



# Determinación de alta precisión de la altura del nivel del mar alcanzada por la ingresión Belgranense para el sector norte de Buenos Aires y sur de Santa Fe y Entre Ríos

**Luiggina CAPPELLOTTO<sup>1</sup>, Ayelén M.C. ACOSTA<sup>3</sup>, Daniel J. PÉREZ<sup>2</sup>, María Julia ORGEIRA<sup>1</sup> y Demián GÓMEZ<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Instituto de Geociencias Básicas, Aplicadas y Ambientales de Buenos Aires (IGEBA), Departamento de Ciencias Geológicas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires - CONICET.

<sup>2</sup> Instituto de Estudios Andinos Don Pablo Groeber (IDEAN), Departamento de Ciencias Geológicas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires.

<sup>3</sup> Instituto Geográfico Nacional (IGN), Buenos Aires.

Email: lcappelotto@gl.fcen.uba.ar

**Editores invitados:** Adriana Mehl, Francisco Córdoba y Andrés Bilmes

Recibido: 7 junio, 2019

Aceptado: 17 octubre, 2019

## RESUMEN

En el presente trabajo se llevó a cabo, mediante técnicas geodésicas de alta precisión, la determinación de las cotas alcanzadas por el nivel del mar en depósitos aflorantes asignables a la ingresión Belgranense (Pleistoceno tardío), la cual representa el punto más alto del nivel del mar (EIM 5e) durante el Cuaternario. Las localidades relevadas en este estudio pertenecen al sector norte de la ingresión y se encuentran ubicadas en el noreste de la provincia de Buenos Aires y extremo sur de las provincias de Santa Fe y Entre Ríos. A partir de los datos relevados y en combinación con información preexistente y un modelo de elevación digital (MDE), se realizó una reconstrucción tentativa de la paleolínea de costa de la ingresión Belgranense. Ante las diferencias de elevaciones ortométricas presentadas (de aproximadamente 4 m entre los afloramientos estudiados), queda abierta, subsidiariamente, la posibilidad de una influencia neotectónica en el área. Se discuten los resultados especialmente en relación con eventos sísmicos históricos y recientes, principalmente aquellos registrados a fines del año 2018 en la provincia de Buenos Aires.

**Palabras clave:** *Pleistoceno tardío, técnicas geodésicas, cambio del nivel del mar, modelo digital de elevaciones, neotectónica.*

## ABSTRACT

*High precision determination of sea level height reached by Belgranense Ingression for North of Buenos Aires and South of Santa Fe and Entre Ríos, Argentina.*

In this work, we perform measurements of the sea level orthometric heights using high precision geodetic techniques in deposits belonging to the Belgranense ingression (Late Pleistocene) which represents the highest point of sea level (MIS 5e) during the Quaternary. The outcrops represent the northern sector of the ingression and are located in the northeast region of the province of Buenos Aires and south of the provinces of Santa Fe and Entre Ríos. Subsequently, we created a tentative reconstruction of the Belgranense paleo-coastline based on the data collected, previous information and a digital elevation model (MDE). Given the differences in orthometric heights presented (about 4 meters between the outcrops studied), possible neotectonic influence remains open. We discuss the results in the context of historical and recent seismic events, particularly those registered at the end of 2018 in the province of Buenos Aires.

**Key words:** *Late Pleistocene, geodetic techniques, sea level change, digital elevation model, neotectonic.*

## INTRODUCCIÓN

El Estadío Isotópico Marino 5 (EIM 5) corresponde al Último Interglacial anterior al presente, el cual se ha subdividido en cinco subestadios que se encuentran representados en los registros de isótopos de oxígeno provenientes de organismos bentónicos presentes en los océanos a nivel global (Shackleton et al. 2003). De ellos, el EIM 5e corresponde al lapso en que el nivel del mar alcanzó su último punto más alto, representando edades pertenecientes al Pleistoceno tardío, ca. 126-119 ka B.P. (Spratt y Lisiecki 2016). Numerosos autores han realizado estimaciones sobre la edad de este período, discrepando acerca del lapso que el mismo comprende. Algunos de ellos, han considerado que su rango de duración ha sido mayor que el mencionado anteriormente, entre  $\sim 128 \pm 1$  y  $\sim 116 \pm 1$  ka. BP. (Siddall et al. 2007), 129-116 ka. BP. (Dutton y Lambeck 2012, entre otros).

El nivel eustático máximo del mar para este interglacial, así como sus fluctuaciones, presentan variaciones dependiendo del sitio de observación y el método empleado para su determinación. Existen desacuerdos en torno al nivel del mar durante este período, lo que podría ser reflejo de la complejidad intrínseca del mismo o bien de diferentes interpretaciones del registro en distintas localidades (Siddall et al. 2007). El factor común de incertidumbre en la determinación de un paleonivel del mar confiable se asocia a dos fenómenos geológicos frecuentes, los levantamientos verticales por ajustes isostáticos y las variaciones en el nivel de costa por fenómenos tectónicos.

Rohling et al. (2008), sobre la base del análisis de información recopilada en diversos sitios del globo (Mar Caribe y Medio Oriente), estiman que el nivel medio del mar durante el EIM 5e alcanzó cotas entre 4 y 6 m. por encima del nivel actual, aunque algunos arrecifes fósiles indican fluctuaciones de hasta 10 m. Posteriores recopilaciones de datos globales indicaron que el máximo nivel medio global del mar fue más alto que las estimaciones de 4 a 6 m. Kopp et al. (2009) presentaron una extensa compilación de indicadores del nivel marino para el lapso en estudio, así como una aproximación estadística del nivel del mar, niveles del mar locales, volumen de hielo y sus incertidumbres asociadas. Estos autores encuentran que existe un 95 % de probabilidades que el nivel del mar se haya encontrado al menos 6,6 m. por encima del actual, un 67 % que haya excedido los 8 m., y un 33 % que haya superado los 9.4 m. Dutton y Lambeck (2012), teniendo en cuenta una base de datos consistente de alturas del nivel del mar provistas por arrecifes coralinos y edades U/Th, en un contexto de modelo isostático y evidencias estratigráficas,

proponen que el nivel del mar eustático alcanzó alturas entre 5.5 y 9 m. por encima del nivel actual. Asimismo, especifican que las mejores observaciones deben obtenerse de áreas tectónicamente estables y que se localicen lo más distantes posibles de los márgenes de la capa de hielo glaciario. Los valores máximos del nivel de mar global correspondientes al Último Interglacial estarían en un rango de  $\sim 6$  a 9 m sobre el presente (Dutton et al. 2015).

Sin embargo, en Argentina no se conoce con precisión la cota correspondiente a este último alto del nivel del mar. Además, se ha dado a lugar a una serie de inconsistencias debido a que los depósitos marinos pleistocenos en Argentina han sido datados por  $^{14}\text{C}$  y asignados alternativamente al Último Interglacial (EIM 5) o al Interestadial (EIM 3). Dado que este método de datación no tiene resolución para edades mayores a 40.000 años AP, aquellos depósitos del EIM 5 han sido asignados erróneamente al EIM 3. Recientemente, Beilinson et al. (2019) en la localidad de Marcos Paz, noreste de la provincia de Buenos Aires, obtuvieron una edad por LOE (Luminiscencia Ópticamente Estimulada - OSL) de  $60.050 \pm 9840$  años A.P. en el nivel basal de un depósito interpretado como asociado a ambiente de playa y acumulación durante tormentas en el estuario interior. El nivel superior de ese depósito previamente había sido datado por  $^{14}\text{C}$  en  $31.950 \pm 830$  años (Gasparini et al. 2014) y asignado al EIM 3. Beilinson et al. (2019) consideraron que los depósitos subyacentes al mencionado, de ambiente estuárico interno (marismas, arroyos y procesos asociados), pueden interpretarse como depositados durante un alto del nivel del mar de más de 60 ka., es decir más antiguos de lo que se pensaba anteriormente, asignándolos finalmente al EIM 5e.

