicas en las universidades peruanas se enfocan principalmente en temas moleculares, genéticos y ecológicos. La Universidad Nacional Mayor de San Marcos es una de las pocas universidades que tiene cursos

de evolución biológica, paleontología, sistemática y biogeografía en su currícula. Gracias a estos cursos, pude tener en mi formación universitaria una buena base para mi desarrollo como biólogo evolutivo.

Otro aspecto importante en la formación de los biólogos con intereses en desarrollarse como investigadores son los cursos de investigación científica. Lamentablemente, la educación escolar no forma adecuadamente a los jóvenes en el pensamiento crítico y racional, el hábito de lectura y la redacción. Por esta razón, los pocos cursos de investigación científica que se dictan a nivel universitario requieren de superar primero esas barreras educativas. El dictado de cursos de investigación científica debe ser continuo durante toda la carrera y deben abordar todos los pasos en el proceso de investigación.

3.3 Métodos y acciones

Docencia con herramientas didácticas como seminarios, talleres de discusión, planteamiento de problemáticas científicas para analizar, salidas de campo y visitas a colecciones científicas de fósiles.

3.4 Resultados

Cursos de pregrado.

Geología e Historia de la Vida. Coordinador y profesor.

Curso electivo de tres créditos con 68 horas presenciales entre 34 horas teóricas y 34 de prácticas. Curso teórico-práctico de introducción a las Ciencias de la Tierra y la Paleontología, que provee a los estudiantes fundamentos sobre (i) el origen y evolución de la Tierra, y (ii) los procesos, mecanismos y eventos que han moldeado la evolución de la vida sobre la Tierra en diversas escalas espacio-temporales. El estudiante integrará la geología, el estudio del registro fósil y la historia de la vida con conocimientos básicos de evolución, filogenia, biogeografía y ecología. El curso permitirá que el estudiante encuentre en el pasado evidencia para comprender los procesos que han generado la enorme biodiversidad actual.

A través de seminarios, videos, discusiones, trabajo directo con fósiles, y otras actividades prácticas el estudiante puede comprender procesos, tales como el origen de la vida o los eventos de extinción, y explorar la evolución de los organismos, ambientes y ecosistemas a lo largo del tiempo geológico, con especial énfasis en el abundante registro fósil peruano.

Análisis crítico del curso: En general, las carreras de ciencias, incluida la carrera de ciencias biológicas, no contemplan cursos que brinden una visión general sobre el origen de la vida y su historia en nuestro planeta. Esta información del pasado para los biólogos, que deben tener un entendimiento integral de la vida, es básica y su carencia, no permite realizar evaluaciones certeras sobre los ecosistemas modernos. Por ejemplo, los ecosistemas actuales y su biodiversidad no representan más que un

instante en la historia de la vida en nuestro planeta, que sabemos se origina hace casi 3500 millones de años (Gómez-Espinosa et al., 2015). Este curso llena un vacío importante en este aspecto y proporciona de herramientas para entender los siguientes puntos fundamentales sobre la vida en la Tierra:

- La historia de la Tierra es una historia de diversificaciones y extinciones. En otras palabras, el cambio es la regla en el planeta.

- La evolución rige el devenir histórico de la vida.

- Los ecosistemas peruanos y su biota son en gran medida resultado de procesos relativamente recientes en términos geológicos.

- El cambio climático ocurre con y sin la participación humana.

En síntesis, este curso introduce el tiempo geológico y su historia para explicar que la biodiversidad actual es resultado de un proceso evolutivo y que es necesario conocer el pasado para entender el presente.

Evolución. Profesor.

Curso obligatorio de cuatro créditos con 78 horas presenciales entre 50 de teoría y 28 de práctica. Curso teórico-práctico, cuyo propósito es ofrecer al estudiante un panorama general de los patrones y procesos evolutivos a partir de los modelos evolutivos según la perspectiva seleccionista (Neo-darwiniana) y neutralista,

enfatizando sobre procesos evolutivos básicos para la comprensión holística de cualquier fenómeno biológico.

Dicto las clases de Evidencias de la Evolución, Mecanismos evolutivos, Especiación, Heterocronías y Evolución, Selección Sexual, Evolución de la biodiversidad, Radiación adaptativa y morfometría y Avances en Taxonomía y Sistemática.

