

Informe final publicable de proyecto Paleobiología de la conservación enfocada a moluscos de agua dulce de Uruguay

Código de proyecto ANII: FCE_3_2022_1_172434

Fecha de cierre de proyecto: 01/09/2025

CABRERA CURBELO, Fernanda (Responsable Técnico - Científico)

BADIN CONDE, Ana Clara (Investigador)

MARTINEZ CHIAPPARA, Sergio Agustín (Investigador)

MONTENEGRO TOURON, Felipe Halminton (Investigador)

ROJAS BUFFET, María Alejandra (Investigador)

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA. FACULTAD DE CIENCIAS (Institución Proponente) \\
UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA. FACULTAD DE CIENCIAS

Resumen del proyecto

Los moluscos continentales fósiles son una excelente fuente de información paleoambiental. Sus requerimientos ecológicos específicos permiten identificar microambientes, y al encontrarse en abundancia en los yacimientos, la información obtenida es fiable y extrapolable a ensamblajes actuales. En este sentido, se desarrollaron estudios sobre las asociaciones del Cuaternario de Uruguay (formaciones Sopas y Dolores – Pleistoceno Tardío). En ellas hemos identificado las especies y ensamblajes representados, y a partir de la información sobre los requerimientos ambientales que presentan los organismos, se identificaron los diferentes ambientes que habitaron, registrándose dos asociaciones paleoecológicas (Sopas y Dolores). Además, se comparó la diversidad de cada asociación con los ensamblajes actuales de las mismas zonas geográficas, para reconstruir la historia paleobiogeográfica de las especies. También se contemplaron los parámetros ambientales en los que habitan las comunidades actuales, para compararlos con los ensamblajes fósiles. Entre ellos, las fracciones de ^{13}C y ^{18}O de las conchas actuales y del agua en la que habitan, que en conjunto con la temperatura medida directamente, se está generando una curva de temperatura relativa para extrapolar esta información en los fósiles. Por último, se realizaron dataciones ^{14}C en conchas de todas las localidades para tener un marco temporal para cada asociación. Con toda esta información se está reconstruyendo cómo respondieron los diferentes ensamblajes a los cambios ambientales, qué conjuntos prevalecieron en determinados momentos y condiciones, y qué especies fueron afectadas por los cambios climáticos propios del Cuaternario, ya sea por extinción local o desplazamiento geográfico. Así, podremos proyectar esta información en los ensamblajes actuales y predecir alteraciones en su diversidad sujeta a los cambios ambientales tanto de origen natural como antropogénico.

Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias de la Tierra y relacionadas con el Medio Ambiente / Paleontología / Paleobiología de la conservación

Palabras clave: Conservación / Paleobiología / Moluscos dulceacuócolos /

Antecedentes, problema de investigación, objetivos y justificación.

La paleobiología de la conservación es una disciplina incipiente, que ha ganado trascendencia en los últimos tiempos. Tiene como objetivo entender los procesos que ocurrieron en el pasado y cómo afectaron a los organismos (registro fósil) para luego extrapolar esta información a la biota actual, y entender que causas pueden llevar a extinciones locales o redistribuciones de especies (colonización/abandono de áreas). Es decir, aplica las teorías y las herramientas analíticas de la paleontología para solucionar problemas que conciernen a la conservación de la biodiversidad (Dietl & Flessa, 2011; Dietl & Flessa, 2017).

La paleontología en general estudia la vida en la Tierra en grandes lapsos, del orden de los miles y millones de años. Pero cuando la investigación se enfoca en eventos relativamente recientes (como los del Cuaternario), se puede tener una perspectiva ecológica, mostrando de qué manera se generaron los sistemas bióticos actuales y cómo responden a los cambios ambientales (Lovejoy, 2017).

Los cambios ambientales mayores a los que se enfrentan y enfrentaron los organismos están asociados a eventos naturales cíclicos a gran escala, tales como la rotación de la Tierra respecto al Sol o cambios en las corrientes marinas, entre otros. Mientras tanto, los cambios locales pueden estar influenciados por consecuencias de los primeros, o por eventos catastróficos puntuales. En la actualidad aparece otro factor que genera cambios en el ambiente, y por lo tanto afecta a la biota a nivel local, regional y global, y es la actividad humana. Esta actividad no solo altera los ecosistemas del punto de vista físico-químico (componentes inorgánicos de los ecosistemas), sino que también provoca cambios (a veces drásticos) en la

composición y distribución de la biota modificando la biodiversidad de los ecosistemas, muchas veces de forma irreparable (Crowley, 2000; Hardy, 2003; Stern & Kaufmann, 2014). La conservación de las especies se ha enfocado desde larga data en prevenir las extinciones causadas por la acción humana. También se ha observado que la distribución y abundancia de las especies se han visto modificadas drásticamente, con cambios globales que son detectables y observables desde un punto de vista humano, es decir, a muy corto plazo desde el punto de vista geológico. Cabe destacar que el cambio climático en sí no es algo ajeno al planeta, durante la historia geológica de la Tierra el clima nunca fue constante y fue modificándose debido a diversas causas, como las mencionadas anteriormente. Particularmente el Período Cuaternario documenta una sucesión de cambios climáticos que alternan glaciaciones (las llamadas “Éras del Hielo”) con períodos interglaciales (momentos cálidos). Lo que cambió al día de hoy es que esta periodicidad natural del clima se ha visto muy acelerada por la actividad humana. Estos cambios provocados por el hombre pueden ser rastreados hasta hace algunos milenios atrás, y no han tenido solo impacto local sino también han generado un impacto global por el aumento de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) (Crowley, 2000; Hardy, 2003; Stern & Kaufmann, 2014).

