

EVOLUCIÓN GEOMORFOLÓGICA DE LA REGIÓN DEL GRAN LA PLATA Y SU RELACIÓN CON EVENTOS CATASTRÓFICOS

Enrique FUCKS¹, Gabriela D'AMICO², M. Florencia PISANO³ y Gustavo NUC CETELLI⁴

¹ Universidad Nacional de La Plata, Facultad Ciencias Naturales y Museo y Agrarias y Forestales/CEIDE-IAMRA. E-mail: efucks@fcnym.unlp.edu.ar.

² Universidad Nacional de La Plata, Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación, CEIDE-CONICET.

³ Universidad Nacional de La Plata, Facultad Ciencias Naturales y Museo/CEIDE-CONICET.

⁴ Universidad Nacional de La Plata, Facultad Ciencias Naturales y Museo y Agrarias y Forestales/CEIDE

RESUMEN

El área del Gran La Plata, al igual que toda la región Pampeana, presenta características geológicas y geomorfológicas que reflejan los cambios climáticos durante el Cuaternario. Las distintas geoformas y depósitos litorales, fluviales y loésicos caracterizan diferentes ambientes, otorgándole una impronta particular. En el área, desde tiempos históricos, se han producido inundaciones que han generado pérdidas de diferente magnitud en bienes y vidas humanas. Los factores que influyen en estas catástrofes pueden agruparse en naturales y antrópicos. Dentro de los primeros, los aspectos geomorfológicos y climáticos (sudestadas y precipitaciones) pueden considerarse los más destacables, particularmente las precipitaciones intensas ocasionales, asociadas a las exiguas pendientes de la región. La red de drenaje sobre la que se desarrolló la ciudad presenta importantes desniveles que, al aumentar el escurrimiento, producen la concentración de agua de manera más rápida. Dentro de los factores antrópicos se destacan la urbanización total de la superficie, sin tener en cuenta los aspectos geomorfológicos, ocupando las planicies de inundación e incrementando la impermeabilización del suelo, con la consecuente pérdida de infiltración. Los insuficientes canales de desagües y falta de mantenimiento en los entubamientos urbanos agravan el problema. Otro componente importante es el trazado que presentan las vías troncales de comunicación de la ciudad que se disponen perpendicularmente al drenaje actuando como diques al escurrimiento.

Palabras clave: *Inundaciones, sudestadas, geomorfología, clima, urbanización*

ABSTRACT

Geomorphological evolution of the region of Gran La Plata and its relationship with catastrophic events

The Gran La Plata area, as well as the whole Pampean Region, presents geological and geomorphological characteristics which reflect the climate changes occurred during the Quaternary. Distinct geoforms and littoral, fluvial and loessic deposits characterize different environments of the region, giving each one of them specific features. Over this area, since historical times, there have been floods that have generated variable magnitude losses, both in goods and human lives. The influential factors of these catastrophes can be gathered into natural and anthropogenic. Within the first, the geomorphological and climatic aspects (*sudestadas*-southwesterlies- and precipitations) can be considered as the most outstanding, particularly the intense and occasional precipitations, associated to the region meager slopes. The city developed over an uneven drainage network that intensifies the runoff, leading to a quick water concentration. Within the anthropogenic factors, the total urbanization of the area stands out, without taking into account the geomorphological aspects, occupying the flood plains and increasing the soil sealing, with the subsequent infiltration loss. The insufficient drainage channels and lack of urban channels maintenance reinforce the problem. Another important matter is the main transport routes layout, which was placed perpendicularly to the drainage, constituting real dykes to the runoff.

Keywords: *Flooding, sudestadas, geomorphology, climate, urbanization*

INTRODUCCION

El área del Gran La Plata (Fig. 1) se encuentra integrada por los partidos de Berisso, Ensenada y La Plata, en el noreste de la provincia de Buenos Aires. Al igual que toda la región pampeana presenta características geológicas y geomorfológicas que son fieles

testigos de las fluctuaciones climáticas ocurridas durante el Cuaternario. Las geoformas y los depósitos litorales del Mioceno, Pleistoceno Tardío y Holoceno, fluviales del Plio-Pleistoceno y loésicos del Pleistoceno caracterizan la región.

La importancia del estudio de los rasgos geomorfológicos radica en conocer no sólo

las condiciones paleoambientales que los originaron, sino también cómo en la actualidad se relacionan con la configuración territorial, la utilización de recursos (suelos, aguas subterráneas, explotación en canteras) y con fenómenos catastróficos como las inundaciones producidas a lo largo del tiempo.

El objetivo de este trabajo es analizar la relación entre los fenómenos climáticos de tipo catastrófico, precipitaciones extraordinarias y sudestadas, con variables tanto geomorfológicas como antrópicas en el área del Gran La Plata. Con este fin, se describe la evolución geomorfológica del área de estudio, en relación a los numerosos registros que existen sobre los múltiples y periódicos cambios paleoambientales ocurridos durante el Cuaternario; se analiza la ocurrencia, magnitud y área de afectación de los fenómenos climáticos catastrófico durante el último siglo y se indaga acerca de los factores que guiaron y condicionaron el proceso de urbanización.

CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA REGIÓN

La zona de estudio (Fig. 1) abarca el área conocida como Gran La Plata. La misma se encuentra en la margen sur del estuario del Río de la Plata, extenso cuerpo de agua con forma de embudo que tiene 300 km de largo en dirección noroeste-sureste y anchos de 200 (límite exterior) y 40 km (límite interior). Incluye al delta del río Paraná, el cual se haya en permanente crecimiento, (Urien 1966, Parker y Marcolini 1992, Codignotto 1996). El clima del área es de tipo templado-húmedo, con precipitaciones medias anuales de 1079 mm/año, humedad relativa de 77% y temperatura media de 15°C (Kruse *et al.* 2014). De acuerdo a la clasificación en el sistema de Thornthwaite el clima es húmedo (B2) y microtermal (C'2), con valores de evapotranspiración mayores a 570 mm. En cuanto a la clasificación de Köppen-Geiger es del tipo templado (C), subtropical, sin estación seca (pampeano) y con veranos cálidos (fa).