Por otro lado, datos a nivel mundial (Siddall et al. 2007, Siddall et al. 2008, Grant et al. 2012) revelan que el nivel del mar del Interestadial (EIM 3) no superó las cotas actuales, oscilando globalmente entre 60 y 80 m por debajo del nivel actual. En la plataforma continental argentina en latitudes medias, Isla y Schnack (2016) determinaron que es posible encontrar depósitos del EIM 3 sumergidos a profundidades por debajo de los 50 m con respecto al nivel del mar actual. Por lo tanto, teniendo en cuenta los antecedentes mencionados precedentemente, debe asumirse que todo depósito marino-estuárico pleistoceno aflorante en el continente debe asignarse al EIM 5e.

Con el fin de comparar los registros de alturas del nivel del mar del EIM 5e a nivel global con los correspondientes al mismo Estadío Isotópico Marino en Argentina, más específicamente en latitudes medias, se llevó a cabo un relevamiento en determinados sectores de las Provincias de Buenos Aires,

Santa Fe y Entre Ríos, durante el cual se observaron depósitos aflorantes de ambiente estuárico-marino interpretados como pertenecientes a la ingesión marina estudiada (Fig. 1).

El objetivo del presente trabajo fue obtener valores de alta precisión de las cotas alcanzadas por el nivel del mar en el Pleistoceno tardío mediante el uso de técnicas geodésicas y delimitar una paleolínea de costa probable de la ingesión en un mapa topográfico del área de estudio. Asimismo, de ser posible, se busca evaluar si las diferencias existentes entre las cotas obtenidas en cada uno de los afloramientos podrían estar vinculadas a control por actividad neotectónica, teniendo en cuenta la incerteza sobre la estabilidad tectónica en la región.

## MARCO GEOLÓGICO

En Argentina, en latitudes medias, los cambios climáticos que ocurrieron en el Pleistoceno tardío provocaron fluctuaciones en el nivel del mar dejando depósitos ingresivos y, por consiguiente, variaciones en las líneas de costa que han sido objeto de numerosas investigaciones (Fidalgo et al. 1973, Isla et al. 2000, Schnack et al. 2005, Fucks et al. 2004, 2010, entre otros), realizando reconstrucciones para explicar la posible distribución de la ingesión marina, basadas en la ubicación de los afloramientos.

Los sedimentos costeros de origen marino aflorantes en las Barrancas de Belgrano, provincia de Buenos Aires, han sido asignados al Belgranense (o piso pampeano medio) por Ameghino (1889). El autor los incluye intercalados entre el Ensenadense o piso pampeano inferior y el Bonaerense o piso pampeano superior; sin embargo, los asigna erróneamente a edades pliocenas. Posteriormente, luego de varias modificaciones nomenclatorias, Frenguelli (1928, 1950, 1957) designa al piso ensenadense a una edad pleistocena media y al piso bonaerense a una edad pleistocena tardía y los inclu-

ye dentro de la serie pampiano junto al piso chapalmalense. Sin embargo, Frenguelli (1957) consideró al Belgranense solo como “una facies costanera del piso bonaerense”. Fidalgo et al. (1973) unificó a los pisos ensenadense y bonaerense en la Formación Pampiano y Fidalgo et al. (1975) en “sedimentos pampeanos”. Fidalgo y Martínez (1983) y Fidalgo (1983) diferenciaron informalmente un miembro inferior (Ensenadense) y un miembro superior (Bonaerense). Finalmente, Riggi et al. (1986) los definió formalmente como Formación Ensenada y Formación Buenos Aires respectivamente.

Los depósitos del Pleistoceno tardío correspondientes al Belgranense se encuentran aflorando en varias localidades del litoral de la provincia de Buenos Aires, y hacia el sur de las provincias de Santa Fe y Entre Ríos de manera discontinua, y les han sido asignadas distintas denominaciones formacionales correlacionables entre sí dependiendo de su ubicación: Formación Pascua (Fidalgo et al. 1973), Formación Pilar (Fucks y De Francesco 2003), entre otras.

Los sedimentos aflorantes correspondientes al Belgranense se encuentran representados por una variedad de facies (litorales, marinas, estuáricas y eólicas) (Isla et al. 1996, Isla et al. 2000). En este último trabajo, conchillas pertenecientes a *Tegula patagónica* fueron datadas por U/Th en Claromecó, obteniendo edades de  $93.5 \pm 3.5$  ka A.P. Estas corresponderían a edades mínimas, debido a un posible enriquecimiento en U de los organismos luego de su muerte, por lo cual fueron asignadas al último nivel más alto del mar (EIM 5e). En la localidad de Claromecó, ubicada al sudeste de la provincia de Buenos Aires, Tófalo et al. (2017) describieron cuatro pulsos de mejoramiento climático que corresponderían a cuatro de los cinco subestadios en los cuales se divide el EIM 5 y proporcionaron dataciones por LOE cercanas a la base ( $74.6 \pm 6.7$  ka) y al techo ( $30.3 \pm 2.5$  ka) del afloramiento, también consideradas edades mínimas.

En este trabajo se han considerado una serie de localidades que han sido descritas por diferentes autores, ubicadas

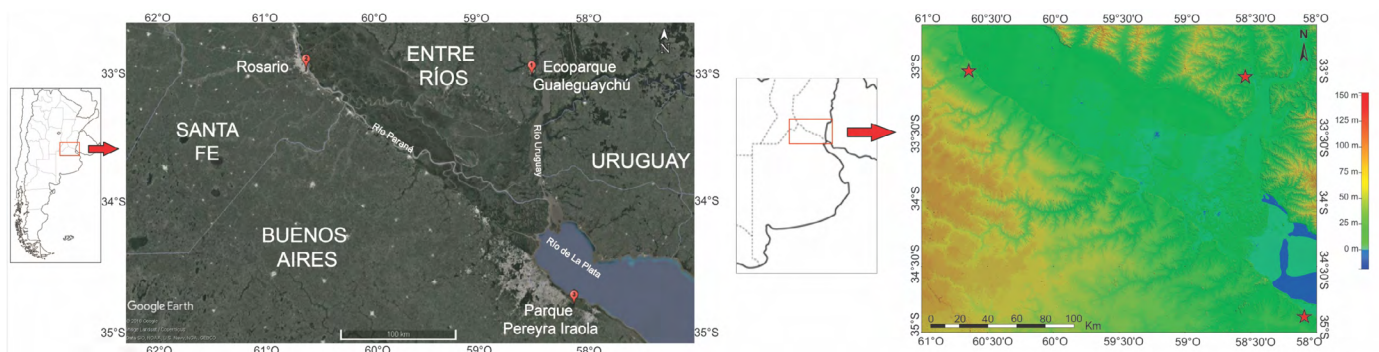


Figura 1. Mapa con la ubicación geográfica de las localidades seleccionadas y MDE del área de estudio incluyendo los afloramientos.

en el sur de las provincias de Santa Fe (Parent et al. 2010) y Entre Ríos (Guida y González 1984, Orgeira et al. 1988, González y Guida 1990, entre otros) y en el noreste de la provincia de Buenos Aires, en las cercanías de Hudson (Isla et al. 2000, Zárate et al. 2009), que representarían el extremo norte de la ingresión mencionada (Fig.1).