En cuanto a la conservación de las especies afectadas, mientras que la evaluación de los riesgos de extinción en general considera solamente los cambios en las últimas décadas, su recuperación y la de los ecosistemas puede llevar desde cientos a miles de años (Kidwell, 2017; Neubauer & Georgopoulou, 2021; Neubauer et al., 2021). Organizaciones como la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (International Union for Conservation of Nature - IUCN www.iucnredlist.org) entre otras, se han dedicado a generar listas de especies en peligro (listas rojas) y en los últimos tiempos, algunas de ellas han exigido a los evaluadores que identifiquen el momento en que los humanos se convirtieron por primera vez en un factor importante de influencia en la abundancia y distribución de esas especies. Es decir, la información histórica – geológica pasa a ser un factor de información crucial a la hora de tomar decisiones sobre el estado de conservación de las especies (The IUCN Green Status of Species - [https:// about/green-status-species](https://about/green-status-species)).

Estado actual

En Uruguay hay diversos programas de protección de fauna y flora, especialmente desde la creación del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP) gestionado por la Dirección Nacional de Medio Ambiente – DINAMA, así como proyectos de investigación vinculados a la conservación de especies tanto animales (principalmente mamíferos) (Cosse et al., 2009; González et al., 2009; Manisse et al., 2018; González & Barbanti, 2020 entre otros) como vegetales (Altesor et al., 2019; Costa Gorriz et al., 2020; Jaureguiberry & López-Mársico, 2020; López-Mársico et al., 2020 entre otros). Dentro del SNAP se han realizado listados de la biota que compone estas áreas y su potencial de conservación (Soutullo et al., 2013). Pero en lo que respecta a aunar esta información con la información paleobiológica, apenas se están iniciando investigaciones al respecto (Martínez et al., 2024 en prensa).

Los moluscos dulceacuícolas (gasterópodos y bivalvos) son de los grupos menos carismáticos a la hora de las prioridades de conservación; sin embargo, están dentro de los organismos más afectados por actividades del hombre (Clavijo et al., 2010). En general, tanto las actividades agropecuarias (ganadería, agricultura) como las industriales (desde saladeros hasta factorías) tienden a usar los cursos y cuerpos de agua como repositorio de sus desechos, ya sea activamente o por contaminación pasiva (Bonilla et al., 2015; Qadri & Faiq, 2019; Amoatey & Baawain; 2019). Esto trae modificaciones sustanciales en estos sistemas, entre las que se encuentran cambios en el pH, el contenido de metales pesados y alteraciones en la flora. Los moluscos dulceacuícolas son altamente sensibles a estos cambios, siendo incluso usados como bioindicadores de presencia de contaminantes en el agua (Stern, 1983; Bonilla et al., 2015; Qadri & Faiq, 2019; Amoatey & Baawain; 2019). Los moluscos no solo son una parte integral de los ecosistemas dulceacuícolas, sino que además son de los primeros afectados por cambios en el ambiente. En todas

partes del mundo se han registrado extinciones locales de especies y el número de especies extintas aumenta año a año (Stern, 1983; Dillon, 2004 y bibliografía allí citada; Neubauer & Georgopoulou, 2021; Neubauer et al., 2021). Por otra parte, son de los organismos más accesibles en el registro fósil y nos permiten tener un panorama bastante completo de qué ocurrió en el pasado. Los moluscos fósiles son fáciles de muestrear y en general las conchillas se encuentran en grandes acumulaciones, por lo que no requieren diseños de muestreo complicados o costosos. Además, su composición (carbonato de calcio – CaCO₃) se genera en equilibrio con el ambiente, siendo un reflejo fiel de la distribución de isótopos en el momento en que el organismo estaba vivo (Kowalewski, 2017; Kusnerik et al., 2020).

En este marco, y como antecedentes inmediatos del presente proyecto, en los últimos años nuestro equipo condujo diferentes investigaciones con el objetivo de relevar la biodiversidad de moluscos continentales del Cuaternario. Estudiamos cómo se componían las diferentes asociaciones de acuerdo con las distintas localidades y edades y los diferentes ensambles de moluscos que los habitaron (Cabrera, 2021; Cabrera et al., 2023). Asimismo, realizamos estudios isotópicos de especies estuarinas con el objetivo de determinar los gradientes salinos en los que habitaron, para testear si esas especies pueden usadas como proxies para la reconstrucción paleoambiental (Martínez et al., 2025 en prensa). También se están realizando estudios isotópicos en especies continentales del Cuaternario, por lo que hay información primaria acerca de cómo eran las condiciones en que habitaron estos moluscos en el pasado. Esta información sumada al conocimiento de en qué condiciones viven los moluscos actuales, permite ir realizando paralelismos primarios en cuanto a los ambientes que habitaron las especies fósiles.

A partir del año 2020, el equipo de investigación de este proyecto es parte de la International Conservation Paleobiology Network (<https://conservationpaleorc.org>) y a partir del 2024 somos miembros activos de la South America Conservation Paleobiology Network (<https://www.instagram.com/soupaleocons/>), realizada en conjunto con Brasil y Argentina.

Justificación

Desde hace décadas se registran extinciones locales de moluscos dulceacuícolas debido a las actividades humanas (Stern, 1983; Dillon, 2004 y bibliografía allí citada; Neubauer & Georgopoulou, 2021; Neubauer et al., 2021), a esto se suma la aceleración del cambio climático debido a las mismas causales (Crowley, 2000; Hardy, 2003; Stern & Kaufmann, 2014). Sabemos que los moluscos dulceacuícolas del pasado se enfrentaron a situaciones similares, pero de origen natural (Cabrera et al., 2018; Cabrera, 2021; Neubauer & Georgopoulou, 2021; Neubauer et al., 2021), y que durante todo el Cuaternario se registraron alternancias climáticas entre episodios fríos (glaciaciones) y cálidos (interglaciales), los que generaron alteraciones ambientales a nivel global, regional y local. Entonces, teniendo una buena evaluación de cómo se sucedieron las asociaciones del pasado, en cuanto a su composición faunística y al ambiente en que habitaban, podemos extrapolar esta información a los ensambles actuales. Si comparamos si existe similitud entre las asociaciones del pasado y las actuales, y cuál es el ambiente inferido para los conjuntos, se puede determinar cómo y en qué medidas las asociaciones actuales se están viendo afectadas por la actividad humana en el territorio, si es necesario una intervención, y si lo es, si los esfuerzos de conservación deberían enfocarse en todos los conjuntos por igual, o si hay asociaciones y/o especies más vulnerables que otras. A modo de aclaración, en todo el proyecto se utilizará el término “asociación” cuando se habla del conjunto de distintas especies de moluscos actuales o fósiles de una localidad (aclarando si de fósiles o actual), y “ensamble” cuando se habla del conjunto de especies fósiles en un mismo punto de muestreo.