A partir del Pleistoceno inferior a Medio, la planicie continental adquirió su configuración actual, la que ha sido afectada por las sucesivas variaciones de ascenso y descenso del nivel del mar. Estos cambios se evidencian a través de los sedimentos y rasgos del paisaje generados por los eventos transgresivos-regresivos, y por la profundización y sedimentación de la red de drenaje como respuesta a los cambios de nivel de base.

En el área que no fue afectada directamente por la variación de la línea de costa se encuentran los depósitos de loess, habituales en la región pampeana y que guardan una íntima asociación con los recurrentes epis-

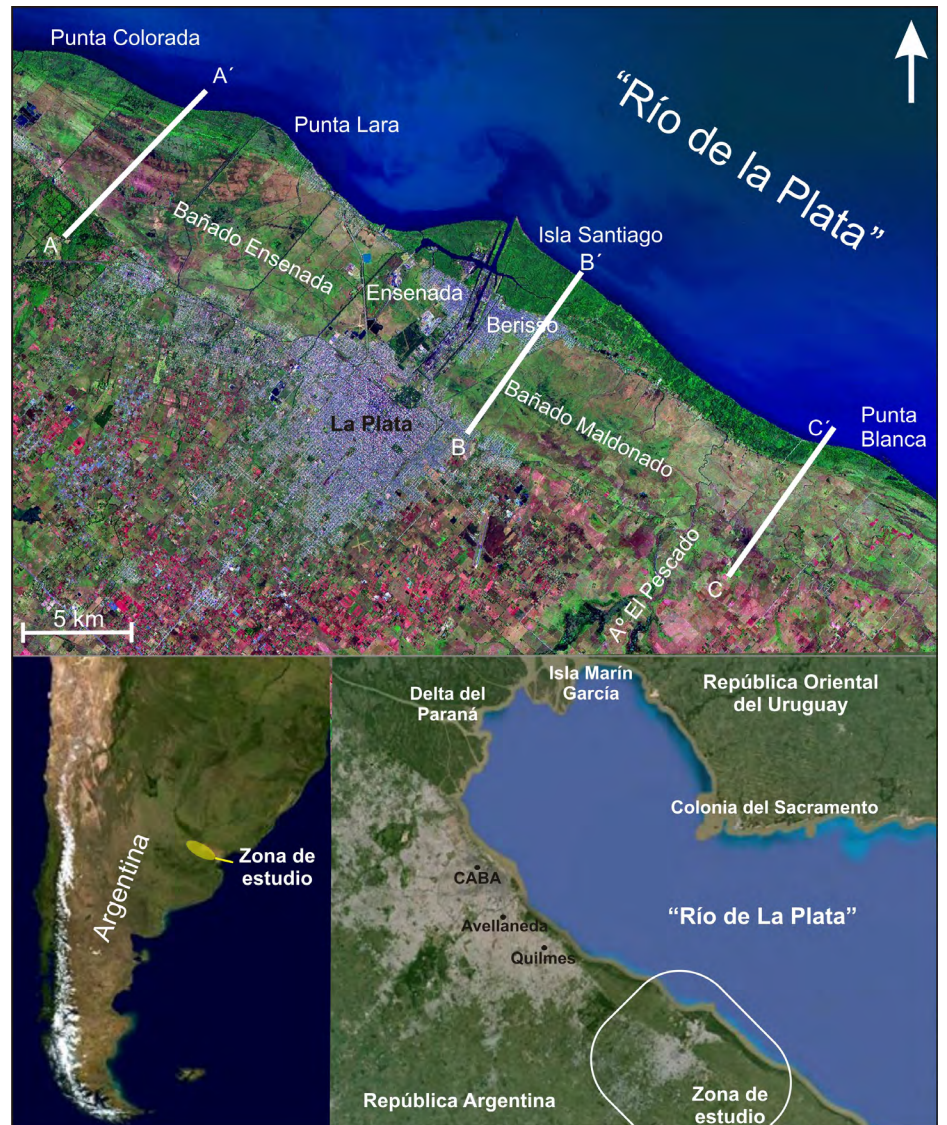


Figura 1: Ubicación del área de estudio a nivel regional y local.

dios áridos ocurridos durante el Cuaternario (Teruggi 1957, Zárate 2003).

MATERIALES Y MÉTODOS

A partir del análisis bibliográfico y la observación e interpretación de mapas topográficos, fotografías aéreas e imágenes de satélite (Landsat, Spot y QuickBird) se identificaron en el área de estudio diferentes rasgos geomorfológicos. Los trabajos de campo y el reconocimiento de las unidades litológicas se realizaron en barrancas de cursos y obras civiles, como así también en perforaciones manuales e informes técni-

cos de perforaciones geotécnicas.

Los factores climáticos fueron analizados a diferentes escalas a partir de la información registrada por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN), por el observatorio de la Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas (UNLP) y por el Servicio de Hidrografía Naval. También como fuente de información histórica de la ocurrencia, magnitud y área de afectación de las sudestadas y precipitaciones extraordinarias, se consultaron los principales periódicos de la región: El Día (periodo 1914-actualidad), El Argentino (periodo 1940-1960) y Diario Hoy (a partir de la década de 1990).

CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA

La línea de costa actual del estuario del Río de la Plata presenta una sucesión de entradas y salidas donde localmente se producen condiciones de baja y alta energía. La alternancia de elevaciones y profundizaciones del sustrato pampeano han influido de manera considerable en la evolución paleoambiental durante los eventos transgresivos-regresivos del Holoceno, controlando de manera significativa la distribución de la sedimentación. Por esto, se puede considerar que la zona de estudio tiene un origen poligénico, permitiendo reconocer regionalmente, además del estuario, dos ámbitos geomorfológicos muy contrastantes (Fig. 2): la planicie continental, desarrollada al suroeste, también denominada zona interior (Fidalgo y Martínez 1983) y la planicie costera o llanura costera marginal, al noreste (Fidalgo y Martínez 1983, Cavallo 1995). El límite entre ambas está representado por un acantilado relíctico, que en muchos casos ha sido parcialmente erosionado, que se sitúa aproximadamente a los 5 m s.n.m. Los partidos de La Plata, Berisso y Ensenada se encuentran ubicados en ambas unidades geomorfológicas, pudiéndose observar un conjunto de unidades menores.

Planicie o llanura continental

Se extiende desde el límite de la ingresión holocena hacia el interior de la región y se caracteriza por el desarrollo de cuencas fluviales con cauces bien definidos y buena integración, con divisorias en las que se desarrollaron hoyos o cubetas de deflación. Las cuencas que escurren hacia el Río de la Plata, las de los arroyos: Carnaval, Rodríguez, Martín, Don Carlos, El Gato, Maldonado, Garibaldi y El Pescado (Fig. 2) determinan, en general, un paisaje conformado por suaves ondulaciones que, a excepción del arroyo El Pescado, al llegar a la planicie costera pierden el encauzamiento, formando los bañados de Maldonado y de Ensenada, exigiendo la construcción de canales para drenar las aguas de estos ambientes por su escasa pendiente (Fig. 2). Las cabeceras de estas cuencas se ubican en la zona de interfluvio que las separan de la cuenca del río Samborombón. Se estructuraron siguiendo la pendiente regional, incorporando y atravesando hoyos de deflación y formando en

sus desembocaduras amplios paleoestuarios durante el máximo transgresivo Holoceno (Fig. 2). En la actualidad, la mayoría de los cursos han sido rectificadas, profundizadas y ensanchadas, existiendo casos en los que se han realizado canalizaciones para facilitar el escurrimiento.

Las cuencas presentan diseños dendríticos con cursos rectos y sinuosos, adoptando en los paleoestuarios y en la planicie costera morfologías meandrosas, que desaparecen en los bañados o canales. El pasaje de las divisorias de aguas a las planicies aluviales es, en general, transicional.

La gran mayoría de estas planicies de inundación han sido ocupadas por la población, incluso pueden observarse viviendas en el límite mismo de los cursos, principalmente cuando éstos atraviesan la planta urbana del partido de La Plata. El trazado urbano de la ciudad de La Plata, planteado inicialmente en abstracto, con algunas adaptaciones posteriores, se concibió bajo ideas racionalistas reinantes en el urbanismo de fines del siglo XIX. El ímpetu por la sobreposición del orden racional ante el caos de lo natural actuó despreciando el paisaje original de base. La planicie continental, conformada por valles y divisorias quedó sumergida por la mancha urbana. Cabe destacar el mote de “ciudad

de las ranas”, otorgado por el presidente Roca a la ciudad en virtud de su propensión a inundarse, menospreciando los terrenos elegidos por Dardo Rocha para emplazar a la nueva capital de la provincia de Buenos Aires, a fines del siglo XX.

La cuenca del arroyo El Pescado, la mayor del área de estudio (Fig. 2), es una zona en la que no se han realizado obras hidráulicas y se ha mantenido, hasta el momento, marginal al proceso de urbanización del Gran La Plata. En función de la valoración de sus servicios ecosistémicos (filtro y absorción de aguas, conservación de ecosistemas, entre otros), la cuenca fue declarada como Paisaje Protegido de Interés Provincial (Ley Provincial N°12.247). En ella pueden observarse, además de un amplio paleoestuario, importantes procesos de erosión hídrica mantiforme, a pesar de contar con pendientes del orden de 0,27%. Este área podría asociarse a pedimentos de flancos, caracterizada por suelos con escasa vegetación, concreciones de carbonato de calcio (tosca) y rodados que son indicativos de procesos de erosión mantiforme e incluso canalizada, ya que el desarrollo de cárcavas es también evidente. Estos procesos erosivos se producen en las paredes de valle, o en el contacto de la planicie continental con la llanura litoral.