En Gualeguaychú, al sureste de la provincia de Entre Ríos, más precisamente en un perfil de aproximadamente 3 m de espesor total, ubicado en el Ecoparque Gualeguaychú (ex cantera Irazusta) (33°3'8.96" S, 58°31'40.00" O), se encontraron durante las labores de campo de la presente contribución abundantes valvas, en su mayoría correspondientes a *Erodona mactroides*, tanto enteras como fragmentadas, concentradas hacia el techo de un depósito compuesto por sedimentos limo-arcillosos con una importante influencia de carbonatos (Fig. 2a). Guida y González (1984) han muestreado y datado valvas de *Erodona mactroides* en un nivel que se correlacionaría con el depósito en estudio. Las mismas fueron asignadas al Pleistoceno tardío (35.4 ± 1.8 ka - 26.6 ± 0.7 ka A.P.). Sin embargo, las interpretaciones realizadas por estos autores se basan en edades <sup>14</sup>C consideradas edades mínimas al estar cerca del límite de resolución del método, y las correlacionan con el último Interstadial. Posteriormente, González y Guida (1990) realizan nuevas dataciones <sup>14</sup>C (38.5 ± 3 - 25.7 ± 0.6 ka A.P.) en el área y reasignan dichos depósitos al Último Interglacial anterior al presente. Martínez et al. (2001) obtuvieron en localidades uruguayas edades mínimas <sup>14</sup>C de moluscos pleistocenos marinos que varían entre 29.5 ± 0.6 y 35.5 ± 1.9 ka A.P. Debido a la limitación del método <sup>14</sup>C y a la asociación faunística encontrada, los citados autores asignaron estos afloramientos al EIM 5e. Dada la cercanía geográfica con las asociaciones entrerrianas y teniendo en cuenta las dataciones anteriormente mencionadas, Martínez y Del Río (2005) las correlacionaron con las uruguayas. Suprayaciendo a estos depósitos, y en contacto neto e irregular, se encuentran limos castaño-rojizos, también en presencia de concreciones de carbonatos.

En las cercanías de Hudson, en una cantera abandonada en las inmediaciones del Parque Pereyra Iraola (34°49'48.89" S, 58°6'7.94" O), se observó durante las labores de campo de la presente contribución un depósito lenticular de unos 0.70 m de espesor, compuesto por limos arcillosos consolidados por carbonatos y con fragmentos de conchillas dispersos (Fig. 2b), que fueron descriptos previamente por Isla et al. (2000) y Zárate et al. (2009). Por encima de este depósito, se ubican limos de coloración castaña. Dataciones de termoluminiscencia (TL) realizadas por Isla et al. (2000) en un nivel ubicado sobre los sedimentos marinos arrojaron edades de 61.2 ± 5.3

ka y 62.2 ± 5.4 ka, correspondiendo a depósitos bonaerenses. Por lo tanto, asignaron los niveles de conchilla subyacentes a ese nivel a la ingresión marina Belgranense. Posteriormente, Zárate et al. (2009) obtuvieron en los depósitos con conchillas edades por LOE de ca. 128 ka., cronología que permitió correlacionarlo con el último alto del nivel del mar del EIM 5e.

En Rosario, al sureste de la provincia de Santa Fe, en las inmediaciones del Parque Regional Sur fue evaluado un perfil de unos 7 m de espesor total, ubicado en una sección del arroyo Saladillo (33°0'14.41" S, 60°37'31.18" O), cuya base al momento de la observación estaba cubierta por el nivel del agua del arroyo. Por encima de ese nivel, el perfil comienza con ~1.20 m de sedimentos limo-arcillosos de coloración gris-verdosa (información relevada en las labores de campo de la presente contribución). Aproximadamente 1 m por encima del nivel del agua y dispersas en esos sedimentos, se hallaron valvas enteras y fragmentadas del género *Ostrea* (Fig. 2c). Valvas de *Ostrea* han sido previamente documentadas por Parent et al. (2010) en un depósito de características similares ubicado en una sección del arroyo Saladillo y asignadas informalmente al Belgranense. Suprayacen a estos depósitos, limos de coloraciones castaño-rojizas, que se vuelven más arenosos hacia el techo de la secuencia.

Por otro lado, para la evaluación de las cotas en cada uno de los afloramientos, resulta de interés tener en cuenta los antecedentes de estudios neotectónicos en el área. Estudios pioneros fueron aquellos realizados por Groeber (1961), Castellanos (1962, 1973) y Pasotti (1964, 1968, 1971, 1973, 1974), entre otros, los cuales sentaron las bases sobre el comportamiento tectónico de los bloques bonaerense y santafesino, y determinaron la existencia de lineamientos, incluso a través de la interpretación de imágenes satelitales, que han sido objeto de numerosos estudios a lo largo de los años. Debido a que los modelos satelitales no brindan la precisión requerida por este tipo de estudios, es necesaria la incorporación de técnicas que permitan establecer parámetros de altura con un mayor nivel de exactitud. Más recientemente, otros autores complementaron los trabajos pioneros. En el sector Noreste de la provincia de Buenos Aires, Rossello et al. (2011) describen una depresión tectónica de tendencia ENE-OSO con relleno sedimentario meso-cenozoico de unos 2000 m de potencia, conocida como Fosa de Quilmes y la consideran la prolongación austral en el territorio argentino de la cuenca Santa Lucía en Uruguay (Fig. 3). Mediante interpretaciones gravimétricas realizadas en ese sector, Rossello et al. (2017, 2018) distinguieron un depocentro extensional limitado por fallas de alto ángulo, además de la existencia de otros depocentros y altos en la región bonaerense, y vincula-



**Figura 2.** Fotografías de los afloramientos en estudio, la línea discontinua señala el techo de los depósitos donde fue medida la cota alcanzada por el nivel de mar. a) Afloramiento ubicado en Gualeguaychú, imagen de detalle muestra valvas concentradas hacia el techo del depósito; b) Afloramiento ubicado en parque Pereyra Iraola, imagen de detalle muestra las conchillas dispersas en el depósito; c) Afloramiento ubicado en el Parque Regional Sur, Rosario, imagen de detalle muestra valvas dispersas en el depósito.

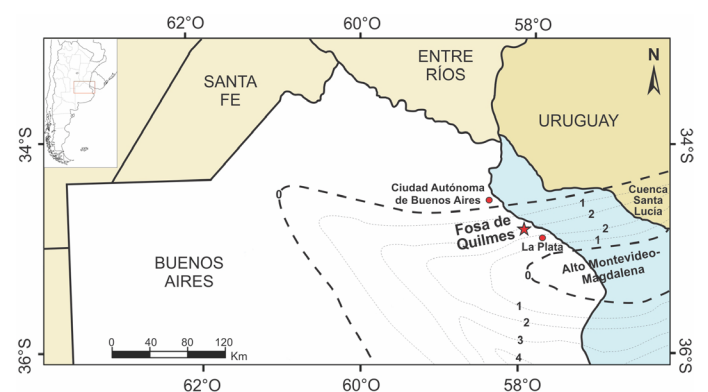
ron los rasgos tectónicos Meso-Cenozoicos del basamento a actividad sísmica reciente. Por otra parte, Brunetto et al. (2019) aportaron datos de velocidades GNSS y sugirieron tasas de levantamiento o elevación lineal de 0.025 a 0.050 mm/año para el sector central del Cratón del Río de La Plata o Mesopotamia Sur, en la escala de tiempo del Cuaternario y de 0.1 a 0.35 mm/año para el sector occidental del Cratón del Río de La Plata o Pampa Norte, en la escala de tiempo del Pleistoceno tardío.