El objetivo principal de esta investigación es ampliar la información ambiental proporcionada por los diferentes factores medibles o inferibles a partir del registro fósil y de las asociaciones de moluscos actuales. A partir de los datos de isótopos estables en las especies actuales y fósiles, de forma de conocer qué relación hay entre ambos conjuntos a partir de la información isotópica de la composición de la

conchilla. Los isótopos de oxígeno indican -aplicando una función de transferencia- la temperatura global (glacial o interglacial) al momento de vida del organismo (Dettman et al., 1999; Briot, 2008; Yan et al., 2009). Los isótopos de carbono informan sobre la alimentación del molusco y por tanto de la vegetación presente, lo que puede extrapolarse a la temperatura, salinidad y tasas de humedad (en el caso del medio terrestre) local (Stott, 2002; Metref et al., 2003; Colonese et al., 2013; Yanes et al., 2013; 2014). A esto se planea incorporar la información de los cursos de agua en que habitan las especies actuales en las estaciones de temperaturas extremas (verano e invierno) para conocer las condiciones ambientales en que se da el crecimiento de los moluscos actuales (isótopos estables, temperatura, pH, salinidad, turbidez, entre otros) (Gualde et al., 2022).

Sumado a todo esto, se incorpora la información ecológica de los moluscos actuales, que nos habla de las condiciones ambientales en las que habitan las diferentes especies. Toda esta información en conjunto, permite un paralelismo entre los hábitats que ocupan las especies actuales, con la información ambiental y la composición de la asociación de moluscos en cada localidad. De esta forma, es posible una comparación con las asociaciones de moluscos fósiles y realizar un seguimiento del recambio de especies asociado a diferentes episodios climáticos. Esto está generando una base sólida para extrapolar la información de cómo se vio afectada la fauna según los momentos climáticos pasados (glaciales / interglaciales). Así, se podrá anticipar cómo y en qué medida el cambio climático que vivimos y se avecina afectará a las especies actuales. Toda esta información también permitirá evaluar la plasticidad de las especies y su capacidad de adaptación a los diferentes cambios, para también reconocer si los esfuerzos de conservación deben ser aplicados a todos los taxones por igual, o si hay especies que requieren mayor atención y recursos que otras para preservar su presencia en los ecosistemas.

Metodología/Diseño del estudio

El proyecto atacó varios frentes para poder realizar los objetivos. Por un lado, se debe tener un panorama completo de los ensambles de moluscos del Cuaternario de Uruguay. Esta es una línea de investigación que se viene desarrollando en los últimos años por el equipo de trabajo (Cabrera, 2021; Cabrera et al., 2023) y al mismo tiempo reforzar y continuar con la incipiente línea de investigación que es la paleobiología de la conservación (Martínez et al., en prensa).

Para este proyecto se retomaron los muestreos exhaustivos en las localidades objetivo, que demostró ser muy efectiva hasta ahora (Cabrera et al., 2023). Las localidades a relevadas correspondieron a varios puntos ya conocidos de las formaciones Sopas y Dolores (Cuaternario de Uruguay) en los departamentos de Artigas, Salto, Paysandú, Río Negro, Soriano y Canelones. En estas localidades se tomaron muestras seriadas, de los ensambles de fósiles, realizando un muestreo generalizado que incluyó fósiles sin distinción (muestreo no selectivo) junto con el sedimento que los contiene (bulk sample). De esta forma se obtuvo un paneo no sesgado del contenido fósil para cada localidad, y por lo tanto tener una buena representación del conjunto de especies. Estas técnicas permitieron aumentar el registro de las especies. También se agregó una nueva localidad (Laureles, Salto), cómo resultado de las prospecciones realizadas. Luego, en las mismas localidades de dónde se obtuvieron las muestras de fósiles, se tomaron muestras de las especies de moluscos actuales dónde fue posible, particularmente de los cursos de agua dónde afloran los depósitos con fósiles. Cabe destacar que prácticamente todos los sitios con moluscos dulceacuícolas fósiles están asociados a cuerpos de agua, lo que facilita y hace más confiable las comparaciones posteriores. Las especies actuales se muestrearon de los ensambles de muerte del lugar si presentes. De todas las localidades se tomaron muestras de agua, junto con los siguientes parámetros: temperatura, pH, salinidad (conductancia), turbidez, oxígeno disuelto.

En todos los tipos de muestras (ejemplares fósiles, actuales y agua) se analizó la composición de isótopos estables ($^{18}O/^{16}O$ y $^{13}C/^{12}C$) en submuestras seleccionadas. También en el caso de las muestras de fósiles,

se apartaron ejemplares aptos para realizar dataciones mediante AMS 14C para localidades del Cuaternario que no estuvieran datadas con anterioridad. Las muestras de agua se tomaron en las estaciones de temperaturas más extremas (verano e invierno). Dado que los valores de 18O/16O y 13C/12C varían según la temperatura y que las conchillas asimilan los isótopos en consecuencia (Gualde et al., 2022). De esta forma se obtendrían los valores isotópicos en dos condiciones de temperatura diferentes.