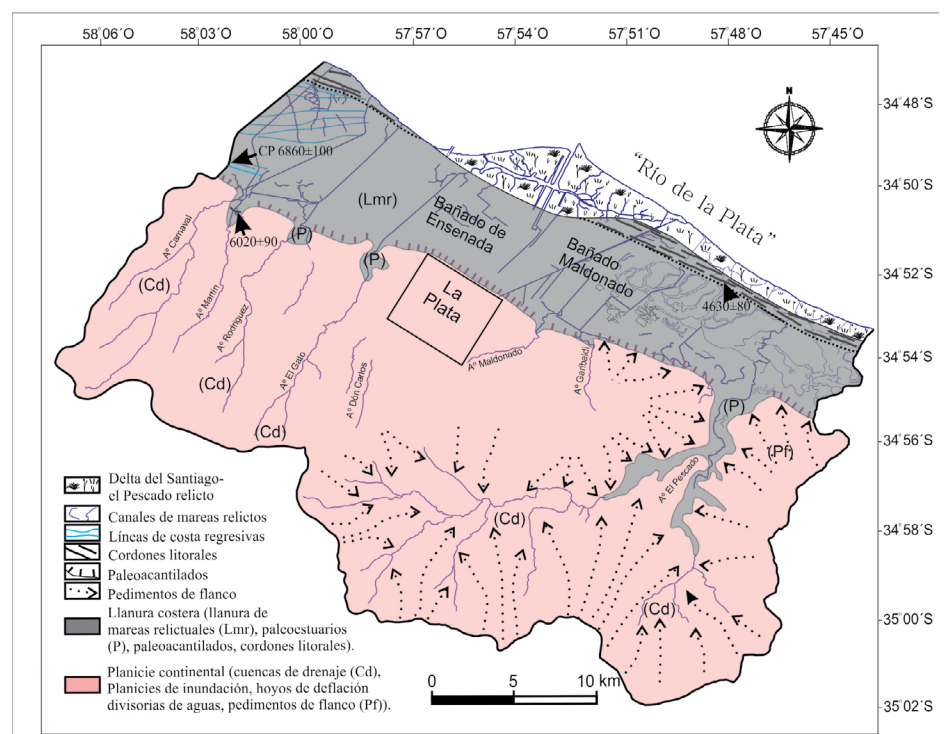


Figura 2: Características geomorfológicas de la zona de estudio.

La composición litológica de la planicie continental está conformada por los depósitos loésicos atribuidos a la Fm. Pampeano (González Bonorino 1965) o Sedimentos Pampeanos (Fidalgo *et al.* 1975) o Formaciones Ensenada y Buenos Aires (Riggi *et al.* 1986). Constituyendo, por su espesor y amplia distribución, la unidad litológica que caracteriza la llanura pampeana y representa el sustrato donde se desarrollan los procesos generadores de muchos rasgos del actual paisaje. Si bien estos depósitos loésicos se depositaron bajo condiciones áridas a semiáridas, la presencia de diferentes niveles de paleosuelos, algunos de estos con rasgos hidromórficos, secuencias fluviales y lacustres revelan condiciones temporarias y/o locales más benignas asociadas a condiciones cálidas y húmedas (Tonni y Fidalgo 1978, Imbelloni y Cumba 2003, Fucks 2005, Fucks y Deschamps 2008), como así también la intercalación de unidades marinas de diferentes episodios transgresivos.

En los sectores más elevados de la zona de estudio (cotas de 30 m s.n.m.), la Fm. Pampeano puede alcanzar espesores de 50 m aproximadamente, apoyándose sobre las arenas fluviales de la Fm. Puelches. En los 15-20 m superiores (Fig. 3) fueron definidas las Formaciones Ensenada, Buenos Aires y La Postrera, asociados a los eventos Brunhes y Matuyama (Riggi *et al.* 1986, Imbelloni y Cumba 2003, Bidegain *et al.* 2002). En ellos puede observarse la alternancia de sedimentos loésicos y paleosuelos, debido a la combinación de tres procesos. Por un lado, un importante aporte eólico en periodos glaciales (tipo modelo de los fuertes vientos), en segundo lugar pedogénesis bajo condiciones de humedad y pedogénesis (moderada) durante periodos de clima relativamente más seco (glaciales) (Bidegain y Rico 2004). Muchos de estos paleosuelos pueden corresponder genéticamente a más de un ciclo de formación (Kemp *et al.* 2006) o incluso puede coexistir una continuidad de la acumulación con la formación de suelos (Blasi *et al.* 2001).

Si bien las edades numéricas que se conocen en la zona rondan los 200 ka (Kemp *et al.* 2006) y >390 ka (Kruck *et al.* 2011), los estudios magnetoestratigráficos indican que los sedimentos más antiguos estudiados, correspondientes a los 15 m superiores, tienen una edad cercana a 1 Ma (Bidegain y Rico 2004).

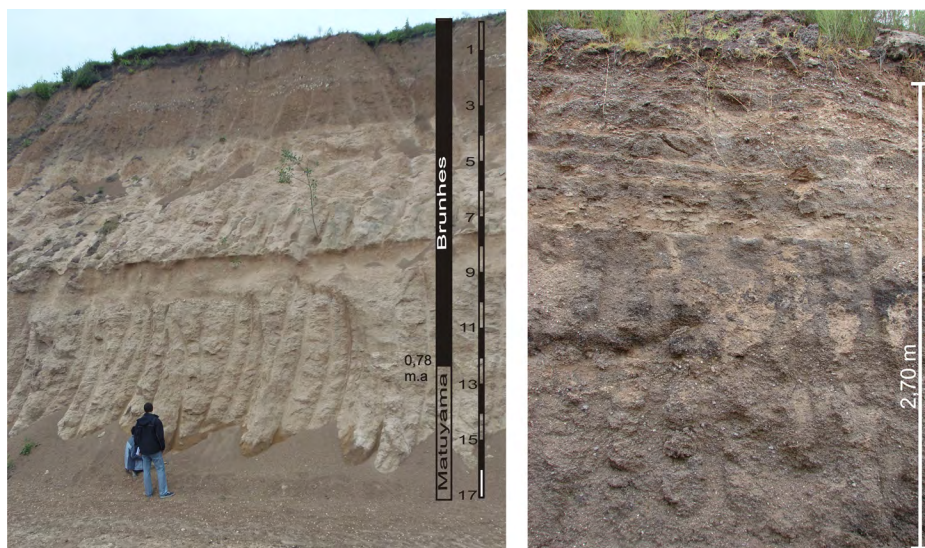


Figura 3: a) Afloramiento de la Fm. Pampeano en la cantera Juárez ($34^{\circ}57'19,16''S/ 57^{\circ}52'49,96''O$); b) Fm. Puente de Pascua en la cantera de vialidad ($35^{\circ} 3'57,55''S/ 57^{\circ}34'25,84''O$).

Los cursos de agua están desarrollados en los sedimentos loesoides de la Fm. Pampeano, observándose en discordancia secuencias fluviales, areno-fangosas de colores castaños, verdes y grises del Pleistoceno Tardío tardío-Holoceno correspondiendo al Estadio Isotópico 1.

Planicie costera

La planicie costera (Fidalgo y Martínez 1983, Cavallotto 1995) se desarrolla desde la línea de costa hasta el paleoacantilado que lo separa de la planicie continental, presentando inflexiones hacia el continente allí donde el paleoacantilado es atravesado por los cursos de agua superficiales (Fig. 2). Constituye una franja de unos 4 a 8 km de ancho paralela al estuario del Río de la Plata, con una pendiente imperceptible (entre 0,06 a 0,1%) y formas cóncavas, sobre la cual se han desarrollado redes anárquicas y amplios bañados. Este sector es atravesado por el arroyo El Pescado y numerosos canales artificiales, construidos para drenar los caudales de los demás cursos de agua.

Evidencias geomorfológicas y sedimentológicas han permitido reconocer la ocurrencia de diferentes registros asociados a eventos cálidos durante el Cuaternario. Los depósitos más antiguos (Interensadense, Ameghino 1908) se encuentran intercalados en la parte media de la Formación Pampeano a una cota de -5 m s.n.m., compuestos por limos arcillosos castaño verdosos, con restos

de valvas marinas, que fueran asignados al Plioceno (SD4, Parker *et al.* 2008), aunque podrían corresponderse con un evento transgresivo más joven.

Los depósitos del Pleistoceno Tardío (MIS 5e) han sido agrupados en la región en la Formación Puente de Pascua (Fidalgo *et al.* 1973, Fucks *et al.* 2010) y se encuentran intercalados en forma de cuña en la parte superior de la Formación Pampeano, aflorando en forma saltuaria en cercanías del paleoacantilado holoceno.

En diferentes localidades dentro del área de estudio, esta unidad ha sido observada a alturas máximas del orden de los 6-8 m.s.n.m (Aguirre y Fucks 2003, Schnack *et al.* 2005). Edades radiocarbónicas indican edad pleistocena (Cortezzi 1977, Colado *et al.* 1995, Isla *et al.* 2000) y OSL de 128 ka (Zárate *et al.* 2009) confirman su pertenencia al Estadio Isotópico 5e.

Los depósitos transgresivos holocenos (MIS 1) son los que presentan mejores registros litológicos y geomorfológicos, observándose en una franja paralela a la costa respondiendo a alturas del nivel del mar del orden de los 3-4 m (Fucks *et al.* 2010, Prieto *et al.* 2016). Esta unidad se encuentra a modo de prisma sobre el loess pampeano y está formada por varias facies sedimentarias (Cavallotto 1995). La unidad basal está constituida por limos arcillosos a arcillas limosas, de color verde oliva a negro con intercalaciones de capas de arena fina del mismo color, de

alto límite líquido. Por encima y en forma transicional los sedimentos se hacen más firmes, plásticos y adhesivos y con colores verdosos a castaños.

Estos sedimentos se habrían acumulado en un ambiente estuárico de un Río de la Plata más amplio, evolucionando a ambientes de llanuras de mareas y posteriormente a ambientes de marismas. El espesor del conjunto varía de escasos metros en la parte más interna a un máximo de 30 metros hacia el río, presentándose en gran parte del subsuelo de la planicie costera. Contiene fauna de moluscos, foraminíferos, crustáceos y vegetales (Cavallotto 1995, Rodríguez . 2015). Sobre valvas de *Erodona mactroides* en el canal Peyreya (CP) se obtuvo una edad de 6860 ± 100 años A.P. (LP 2769). Por encima y cerca de la línea de costa se observan gravas, arenas y conchillas y en menor proporción limos. Los sectores de texturas más gruesas, compuestos de toscas y conchillas, suelen presentar intercalaciones de arenas y limos castaños a castaños oscuros con valvas de moluscos marinos articuladas. El conjunto presenta un espesor promedio aproximado de 3 m. Conforman cordones alargados en el sentido de la línea de costa, observándose la mayor parte de éstos en la zona que va desde La Balandra a Los Talas (Fig. 4), perdiéndose en las inmediaciones del casco urbano de Berisso. Si bien el núcleo de este paquete sedimentario está formado esencialmente por gravas (incluyendo en esta granulometría a las conchillas) hacia el continente los depósitos son más finos, pese a estos cambios granulométricos el conjunto constituye una unidad litológica única. Edades obtenidas de estos depósitos cercanos a la costa arrojan 2990 ± 40 años A.P. (Cortezzi y Lerman 1971) y 4630 ± 80 años A.P. (LP-2788 sobre *Mactra isabelleana*).

Acumulaciones similares se encuentran entre los partidos de Berisso y Ensenada (Fig. 5), en el entorno del paleoacantilado que indica el límite de la ingesión. También en el Parque Ecológico Municipal de La Plata, con menores dimensiones, constituyendo concentraciones orgánicas muy seleccionadas con edades radiocarbónicas de 6169 ± 50 años A.P. (Cortezzi 1977) y 6020 ± 90 años A.P. (Cavallotto 1995).

El conjunto de estos depósitos corresponden a playas y cordones de tormenta generados en dos momentos de estabilización del nivel del mar. Los cordones más internos

se originaron cuando se alcanzó el máximo transgresivo en torno a los 6 ka y los más externos en torno a los 4-3 ka. En la figura 6 se resume el conjunto de secuencias litológicas descriptas en tres sectores, su disposición, contactos y relaciones entre las unidades.

La planicie costera está constituida desde el punto de vista morfo-sedimentario por un conjunto de unidades menores: paleoestuarios, llanuras de marea relictuales, cordones litorales, llanura estuárica, sistema deltaico y playa.

Paleoestuarios: se encuentran en el contacto entre la planicie continental y la planicie costera, donde contrastan los valores de pendientes y coinciden espacialmente con los valles que fueron afectadas por la ingesión holocena, correspondiente a los arroyos Rodríguez, Martín, Don Carlos, El Gato, Garibaldi y El Pescado (Figs. 2 y 4). Presentan una topografía plano-cóncava, forma de embudo y están limitados por la curva de nivel de 5 m. En estos sectores se encuentran depósitos arcillosos indicadores de baja

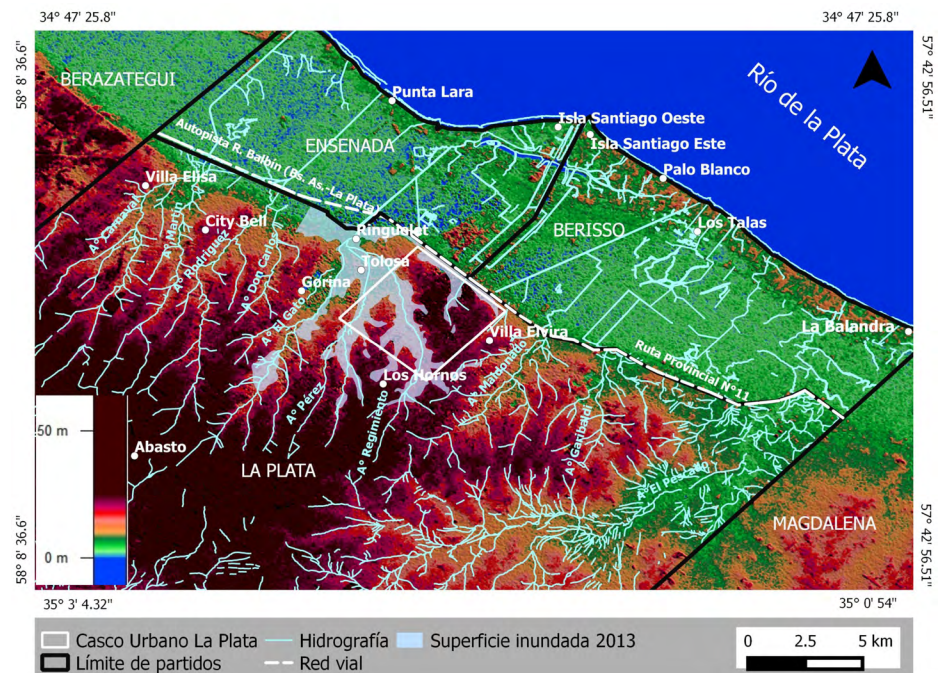


Figura 4: Modelo de elevación digital con la red drenaje del área, y un detalle de la superficie afectada del casco urbano platense y zonas aledañas durante la inundación del 2 de abril del 2013 (Liscia 2013). Fuentes: DEM realizado a partir de Shuttle Radar Topography Mission del United State Geological Survey. Red de drenaje: Municipalidad de La Plata. Límites de Partidos del IGN.

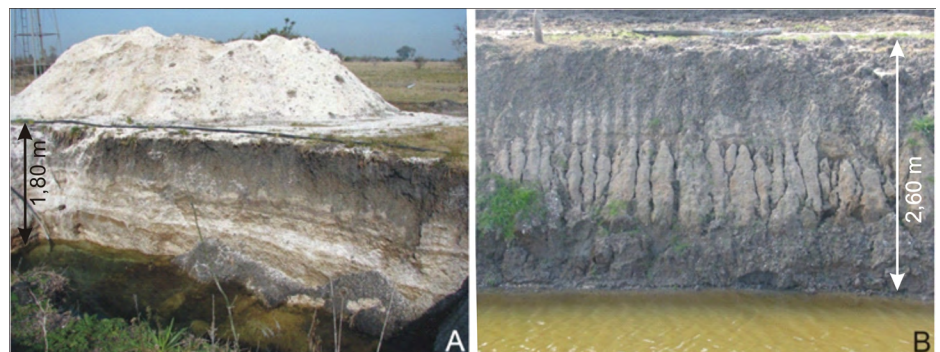


Figura 5: Cortes artificiales en dos canteras en las inmediaciones de la ciudad de Berisso. A: nivel de conchillas; B: niveles de arenas limosas fosilíferas.

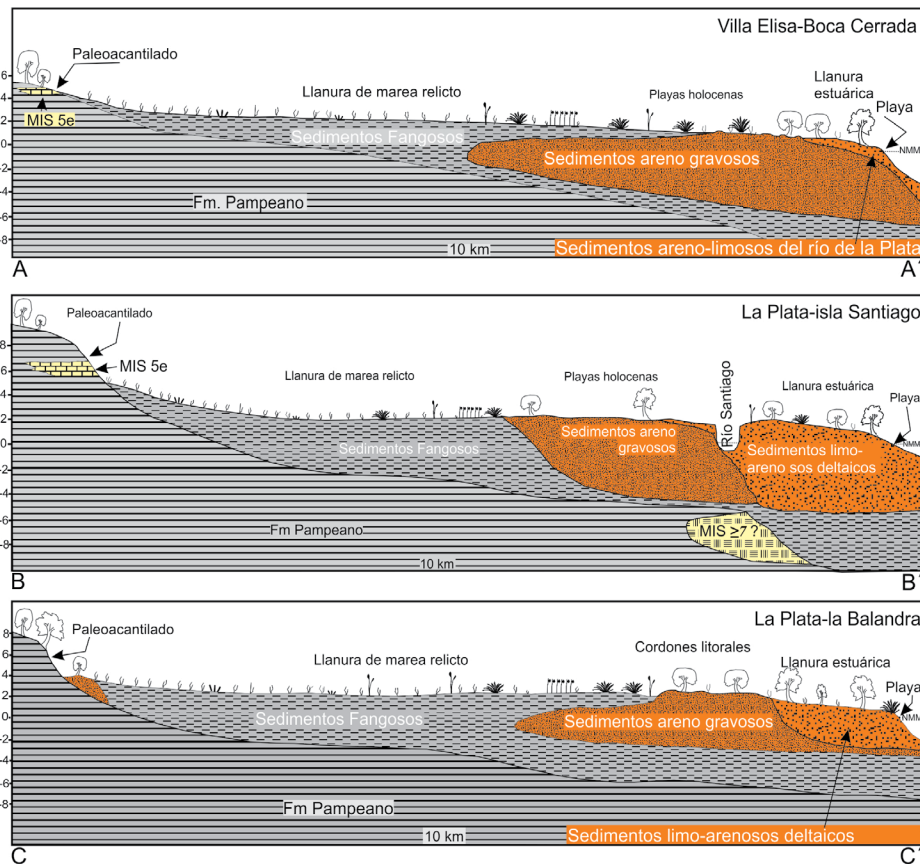


Figura 6: Perfiles geológico-geomorfológicos de la planicie costera transversales al Río de la Plata, indicados en la figura 1. Las secuencias fueron confeccionadas a partir de perforaciones manuales e información antecedente (Dirección Provincial de Vialidad, Cavallotto 1995, Cortezzi *et al.* 1999).

energía, junto con cordones de conchillas que evidencian los efectos de las tormentas durante el máximo transgresivo holoceno, como en el Parque Ecológico de La Plata. Son ambientes muy anegables y algunos de éstos paleoestuarios, correspondientes a los arroyos Martín, El Gato y El Pescado, fueron intensamente afectados por las inundaciones ocurridas en abril del 2013.

Llanuras de marea relictuales: estas geofor-mas se desarrollan entre el paleoacantilado y la línea de cordones litorales dispuestos en cercanías de la costa. Presentan un relieve plano cóncavo, que permitió el desarrollo de amplios bañados y pantanos con cauces anárquicos o remanentes de canales de marea, cubiertos de pajonales. Las depresiones más importantes son los bañados de Maldonado y de la Ensenada (Fig. 2), que tienen un régimen temporario y representan antiguas llanuras de mareas y marismas (Fig. 7a). En otros sectores dentro de este ambiente, pueden observarse vestigios de antiguas lí-

neas de costa, identificables por su paralelismo, que representan diferentes posiciones en su paulatino retroceso hasta alcanzar la posición actual (Fig. 7b).

Progresivamente, las llanuras de marea relictuales fueron quedando aisladas de la acción de las mareas y convertidas en marismas debido al descenso del nivel del mar y la consolidación de los cordones litorales generados desde el Sur. Los depósitos de llanuras han sido datados en 6860 ± 100 años A.P. (LP 2769) mientras en 3-4 ka los cordones que la aislaron del mar, esto indicarían el lapso de tiempo en que este ambiente estuvo en formación. Una vez producido el cierre de acceso al mar, los cursos de agua que drenan el área continental depositan su carga y desaparecen. Recientemente, la construcción de una gran cantidad de canales para la evacuación y drenaje de esta zona está posibilitando su urbanización.

Cordones litorales: estas geofor-mas se reconocen cerca de la costa actual donde se observa

una superficie plana o suavemente convexa paralela a ella. Pueden estar representados por un único cordón de 1 km de ancho compuesto fundamentalmente de arenas y conchillas y con vegetación arbórea de *Celtis tala*, o por un conjunto de pequeños cordones individuales (Fig. 7c). En el partido de Berisso (zona de Los Talas) se produjo la explotación comercial de las conchillas que conforman estos cordones. Hacia el norte, en el partido de Ensenada, las concentraciones de conchilla disminuyen sensiblemente siendo remplazadas por cordones o lineaciones de arena, paralelos a la costa.

Las edades de estos cordones litorales fluctúan entre los 4 (los más internos) y 3 ka. Existen algunos cordones de conchilla aislados en el contacto entre la planicie costera y la planicie continental, representando las morfologías más antiguas en la zona (6 ka).

Playa: esta forma de acumulación presenta un ancho de 100 a 150 m y tiene una suave pendiente que oscila entre valores de 1 a 3°. En aquellos sectores poco disturbados, la playa está limitada por un pequeño escalón del orden de los 0,50-1 m, aserrado en planta y vegetado principalmente por especies de *Scirpus*, *Schoenoplectus* y *Eleocharis* (Passarelli *et al.* 2014, Fig. 6d). Si bien la costa presenta claros signos de erosión (escalón y remanentes de monte dentro del río) también se presentan sectores puntuales donde hay acumulación. El asentamiento de la vegetación genera la estabilización de las playas, disipando la energía durante las tormentas o pleamares excepcionales y reteniendo sedimentos y materiales antrópicos. En algunos sectores la playa está representada por una sucesión de barras longitudinales paralelas a la costa (Cavallotto 1995). Esto puede apreciarse claramente en la zona del Puerto de la Plata y en Punta Lara, donde se ha producido la progradación continental de decenas a centenares de metros, que van paulatinamente vegetándose.

Llanura estuárica: es una franja angosta (1 km de ancho promedio) alledaña a la costa actual y apoyada sobre los cordones litorales, que se desarrolla desde La Balandra hacia el noroeste y con una suave pendiente hacia el río. Está surcada por cursos de agua con diseños sinuosos, dispuestos de manera transversal, oblicuos y paralelos a la costa, indicando en este último caso la deriva litoral sureste-noroeste. Si bien la construcción de canales ha favorecido el drenaje sobre esta

morfoloía, los mismos también facilitan los ingresos del agua durante las sudestadas. Una espesa vegetación de tipo selvática, que constituye el relicto más austral de las selvas en galería que bordean los ríos Paraná y Uruguay (Passarrelli *et al.* 2014), caracteriza esta morfoloía a la que se le han adicionado otros rasgos propios de las actividades forestales, vitivinícolas y otros emprendimientos locales

Los sedimentos que ocupan esta franja costera desde La Balandra hasta la isla Santiago son limos y arenas castaños grisáceos, con intercalaciones de arcillas. Representan los depósitos del río Santiago-El Pescado que, por efecto de la deriva litoral, han formado un delta paralelo a la costa y cuyos sedimentos son retrabajados por el Río de la Plata (Fucks *et al.* 2014), su máximo desarrollo se encuentra a la altura de la isla Santiago con 2 km de ancho, estando toda esta geoforma sujeta a las sudestadas.

EVOLUCIÓN GEOMORFOLÓGICA

Las diferentes unidades geomorfológicas de la margen sur del Río de la Plata se pueden acotar temporalmente al Pleistoceno Tardío- Holoceno, destacándose aquellas generadas durante el ascenso, estabilización y descenso del nivel del mar durante el Holoceno.

Durante el Pleistoceno la depositación-deflación de *loess* y la pedogénesis han sido los procesos más importantes, asociados fundamentalmente a los periodos glaciales-interglaciares, que dan origen a la morfoloía característica de la región pampeana.

El escurrimiento superficial contribuye a modelar un paisaje ondulado que resulta menos acentuado que aquel denominado pampa ondulada (Fidalgo 1992) ubicado inmediatamente al norte, desde Capital Federal hasta la ciudad de Rosario.

En un contexto de mar bajo y el río Paraná funcionando como nivel de base, la profundización de los cauces fue mayor en la pampa ondulada que en las redes de drenaje del área de estudio, donde la longitud de los cursos fue mayor hasta su conexión con el río Paraná que se encontraba en cercanías de la margen uruguaya (Cavallotto 1995, Guilderson *et al.* 2000).

Luego de la última glaciación, se establecieron en la región condiciones climáticas de

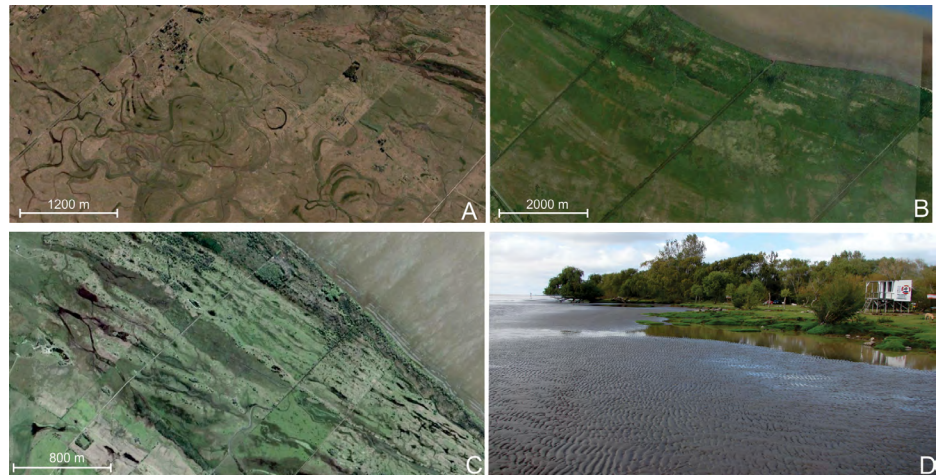


Figura 7: a) Canales de mareas en la llanura de marea relictual; b) Paleocostas; c) Cordones de arena y conchilla; d) playa.

tipo cálido-húmedas. El progresivo ascenso del nivel del mar llevó a la conformación de extensas planicies costeras y a la formación de un acantilado (> 5 m) que marca el límite de la misma y separa la planicie continental de la planicie costera, situándose en cercanías de la línea ferroviaria que une la ciudad de La Plata con la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y en su proyección hacia el sur se superpone con el trazado de la ruta provincial 11 (Fig. 8a).

Los amplios y espesos depósitos fangosos desarrollados a lo largo del extenso Río de la Plata y en sus valles tributarios son el producto de la descarga del río Paraná sobre la masa de agua salada del estuario platense (Cavallotto 1995). Entre los 6-7 ka el mar habría alcanzado su límite más occidental (Cortelezzi 1977, Cavallotto 1995) (Fig. 8b).

Una vez estabilizado el nivel del mar, formándose localmente algunos cordones de conchillas en el límite con la llanura continental, comienza un progresivo descenso transformando el área en una amplia llanura de mareas. En esta etapa de estabilización se formó en cercanías de la costa actual una serie de cordones litorales de composición areno gravosa (gran cantidad de restos orgánicos de tamaño grava) que aislaron definitivamente la llanura de mareas entre los 2990±40 años A.P. (Cortelezzi 1977) y 4630±80 años A.P. transformándola en un ambiente relicto asociado a marismas (Fig. 8c).

A partir de este cierre y con en el mar en descenso, el drenaje se produce por antiguos canales de marea, que logran atravesar los cordones litorales, comenzando a drenar las marismas directamente al estuario platense. El arroyo El Pescado, curso cuya cuenca es la de mayor superficie, comenzó a formar un delta que por deriva litoral sureste-noreste se fue recostando sobre la costa preexistente, amalgamándose sobre los cordones litorales. Otros cursos menores también aportaron su carga sobre la costa generándose un complejo deltaico. Estos depósitos continuaron creciendo por la influencia de un curso sinuoso (actual arroyo La Maza) cuyo frente fue trabajado por las aguas del Río de la Plata. