

Informe final publicable de proyecto TAFONOMÍA, GEOCRONOLOGÍA Y PALEOECOLOGÍA DE LAS ASOCIACIONES DE MOLUSCOS MARINOS DEL PLEISTOCENO TARDÍO Y HOLOCENO DE URUGUAY

Código de proyecto ANII: FCE_1_2021_1_167109

Fecha de cierre de proyecto: 01/06/2024

ROJAS BUFFET, María Alejandra (Responsable Técnico - Científico)

MOLINA, Melany (Investigador)

PRINGLES CRUZ, Marcos (Investigador)

VERDE CATALDO, Mariano (Investigador)

VEROSLAVSKY BARBÉ BARBÉ, Gerardo (Investigador)

DEMICHELI DEGE, Mariana (Investigador)

GÓMEZ MADURO, María Cecilia (Investigador)

MARTINEZ CHIAPPARA, Sergio Agustín (Investigador)

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

Resumen del proyecto

Las asociaciones de invertebrados fósiles preservadas de las costas del mundo representan una valiosa fuente de información para reconstruir las oscilaciones climáticas y del nivel del mar que ocurrieron durante los últimos cientos y decenas de miles de años en el planeta. En Uruguay, las acumulaciones fosilíferas ricas en moluscos originadas en dicho escenario se conocen desde las observaciones de Dámaso A. Larrañaga. Si bien esta es una línea de investigación con avances sostenidos en las últimas décadas, la temática distaba de estar agotada. El objetivo de este proyecto fue incrementar el conocimiento de los ensambles de moluscos marinos del Pleistoceno Tardío y Holoceno, para contribuir a la reconstrucción de la evolución faunística y paleoambiental más reciente de la costa uruguaya. Este se abordó mediante relevamientos en campo, colecta y estudio de muestras, dataciones numéricas, análisis tafonómico, paleoecológico y paleoambiental en diferentes sectores de la costa. Los principales resultados incluyen el registro nuevos depósitos fosilíferos (costa atlántica y entorno de la Laguna Merín), la obtención de nuevas edades numéricas, debiendo evaluarse las pleistocenas al ser más antiguas que lo esperado, mientras que las holocenas expanden su rango entre 7600-1200 años AP; se recuperaron unos 170 taxones de moluscos (varios nuevos registros), siendo algunas asociaciones pleistocenas las más diversas y dominadas por *Ostrea stentina*, *Heleobia australis*, *Maetra isabelleana* y/o *Anomalocardia flexuosa* versus *Erodona mactroides*, *Heleobia australis*, *Maetra isabelleana*, *Glycymeris longior* y *Crassostrea* en las holocenas; se refuerzan las evidencias de mayor temperatura que la actual a través de especies extralimitales cálidas, con un gradiente decreciente en los lapsos analizados y mayor salinidad global en los sectores estuarinos y dulceacuícolas actuales sostenida en el Holoceno. Los resultados alcanzados representarán una sólida base empírica para predecir la respuesta de organismos costeros en un futuro escenario de fluctuaciones climáticas y nivel del mar.

Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias de la Tierra y relacionadas con el Medio Ambiente / Paleontología / Invertebrados fósiles

Palabras clave: Paleontología / Invertebrados marinos / Cuaternario /

Antecedentes, problema de investigación, objetivos y justificación.

La información que permite la reconstrucción de las oscilaciones climáticas globales y fluctuaciones del nivel del mar durante el Cuaternario proviene de diferentes fuentes: testigos de hielo, registros marinos y continentales y modelos climáticos (Emiliani 1955, Kukla et al. 2002, Lisiecki & Raymo 2005, NGICPM 2004, EPICA 2004, Landais et al. 2015). Los cambios climáticos cuaternarios afectaron diversos parámetros ambientales y provocaron cambios en el nivel del mar a escala global y patrones de corrientes a nivel regional (Pirazzoli 1996, Medina-Elizalde 2013, Murray-Wallace & Woodroffe 2014, Rovere et al. 2016). Naturalmente, este escenario tuvo importantes consecuencias bióticas. En el ambiente marino, los ensambles ricos en invertebrados, ubicados en las costas del mundo, evidencian extinciones locales y modificaciones de rangos geográficos en respuesta a las modificaciones ambientales de los últimos miles de años (e.g. Aguirre 1993, Roy et al. 1995, Ávila et al. 2009, Garilli et al. 2011, Sessa et al. 2013, Muhs et al. 2014, Melo et al. 2023). En América del Sur, en regiones atlánticas adyacentes a la costa uruguaya se conocen depósitos marinos fosilíferos del Cuaternario, principalmente de Argentina (e.g. Aguirre & Whatley 1995, Charó et al. 2014, Martínez et al. 2016, Gowan et al. 2021) y Brasil (e.g., Forti 1969, Lopes & Simone 2012, Cancelli et al. 2017, Lopes et al. 2021). Tanto los depósitos pleistocenos como holocenos de la Planicie Costera de Rio Grande del Sur en Brasil y de Argentina (especialmente de Entre Ríos y provincia de Buenos Aires), registran especies de moluscos cuyos rangos geográficos han variado en respuesta a cambios ambientales. En Uruguay, el estudio de los depósitos marinos del Cuaternario es de especial interés por su potencial paleontológico y por encontrarse en un enclave biogeográfico. La costa uruguaya está posicionada en una región del Océano Atlántico Sudoccidental donde confluyen las corrientes de Brasil y Malvinas, y por la zona de transición de salinidad que representa el Río de la Plata. El conocimiento faunístico y paleoambiental derivado de los ensambles pleistocenos y holocenos de Uruguay es clave para reconstruir la evolución de la biota y condiciones ambientales de esta región en los últimos miles de años. La respuesta de los moluscos y otros taxones a los cambios climáticos globales del Pleistoceno Tardío y Holoceno, es un importante insumo para predecir los efectos del Cambio Climático sobre la fauna costera de Uruguay y la región.