Análisis crítico del curso: La teoría de la evolución es uno de los pilares para la comprensión de la vida y como tal es imprescindible en la currícula de la carrera de biología. Desde su formulación en 1859 por Charles Darwin, esta teoría ha recibido contribuciones diversas en diversos campos gracias a los avances en embriología, genética, paleontología, etc. (e.g., Gould & Lewontin, 1979; Simpson, 1981; Eldrich, 2005). Actualmente, cuenta con una base teórica sólida, aunque aún poco entendida en cuanto a su complejo funcionamiento (Gupta et al., 2017). Por el lado de la sistemática y la taxonomía, el avance tecnológico permite realizar análisis estadísticos sobre procesos macroevolutivos que rigen los patrones de diversificación y extinción a gran escala (Jablonski, 2007). En la carrera de biología, el curso brinda tanto el conocimiento teórico como la parte práctica a través del manejo de softwares para realizar análisis filogenéticos con base morfológica y molecular. Aspectos de la macroevolución son importantes porque permiten el entendimiento de como ocurre la diversidad biológica (Sesink et al., 2022).

Investigación Científica I. Profesor.

Curso teórico-práctico dirigido a estudiantes del segundo año de la Facultad de Ciencias y Filosofía cuyo propósito es introducirlos a la investigación científica a través de la identificación de elementos básicos del método científico y la comunicación apropiada y efectiva de una idea científica en su forma más básica.

Dicto las clases de Problema y Pregunta de Investigación e Hipótesis y la Predicción. Además, dirijo y participo clases prácticas para la elaboración deproyectos.

Análisis crítico del curso: El curso de Investigación Científica busca que los estudiantes aprendan a elaborar las bases para una investigación, a través de la identificación de un problema o vacío de conocimiento y una pregunta a responder en base a este problema. Luego se busca el planteamiento de una hipótesis y de una propuesta de estrategia de investigación. Considero que es un curso valioso en la formación de investigadores, que es lo que en general es el objetivo de la UPCH. En este curso yo dicto las clases de planteamiento del problema, pregunta e hipótesis. Aunque el vacío de conocimiento es evidente en muchos campos de la ciencia, mi experiencia muestra que la búsqueda de un problema de investigación no es sencilla para los estudiantes, por lo que es necesario hacer continuos ejercicios de razonamiento que incluyan estos tres conceptos (i.e. problema, pregunta e hipótesis) de manera integral de tal manera que la articulación

de estos conceptos permita su identificación usando la lógica. Pienso que además es un curso importante para desarrollar el pensamiento crítico con la base racional de la ciencia.

Cursos de posgrado. Maestría en Ciencias del Mar

Evolución biológica en ecosistemas acuáticos y oceánicos. Coordinador y profesor.

Curso teórico-práctico de 3 créditos cuyos objetivos son (1) proporcionar conocimientos fundamentales sobre evolución biológica y sistemática filogenética desde la perspectiva morfológica y molecular, que permitan el mejor entendimiento de los procesos que han conducido la historia de la vida y, (2) explorar la evolución de los organismos en ambientes acuáticos a lo largo del tiempo geológico, con énfasis en el desarrollo de innovaciones anatómicas propias de la vida en el agua y su relación con los cambios climáticos, tectónicos, etc. en el planeta. Comprende 4 unidades: I) Principios de evolución y Sistemática; II) Datos morfológicos y moleculares en la evolución y ciencias complementarias; III) Evolución de la vida en los océanos; IV) Evolución de los vertebrados secundariamente acuáticos y sus ambientes.

Análisis crítico del curso. Este es un curso de especialidad en la Maestría de Ciencias del Mar en la Universidad Peruana Cayetano Heredia. Esta maestría tiene fuertes componentes de oceanografía física y química, que hacen amplio énfasis en los

procesos que rigen el funcionamiento y balance en los océanos. Sin embargo, algunos estudiantes de esta maestría están muy interesados en temas de sistemática y evolución de organismos que cumplen roles protagónicos en ecosistemas marinos, tales como las ballenas, delfines, lobos marinos, pingüinos, etc., por lo que el curso se pensó para cubrir ese tema ausente previamente en la currícula de la maestría. En este curso destaca la profundidad con la que se desarrollan estudios sobre la evolución de las comunidades en los ecosistemas peruanos.