Por lo tanto, numerosas evidencias demostrarían que la zona este de Argentina cuenta con una sismicidad débil posiblemente producida por fallas, que podrían ser producto de esfuerzos tectónicos de intraplaca. Sismos eventuales fueron registrados por el Instituto Nacional de Prevención Sísmica (INPRES) en la provincia de Buenos Aires durante el año 2016 y, especialmente, a fines del año 2018, tanto en la provincia de Buenos Aires como en la provincia de Entre Ríos (Cuadro 1). Cabe destacar que éstos no fueron los únicos eventos, dado que se han registrado otros temblores en la zona reconocidos a nivel histórico. El denominado Terremoto del Río de La Plata ocurrió el 5 de junio de 1888,

con hipocentro en el Río de la Plata y una intensidad de VI grados en la escala de Mercalli modificada (INPRES 2019). El mismo habría afectado tanto a las costas de Uruguay como las de Argentina, según los datos históricos conocidos a través de crónicas periodísticas. En el año 1848, fue documentado un sismo en las cercanías al área, con epicentro a 6 km al sur de Chajarí (provincia de Entre Ríos). En las costas limítrofes de Uruguay también se han registrado varios temblores a lo largo de los años, por lo que, a partir del año 2013, comenzaron a instalarse sismómetros en Uruguay (OGU 2019), con el objetivo de registrar posibles eventos de origen telúrico.

## METODOLOGÍA

Con el propósito de obtener con precisión las cotas alcanzadas por el nivel del mar y de evaluar la existencia de posibles diferencias de cotas entre los afloramientos en estudio, se realizaron en los sitios seleccionados mediciones correspondientes al techo de cada uno de los depósitos asignados al Belgranense, utilizando GNSS diferencial. El equipamiento geodésico utilizado para llevar a cabo las mediciones consiste en un receptor GNSS diferencial de doble frecuencia, marca Trimble modelo R9s, y una antena GNSS marca Trimble modelo Zephyr 3 Rover. El receptor fue configurado para realizar un método de levantamiento estático, con un intervalo de registro de cinco segundos y un ángulo de máscara de diez grados. El tiempo de observación empleado para cada medición fue de cuatro horas, con el objetivo de alcanzar la precisión deseada. Las observaciones de las cuatro bases fueron procesadas mediante el software comercial Trimble Business Center (TBC versión 2.70), utilizando distintas estaciones permanentes de referencia, dependiendo de la ubi-



**Figura 3.** Ubicación de la Fosa de Quilmes y mapa isopáquico esquemático de los registros sedimentarios meso-cenozoicos (modificado de Rossello et al. 2011, Rossello et al. 2017). La estrella indica el afloramiento de parque Pereyra Iraola medido en este estudio. Los valores del relleno están expresados en kilómetros.

**Cuadro 1.** Sismos registrados por INPRES en las Provincias de Buenos Aires y Entre Ríos en los últimos cinco años. \*

Fecha	Epicentro	Coordenadas geográficas	Profundidad (km)	Magnitud (Escala de Richter) (°)	Intensidad (Escala de Mercalli modificada)
09/08/2016	Buenos Aires. 180 km al E de Santa Rosa, 429 km al S de CABA y 105 km al S de Trenque Lauquen	36.848 S, 62.295 W	30	3.7	Sentido en Casbas y Garre (Guamini), en el O de Bs As y cerca del epicentro. En el SO de Bs As, vibraciones y ruidos
07/11/2016	Buenos Aires. 167 km al E de Santa Rosa, 420 km al SO de CABA y 66 km al SE de Trenque Lauquen	36.517 S, 62.433 W	10	4.0	Sentido, con intensidad III cerca del epicentro (débil)
22/11/2018	Entre Ríos. 185 km al SE de Paraná, 198 km al N de CABA y 64 km al O de Gualeguaychú	32.956 S, 59.187 W	32	3.8	No fue sentido
30/11/2018	Buenos Aires. 32 km al S de CABA, 50 km al O de La Plata y 140 km al E de Chivilcoy	34.904 S, 58.483 W	25	3.8	Sentido con intensidad III a IV en la Ciudad de Bs As (débil a medio)
27/12/2018	164 km al E de Santa Rosa, 424 km al SO de CABA y 70 km al S de Trenque Lauquen	36.563 S, 62.455 W	32	3.7	Sentido con intensidad II a III en Casbas (Guamini) y Laguna Alsina, Bs As (muy débil)

\*FUENTE: <http://www.inpres.gob.ar>.

cación de los puntos seleccionados (Fig. 4). Para la medición realizada en el ecoparque Gualeguaychú, se utilizó la estación GNSS permanente de la Red Argentina de Monitoreo Satelital Continuo (Piñón et al. 2018) GGUA ubicada en Gualeguay, Entre Ríos (33° 09' 03.53" S, 59° 18' 49.63" O) a una distancia aproximada de 73 km. Para el punto ubicado en una sección del arroyo Saladillo en las inmediaciones del Parque Sur de Rosario, se utilizó la estación UNRO ubicada en la Universidad Nacional de Rosario, Santa Fe (32° 57' 33.67" S, 60° 37' 42.33" O), a una distancia aproximada de 5 km., y finalmente para el afloramiento ubicado en el Parque Pereyra Iraola, se utilizó la estación AGGO, ubicada en el Observatorio Geodésico Argentino-Alemania, Buenos Aires (34° 52' 25.35" S, 58° 08' 23.48" O) con una distancia aproximada de 6 km. Debido a la dificultad de ubicación del equipo GNSS en el techo del depósito, se procedió a realizar una nivelación geométrica para poder trasladar la altura obtenida con el equipamiento GNSS al afloramiento de interés. Para ello, se utilizó un nivel óptico marca Pentax y una mira plegable de 4 m.

Como se mencionó anteriormente, los afloramientos de interés son depósitos pertenecientes a un alto del nivel medio del mar asignable al EIM 5e (entre 129-116 ka). El techo de dichos depósitos define la superficie equipotencial corres-

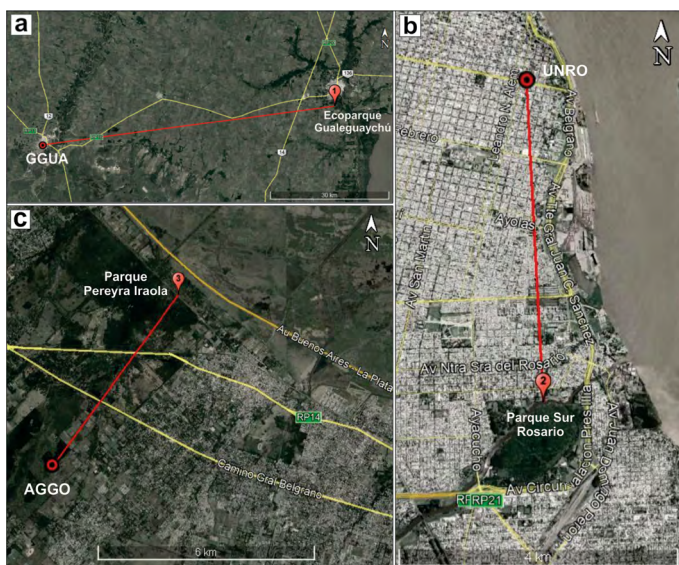
pondiente al nivel del mar de la ingresión Belgranense. Asimismo, teniendo en cuenta que el geoide es una superficie equipotencial del campo de gravedad de la Tierra obtenida a partir de estudios gravimétricos realizados en la actualidad, es posible asumir condiciones de paralelismo entre ambas superficies, al menos dentro de un entorno de error aceptable para el presente trabajo. Es posible realizar esta afirmación dado que las perturbaciones de masa necesarias para alterar en forma significativa las ondulaciones geoidales no coinciden con el marco geotectónico del área de trabajo.