Para todas las localidades se crearon bases de datos con la riqueza (número de especies) y abundancia (cantidad de ejemplares por especie). Luego, los ejemplares fósiles se ingresaron a la colección científica paleontológica de la Facultad de Ciencias. Los ejemplares actuales se ingresaron a la colección de moluscos actuales del Departamento de Paleontología.

Los resultados de isótopos estables de las muestras de agua y de los moluscos actuales se usaron para realizar una comparación de la composición de la conchilla respecto al medio (agua), sabiendo cómo se mencionó anteriormente que las conchillas crecen por un lado en relación con el medio pero que, a su vez, el medio cambia según la temperatura del momento (Stott, 2002; Metref et al., 2003; Colonese et al., 2013; Yanes et al., 2013; 2014; Gualde et al., 2022). Con esto se generaron tablas de inferencia de temperatura (18O) e información de los vegetales asociados (13C) para medios continentales, que es algo novedoso para la región y que no está tan estudiado a nivel mundial. Esta tabla podrá ser comparada con los resultados en los fósiles, lo que permitirá inferir momentos climáticos aproximados para los diferentes ensambles.

Con la información de riqueza y abundancia de cada localidad se realizaron análisis estadísticos para ponderar la diversidad de cada localidad mediante índices clásicos (Shannon, Simpson, Equitatividad), y análisis de diversidad α y β para las especies tanto fósiles como actuales. Se analizará la robustez del registro mediante estimadores de diversidad (rarefacción individual, Chao 1, entre otros). Para conocer el ordenamiento de las localidades, y el ordenamiento de las especies respecto a las localidades, se realizarán diferentes análisis multivariados: Non-metric Multidimensional Scaling (NMDS), con índice de Manhattan y rotación de los ejes mediante un Análisis de Componentes Principales (ACP); y como contraparte a este, se realizó un Análisis de Correspondencia, para agregar el factor temporal de evolución de los ecosistemas. Por último, se realizaron análisis de cluster con matrices de frecuencias de especies y de presencia- ausencia para considerar la similitud entre las localidades. El software usado será PAST v. 4.13 (Hammer et al., 2001) y Gnumeric v. 2.15 (open source, <http://www.gnumeric.org>), ambos de uso libre.

Resultados, análisis y discusión

Principales resultados del proyecto

Relevamiento de localidades

Se relevaron 12 afloramientos de las Formaciones Sopas y Dolores, ubicados en los departamentos de Soriano (Cañada Farías, Cañada Nieto, Cañada La Paraguaya), Río Negro (Arroyo Tres Árboles y Arroyo Gutiérrez Chico), Salto (tres localidades del Arroyo Itapebí Grande, Paso del Potrero y Arroyo Laureles), Artigas (Cañada Zanja Honda) y Tacuarembó (Arroyo Malo) en el lapso de un año. Se reiteraron los muestreos de agua en verano e invierno. Mientras que se realizaron salidas en paralelo para la colecta de ejemplares fósiles.

Los análisis litológicos de los diferentes afloramientos prospectados se entienden de la siguiente manera: excepto en algunas localidades de la Formación Dolores y el nivel de Chilina de la localidad Tres Árboles, los moluscos están por lo general en los niveles más gruesos (arena gruesa a grava), principalmente los bivalvos y los ampuláridos. También se registran en parches, formando lentes, con la excepción de Tacuarembó donde se encuentran en niveles algo continuos, pero que no tienen más de unos pocos metros.

En pocas localidades hay una sucesión vertical de niveles de fósiles; en general el nivel fosilífero tiende a ser único, distribuido en uno o varios parches dentro del área. Estos parches pueden estar muy cerca entre sí (Río Negro) o distanciados varios metros (Paso del Potrero, Salto).

Hay una clara diferenciación entre los rasgos tafonómicos de las formaciones Sopas y Dolores. Los fósiles de la Fm. Sopas se registraron en general con una buena mineralización, las conchillas tienen una tenacidad alta, y tienden a presentar un cierto ordenamiento en los estratos en algunas localidades (e.g. Tacuarembó y Salto). En la Formación Dolores, la gran mayoría presenta una textura tizosa, las conchillas se disgregan al tocarlas, tienden a romperse fácilmente al ser manipuladas, en general están de forma masiva en los estratos y sin una ordenación preferencial (Soriano).

Registro fósil

Las especies identificadas se publicaron en Cabrera et al., (2023). En total se registraron 29 especies para la Formación Sopas y 29 para la Formación Dolores, siendo 17 de ellas nuevas para las unidades trabajadas (ver Cabrera et al. 2023). Del punto de vista de reconstrucción paleoambiental, se identificaron dos ensambles de fósiles, por un lado, el Ensamble Sopas, que representa un ambiente lótico, de sustrato semiblando a firme y velocidad de corriente moderada; por otro lado, el Ensamble Dolores que se corresponde con ambientes lénticos o lóticos de baja velocidad, sustrato blando, barroso y con abundante vegetación acuática. Ambos ensambles se caracterizaron a partir del conjunto de moluscos que lo componen, además de la información litológica en la literatura y observada en campo. Cada ensamble está compuesto casi exclusivamente por localidades de la Formación homónima. Se verifica entonces que hay heterogeneidad de ambientes entre las Formaciones, pero dentro de cada unidad las localidades tienden a tener similares características.

A pesar de las limitaciones que implican el time averaging y la posible condensación de paleoambientes presentes en ambas unidades, la Formación Sopas muestra una tendencia uniforme en cuanto sus ambientes de depositación, de tipo lótico, en tanto que aquellos de la Formación Dolores indican una mayor humedad ambiental. Esta situación es coherente con los ambientes globales (Hassan et al., 2012; De Francesco et al., 2013; Ubilla & Martínez, 2016; De Francesco et al., 2020).