Comunicación Científica. Profesor

Curso de naturaleza teórico-práctica cuyo objetivo es proveer al estudiante las destrezasnecesarias para planificar, organizar y escribir una investigación científica, así como los resultados de esta tanto en un formato de artículo científico como de tesis. Adicionalmente el curso ofrecerá las destrezas necesarias para preparar una presentación oral de los resultados de un estudio. En ese sentido el curso incluye tres componentes: (1) planificacióny organización de una investigación, (2) expresión escrita de los resultados de una investigación, y (3) expresión oral de los resultados de una investigación.

Dicto las clases de Bosquejo de artículo científico, Estrategias para desarrollo de la Introducción, Materiales y Métodos y Resultados. Elaboración de Tablas y gráficas, Discusión, Resumen y Conclusiones.

Análisis crítico del curso. En este curso me encargo de enseñar cómo se elaboran partes cruciales de los artículos científicos, en particular el resumen, la discusión y las figuras. Desde mi perspectiva, luego del título, el resumen y las figuras son las partes de un artículo científico más revisadas por cualquier persona interesada en un tema. Lo mismo sucede para los proyectos de investigación, pues en general, jurados y editores, que tienen la labor de evaluar la idoneidad o importancia de cierta investigación, reciben más manuscritos de los que pueden leer en su totalidad. Por esta razón, la enseñanza de cómo se escribe un resumen y cómo elaborar figuras claras y atractivas es fundamental no solo para la comunicación de la ciencia sino también para poder conseguir fondos y oportunidades para hacer investigación.

4. CAPÍTULO III – CURADURÍA

Me desempeño como curador de la colección de fósiles del Departamento de Paleontología de Vertebrados del Museo de Historia Natural de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos desde la formación de la colección en 1999 hasta la fecha.

4.1 Perfil de la institución

El Museo de Historia Natural tiene como objetivo estudiar la fauna, flora y gea del territorio nacional y formar colecciones científicas que garanticen la preservación de muestras de la riqueza natural del Perú.

El museo tiene las más grandes colecciones científicas del país y están disponibles para consulta por investigadores del Perú y el mundo. A partir de estas colecciones, el museo realiza exhibiciones, talleres, etc., y así cumple su rol de difusión sobre nuestra riqueza natural.

4.2 Marco teórico

Las colecciones de fósiles de vertebrados generalmente se encuentran en museos, universidades e institutos de investigación. En el Perú son pocas las instituciones que cuentan con colecciones de fósiles de vertebrados, siendo la más importante por la cantidad, representatividad del registro nacional y cantidad de holotipos la colección del Departamento de Paleontología de Vertebrados.

4.3 Métodos y Acciones

La curaduría implica la adecuación y cuidado de las muestras paleontológicas desde que son descubiertas en el campo y todos los procesos involucrados, tales como la preparación, conservación, catalogación y almacenamiento.

La colecta se realiza en todo el territorio nacional. Para eso se usan técnicas de colecta que siguen las prácticas generales recomendadas para la disciplina. Se usan brochas, picotas, cinceles, yeso cerámico, yute y pegamentos en la colecta en el campo. En el laboratorio se preparan y conservan los fósiles con herramientas finas (agujas, cuchillas, pinceles, etc.) y martillos neumáticos para la separación de la roca del resto biológico fosilizado. La catalogación se realiza en una base de datos, otorgándole a cada espécimen un número de colección. El almacenamiento se realiza en gabinetes metálicos y de madera con cajones, y organizados en cajas de cartón y/o bolsas ziplock.

4.4 Resultados

El trabajo de curaduría en el Departamento de Paleontología de Vertebrados del Museo de Historia Natural – UNMSM se inició en 1999 y ahora es la colección más grande fósiles de vertebrados del Perú. Cuenta con más de 10 mil especímenes de todo el Perú y está principalmente compuesta por fósiles del Cenozoico del desierto costero, cuevas andinas y de la Amazonia. Cada uno de estos fósiles ha seguido el proceso descrito en el acápite 4.3 Métodos y Acciones. Esta colección recibe decenas de investigadores peruanos y extranjeros al año, los

cuales la visitan para consultarla como parte del proceso de investigación que realizan.

5. COMPETENCIAS ALCANZADAS DURANTE LOS ESTUDIOS DE CIENCIAS BIOLÓGICAS EN LA UNMSM

La carrera de Ciencias Biológicas en la UNMSM favorece la formación de biólogos evolucionistas. En este sentido ha sido clave para mi formación académica de evolucionista y paleontólogo. Como ninguna otra carrera de ciencias biológicas en el Perú, la que se brinda en la UNMSM cuenta con los tres cursos pilares, desde mi perspectiva, para la biología evolutiva: Evolución, Biogeografía y Sistemática General. La influencia positiva de la enseñanza de estos cursos en mi desempeño profesional ha sido tan evidente que, por ejemplo, mientras llevé el curso de Sistemática General con el Dr. Víctor Pacheco en 2005, elaboré mi primer análisis filogenético publicado en una revista científica de acuerdo con lo aprendido en el curso. La investigación de enfocaba en la descripción de una nueva especie de mamífero nativo sudamericano de 32 millones de años descubierto en Bagua y las relaciones de parentesco del grupo al que pertenece, los piroterios. Esta es la referencia de la publicación:

Salas, R., Sánchez, J. and Chacaltana, C., 2006. A new pre-Deseadan pyrothere (Mammalia) from northern Peru and the wear facets of molariform teeth of Pyrotheria. Journal of Vertebrate Paleontology, 26(3), pp.760-769.

Asimismo, estos cursos y otro de la orientación de zoología, como es Zoología de Cordados, han cimentado las bases de los conocimientos que requerí para desarrollarme en el campo de la paleontología, cuando estudiaba en la UNMSM y luego durante mis estudios de especialidad. También las horas que me desempeñé en la curación de la

colección de Paleontología de Vertebrados del Museo de Historia Natural contribuyeron a tener un conocimiento vasto de anatomía y del funcionamiento de las colecciones científicas.

En síntesis, la formación biológica en la UNMSM, con fuertes componentes de los fundamentos de la biología influyeron notablemente en mi desempeño como paleontólogo, lo que sugiere que esta formación podría ser recomendable para quienes desean desempeñarse en esta rama de las ciencias biológicas.

6. CONCLUSIONES

La investigación científica, la docencia y la curaduría han permitido un importante desarrollo de la paleontología de vertebrados en varios ámbitos:

a. Mejor conocimiento sobre la historia evolutiva de los ecosistemas peruanos y sus faunas a través del tiempo, y el mejor entendimiento sobre cómo se consolidaron los ecosistemas del Perú.
b. Formación de nuevas generaciones de investigadores peruanos. A partir de los cursos realizados en los últimos años siete estudiantes de pregrado han realizado tesis en paleontología para obtener su título profesional y al menos 5 estudiantes de maestría realizan sus tesis. En general, estas tesis son exploraciones sobre el modo de vida y las relaciones de parentesco de vertebrados secundariamente acuáticos, como cocodrilos, cetáceos, pinnípedos, etc.
c. Valoración del patrimonio paleontológico a partir de la conservación, exhibición y publicación de fósiles, así como gracias al desarrollo de la colección científica del Museo de Historia Natural.

7. PERSPECTIVAS

En los próximos años espero poder desarrollar las siguientes metas:

- Realizar más difusión de la riqueza paleontológica del Perú a través de nuevas exhibiciones permanentes y temporales en museos e instituciones diversas y la publicación de libros de paleontología para estudiantes universitarios.
- Implementar una maestría en paleontología y evolución en una universidad peruana.
- Formar nuevas colecciones científicas en instituciones del país.
- Continuar con la labor de investigación científica de alto nivel.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Allmon, W.D. (2005). The importance of museum collections in paleobiology. *Paleobiology*, *31*(1), pp.1-5.

Antoine, P. O., Abello, M. A., Adnet, S., Sierra, A. J. A., Baby, P., Billet, G., ... & Salas-Gismondi, R. (2016). A 60-million-year Cenozoic history of western Amazonian ecosystems in Contamana, eastern Peru. *Gondwana Research*, *31*, 30-59.

Antoine, P. O., Yans, J., Castillo, A. A., Stutz, N., Abello, M. A., Adnet, S., ... & Marivaux, L. (2021). Biotic community and landscape changes around the Eocene–Oligocene transition at Shapaja, Peruvian Amazonia: Regional or global drivers? *Global and Planetary Change*, *202*, 103512.

Benton, M. J. & Harper, D. A. (2020). *Introduction to paleobiology and the fossil record*. John Wiley & Sons.