Existen modelos de geoide de alta precisión que permiten la transformación de las alturas elipsoidales (determinadas fácilmente a partir de observaciones GPS/GNSS) en alturas físicas asociadas al campo de gravedad de la Tierra, sin la necesidad de llevar cabo nivelaciones geométricas desde puntos altimétricos de referencia. Argentina cuenta con un modelo de geoide gravimétrico llamado GEOIDE-Ar 16 (Piñón et al. 2017). El modelo de geoide está dado por una cuadrícula regular sobre la superficie de la Tierra y un valor que se denomina ondulación del geoide ( $N$ ), que representa la diferencia en altura entre el geoide y el elipsoide. Se asigna en cada punto de la red:  $N = h - H$ , donde  $h$  es la altura elipsoidal (es decir, la altura con respecto al elipsoide de referencia obtenida con la medición GNSS) y  $H$  es la altura ortométrica

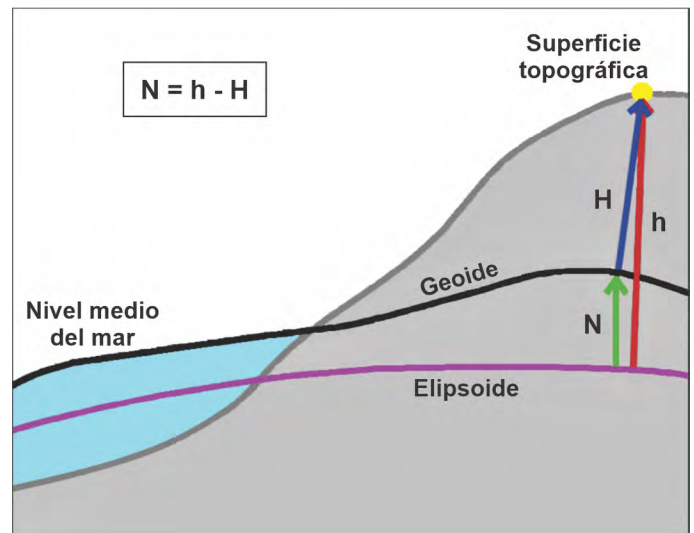
(es decir, la altura con respecto al nivel medio del mar o al geoide) (Heiskanen y Moritz 1967) (Fig. 5).

A las alturas elipsoidales en metros obtenidas durante el relevamiento se les restaron las alturas topográficas (en metros), que equivalen al desnivel entre la superficie donde fue ubicado el equipo GNSS y el techo del afloramiento de interés, y que fueron adquiridas a través de la nivelación. Como resultado, se obtuvieron las alturas elipsoidales finales ( $h$ ) para cada uno de los puntos de control elegidos. Como paso siguiente, se realizó la diferencia entre este último dato y el  $N$  (el valor de la ondulación del geoide, extraído del modelo GEOIDE-Ar 16), obteniendo finalmente las alturas ortométricas ( $H$ ) expresadas en metros que, según los supuestos aclarados anteriormente, corresponderían a las cotas del nivel del mar alcanzadas por la ingresión marina asignada al EIM 5e.

Por otra parte, a partir del relevamiento de los afloramientos correspondientes a la ingresión Belgranense, y con los datos de sus coordenadas geográficas, se procedió a confeccionar un mapa topográfico de la región perteneciente al sector norte de la ingresión, con sus curvas de nivel. El mismo fue generado a partir de un modelo digital de elevación MDE-Ar versión 2.0, realizado por el IGN (Instituto Geográfico Nacional 2019). El mismo combina datos obtenidos por las misiones satelitales SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) y ALOS (Advanced Land Observing Satellite "DAICHI") y está referido al Sistema de Referencia Vertical Nacional (SRVN16), con una precisión vertical de  $\sim 2$  m. El marco de referencia geodésico al que está asociado es POSGAR 07. Con respecto a las versiones anteriores, el MDE-Ar v2.0



**Figura 4.** Estaciones permanentes de referencia y localización de afloramientos en estudio. a) GGUA-Ecoparque Gualeguaychú; b) UNRO-Parque Sur Rosario; c) AGGO-parque Pereyra Iraola.



**Figura 5.** Modelo del geoide, modificado de Heiskanen y Moritz (1967). Referencias:  $N$ : ondulación del geoide, representa la separación entre el geoide y el elipsoide.  $h$ : altura elipsoidal.  $H$ : altura ortométrica.

incorpora mejoras en su calidad a nivel nacional y la contribución del GEOIDE-Ar16.

En el año 2019, el IGN realizó la validación del MDE-Ar v2.0 a partir de análisis estadísticos. Para ello, calcularon las diferencias entre las alturas de 23411 puntos pertenecientes a la base de datos altimétrica del IGN distribuidos de manera homogénea en el territorio nacional y las alturas derivadas del MDEAr v2.0 para los mismos sitios. Estas diferencias resultaron ser menores en las provincias con topografía predominantemente llana, con desvíos estándar inferiores a 2 m.

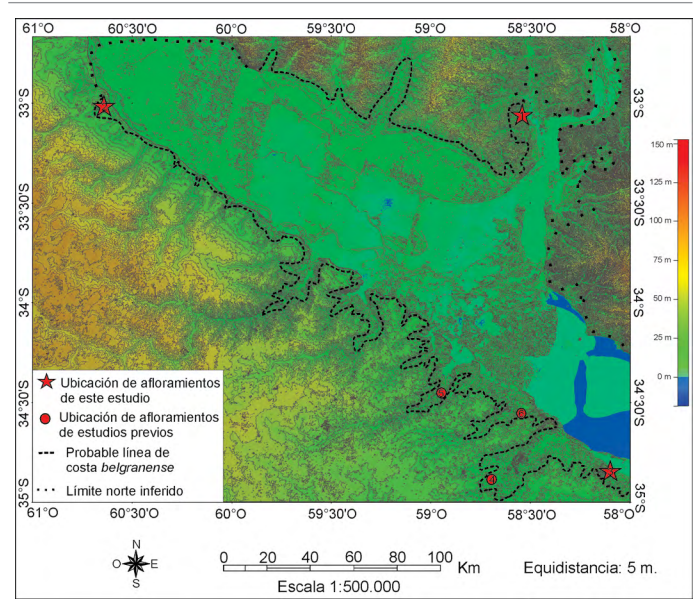
Las curvas de nivel del mapa topográfico fueron diseñadas a partir del MDE mediante el uso de GMT (Generic Mapping Tools) (Wessel et al. 2013). Para ello, se eligió una equidistancia entre curvas de cinco metros para realizar un mapa general del área que incluya los afloramientos en estudio.

## RESULTADOS

En cuanto a los resultados geodésicos, los valores equivalentes a las cotas alcanzadas por el nivel del mar durante la ingresión Belgranense, fueron expresados en términos de alturas ortométricas ( $H$ ) en metros. En el cuadro 2 se encuentran expuestos para cada localidad los valores de alturas elipsoidales iniciales en metros, extraídos de la medición en campo con equipo GNSS; alturas topográficas en metros equivalentes a la corrección por desniveles existentes entre el equipo y el techo del afloramiento; alturas elipsoidales finales ( $h$ ) en metros, que surgen de la diferencia entre las dos alturas mencionadas anteriormente; el  $N$ , que corresponde al

valor de la ondulación del geoide (extraído del modelo GEOI-DE-Ar 16) y por último las alturas ortométricas (H), obtenidas mediante la diferencia entre las alturas elipsoidales finales y el valor de N.