A continuación se describen brevemente los antecedentes locales:

- Marco geológico y fósiles presentes: Las unidades litoestratigráficas comunmente utilizadas para caracterizar los depósitos del Cuaternario marino son las formaciones Villa Soriano y Chuy (Ubilla & Martínez, 2016). Estos afloran paralelos a la costa

desde el Río Negro hasta la Laguna Merín y son ricos en moluscos (e.g. Figueiras 1962, Sprechmann 1978, Martínez et al. 2001, 2006). Otros grupos e icnofósiles son ocasionales (poliplacóforos, equinodermos, crustáceos, microfósiles, corales, peces, entre otros) y pocos han recibido un análisis profundo (e.g. Sprechmann 1978, Rojas & Urteaga 2011, Lorenzo & Verde 2004).

- Tafonomía: Los únicos antecedentes sobre la tafonomía de las asociaciones corresponden a solo comentarios de ciertos atributos (e.g. Martínez et al. 2001, 2006) y a un único estudio semicuantitativo para las asociaciones pleistocenas del Puerto de Nueva Palmira, Zagarzazú y La Coronilla (Rojas et al. 2018a).

- Paleoecología y reconstrucción paleoambiental: Algunos autores esbozaron tempranamente un interés por la ecología de las especies y realizaron aportes novedosos (e.g. Ihering 1907, Teisseire 1928). Pero ha sido más recientemente que el centro de las investigaciones sea la reconstrucción paleoecológica y paleoambiental. Los requerimientos de salinidad en relación a la posición geográfica de las asociaciones, evidenció un desplazamiento del frente de alta salinidad hacia el oeste por la alta proporción de especies marinas halladas en Colonia y Soriano. Este corrimiento ocurre tanto en asociaciones pleistocenas como holocenas (Martínez et al. 2001, 2006; Rojas 2007, 2016), pero es necesario un análisis más fino las holocenas. Asimismo, la costa experimentó en el Pleistoceno Tardío y Holoceno, temperaturas más cálidas que la actual (e.g. Martínez et al. 2001, 2006; Rojas 2007), dada la ausencia de taxones de aguas frías (sí representados actualmente) y la presencia de especies tropicales-subtropicales, algunas de las cuales han migrado hacia el norte (extralimitales según Roy et al. 1995). Su presencia en la costa uruguaya durante el Cuaternario se debería a un desplazamiento hacia mayores latitudes de la Corriente de Brasil (Martínez et al. 2001, 2006, Rojas & Martínez 2016, Rojas et al. 2018b).

- Edad: Las dataciones de los depósitos pleistocenos representan edades mínimas de 14C en el entorno de 30.000 años AP (Martínez et al. 2001, Rojas 2007) y OSL entre 80.000-88.000 años AP (Rojas & Martínez 2016). Aunque, la composición malacológica y la importante representación de taxones extralimitales sugiere que probablemente correspondan al MIS 5e (circa 130.000 años AP), reconocido como un intervalo de nivel del mar por encima del actual y temperaturas mayores (e.g., Petit et al. 1999, Otto-Bliesner et al. 2006, Masson-Delmotte et al. 2006, Jouzel et al. 2007, Barlow et al. 2018). De las asociaciones del Holoceno, se disponen mayoritariamente dataciones radiocarbónicas estándar y AMS. El rango abarca aproximadamente 7500-2000 años AP (Martínez et al. 2006, Rojas & Urteaga 2011, Martínez & Rojas 2013).

Si bien el estudio sobre estos depósitos y sus fósiles se ha incrementado en los últimos años a través de tesis de posgrado y de grado, proyectos y trabajos publicados (Martínez et al. 2006, Rojas 2007, Rojas & Urteaga 2011, Martínez & Rojas 2013, Rojas et al. 2014, Demicheli 2015, Rojas & Martínez 2016, Rojas et al. 2018 a, b), la temática tiene aún mucho potencial para generar aportes novedosos. Es por ello que el presente proyecto representa el avance y profundización de esta línea de trabajo.

El conocimiento de las asociaciones de moluscos del Cuaternario de Uruguay puede ser mejorado sustantivamente a través de la incorporación de nuevos yacimientos fosilíferos y de un mayor y sistematizado esfuerzo de colecta en depósitos poco explorados. Este abordaje permitirá refinar el conocimiento, especialmente, de las asociaciones de moluscos holocenos ya que en ellas se ha realizado solo un estudio de base sustentado en un número muy limitado muestras (e.g. Martínez et al. 2006, Rojas 2007), que debe ser profundizado. Estudios piloto muestran que existen asociaciones holocenas no analizadas aún (ni paleontológica ni geocronológicamente) y otras que si bien son conocidas, su estudio ha sido superficial y no cuentan con dataciones radiocarbónicas AMS. Asimismo, aún existen sectores de la costa poco explorados (p.ej. Maldonado, Rocha, Treinta y Tres, Soriano y Río Negro) que permitirían completar vacíos de información relevantes para la reconstrucción de las comunidades y condiciones ambientales en el lapso temporal considerado.

Desde el punto de vista taxonómico, las investigaciones anteriores se han centrado en bivalvos y gasterópodos. Mediante este proyecto, generaremos un punto de partida para un análisis paleontológico más amplio que incluya otros grupos de invertebrados, vertebrados (e.g. poliplacóforos, briozoarios, peces, ver Rojas 2007, Rojas 2016) e icnofósiles de las asociaciones (Rojas 2016, Rojas et al. 2018a). Así, se podrán realizar análisis paleoecológicos más robustos e integradores. Además, por poseer especial significación en la reconstrucción de paleotemperaturas y paleobiogeografía, se pondrá especial interés en los taxones extralimitales de aguas cálidas presentes (ver Rojas 2007, Rojas & Martínez 2016, Rojas et al. 2018b).