Los resultados de los isótopos estables son coherentes a su vez con la reconstrucción paleoambiental inferida. Los valores del $\delta^{13}C$ y $\delta^{18}O$ para el Ensamble Sopas tienen valores promedios muy cercanos (desvío standard ~ 1.2), esto es consistente con ambientes con poca tendencia a la desecación como son los ambientes lóticos. Mientras que, los resultados del fraccionamiento de $\delta^{13}C$ y $\delta^{18}O$ para el Ensamble Dolores, muestra un desvío importante entre ambos isótopos (desvío standard < 4), lo que es consistente con ambientes sometidos a evaporación constante, tales como ambientes lénticos, humedales, etc.

Por lo tanto, los resultados en cuanto al análisis paleoambiental y el uso de isótopos estables para la definición ambiental dio resultados positivos en cuanto a la correlación del fraccionamiento de los isótopos de $\delta^{13}C$ y $\delta^{18}O$ y la interpretación paleoambiental.

Ambientes actuales

De todas las localidades se midieron 13 parámetros de contexto ambiental en los cuerpos de agua muestreados, utilizando un multiparámetro Horiba U50. De estos parámetros, se analizaron la temperatura, el pH, el porcentaje de oxígeno disuelto (%OD), la turbidez (NTU) y la conductancia ($\mu S/cm$) utilizada como proxy de la concentración de sales en el agua.

Se midieron en momentos de temperatura extremos, esto a efectos de comparar los parámetros respecto al momento estacional, e identificar diferencias entre ellos (todo esto reafirmado a partir de la bibliografía consultada, ver antecedentes).

Los resultados preliminares indican que, la temperatura en el agua presenta una variación de $2.5^{\circ}C$ en invierno, y de $7^{\circ}C$ en verano. Entre ambos períodos se observa una diferencia de $11.7^{\circ}C$. Esto se compara

con los valores de la temperatura del aire (INUMET), que presentan una variación de 3°C a 6°C respecto a la del agua. La conductividad permite inferir la concentración de iones Ca⁺⁺ disueltos en el agua, estos valores mostraron un aumento en Soriano para los meses de verano respecto al invierno, acorde a lo esperado por la mayor evaporación. En cambio, en el norte del país se detectó una disminución de la conductividad que se explica por episodios de pluviosidad en el período de muestreo. El %O₂ disuelto en agua será utilizado como referencia para estudios de $\delta^{18}O$ en las mismas localidades. Se registró que el oxígeno disuelto en agua es menor en verano respecto al invierno. Los valores de pH rondan el pH neutro y son ligeramente menores en verano respecto al invierno, lo que también es esperable de acuerdo con la variación de temperatura entre ambas estaciones.

Se registraron especies actuales, siempre que fue posible. En general las dificultades de colecta de ejemplares actuales se presentaron, coincidentemente, en ambientes con contaminación y polución observable. Los géneros registrados coinciden con géneros del Cuaternario, destacándose en el caso de bivalvos los géneros Diplodon, Anodontites y Cyanocyclas. En el caso de gasterópodos, se registraron dos especies de Potamolithus, dos especies de Biomphalaria, y los ampuláridos Pomacea y Asolene.

Dataciones

Para poner en contexto temporal estas asociaciones, realizamos dataciones por ¹⁴C (replicadas de ser posible) en conchas de todas las localidades estudiadas. Se realizaron en total 25 dataciones, 16 para Sopas y nueve para Dolores. Desestimando los niveles con valores históricos (centenares de años), las edades van desde los ~48000AP hasta ~6500AP. Las edades se distribuyen con un patrón de norte a sur (exceptuando Artigas), donde las más antiguas (~48000-~42000) se registran en los departamentos de Salto y Tacuarembó (Sopas), los valores intermedios (~20000-~14000) en Artigas y Río Negro (Sopas), las más recientes (<~14000) en Soriano (Dolores). La valoración primaria indica que las variaciones de diversidad responden más al entorno geográfico y ambiental. Los ensambles de Sopas presentan similitudes entre sí independientemente a que se distribuyen en dos conjuntos de edades. En el caso de los de Dolores, son mucho más homogéneos tanto en edad como en diversidad. Estos estudios mejoran el contexto de análisis de los diferentes ensambles, permitiendo un mejor seguimiento temporal y evolutivo de los conjuntos.

Divulgación y vinculación con el medio

Se realizaron charlas y talleres de divulgación en centros educativos (escuelas y liceos) principalmente en áreas próximas a donde se van a llevar a cabo los muestreos, en particular en la ciudad de Dolores, a través del museo local Lacán-Guazú. El foco de los talleres fue acercar el conocimiento del patrimonio fosilífero de la localidad, y transmitir la necesidad de la conservación y protección de las especies actuales, y como las acciones humanas pueden llevar a ponerlas en peligro, modificando su hábitat.

También se participó en cursos de formación docente para el CERP de Canelones, orientando pasantías de investigación a estudiantes de profesorado.

Se presentaron resultados parciales en eventos científicos, tanto regionales como internacionales (Congreso Latinoamericano de Malacología – CLAMA, World Congress of Malacology - WCM, Congress of the Conservation Paleobiology Network, Congreso Uruguayo de Zoología).

Por último, los participantes del proyecto en conjunto con Argentina y Brasil fundaron la Red Sudamericana de Paleobiología de la Conservación (Southamerican Conservation Paleobiology Network) la cual acaba de ganar un proyecto de carácter regional (CAPES-AUGM) con sede en Uruguay y Brasil, generando un marco de cooperación internacional para continuar en esta línea de investigación.

Conclusiones y recomendaciones

Los moluscos continentales fósiles son una excelente fuente de información paleoambiental. Sus

requerimientos ecológicos específicos permiten identificar microambientes, y al encontrarse en abundancia en los yacimientos, la información obtenida es fiable y extrapolable a ensamblajes actuales. En este sentido, los estudios desarrollados sobre las asociaciones del Cuaternario de Uruguay (formaciones Sopas y Dolores – Pleistoceno Tardío), están dando excelentes resultados que permitirán ahondar en estos tópicos, colocando a Uruguay como uno de los pioneros en la disciplina, tanto en la región como en el mundo.

Dentro del marco del proyecto, hemos identificado las especies y ensamblajes representados, y a partir de la información paleoecológica, los diferentes ambientes que habitaron, identificándose dos asociaciones paleoecológicas (Sopas y Dolores). Además, estamos comparando la diversidad de cada asociación con los ensamblajes actuales de las mismas zonas geográficas, para reconstruir la historia paleobiogeográfica de las especies.

Los estudios que contemplan los parámetros ambientales en los que habitan las comunidades actuales, se compararon con los ensamblajes fósiles. A su vez, a esta información se agregan las fracciones de ^{13}C y ^{18}O de las conchas fósiles, como proxy para los parámetros ambientales.

Los resultados de los isótopos estables son coherentes a su vez con la reconstrucción paleoambiental inferida a partir de los moluscos. Los valores del $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{18}\text{O}$ para el Ensamble Sopas tienen valores promedios muy cercanos, lo que es consistente con ambientes con poca tendencia a la desecación como son los ambientes lóticos. Mientras que, los resultados del fraccionamiento de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{18}\text{O}$ para el Ensamble Dolores, muestran un desvío importante entre ambos isótopos, lo que es consistente con ambientes sometidos a evaporación constante, tales como ambientes lénticos, húmedales, etc. Por lo tanto, los resultados en cuanto al análisis paleoambiental y el uso de isótopos estables para la definición ambiental dieron resultados positivos en cuanto a la correlación del fraccionamiento de los isótopos de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{18}\text{O}$ y la interpretación paleoambiental.

Por otro lado, la fracción de ^{18}O se comparó con la del agua de los cuerpos de agua cercanos a los puntos de colecta, en dos épocas de temperatura extrema. En la que habitan, que en conjunto con la temperatura medida directamente. Con esto se está generando una curva de temperatura relativa para extrapolar esta información en los fósiles. Por último, se realizaron dataciones ^{14}C en conchas de todas las localidades para tener un marco temporal para cada asociación. Donde se confirmaron edades obtenidas anteriormente y se agregaron nuevas edades numéricas. Se identificaron tres conjuntos de edades, los cuales mantienen una composición faunística homogénea dentro de cada uno de ellos.

Con toda esta información se está reconstruyendo cómo respondieron los diferentes ensamblajes a los cambios ambientales, qué conjuntos prevalecieron en determinados momentos y condiciones, y qué especies fueron afectadas por los cambios climáticos propios del Cuaternario, ya sea por extinción local o desplazamiento geográfico. Así, podremos proyectar esta información en los ensamblajes actuales y predecir alteraciones en su diversidad sujeta a los cambios ambientales tanto de origen natural como antropogénica.

Consideraciones

Los estudios de Paleobiología de la Conservación están tomando fuerza y son cada vez más un tópico importante dentro de los coloquios científicos. Con proyectos como este y otros que se vienen desarrollando, en particular llevados a cabo por este equipo de trabajo, Uruguay se está posicionando como uno de los pioneros en la región y a nivel mundial.

El poder inferir cómo afectaron los cambios del pasado a los ensamblajes de especies y aplicar esta información a los ensamblajes actuales, permite evaluar y proyectar medidas de contingencia a eventuales alteraciones de los ecosistemas, y mejorar la distribución de recursos a la hora de proteger especies en riesgo debido a procesos antrópicos.

Este tipo de proyectos, sin embargo, requieren un seguimiento a lo largo del tiempo, estas temáticas no pueden ser resueltas y aplicadas en lapsos cortos de tiempo (Dietl & Flessa, 2011, 2016; Neubauer et al., 2021). Por lo que es importante la continuidad de la línea de investigación y el apoyo a estas iniciativas,

para que las investigaciones no se vean interrumpidas y puedan finalmente ser aplicadas en los diferentes entes y actores públicos y privados a los que beneficiaría estos resultados.

Publicaciones y otras difusiones

Cómo resultados de la investigación se publicó un artículo en revista arbitrada y un capítulo de libro:

Cabrera, F., Montenegro, F., Badín, A.C., Ubilla, M. & Martínez, S. 2023. Continental mollusk assemblages from the Quaternary of Uruguay. *Journal of South American Earth Sciences*. 130 (2023) 104575.

Ubilla, M.; Perea, D.; Rinderknecht, A.; Manzuetti, A.; Jones, W.; Corona, A.; Morosi, E.; Cabrera, F.; Montenegro, F.; Badin, A. & Pérez, M.I. Capítulo 15: Faunas continentales del Cuaternario. En: *Fósiles de Uruguay, 3ª edición*, Perea, D. & Rojas, A. eds. DIRAC, UdelaR. En prensa

Los integrantes del proyecto participaron en numerosas actividades científicas, en donde se presentaron numerosos resúmenes (detallados en el CVuy).

Dificultades

El proyecto encontró dificultades en el envío y análisis de las muestras a laboratorios en el exterior (especialmente Estados Unidos) totalmente ajenas al proyecto. De todas maneras, y a pesar de los atrasos se llegó a procesar y analizar la mayoría de las muestras previstas. Las que no se llegaron a analizar no afectaron los resultados posteriores.

Productos derivados del proyecto

| Tipo de producto | Título | Autores | Identificadores | URI en repositorio de Silo | Estado |
|---------------------|--|--|---|----------------------------|------------|
| Artículo científico | Continental mollusk assemblages from the Quaternary of Uruguay | Fernanda Cabrera Curbelo; Felipe Montenegro; Ana Clara Badin; Martín Ubilla; Sergio A. Martínez | https://doi.org/10.1016/j.jsames.2023.104575 | | En proceso |
| Parte de libro | Capítulo 15 FAUNAS CONTINENTALES DEL CUATERNARIO | Martín Ubilla, Daniel Perea, Andrés Rinderknecht, Aldo Manzuetti, Washington Jones, Andrea Corona, Elizabeth Morosi, Fernanda Cabrera, Felipe Montenegro, Ana Badín, María Inés Pérez. | Dirac | | En proceso |

Referencias bibliográficas

Altesor, A.; Ferrón, M.; Gallego, F.; López-Mársico, L.; Pezzani, F.; Lezama, F.; Baeza, S.; Leoni, E.; García, S.; Pereira, M.; Costa, B.; Orihuela, D.; Cáceres, D.; Rossado, A. & Paruelo, J. 2019. ¿Pastizales degradados o conservados? Una descripción objetiva de la heterogeneidad generada por el manejo ganadero. En Bases

- ecológicas y tecnológicas para el manejo de pastizales II. FPTA-INIAISBN: 978-9974-38-412-5
- Amoatey, P. & Baawain, M.S. 2019. Effects of pollution on freshwater aquatic organisms. *Water Environment Research*, 91: 1272–1287.
- Bonilla, S.; Haakonsson, S.; Somma, A.; Gravier, A.; Britos, A.; Vidal, L.; De León, L.; Brena, B.M.; Pérez, M.; Piccini, C.; Martínez de la Escalera, G.; Chalar, G.; González-Piana, M.; Martigani, F. & Aubriot, L. 2015. Cianobacterias y cianotoxinas en ecosistemas límnicos de Uruguay. *Revista Del Laboratorio Tecnológico Del Uruguay, INNOTEC*, 10: 9 – 22.
- Briot, D. 2008. Sr isotopes of the shells of the euryhaline gastropod *Potamides lamarcki* from the Oligocene of the French Massif Central and Paris Basin — A clue to its habitats. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 268: 116–122.
- Cabrera, F., Martínez, S. & Verde, M. 2018. Continental Late Cretaceous gastropod assemblages from Uruguay. *Paleoecology, age, and the oldest record of two families and a genus. Historical Biology*, 32: 93–103.
- Cabrera, F. 2021. Moluscos continentales del Cuaternario de Uruguay. Tesis de Doctorado en Ciencias Biológicas. Programa de Desarrollo de las Ciencias Básicas - PEDECIBA área Biología, Universidad de la República. Montevideo, Uruguay.
- Cabrera, F., Montenegro, F., Badín, A.C., Ubilla, M. & Martínez, S. 2023. Continental mollusk assemblages from the Quaternary of Uruguay. *Journal of South American Earth Sciences*. 130 (2023) 104575.
- Clavijo, C.; Carranza, A.; Scarabino, F. & Soutullo, A. 2010. Conservation priorities for Uruguayan land and freshwater molluscs. *Tentacle*, (18): 14-16.
- Clavijo, C. 2014. Diversidad de Corbiculidae (Mollusca: Bivalvia) en Uruguay. Tesis de maestría, PEDECIBA Biología, UdelaR, Uruguay.
- Clavijo, C. & Carranza, A. 2018. Critical reduction of the geographic distribution of *Cyanocyclas* (Cyrenidae: Bivalvia) in Uruguay. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 28(5): 1249-1252.
- Colonese, A.C.; Zanchetta, G.; Pertès, C.; Drysdale, R.N.; Manganelli, G.; Baneschi, I.; Dotsika, E.; Valladas, H. 2013. Deciphering late Quaternary land snail shell $\delta^{18}O$ and $\delta^{13}C$ from Franchthi Cave (Argolid, Greece). *Quaternary Research*, 80(1): 66-75.
- Cosse, M.; González, S.; & Gimenez-Dixon, M. 2009. Feeding ecology of *Ozotoceros bezoarticus*: conservation implications in Uruguay. *Iheringia*, 99(2): 158-164.
- Costa Gorriz, B.; López-Mársico, L.; Gallego, F.; Leoni, E.; Lezama, F.; Mello, A.L. & Pezzani, F. 2020. Una experiencia de generación de conocimiento ecológico a través de un proceso compartido entre ganaderos e investigadores en Sierras del Este (Uruguay). *Tekoporá. Latin América Review of Environmental Humanities and Territorial Studies*, 2(1) 58-73.
- Crowley, T.J. 2000. Causes of Climate Change Over the Past 1000 Years. *Science*, 289(5477): 270-277.
- Dettman, D.L.; Reische, A.K.; Lohmann, K.C. 1999. Controls on the stable isotope composition of seasonal growth bands in aragonitic fresh-water bivalves (Unionidae). *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 63: 1049–1057.
- Dietl, G.P. & Flessa, K.W. 2011. Conservation paleobiology: putting the dead to work. *Trends in Ecology and Evolution*, 26(1), 30-37.
- Dietl, G.P. & Flessa, K.W. 2017. *Conservation Paleobiology: Science and Practice*. The University of Chicago press, Chicago and London. 329 pp.
- Dillon Jr, R.T. 2004. *The Ecology of Freshwater Molluscs*. Cambridge University Press. 509 pp.
- González, S.; Maldonado, J.; Ortega, J.; Talarico, A.; Bidegaray-Batista, L.; Garcia, J. & Duarte, J. 2009. Identification of the endangered small red brocket deer (*Mazama bororo*) using noninvasive genetic techniques (Mammalia; Cervidae). *Molecular ecology resources*. 9. 754-758. 10.1111/j.1755-0998.2008.02390.x.
- González, S. & Barbanti, J.M. 2020. Speciation, evolutionary history and conservation trends of neotropical deer. *Mastozoología Neotropical*, 27(SI):37-47.

- Gualde, M.S., Dietrich, S., Zabala, M.E. & Dubny, S. 2022. Análisis preliminar de la relación entre los isótopos del oxígeno en un sistema hidrológico y en moluscos, en el ámbito de la llanura pampeana (Buenos Aires, Argentina). Cuadernos del Curiam. 28(2022): 65-83. ISSN 2683-8168.
- Hammer, Ø., Harper, D. A. T., & Ryan, P. D. 2001. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4, 9 p. http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm
- Hardy, J.T. 2003. *Climate change: causes, effects and solutions*. Wiley, Chichester, 247 pp.
- Jaureguiberry, P. & López Mársico, L. 2020. Echando leña al fuego: el calentamiento global y los incendios extremos. Editorial Agenda Mensual Electrónica de Noticias en Ecología, Asociación Argentina de Ecología; marzo 2020.
- Kidwell, S.M. 2017. Evaluating human modification of shallow marine ecosystems: mismatch in composition of molluscan living and time-averaged death assemblages. En: Dietl, G.P. & Flessa, K.W. editores, *Conservation Paleobiology: Science and Practice*. The University of Chicago press, Chicago and London.
- Kowalewski, M. 2017. The youngest fossil record and conservation biology: Holocene shells as eco-environmental recorders. En: Dietl, G.P. & Flessa, K.W. editores, *Conservation Paleobiology: Science and Practice*. The University of Chicago press, Chicago and London.
- Kusnerik, K.; Means, G.; Portell, R.; Brenner, M.; Hua, Q.; Kannai, A.; Means, R.; Monroe, M.A. & Kowalewski, M. (2020). Live, dead, and fossil mollusks in Florida freshwater springs and spring-fed rivers: Taphonomic pathways and the formation of multisourced, time-averaged death assemblages. *Paleobiology*, 46(3), 356-378. doi:10.1017/pab.2020.25
- López Mársico, L.; Lezama, F. & Altesor, A. 2020. Heterogeneity decreases as time since fire increases in a South American grassland. *Applied Vegetation Science*, DOI: 10.1111/avsc.12521
- Lovejoy, T.E. 2017. Foreword. En: Dietl, G.P. & Flessa, K.W. editores, *Conservation Paleobiology: Science and Practice*. The University of Chicago press, Chicago and London.
- Mannise, N.; Trovati, R.G.; Duarte, J.M.B.; Maldonado, J.E. & González, S. 2018. Using non-invasive genetic techniques to assist in maned wolf conservation in a remnant fragment of the Brazilian Cerrado. *Animal Biodiversity and Conservation* 41.2
- Martínez, S., Cabrera, F., Rojas, A. 2024 – en prensa. Stable isotopes ($\delta^{18}O$ and $\delta^{13}C$) in the shell of the genuine brackish-water bivalve *Erodonamactroides Bosc*, 1801 along the saline gradient of the Río de la Plata, Uruguay. *Estuaries and Coasts* (In press).
- Metref, S.; Rousseau, D.D.; Bentaleb, I.; Labonne, M.; Vianey-Liaud, M. 2003. Study of the diet effect on $\delta^{13}C$ of shell carbonate of the land snail *Helix aspersa* in experimental conditions. *Earth and Planetary Science Letters*, 211: 381–393.
- Neubauer, T.A. & Georgopoulou, E. 2021. Extinction risk is linked to lifestyle in freshwater gastropods. *Diversity and Distributions*, DOI: 10.1111/ddi.13404.
- Neubauer, T.A.; Hauffe, T.; Silvestro, D.; Schauer, J.; Kadolsky, D.; Wesselingh, F.P.; Harzhauser, M. & Wilke, T. 2021. Current extinction rate in European freshwater gastropods greatly exceeds that of the late Cretaceous mass extinction. *Communications Earth & Environment*, 2:97 doi.org/10.1038/s43247-021-00167-x.
- Qadri, R. & Faiq, M.A. 2019. *Freshwater Pollution: Effects on Aquatic Life and Human Health*. In Qadri H.; Bhat R.; Mehmood M. & Dar G. (eds) *Fresh Water Pollution Dynamics and Remediation*. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-13-8277-2_2
- Stern, D.I. & Kaufmann, R.K. 2014. Anthropogenic and natural causes of climate change. *Climatic Change*, 122: 257–269.
- Stern, E. 1983. Depth distribution and density of freshwater mussels (Unionidae) collected with SCUBA from the lower Wisconsin and St. Croix Rivers. *Nautilus*, 97, 36–41.

Soutullo, A.; Clavijo, C. & Martínez-Lanfranco, J.A. 2013. Especies prioritarias para la conservación en Uruguay. Vertebrados, moluscos continentales y plantas vasculares. SNAP/DINAMA/MVOTMA/DICYT/MEC. Montevideo.

Yan, H.; Lee, X.; Zhou, H.; Cheng, H.; Peng, Y.; Zhou, Z. 2009. Stable isotope composition of the modern freshwater bivalve *Corbicula fluminea*. *Geochemical Journal*, 43: 379-387.

Yanes, Y.; García-Alix, A.; Asta, M.P.; Ibáñez, M.; Alonso, M.R.; Delgado, A. 2013. Late Pleistocene–Holocene environmental conditions in Lanzarote (Canary Islands) inferred from calcitic and aragonitic land snail shells and bird bones. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 378: 91–102.

Yanes, Y.; Izeta, A.D.; Cattáneo, R.; Costa, T.; Gordillo, S. 2014. Holocene (~4.5–1.7 cal. kyr BP) paleoenvironmental conditions in central Argentina inferred from entire-shell and intra-shell stable isotope composition of terrestrial gastropods. *The Holocene*, 24(10) 1193–1205.

Licenciamiento

Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional. (CC BY-NC-ND)