Por otra parte, a partir de los mapas realizados mediante el uso del MDE, se obtuvieron valores de las cotas correspondientes a cada curva de nivel y así se pudieron determinar las áreas más deprimidas de la zona de estudio. Se realizó una reconstrucción de la paleolínea de costa más probable correspondiente al extremo norte de la ingresión asignada al Belgranense, incluyendo el norte de la provincia de Buenos Aires, y sur de Santa Fe y Entre Ríos (Fig. 6); se utilizó como criterio la ubicación de los afloramientos ingresivos del Belgranense, así como también las depresiones en la topografía obtenidas sobre la base del MDE. Asimismo, se tuvieron en cuenta las reconstrucciones realizadas previamente por otros autores y las localidades en las cuales se han caracterizado y/o datado previamente los depósitos marinos concernientes al EIM 5e (Isla et al. 2000, Fucks y De Francesco 2003, Fucks 2004, Schnack et al. 2005, Beilinson et al. 2019, entre otros).



**Figura 6.** Mapa topográfico del área de estudio a partir del MDE y reconstrucción tentativa del sector norte de la ingresión Belgranense. La equidistancia entre curvas es de 5 m y la escala de colores corresponde al MDE. Afloramientos de este estudio: 1) Gualeguaychú, 2) Rosario, 3) Parque Pereyra Iraola. Afloramientos de otros estudios (Isla et al. 2000, Fucks 2004, Schnack et al. 2005, Beilinson et al. 2019): 4) Marcos Paz, 5) Pilar, 6) Barrancas de Belgrano.

## DISCUSIÓN

Los valores de cota obtenidos en Gualeguaychú y Rosario (Cuadro 2), de aproximadamente 8 metros sobre el nivel del mar actual, se encuentran dentro del rango de alturas alcanzadas por el nivel del mar a nivel global durante el EIM 5e (entre ~6 y 9 m sobre el nivel del mar actual), obtenidas a través del análisis de los antecedentes bibliográficos mencionados previamente (Siddall et al. 2007, Kopp et al. 2009, Dutton y Lambeck 2012, Dutton et al. 2015, entre otros). Por lo tanto, los resultados aquí obtenidos son de gran implicancia en la reconstrucción de la ingresión marina pleistocena en Sudamérica.

No puede descartarse absolutamente la posibilidad de que la diferencia de altura entre los sitios también sea producto de diferentes zonas dentro de un sistema marino/cos-

tero, tal como ha sido evidenciado en depósitos costeros más modernos de la región bonaerense (Richiano et al. 2012). Si bien esto es posible, se considera muy poco probable para el área en donde se desarrollaron las labores de campo.

Los resultados obtenidos en la presente contribución, además, sugerirían que, durante el intervalo desde ca.129-116 ka al presente, el área estudiada no habría sido afectada significativamente por actividad neotectónica a ambos márgenes del río Paraná, entre las latitudes 33°0' y 33°3' S. Los valores de las tasas de elevación lineal obtenidos por Brunetto et al. (2019) para el área de estudio fueron de 0.025 a 0.050 mm/año para el sector central del Cratón del Río de La Plata o Mesopotamia Sur (sector donde se encuentra Gualeguaychú), en la escala de tiempo del Cuaternario y de 0.1-0.35 mm/año para el sector occidental del Cratón del Río de La Plata o Pampa Norte (sector donde

**Cuadro 2.** Resultados geodésicos.

Localidades	Altura elipsoidal inicial (m)	Altura topográfica (m)	Altura elipsoidal final h (m)	N (GEOI-DE-Ar16) (m)	Altura ortométrica H (m)
Ecoparque Gualeguaychú	29.13	3.23	25.9	17.41	8.49
Rosario (Parque Sur)	33.19	7.31	25.88	17.2	8.68
Parque Pereyra Iraola	24.26	3.33	20.93	16.22	4.71



se encuentra Rosario), en la escala de tiempo del Pleistoceno tardío. Sin embargo, los resultados de alturas obtenidos en la presente contribución en los afloramientos ubicados en esas localidades muestran similitud entre sí y también con respecto a las alturas del nivel medio global del mar para el EIM 5e. De acuerdo con la opinión de los autores de este manuscrito, se descarta por el momento levantamiento en áreas intracratónicas, específicamente para el área relevada. No se encuentran evidencias de cargas flexurales por compensaciones isostáticas o cargas generadas por topografía dinámica debido a fuerzas astenosféricas. Ulteriores estudios geofísicos, actualmente en curso, aportarán nuevas evidencias al respecto. La ocurrencia de un levantamiento de una longitud de onda mayor que la distancia de ambos afloramientos, que los afecte de tal manera que queden a igual cota se considera posible, pero muy poco probable.

Subsidiariamente, queda abierta la posible influencia de la neotectónica en el área ante las diferencias de elevaciones ortométricas observadas entre las citadas localidades y el punto ubicado en la provincia de Buenos Aires (parque Pereyra Iraola). Los valores pertenecientes al techo del afloramiento en dicha localidad se encuentran aproximadamente cuatro metros por debajo de aquellos calculados en Guleguaychú y Rosario (Cuadro 2). Aún con la incertidumbre que representa tener solo una medición, la citada diferencia resulta de singular interés.

El parque Pereyra Iraola se encuentra ubicado en un área deprimida coincidente con una de las depresiones tectónicas de tendencia ENE-OSO descritas en el área con relleno meso-cenoico, conocida como Fosa de Quilmes (Fig.4) y considerada la prolongación de la cuenca Santa Lucía en Uruguay (Rossello et al. 2011). Además, Rossello et al. (2017) distinguieron un depocentro extensional limitado por fallas de alto ángulo en ese sector.

La existencia de neotectónica en el área ha sido un tema de interés desde que Groeber (1961), Castellanos (1962, 1973) y Pasotti (1964, 1968, 1971, 1973, 1974), entre otros, analizaron el comportamiento tectónico de los bloques bonaerense y santafesino, y determinaron la existencia de lineamientos. Estas evidencias sumadas a la ocurrencia de sismos históricos y recientes registrados en las provincias de Buenos Aires y Entre Ríos (Cuadro 1) son un complemento que demuestra que la zona este de Argentina posee una simicidad débil.

Fuera del área de trabajo de la presente contribución, en la región Norte Pampeana, ha sido documentada actividad neotectónica evidenciada por la presencia de depósitos pa-

lustres de extensión regional (Pleistoceno tardío) localizados en taludes anómalos observados en presencia de lineamientos regionales (Brunetto et al. 2016).

Cabe destacar que es necesario contar con un mayor número de localidades características, con mediciones de alta precisión como las aquí presentadas, con el fin de realizar un mapeo de mayor detalle, el cual podría o no confirmar la relativa inestabilidad tectónica del área pampeana, en particular en el área conocida como Fosa de Quilmes.

## CONCLUSIONES

Las mediciones efectuadas con GNSS diferencial fueron de utilidad para obtener con precisión valores de alturas alcanzadas por el nivel de mar durante la ingresión Belgranense, siendo de alrededor de 8 m sobre el nivel del mar actual en las localidades de Guleguaychú y Rosario. El punto ubicado en la provincia de Buenos Aires (parque Pereyra Iraola) se encuentra aproximadamente cuatro metros por debajo de éstos.

El valor del nivel del mar calculado coincide con el rango de alturas (entre ~6 y 9 m sobre el nivel del mar actual) reconocido para el EIM 5e a nivel mundial (Siddall et al. 2007, Kopp et al. 2009, Dutton y Lambeck 2012, Dutton et al. 2015, entre otros). La ocurrencia de una componente parcial de levantamiento específicamente en el área relevada, se considera posible pero poco probable.