Se plantea realizar una comparación (taxonómica, paleoecológica, paleoambiental) entre las asociaciones pleistocenas y holocenas basada en un esfuerzo de muestreo similar. En este sentido, aquellas holocenas se han caracterizado en base al análisis de una o a lo sumo dos muestras (ver Martínez et al. 2006, Rojas, 2007); mientras que las asociaciones pleistocenas han sido estudiadas recientemente en base al estudio de múltiples muestras, lo cual ha incrementado sustantivamente su número de especies y la fiabilidad de las conclusiones obtenidas (Rojas 2016). Un mayor esfuerzo de muestreo, mejorará el conocimiento de los ensambles holocenos.

Para afinar el rango temporal representado por las asociaciones y lograr un marco geocronológico preciso, este proyecto posibilitará ampliar sustantivamente el número de dataciones numéricas mediante varios métodos como AMS en moluscos, OSL en sedimento y U/Th en corales. Si bien los antecedentes indicarían que las asociaciones pleistocenas corresponderían al MIS5e, las edades OSL disponibles en el Puerto de Nueva Palmira y Zagarzazú podrían sugerir que corresponden al MIS5a (ver

discusión en Rojas & Martínez 2016). Por ende, nuevos datos geocronológicos contribuirían a la discusión de este tópico. Hasta el momento, no se ha intentado una comparación de la composición taxonómica, tafonomía y paleoecología entre asociaciones holocenas coetáneas y de diferentes sectores de la costa. Para ello es imprescindible aumentar el número de asociaciones datadas por AMS.

Se realizará un análisis tafonómico cuantitativo de las asociaciones del Pleistoceno Tardío y Holoceno. De las primeras, existe sólo un análisis semicuantitativo (Rojas et al. 2018a). Por ende, se instrumentará una caracterización cuantitativa de atributos tafonómicos que permitan reconstruir la formación de las shell-beds, su ambiente de depositación y su fidelidad espacial y temporal.

Habiendo incrementado las localidades con depósitos cuaternarios conocidos, el esfuerzo de muestreo y la composición taxonómica de las asociaciones, estaremos mejor posicionados para realizar una reconstrucción de las comunidades y condiciones ambientales en los diferentes sectores de la costa uruguaya durante el Cuaternario y establecer una cronología precisa de su evolución hasta la configuración actual.

El objetivo general planteado fue profundizar en el conocimiento taxonómico, icnotaxonómico, tafonómico, paleoecológico y geocronológico de las asociaciones de moluscos marinos del Pleistoceno Tardío y Holoceno de Uruguay para contribuir a la reconstrucción de las comunidades y condiciones paleoambientales del Atlántico sudoccidental en los últimos miles de años.

Metodología/Diseño del estudio

Para cumplir con los objetivos propuestos, se planificó la siguiente estrategia de investigación:

1) Salidas de campo y obtención de muestras en yacimientos pleistocenos y holocenos, incluyendo algunas localidades previamente conocidas y además se exploraron nuevas áreas geográficas en busca de yacimientos desconocidos. Se visitaron localidades de los departamentos de Soriano, Colonia, Canelones (Costa de Oro), Maldonado, Rocha y márgenes de la Laguna Merín (Rocha, Treinta y Tres, Cerro Largo). Los yacimientos en Río Negro, San José y Montevideo (costa oeste) no pudieron relevarse por inclemencias climáticas y/o subida del nivel de los cuerpos de agua cercanos. En los yacimientos visitados se tomaron datos tafonómicos, se confeccionaron perfiles estratigráficos, registro fotográfico, extracción de muestras (bulk samples de aproximadamente 4 litros) en los niveles de interés. También se tomaron muestras de sedimento para datación por OSL en los depósitos pleistocenos.

2) Procesamiento en el laboratorio con criterios comparables y mediante el procedimiento aplicado en Martínez et al. (2006), Rojas (2007, 2016). Este implicó el cuarteo de la muestra para obtener un volumen constante y comparable, tamizado en agua para separar el sedimento de los especímenes y fraccionar la muestra en tamaños homogéneos, secado de los residuos a temperatura ambiente, picking de los especímenes de cada muestra por especie y por valvas (para los bivalvos). Luego se identificaron los taxones presentes mediante bibliografía específica y consulta de materiales comparativos actuales y fósiles, conteo de ejemplares y acondicionamiento y almacenamiento de los especímenes en la Colección Paleontológica de la Facultad de Ciencias (FCDPI).

3) Se seleccionaron especímenes de moluscos para su datación por AMS de yacimientos nuevos y de otros de los que se disponía solo de edades radiocarbónicas estándar. En caso de la presencia de diferentes estratos fosilíferos, se realizó más de una datación. Las dataciones radiocarbónicas se realizaron en el Keck Carbon Cycle AMS Facility de la Universidad de California, Irvine, en Estados Unidos. En los yacimientos pleistocenos, se colectaron muestras para datación por luminiscencia (OSL) en el Luminescence Dating Research Laboratory, University of Illinois, Estados Unidos y se procuraron corales para datación por U/Th en el Department of Earth Sciences, University of Minnesota, Estados Unidos.

4) Se llevó a cabo el análisis de los datos, abordando la composición y diversidad taxonómica e icnotaxonómica, utilizando índices de diversidad, análisis de agrupamiento y ordenamiento; análisis tafonómico considerando atributos (articulación, fragmentación, abrasión, bioerosión, bioincrustación) para realizar inferencias sobre los ambientes de depositación, existencia de time-averaging. Análisis paleoautoecológico, clasificando a los taxones según factores limitantes como salinidad, temperatura, sustrato, inferencias paleoambientales comparándolas con las condiciones actuales del sector de la costa correspondiente y de especial interés fueron los taxones extralimitales por ser indicadores de paleotemperaturas. Las edades numéricas obtenidas fueron consideradas para delinear la evolución paleoambiental de la costa uruguaya en los intervalos de tiempo representados.

Resultados, análisis y discusión

Nuevas asociaciones fosilíferas. Tal como nos propusimos al formular el proyecto, se registraron nuevos yacimientos fosilíferos cuaternarios: en Soriano (cerca de la desembocadura del Arroyo Agraciada y en Los Arenales); en Colonia sobre el Arroyo Sauce de Nueva Palmira y en Balneario Brisas; en Maldonado en la Laguna Garzón (trabajo final de grado de la Lic.

en Geología del Bach. Marcos Suárez) y en la costa de Rocha en El Palenque, Cabo Polonio, Aguas Dulces y en torno a la Laguna Merín en Costas del Ceibo; Punta Magro; Tres Bocas, y cerca de Lago Merín (Cerro Largo). Entre los nuevos yacimientos, se confirmó cercano al Arroyo Agraciada un nuevo depósito pleistoceno que se suma a los únicamente 3 conocidos (Rojas & Martínez 2016).

Resultados geocronológicos. Se obtuvieron nuevas edades OSL entre las que se cuentan las primeras 3 conocidas para el yacimiento de La Coronilla (entre los 140 a 120 mil años AP) que la ubicarían durante MIS 5. Otras 3 edades OSL mínimas, se obtuvieron en las localidades del Puerto de Nueva Palmira y Zagarzazú (> 100 mil) y la nueva localidad pleistocena en el entorno del Arroyo Agraciada (> 80.000). Revisadas estas edades por el método TT-OSL arrojaron resultados entre los 165 a 150 mil años AP que siendo discordantes con las obtenidas anteriormente (Rojas & Martínez 2016) deberán ser interpretadas. En lo que atañe a asociaciones de moluscos holocenas, se realizaron más de 30 dataciones radiocarbónicas por AMS con resultados en el entorno del rango conocido (Ubilla & Martínez 2016), aunque se obtuvieron algunas edades en que estiran los límites con medianas calibradas entre 1200-7600.

Composición taxonómica y diversidad. Se registraron más de 170 taxones de moluscos fundamentalmente representados por bivalvos y gasterópodos y algunos polioplacóforos y escafópodo. Nuevos registros malacológicos se incluyen en las familias Rhizoridae, Columbelidae, Pyramidellidae, Tellinidae, Semelidae y Carditidae (Clavijo et al. 2005, Rojas et al. 2018b).

Las asociaciones con mayor riqueza fueron La Coronilla (PI), Cabo Polonio y Aguas Dulces (H) (60 a 80 taxones). Le siguen el Puerto de Nueva Palmira (PI), La Coronilla y Costas del Ceibo (H). El resto incluye menos de 30 taxones, siendo las más extremas geográficamente (Soriano y Cerro Largo), las menos ricas. La diversidad es en general baja por la frecuente dominancia de taxones como *Heleobia australis* o *Erodona mactroides*, especialmente en las asociaciones holocenas, tal como se constató en estudios previos (Martínez et al. 2006). Los ensamblajes más diversos son los pleistocenos de La Coronilla y Puerto de Nueva Palmira, así como Cabo Polonio (H), esperándose en ellos también una mayor diversidad esperada. En las localidades pleistocenas varían las especies más abundantes, como *Ostrea stentina*, *Heleobia australis*, *Macra isabelleana* y *Anomalocardia flexuosa*.

Otros organismos como balanos, decápodos, corales, anélidos, equinodermos y peces ocurrieron más frecuentemente en las asociaciones pleistocenas y en las holocenas de la costa atlántica (Cabo Polonio y La Coronilla). Los icnofósiles ocurrieron sobre todo en el mismo sector (Laguna Garzón, Cabo Polonio, Aguas Dulces, La Coronilla) y en el Puerto de Nueva Palmira. Representan la actividad de esponjas, gasterópodos carnívoros, briozoarios, poliquetos y bivalvos perforadores y gasterópodos/quitones pastadores. La icnodiversidad resultó superior a la reportada previamente (Lorenzo & Verde 2004).

Agrupamientos y ordenamiento entre las asociaciones analizadas. La similaridad de las asociaciones holocenas determina que Lago Merín (dominada por *Crassostrea*) es la más aislada, mientras que las localidades de la costa oceánica se agrupan por un lado y otro gran grupo con dos subgrupos se reconocen por otro. Uno de ellos está integrado por las asociaciones de Soriano y Colonia, mientras que el otro integra las asociaciones de la Laguna Merín por un lado y Brisas de Nueva Palmira y Arroyo Tarariras por otro. Este agrupamiento responde a los taxones compartidos y su abundancia (*Macra isabelleana*, *Erodona mactroides* y *Heleobia australis* respectivamente). Considerando las asociaciones pleistocenas, La Coronilla se aparta de las asociaciones del oeste, siendo Zagarzazú la más afín al nuevo yacimiento. Considerando todos los ensamblajes, los pleistocenos se ordenan cercanos entre sí con la nueva localidad más cercana a los holocenos que se ubican similares a los agrupamientos.

Tafonomía. Los resultados del análisis tafonómico de las asociaciones pleistocenas incorporan parte de resultados de la Maestría en Geociencias de la Lic. Mariana Demicheli. Considerándose las especies más abundantes, se hallaron diferencias fundamentalmente en la fragmentación y corrosión, siendo alta en el PNP y el nuevo yacimiento, media en LC y baja en ZZZ, con estas últimas, mostrando valvas enteras y articuladas. Se observaron diferencias según el modo de vida de las especies, siendo las más afectadas las epifaunales e infaunales someras. La bioerosión predomina en *O. stentina*, siendo más importante en ejemplares de LC, al igual que la bioincrustación. La asociación del PNP difiere en las condiciones del ambiente de depositación respecto al resto en la alta energía del agente de transporte, mientras que en ZZZ y LC se infieren condiciones de menor energía y en esta última, el mayor tiempo de residencia de las conchillas sobre el fondo. En el caso de las asociaciones holocenas, las valvas con fragmentación y corrosión intermedia predominan en aquellas de litología arenosa media a gruesa (cercanas al Arroyo Agraciada, Brisas de NP, Cantera Carmelo y Punta Pereira y algunas de la Laguna Merín). Una alta fragmentación y corrosión predominó en localidades de matriz arenosa muy gruesa (Laguna Garzón, El Palenque). Estos atributos fueron menos frecuentes en depósitos de arena fina y muy fina como Aguas Dulces y en los arcillosos como los de Lago Merín, A° Tarariras y el nivel inferior de Brisas de Nueva Palmira, donde además se hallaron bivalvos en posición de

vida o con valvas conjugadas. Estos atributos tienen una correlación con la energía del ambiente de depositación reflejando paleoambientes de playa en algunos casos y bahías o lagoons restringidas en otros. El time averaging tiende a ser más importante en los primeros que en los segundos, habiéndose constatado algunas inversiones de edades en magnitudes que van desde las decenas, cientos hasta algo más de un milenio; rangos contemplados en acumulaciones actuales (Martínez & Rojas 2023). La bioincrustación fue escasamente registrada y la bioerosión fue más diversa en localidades de la costa atlántica, A° Tarariras y Lago Merín, producida frecuentemente por poliquetos, briozoarios y esponjas, infiriéndose a la salinidad como factor importante.

Paleoecología y análisis paleoambiental. Las condiciones relativas de temperatura inferidas especialmente a través del registro de especies cálidas extralimitales (cuyo límite austral de distribución actual está en latitudes menores) mejor representadas en las asociaciones pleistocenas que en las holocenas. Más de 35 de estos taxones se registraron en las asociaciones pleistocenas, especialmente en La Coronilla, mientras que 7 se hallaron en las holocenas, aumentando su registro en ambos intervalos (Martínez et al. 2006; Rojas & Martínez 2016; Rojas et al. 2018). Entre los taxones extralimitales destacan por su ubicuidad y/o abundancia, los Veneridae, Pyramidellidae y Tellinidae. *Anomalocardia flexuosa* es la especie más extendida geográficamente, registrándose en todas las asociaciones pleistocenas y en la mayoría de las holocenas. Buena parte de las especies de aguas cálidas tiene su límite de distribución en Río Grande del Sur y Santa Catarina, aunque algunas ocurren hasta Río de Janeiro o más al norte. El principal factor que explica la presencia de taxones cálidos son las mayores temperaturas relativas reinantes durante el Pleistoceno Tardío y Holoceno, aunque factores como la salinidad (ver más adelante) y condiciones favorables de preservación (e.g. La Coronilla) deben jugar un rol en su registro.

Las preferencias de salinidad de los taxones registrados permiten establecer que durante el Pleistoceno Tardío, la salinidad en el oeste y noroeste era bastante mayor a la actual dada la amplia representación de taxones marinos y eurihalinos, la muy escasa presencia de taxones estuarinos y la ausencia de especies de agua dulce. La mayor abundancia de especies eurihalinas en este sector respecto a La Coronilla, sugiere que la salinidad pudo fluctuar o ser comparativamente menor. Las asociaciones del Holoceno plantean un escenario algo diferente, ya que la estuarina *Erodona mactroides* está bien representada (junto a veces con la eurihalina *H. australis*) en varios yacimientos, especialmente del oeste y en los de la Laguna Merín. De todos modos, el escenario planteado es de mayor salinidad a la actual dado por el desplazamiento distribucional de estas y otras especies que viven de Montevideo hacia el este en el caso de las especies eurihalinas, y/o a partir de la costa atlántica. Particularmente *E. mactroides* se halla en abundancia, consistentemente al noroeste de su límite actual de distribución en Colonia del Sacramento, indicando condiciones de estuario donde hoy rigen condiciones dulceacuícolas. Algo similar ocurre en la Laguna Merín, donde actualmente viven especies de agua dulce y hace escasos miles de años se desarrollaban condiciones de mayor salinidad con la presencia de especies de la costa atlántica. Un patrón similar se registra del lado brasileño por parte de Lopes et al. (2021). Por otro lado, las asociaciones holocenas de la costa atlántica mantienen globalmente una alta proporción de taxones marinos.

Asociaciones del Holoceno en lapsos acotados. Dado que el proyecto permitió expandir notablemente la base de datos malacológicos y de edades AMS se logró refinar la reconstrucción paleoambiental en fracciones de tiempo acotadas. Las edades más antiguas del Norgripiense (7650 a 6000 años cal AP) corresponden mayormente a depósitos arcillosos oscuros con conchillas frecuentemente preservadas en posición de vida. Las asociaciones son dominadas por *Heleobia*, seguida por *Ostrea stentina* y *Anomalocardia flexuosa* (especies marinas eurihalinas). Se infiere en diferentes sectores de la costa suroeste y sudeste hasta el extremo norte de la Laguna Merín, ambientes restringidos de tipo lagoon. En los depósitos norgripienses más modernos (6000 a 4200 años cal AP), predomina *Heleobia* en aquellos de grano fino y la estuarina *Erodona mactroides* en los arenosos. La eurihalina *Macra isabelleana* está bien representada en el área oeste y sur-sudeste de la costa. Se infieren condiciones diferenciales para diferentes sectores, de playa arenosa predominante en el oeste con salinidades mayores a la actual y condiciones más restringidas en el suroeste y parte del sudeste y de playa hacia el A° Chuy. Los depósitos arenosos del Megalayense más antiguo (4200 a 3000 años cal AP) en el sector oeste son dominados por *E. mactroides* seguidas de *M. isabelleana*, especie abundante en el este. En el oeste la salinidad resulta algo menor al intervalo anterior y similares a las actuales en la costa atlántica. Los yacimientos megalayenses más modernos (3000 a 1000 años cal AP), en general arenosos, afloran mayoritariamente en el este reflejando condiciones similares a las actuales aunque en el límite oeste de Montevideo persisten mayores salinidades. Las asociaciones son dominadas por *M. isabelleana* o *Glycymeris longior* en algún caso, y en los escasos depósitos arcillosos asociados a lagunas predominan *H. australis* y *E. mactroides*.

Escenario regional. La fauna de moluscos registrada en áreas cercanas del sur de Brasil comparte numerosos taxones con las asociaciones pleistocenas y holocenas de Uruguay (e.g. Closs & Forti 1971, Lopes & Simone 2012, Lopes et al. 2013, 2014a, 2014b, 2021), incluyendo también especies extralimitales. Por otra parte, para los depósitos pleistocenos del litoral bonaerense

se ha asumido una depositación durante el Último Interglacial, en condiciones cálidas y húmedas (Aguirre, 1992) y en algunas de las asociaciones del sur de Entre Ríos y costa bonaerense se registraron especies de aguas más cálidas que las que viven en la costa adyacente (Aguirre & Fucks, 2004). Sin embargo, otras asociaciones de moluscos indicarían temperaturas algo menores a la actual (Aguirre & Whatley, 1995; Fucks et al., 2005). Martínez et al. (2016) reportaron una asociación de moluscos en Ezeiza (Provincia de Buenos Aires), correlacionable con el típico MIS 5e, que es similar a la hallada en las asociaciones pleistocenas de Uruguay. En la costa de Patagonia únicamente la localidad de Puerto Lobos sustentaría el típico Interglacial más cálido (Pastorino, 1991, 2000; Aguirre et al., 2008, Charó et al. 2014). En la costa atlántica más hacia el sur ya no se verifican cambios distribucionales en las especies por lo que las condiciones ambientales permanecieron similares a las actuales.

Conclusiones y recomendaciones

A través de la consecución del presente proyecto fue posible cumplir con los objetivos planteados y alcanzar resultados novedosos, parte de los cuales fueron comunicados en eventos internacionales y nacionales y se encuentran en preparación para ser publicados en revistas especializadas. Asimismo, el proyecto ha contribuido y contribuirá a la formación de estudiantes en diferentes etapas académicas (grado y posgrado), así como a la introducción de estudiantes de grado a las actividades de investigación científica en la temática. A continuación se exponen las principales conclusiones alcanzadas.

- Se registraron nuevos depósitos fosilíferos en diferentes sectores de la zona costera desde el Río Uruguay hasta la zona cercana al límite norte de la Laguna Merín, destacándose ciertas áreas que contribuyen a completar un vacío de información como las zonas de la costa de Maldonado y Rocha y en torno a la Laguna Merín.

- Se aumentó notoriamente la disponibilidad de datos geocronológicos de OSL y radiocarbono por AMS. Varias edades OSL son más antiguas que lo esperado por lo que deberán aún ser evaluadas, mientras que las obtenidas en los yacimientos holocenos por AMS se ubican en el rango entre los 7600 y 1200 años calibrados AP (medianas).

- Un mayor esfuerzo de colecta mejoró notoriamente el registro de moluscos en los ensambles fosilíferos, hallándose unos 170 taxones. Las asociaciones más diversas tienden a ser las de edad Pleistoceno, en especial La Coronilla, mientras que, dentro de las holocenas, destacan Cabo Polonio y Aguas Dulces. En general se desarrolla un gradiente creciente, con las ubicadas en la costa atlántica siendo las más diversas y las más extremas geográficamente, las menos diversas.

- Las especies que caracterizan los ensambles pleistocenos y holocenos difieren. En los primeros predominan *O. stentina*, *H. australis*, *M. isabelleana* y/o *Anomalocardia flexuosa* mientras que en los holocenos predominan *E. mactroides*, *H. australis* y *M. isabelleana* y con un gradiente hacia el este en la dominancia de estas tres especies. Puntualmente en algunos yacimientos son predominantes *Glycymeris longior* y *Crassostrea*.

- Además de moluscos, se hallaron restos de balanos, decápodos, corales, anélidos, equinodermos y peces. Estos ocurrieron más frecuentemente en las asociaciones pleistocenas y en las holocenas de la costa atlántica. Los icnofósiles, también mejor representados en el último sector, son producto de la actividad de esponjas, gasterópodos carnívoros, briozoarios, poliquetos y bivalvos perforadores y gasterópodos/quitones pastadores. La icnodiversidad holocena fue superior a la reportada en trabajos previos.

- Los principales atributos tafonómicos que permitieron diferenciar asociaciones fueron la articulación, fragmentación, corrosión y bioerosión. Ejemplares articulados y/o en posición de vida fueron más frecuentes en depósitos de grano fino o muy fino asociados a ambientes restringidos o condiciones de baja energía. Altos grados de fragmentación y corrosión tuvieron mayor preponderancia en depósitos de grano más grueso y condiciones de alta energía. La bioerosión fue más relevante en algunos yacimientos pleistocenos y en los holocenos de la costa atlántica siendo determinantes la disponibilidad de sustratos adecuados y la alta salinidad. La preservación diferencia de las conchillas y la constatación de inversiones de edades AMS permitió establecer rangos de time averaging de decenas de años a milenios en diferentes asociaciones.

- En lo que respecta a aspectos paleoecológicos e inferencias de factores ambientales, las asociaciones pleistocenas incluyen un mayor número de especies de aguas cálidas actualmente desplazadas geográficamente hacia latitudes menores (extralimitales) respecto a las holocenas. Considerando estas últimas, los taxones extralimitales hallados tienden a estar mejor representados en los ensambles más antiguos, aunque persisten algunos en los de escasos milenios. Por ende, se refuerzan las evidencias que indican que la temperatura fue mayor durante el Pleistoceno Tardío que durante el Holoceno y a su vez esta fue mayor a la actual.

La composición y distribución faunística indica que en el Pleistoceno Tardío, la salinidad en la costa oeste y noroeste era bastante superior a la actual aunque probablemente fluctuara debido a la descarga de agua dulce de los sistemas fluviales de dicho sector. En las asociaciones holocenas, se verifica un sucesivo desplazamiento del rango de especies estuarinas, eurihalinas y marinas hacia el oeste, lo que también indica mayor salinidad en todos los intervalos temporales representados, aunque de menor magnitud que la inferida para el Pleistoceno Tardío.

- La mayor similitud de los yacimientos fosilíferos de Uruguay es con asociaciones cercanas geográficamente de la costa

brasileña y noreste de Argentina, en particular a lo que respecta a la presencia de especies extralimitales compartidas. Esto es coherente con un escenario de gradiente de temperatura propiciado por el desplazamiento hacia el sur de la Corriente Cálida de Brasil durante los interglaciales.

Referencias bibliográficas

- Aguirre 1992. Caracterización faunística del Cuaternario marino del noreste de la Provincia de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*,47(1):31-54.
- Aguirre 1993. Palaeobiogeography of the Holocene molluscan fauna from northeastern Buenos Aires Province, Argentina: its relation to coastal evolution and sea level changes. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*,102:1-26.
- Aguirre & Fucks 2004. Moluscos y paleoambientes del Cuaternario marino en el sur de Entre Ríos y litoral bonaerense. En Aceñolaza, F. G. (ed.), *Temas de la Biodiversidad del litoral fluvial argentino*, INSUGEO, Miscelánea 12: 55-70.
- Aguirre & Whatley 1995. Late Quaternary marginal marine deposits and palaeoenvironments from northeastern Buenos Aires Province, Argentina: a review. *Quaternary Science Reviews*,14:223–254.
- Aguirre et al. 2008. Late Cenozoic Invertebrate Paleontology, with emphasis on Mollusks. En: Rabassa, J. (ed.): *The Late Cenozoic of Patagonia and Tierra del Fuego*. *Developments in Quaternary Sciences*, 11: 285–325.
- Ávila et al. 2009. Palaeoecology of the Pleistocene (MIS 5.5) outcrops of Santa Maria Island (Azores) in a complex oceanic tectonic setting. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*,274:18–31.
- Barlow et al. 2018. Lack of evidence for a substantial sea-level fluctuation within the Last Interglacial. *Nature Geoscience*, 11:627–634.
- Cancelli et al. 2017. Moluscos holocénicos em sedimentos lagunares associados à barreira arenosa da Pinheira-Guarda-Gamboa, Santa Catarina: implicações paleoambientais. *Pesquisas Geociências*,44(1):143-153.
- Charó et al. 2014. Late Quaternary molluscs from the northern San Matías Gulf (Northern Patagonia, Argentina), southwestern Atlantic: Faunistic changes and paleoenvironmental interpretation. *Quaternary International*,352:26–47.
- Clavijo et al. 2005. Lista sistemática de los moluscos marinos y estuarinos del Cuaternario del Uruguay. *Comunicaciones de la Sociedad Malacológica del Uruguay*, 9 (88): 381-411.
- Closs & Forti Esteves 1971. Quaternary mollusks from the Santa Vitória do Palmar County. *Iheringia*, 4: 19-58.
- Demicheli 2015. Moluscos fósiles del Puerto de Nueva Palmira, Pleistoceno Tardío de Uruguay. Tesina Grado, Licenciatura Ciencias Biológicas, Facultad de Ciencias, UdelaR, 63pp.
- Emiliani 1955. Pleistocene temperatures. *Journal of Geology*,63:538–578.
- EPICA Community Members. 2004. Eight glacial cycles from an Antarctic ice core. *Nature*, 429:623–628.
- Figueiras 1962. Sobre nuevos hallazgos de moluscos subfósiles de la Transgresión Querandina. *Comunicaciones Sociedad Malacológica Uruguay*,1(3):53-68.
- Forti 1969. Cenozoic mollusks from the drill-holes Cassino and Palmares do Sul of the Coastal Plain of Rio Grande do Sul. *Iheringia*,2:55-155.
- Fucks et al. 2005. Late Quaternary continental and marine sediments of northeastern Buenos Aires province (Argentina): Fossil content and paleoenvironmental interpretation. *Journal of South American Earth Sciences*, 20: 45-56.
- Garilli 2011. Mediterranean Quaternary interglacial molluscan assemblages: Palaeobiogeographical and palaeoceanographical responses to climate change. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*,312:98-114.
- Gowan et al. 2021. Last interglacial (MIS 5e) sea-level proxies in southeastern South America. *Earth Syst. Sci. Data*,13:171–197.
- Ihering 1907. Les mollusques fossiles du Tertiaire et du Crétacé Supérieur de l'Argentine. *Anales del Museo Nacional de Buenos Aires*,7(3Série):1-611.
- Jouzel et al. 2007. Orbital and millennial Antarctic climate variability over the past 800,000 years. *Science*,317:793–796.
- Kukla et al. 2002. Last interglacial climates. *Quaternary Research*,58:2–13.
- Landais et al. 2015. A review of the bipolar see-saw from synchronized and high resolution ice core water stable isotope records from Greenland and East Antarctica. *Quaternary Science Reviews*,114:18-32.
- Lisiecki & Raymo. 2005. A Pliocene-Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic $\delta^{18}O$ records. *Paleoceanography*,20:PA1003.
- Lopes & Simone 2012. New fossil records of Pleistocene marine mollusks in southern Brazil. *Revista Brasileira Paleontología*,15(1):49–56.
- Lopes et al. 2014a. The sea-level highstand correlated to marine isotope stage (MIS) 7 in the coastal plain of the state of Rio Grande do Sul, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 86 (4): 1573-1595.
- Lopes et al. 2014b. ESR dating of Pleistocene mammals and marine shells from the coastal plain of Rio Grande do Sul state, southern Brazil. *Quaternary International*, 352: 124-134.
- Lopes et al. 2021. Late Pleistocene-Holocene fossils from Mirim Lake, southern Brazil, and their paleoenvironmental

- significance: II – Mollusks. *Journal of South American Earth Sciences*. 112. 103546.
- Lopes et al. 2013. A Middle Pleistocene marine molluscan assemblage from the southern coastal plain of Rio Grande do Sul State, Brazil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 16 (3): 343–360.
- Lorenzo & Verde 2004. Estructuras de bioerosión en moluscos marinos de la Formación Villa Soriano (Pleistoceno tardío-Holoceno) de Uruguay: *Revista Brasileira Paleontologia*, 7:319–328.
- Martínez & Rojas 2013. Relative sea level during the Holocene in Uruguay. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, 374:123-131.
- Martínez & Rojas. 2023. Millennial-scale time averaging inferred by discolored shells in beach death assemblages. *Palaios*, 38: 315–330
- Martínez et al. 2013. Biogeography of the Quaternary Molluscs of the Southwestern Atlantic Ocean. *Springer Briefs in Earth System Sciences, South America and the Southern Hemisphere*.
- Martínez et al. 2016. A Pleistocene (MIS 5e) mollusk assemblage from Ezeiza (Buenos Aires Province, Argentina). *Journal of South American Earth Sciences*, 70:174-187.
- Martínez et al. 2006. Molluscan assemblages from the marine Holocene of Uruguay: composition, geochronology, and paleoenvironmental signals. *Ameghiniana*, 43(2):385-397.
- Martínez et al. 2001. Paleoecology and geochronology of Uruguayan coastal marine Pleistocene deposits. *Quaternary Research*, 55:246–254.
- Masson-Delmotte et al. 2006. Past temperature reconstructions from deep ice cores: relevance for future climate change. *Climate of the Past*, 2:145–165.
- Medina-Elizalde 2013. A global compilation of coral sea-level benchmarks: Implications and new challenges. *Earth and Planetary Science Letters*, 362:310–318.
- Melo et al. 2023. Palaeobiogeography of NE Atlantic archipelagos during the Last Interglacial (MIS 5e): a molluscan approach to the conundrum of Macaronesia as a marine biogeographic unit. *Quaternary Science Reviews*, 319: 108313.
- Muhs et al. 2014. Interpreting the paleozoogeography and sea level history of thermally anomalous marine terrace faunas: a case study from the Last Interglacial Complex of San Clemente Island, California. *Monographs W N American Naturalist*, 7:82-108.
- Murray-Wallace & Woodroffe. 2014. *Quaternary Sea-Level changes, a global perspective*. Cambridge University Press, 484pp.
- North Greenland Ice Core Project Members. 2004. High-resolution record of Northern Hemisphere climate extending into the last interglacial period. *Nature*, 431:147–151.
- Otto-Bliesner et al. 2006. Simulating Arctic climate warmth and icefield retreat in the Last Interglaciation. *Science*, 311:1751–1753.
- Pastorino 1991. The genus *Chama* Linné (Bivalvia) in the marine Quaternary of northern Patagonia, Argentina. *Journal of Paleontology*, 65 (5): 756–759.
- Pastorino 2000. Asociaciones de moluscos de las terrazas marinas de Río Negro y Chubut, Argentina. *Ameghiniana*, 37 (2): 131-156.
- Petit et al. 1999. Climate and atmospheric history of the past 420000 years from the Vostok ice core, Antarctica. *Nature*, 399:429–436.
- Pirazzoli 1996. *Sea-level changes: the last 20,000 years*. John Wiley and Sons, 224pp.
- Rojas 2007. *Moluscos de aguas cálidas del Cuaternario Marino del Uruguay*. Tesis Maestría, PEDECIBA, UdelaR, 134pp.
- Rojas 2016. *Asociaciones fósiles del Pleistoceno marino de Uruguay*. Tesis Doctorado, PEDECIBA, UdelaR, 305pp.
- Rojas & Martínez 2016. Marine Isotope Stage 3 (MIS3) versus Marine Isotope Stage 5 (MIS5) fossiliferous marine deposits from Uruguay. En: Gasparini et al. (Eds.): *Marine Isotope Stage 3 in Southern South America 60KA B.P.-30KA B.P.* Springer Earth System Sciences, 249-278.
- Rojas & Urteaga 2011. Late Pleistocene and Holocene chitons (Mollusca, Polyplacophora) from Uruguay: palaeobiogeography and palaeoenvironmental reconstruction in mid latitudes of the Southwestern Atlantic. *Geobios*, 44:377-386.
- Rojas et al. 2018a. Taphonomy of the Late Pleistocene marine molluscan assemblages from Uruguay. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie – Abhandlungen*, 289(2):217–235.
- Rojas et al 2018b. New molluscan records and palaeoecology of the Late Pleistocene marine assemblage from La Coronilla (Rocha, Uruguay). *Journal of Sedimentary Environments*, 3(4):220–233
- Rojas et al. 2014a. The first predatory drillhole on a fossil chiton plate: an occasional prey item or an erroneous attack? *Palaios* 29: 14–419.
- Rovere et al. 2016. The analysis of Last Interglacial (MIS5e) relative sea-level indicators: Reconstructing sea-level in a warmer world. *Earth-Science Reviews*, 159:404-427.
- Roy et al. 1995. Thermally anomalous assemblages revisited: patterns in the extraprovincial latitudinal range shifts of

Pleistocene marine mollusks. *Geology*,23(12):1071–1074.

Sessa et al. 2013. Paleoenvironmental and paleobiogeographical implications of a Middle Pleistocene mollusc assemblage from the marine terraces of Bahía das Pipas, Southwest Angola. *Journal of Paleontology*,87(6):1016–1040.

Sprechmann 1978. The paleoecology and paleogeography of the Uruguayan coastal area during the Neogene and Quaternary. *Zitteliana*,4:3-72.

Teisseire 1928. Contribución al estudio de la geología y la paleontología de la República Oriental del Uruguay. Región de Colonia. *Anales Universidad*,122(37):319–469.

Ubilla & Martínez 2016. *Geology and Paleontology of the Quaternary of Uruguay*. Springer Brief in Earth Sciences, South America and the Southern Hemisphere, 77pp.

Licenciamiento

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