Bona, P. & Barrios, F. (2015). The Alligatoroidea of Argentina: an update of its fossil record. *Publicación Electrónica de la Asociación Paleontológica Argentina*, *51*.

Briggs, D. E. & Crowther, P. R. (Eds.). (2008). *Palaeobiology II*. John Wiley & Sons.

Brochu, C. A. (1997). Morphology, fossils, divergence timing, and the phylogenetic relationships of *Gavialis*. *Systematic Biology*, *46*(3), 479-522.

Brochu, C. A. (1999). Phylogenetics, taxonomy, and historical biogeography of Alligatoroidea. *Journal of Vertebrate Paleontology*, *19*(S2), pp.9-100.

Brochu, C. A. (2003). Phylogenetic approaches toward crocodylian history. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, *31*(1), pp.357-397.

Brochu, C. A. (2011). Phylogenetic relationships of Necrosuchus ionensis Simpson, 1937 and the early history of caimanines. *Zoological journal of the linnean society*, *163*(suppl_1), S228-S256.

Brochu, C. A., Wagner, J. R., Jouve, S., Sumrall, C. D. & Densmore, L. D. (2009). A correction corrected: consensus over the meaning of Crocodylia and why it matters. *Systematic Biology*, *58*(5), 537-543.

Carroll, R.L. (1988). *Vertebrate paleontology and evolution*. WH Freeman.

Chiappe, L. (1988). Un nuevo *Caiman* (crocodylia, Alligatoridae) de la Formación Tremembé (Oligoceno), Estado de São Paulo, Brasil, y su significado paleoclimático. *Paula-Coutiana*, 3, 49-66.

Darwin, C. (1859). The origin of species. William Collins.

De Queiroz, K. (2007). Species concepts and species delimitation. *Systematic biology*, *56*(6), 879-886.

Dupré, J. (2005). *Darwin's legacy: What evolution means today*. Oxford University Press on Demand.

Eldredge, N., Thompson, J.N., Brakefield, P.M., Gavrilets, S. Jablonski, D., Jackson, B.C., Lenski, R.E., Lieberman, B.S., McPeek, M.A. & Miller III, W. (2005). The dynamics of evolutionary stasis. *Paleobiology, 31*(2), 133-145.

Goloboff, P.A., Farris, J.S. & Nixon, K.C. (2008). TNT, a free program for phylogenetic analysis. Cladistics, 24(5), 774-786.

Gómez-Espinosa, C., Colín-García, M., & Negrón-Mendoza, A. (2015). The origin of life from a paleontological perspective, a review. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana,*

67(3), 413-420.

Gould, S. J., & Lewontin, R. C. (1979). The spandrels of San Marco and the Panglossian paradigm: a critique of the adaptationist programme. *Proceedings of the Society of London B., 205*, 581-598.

Grigg, G. & Kirshner, D. (2015). Biology and evolution of crocodylians. Cornell University Press.

Hoorn, C., Wesselingh, F. P., ter Steege, H., Bermudez, M. A., Mora, A., Sevink, J., ... & Antonelli, A. (2010). Amazonia through time: Andean uplift, climate change, landscape evolution, andbiodiversity. *Science*, *330*(6006), 927-931.

Gupta, M., Prasad, N. G., Dey, S., Joshi, A., & Vidya, T. N. C. (2017). Niche construction in evolutionary theory: the construction of an academic niche? *Journal of Genetics*, *96*, 491-504.

Jablonski, D. (2007). Scale and hierarchy in macroevolution. *Palaeontology*, *50*(1), 87-109.

Jouve, S., Bardet, N., Jalil, N. E., Suberbiola, X. P., Bouya, B. & Amaghzaz, M. (2008). The oldestAfrican crocodylian: phylogeny, paleobiogeography, and differential survivorship of marine reptiles through the Cretaceous-Tertiary boundary. *Journal of Vertebrate Paleontology*, *28*(2),pp.409-421.

Kiel, S., Jakubowicz, M., Altamirano, A., Belka, Z., Dopieralska, J., Urbina, M. & Salas-Gismondi, R. (2023). The late Cenozoic evolution of the Humboldt Current System in coastal Peru: Insightsfrom neodymium isotopes. *Gondwana Research*, *116*, 104-112.

Klingenberg, C.P. (2011). MorphoJ: an integrated software package for geometric

morphometrics. *Molecular Ecology Resources, 11*(2) 353-357.

Langston, W. (1965). Fossil crocodilians from Colombia and the Cenozoic History of the Crocodylia in South America. University of California Publications of Geological Sciences, 52: 1-127.

Martin, J. E., Smith, T., Salaviale, C., Adrien, J., & Delfino, M. (2020). Virtual reconstruction of the skull of Bernissartia fagesii and current understanding of the neosuchian–eusuchian transition. *Journal of Systematic Palaeontology*, *18*(13), 1079-1101.

Ochoa, D., Salas-Gismondi, R., DeVries, T.J., Baby, P., de Muizon, C., Altamirano, A., Barbosa-Espitia, A., Foster, D.A., Quispe, K., Cardich, J. & Gutiérrez, D. (2021). Late Neogene evolution of the Peruvian margin and its ecosystems: a synthesis from the Sacaco record. *International Journal of South American Earth Sciences*, *110*, pp. 995-1025.

Ochoa, D., DeVries, T.J., Quispe, K., Barbosa-Espitia, A., Salas-Gismondi, R., Foster, D.A., Gonzales, R., Revillon, S., Berrospi, R., Pairazamán, L. & Cardich, J. (2022). Age and provenance of the Mio-Pleistocene sediments from the Sacaco area, Peruvian continental margin. *Journal of South American Earth Sciences*, *116*, p. 103799.

Pujos, F., & Salas-Gismondi, R. (2020). Predation of the giant Miocene caiman Purussaurus on a mylodontid ground sloth in the wetlands of proto-Amazonia. *Biology Letters*, *16*(8), 20200239.

Salas, R., Sánchez, J. and Chacaltana, C., 2006. A new pre-Deseadan pyrothere (Mammalia) from northern Peru and the wear facets of molariform teeth of Pyrotheria. *Journal of Vertebrate Paleontology*, *26*(3), pp.760-769.

Salas-Gismondi, R., Flynn, J. J., Baby, P., Tejada-Lara, J. V., Wesselingh, F. P., & Antoine, P. O. (2015). A Miocene hyperdiverse crocodylian community reveals peculiar trophic dynamics in proto-Amazonian mega-wetlands. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*,

282(1804), 20142490.

Salas-Gismondi, R., Flynn, J. J., Baby, P., Tejada-Lara, J. V., Claude, J., & Antoine, P. O. (2016). A new 13 million year old gavialoid crocodylian from proto-Amazonian mega-wetlands reveals parallel evolutionary trends in skull shape linked to longirostry. *PloS one*, *11*(4), e0152453.

Salas-Gismondi, R., Moreno-Bernal, J. W., Scheyer, T. M., Sánchez-Villagra, M. R., & Jaramillo, C. (2019). New Miocene Caribbean gavialoids and patterns of longirostry in crocodylians. *Journal of Systematic Palaeontology*, *17*(12), 1049-1075.

Salas-Gismondi, R., Ochoa, D., Jouve, S., Romero, P. E., Cardich, J., Perez, A., Urbina, M. & Carré,M. (2022). Miocene fossils from the southeastern Pacific shed light on the last radiation of marine crocodylians. *Proceedings of the Royal Society B*, *289*(1974), 20220380.

Salas-Gismondi, R., Ochoa, D., Gamarra, J., Pujos, F., Foster, D.A. and Tejada, J.V. (2023). Pliocene pre-GABI herbivorous mammals from Espinar, Peruvian Andean Plateau. *Journal ofVertebrate Paleontology*, p.e2237079.

Scotese, C.R. (2015). Some thoughts on global climate change: the transition from icehouse to hothouse. *Paleomap project*, 21 (2), 1-54.

Sesink Clee, P. & Gonder, M. K. (2012) Macroevolution: Examples from the Primate World. *Nature Education Knowledge* 3(12):2.

Simpson, G. G. (1933). A new crocodilian from the *Notostylops* beds of Patagonia. *American Museum Novitates*, 6, 23, 1-9.

Simpson, G.G. (1981). *Fossils and the history of Life*. Scientific American Library Series.

Yu, Y., Harris, A. J., & He, X. (2010). S-DIVA (Statistical Dispersal-Vicariance Analysis): a tool

for inferring biogeographic histories. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, *56*(2), 848-850.