Los resultados obtenidos en la presente contribución, representados a través de las diferencias de alturas ortométricas entre los afloramientos en estudio, podrían sugerir en forma preliminar una posible actividad neotectónica en el área desde el lapso comprendido entre el EIM 5 y el presente. La ubicación del afloramiento en la provincia de Buenos Aires (parque Pereyra Iraola) en coincidencia con el área de la Fosa de Quilmes, renueva el interés sobre la influencia de la tectónica cuaternaria en el área. Ello se enmarca principalmente en un contexto de ocurrencia en los últimos años de sismos en las provincias de Buenos Aires y Entre Ríos y de terremotos históricos en el área del Río de la Plata.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su gratitud al Dr. Sebastián Richiano y a dos revisores anónimos por su crítica revisión y aporte de sugerencias y comentarios, que resultaron indispensables para mejorar la versión final del trabajo. El trabajo fue financiado por CONICET y la Universidad de Buenos Aires, en el marco del Proyecto de Unidades Ejecutoras de

IGEBA “Evolución y procesos geológicos y geoambientales en la región pampeana y el río de la Plata” y del Proyecto UBACyT N° 20020170100312BA. Asimismo, se agradece a la Secretaría de Medio Ambiente de Gualeguaychú y al Ecoparque Gualeguaychú por permitir el acceso a las inmediaciones del lugar y las facilidades para realizar el trabajo.

## REFERENCIAS

- Ameghino, F. 1889. Contribución al conocimiento de los mamíferos fósiles en la República Argentina. *Actas de la Academia Nacional de Ciencias de Córdoba* 6: 1-1028, Córdoba.
- Beilinson, E., Raigemborn, M.S., Rodríguez, S.G., Soibelzon, E., Gasparini, G.M., Calvo-Marcilese, L., Cusminsky, G.C., Mari, F., Iacona, F. y Soibelzon, L.H. 2019. A multi-proxy approach to paleoenvironmental changes in the southwestern Río de la Plata area (Argentina) during Late Pleistocene. *Quaternary International* 512: 6-17.
- Brunetto, E., Krohling, D.M., Zalazar, M.C. y Francisconi, C., 2016. Analysis of the interaction between neotectonic and surface processes in a low-land intracratonic setting of South America. *Quaternary International* 438A:141-159.
- Brunetto, E., Sobrero, F.S., y Giménez, M.E. 2019. Quaternary deformation and stress field in the Río de la Plata Craton (Southeastern South America). *Journal of South American Earth Sciences* 91: 332-351.
- Castellanos, A. 1962. El Holoceno en la Argentina. *Universidad Nacional del Litoral, Instituto de Fisiografía y Geología* 45: 1-78, Rosario.
- Castellanos, A. 1973. Estratigrafía y génesis de los valles fluviales en los bloques tectónicos pampeanos: la vida orgánica a través de los últimos tiempos geológicos en cada uno de los bloques. *Universidad Nacional de Rosario, Facultad de Ciencias Exactas e Ingeniería, Instituto de Fisiografía y Geología, Serie A* 4: 1-21.
- Dutton, A. y Lambeck, K. 2012. Ice volume and sea level during the last interglacial. *Science* 337(6091): 216-219.
- Dutton, A., Carlson, A.E., Long, A., Milne, G.A., Clark, P.U., DeConto, R., Horton B.P., Rahmstorf, S. y Raymo, M. E. 2015. Sea-level rise due to polar ice-sheet mass loss during past warm periods. *Science* 349 (6244): aaa4019.
- Fidalgo, F. 1983. Algunas características de los sedimentos superficiales en la cuenca del salado y en la pampa ondulada. *Coloquio Internacional sobre Hidrología de Grandes Llanuras, Actas* 2: 1045-1057, Olavarría.
- Fidalgo, F. y Martínez, O. 1983. Algunas características geomorfológicas dentro del partido de La Plata, Provincia de Buenos Aires. *Revista Asociación Geológica Argentina*, 38(2): 263-279.
- Fidalgo, F., Colado, U.R. y De Francesco, F. O. 1973. Sobre ingresiones marinas cuaternarias en los partidos de Castelli, Chascomús y Magdalena (Provincia de Buenos Aires). 5° Congreso Geológico Argentino, *Actas* 4: 225-240, Carlos Paz.
- Fidalgo, F., De Francesco F.O. y Pascual R. 1975. Geología superficial de la llanura bonaerense. 6° Congreso Geológico Argentino, *Relatorio*: 104-137, Bahía Blanca.
- Frenguelli, J. 1928. Observaciones geológicas en la región costanera Sur de la Provincia de Buenos Aires. *Universidad Nacional del Litoral, Facultad de Ciencias de la Educación, Anales* 2, 145 p., Santa Fe.
- Frenguelli, J. 1950. Rasgos generales de la morfología y la geología de la Provincia de Buenos Aires. *LEMIT, Serie* 2(33): 1-72, La Plata.
- Frenguelli, J. 1957. Neozoico. *Sociedad Argentina de Estudios Geográficos (GAEA), Geografía de la República Argentina, Sociedad Argentina de Estudios Geográficos, GAEA* 2(3): 1-218, Buenos Aires.
- Fucks, E. 2004. Estratigrafía y Geomorfología en el ámbito del curso inferior del Río Luján, Provincia de Buenos Aires. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de La Plata (inédita), 239 p., La Plata.
- Fucks, E. y De Francesco, F. 2003. Ingresiones marinas al norte de la ciudad de Buenos Aires; su ordenamiento estratigráfico. 2° Congreso Nacional de Cuaternario y Geomorfología. *Actas*: 101-109, San Miguel de Tucumán.
- Fucks, E.E., Schnack, E.J. y Aguirre, M.L. 2010. Nuevo ordenamiento estratigráfico de las secuencias marinas del sector continental de la Bahía Samborombón, provincia de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 67 (1): 27-39.
- Gasparini, G.M., Rodríguez, S.G., Soibelzon, L.H., Beilinson, E., Soibelzon, E. y Velloso Missagia, R. 2014. *Tayassu pecari* (Link, 1795) (Mammalia, Cetartiodactyla): comments on its South American fossil record, taxonomy and paleobiogeography. *Historical Biology* 26: 785-800.
- González, M.A., y Guida, N.G. 1990. Late Pleistocene Littoral Deposits from 33° to 40° S, Argentine Republic: Blake and Probable Lake Mungo Events-Magnetostratigraphic Geochronology. *Journal of Coastal Research* 6(2): 357-366.
- Grant, K.M., Rohling, E.J., Bar-Matthews, M., Ayalon, A., Medina-Elizalde, M., Ramsey, C.B., Satow, C. y Roberts, A.P. 2012. Rapid coupling between ice volume and polar temperature over the past 150,000 years. *Nature* 491(7426): 744.
- Groeber, P. 1961. Contribuciones al conocimiento geológico del Delta del Paraná y alrededores. *Anales de la Comisión de Investigaciones Científicas* 2: 9-53, Buenos Aires.
- Guida, N. y González, M.A. 1984. Evidencias paleoestuarías en el sudeste de Entre Ríos, su evolución con niveles marinos relativamente elevados del Pleistoceno Superior y Holoceno. 9° Congreso Geológico Argentino, *Actas* 3: 577-594, San Carlos de Bariloche.
- Heiskanen, W.A. y Moritz, H. 1967. Physical geodesy. *Bulletin Géodésique* 86 (1): 491-492.
- Instituto Geográfico Nacional. 2019. Modelo Digital de Elevaciones de la República Argentina versión 2.0. Dirección de Geodesia. Recuperado de [http://www.ign.gov.ar/archivos/Informe\\_MDE-Ar\\_v2.0\\_30m.pdf](http://www.ign.gov.ar/archivos/Informe_MDE-Ar_v2.0_30m.pdf)
- Instituto Nacional de Prevención Sísmica. 2018. Sismología. Recuperado de <https://www.inpres.gov.ar>.

- Isla, F.I. y Schnack, E.J. 2016. Sea Level Changes During Marine Isotopic Stage 3 (MIS 3) in Argentina. En: Gasparini, G., Rabassa, J., Deschamps, C., Tonni, E. (eds), Marine Isotope Stage 3 in Southern South America, 60 KA B.P.-30 KA B.P. Springer Earth System Sciences. Springer, 147-154, Cham.
- Isla, F.I., Cortizo, L.C. y Schnack, E.J. 1996. Pleistocene and Holocene beaches and estuaries along the Southern Barrier of Buenos Aires, Argentina. *Quaternary Science Reviews* 15(8-9): 833-841.
- Isla, F.I., Rutter, N., Schnack, E.J. y Zárata, M.A. 2000. La transgresión belgranense en Buenos Aires. Una revisión a cien años de su definición. *Revista Cuaternario y Ciencias Ambientales, Publicación Especial 4*: 3-14.
- Kopp, R.E., Simons, F.J., Mitrovica, J.X., Maloof, A.C. y Oppenheimer, M. 2009. Probabilistic assessment of sea level during the last interglacial stage. *Nature* 462 (7275): 863.
- Martínez, S. y Del Río, C. 2005. Las Ingresiones marinas del Neógeno en el sur de Entre Ríos (Argentina) y Litoral Oeste de Uruguay y su contenido malacológico. *Miscelánea* 14: 14.
- Martínez, S., Ubilla, M., Verde, M., Perea, D., Rojas, A., Guérèquiz, R. y Piñeiro, G. 2001. Paleocology and Geochronology of Uruguayan Coastal Marine Pleistocene Deposits. *Quaternary Research* 55: 246-254.
- OGU (Observatorio Geofísico de Uruguay) 2019. Historia de la sismicidad en Uruguay. Recuperado de <http://ogu.fcien.edu.uy>.
- Orgeira, M.J., Beraza, L., Vizán, H., Bobbio, M.L. y Vilas, J.F. 1988. Evidence for a geomagnetic field excursion in the Late Pleistocene (Entre Ríos, Argentina). *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula* 6: 173-188.
- Parent, H., Polare, M., y Lattuca, F. 2010. Estratigrafía del Cuaternario del sur de la Provincia Santa Fe, Argentina. *Boletín del Instituto de Fisiografía y Geología* 72: 42-47, Rosario.
- Pasotti, P. 1964. La cuenca del arroyo Cañada de Gómez. *Instituto de Fisiografía y Geología. Universidad Nacional del Litoral* 48: 1-47.
- Pasotti, P. 1968. Evidencias morfológicas del levantamiento de la "Pampa Levantada" en un sector de la llanura Santafesino-Bonaerense. *Boletín del Instituto de Fisiografía y Geología, Universidad Nacional de Rosario* 53: 1-46.
- Pasotti, P. 1971. El arroyo Pavón: morfología de su cuenca y modelo de red hidrográfica. *Boletín del Instituto de Fisiografía y Geología* 55: 1-32.
- Pasotti, P. 1973. Sobre la presencia del último paleomodelo de red hidrográfica de edad pleistocénica en la llanura de la Provincia de Santa Fe. *Boletín del Instituto de Fisiografía y Geología* 57: 1-24.
- Pasotti, P. 1974. La Neotectónica en llanura pampeana: fundamentos para el mapa neotectónico. *Boletín del Instituto de Fisiografía y Geología* 58: 1-28.
- Piñón, D.A., Gómez, D.D., Smalley, R., Cimbaro, S.R., Lauría, E.A., y Bevis, M.G. 2018. The History, State, and Future of the Argentine Continuous Satellite Monitoring Network and Its Contributions to Geodesy in Latin America. *Seismological Research Letters* 89(2A): 475-482.
- Piñón, D.A., Zhang, K., Wu, S. y Cimbaro, S.R. 2017. A New Argentinean Gravimetric Geoid Model: GEOIDEAR. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. doi:10.1007/1345\_2017\_267
- Richiano, S., Varela, A.N., D'Elía, L., Bilmes, A. y Aguirre, M. 2012. Evolución paleoambiental de cordones litorales holocenos durante una caída del nivel del mar en la Bahía Samborombon, Buenos Aires, Argentina. *Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis* 19 (2): 105-124.
- Riggs, J.C., Fidalgo, F., Martínez, O. y Porro, N. 1986. Geología de los "Sedimentos Pampeanos" en el partido de La Plata. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 41(3-4): 316-333.
- Rohling, E.J., Grant, K., Hemleben, C.H., Siddall, M., Hoogakker, B.A.A., Bolshaw, M., y Kucera, M. 2008. High rates of sea-level rise during the last interglacial period. *Nature Geoscience* 1(1): 38.
- Rossello, E.A., Veroslavsky, G. y de Santa Ana, H. 2011. La fosa de Quilmes: prolongación austral de la cuenca Santa Lucía (Uruguay) en la Provincia de Buenos Aires (Argentina). 18° Congreso Geológico Argentino, Actas: 1044-1045, Neuquén.
- Rossello, E.A., Veroslavsky, G., de Santa Ana, H. y Rodríguez, P. 2017. Depocentros meso-cenozoicos y rasgos tectónicos del basamento cristalino del Río de la Plata (Argentina y Uruguay). *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 74 (3): 283-294.
- Rossello, E.A., Veroslavsky, G., de Santa Ana, H., y Rodríguez, P. 2018. Geology of the Río de la Plata and the surrounding areas of Argentina and Uruguay related to the evolution of the Atlantic margin. *Journal of South American Earth Sciences* 83: 147-164.
- Schnack, E., Isla, F., De Francesco, F. y Fucks, E. 2005. Estratigrafía del Cuaternario Marino Tardío en la Provincia de Buenos Aires. En: De Barrio, R., Etcheverry, R., Caballé, M. y Llambías E. (eds.), *Geología y Recursos Minerales de la provincia de Buenos Aires*. 16° Congreso Geológico Argentino, Relatorio: 159-182, La Plata.
- Shackleton, N.J., Sánchez-Goñi, M.F., Paillet, D. y Lancelot, Y. 2003. Marine isotope substage 5e and the Eemian interglacial. *Global and Planetary change* 36: 151-155.
- Siddall, M., Chappell, J. y Potter, E.K. 2007. Eustatic sea level during past interglacials. In *Developments in Quaternary Sciences* 7: 75-92.
- Siddall, M., Rohling, E. J., Thompson, W. G., y Waelbroeck, C. 2008. Marine isotope stage 3 sea level fluctuations: Data synthesis and new outlook. *Reviews of Geophysics* 46(4): RG4003.
- Spratt, R.M., y Lisiecki, L.E. 2016. A Late Pleistocene sea level stack. *Climate of the Past*, 12(4): 1079-1092.
- Tófaló, O.R., Orgeira, M.J., Castro, L., Vizán, H. y Azcuy, C. 2017. Cambios paleoclimáticos durante el Cenozoico tardío en el Sudeste de la Provincia de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 74(4): 485-496.

Wessel, P., Smith, W. H., Scharroo, R., Luis, J. y Wobbe, F. 2013. Generic mapping tools: improved version released. *Eos, Transactions American Geophysical Union* 94(45): 409-410.

Zárate, M., Kemp, R., y Toms, P. 2009. Late Quaternary landscape re-

construction and geochronology in the northern Pampas of Buenos Aires province, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences* 27(1): 88-99.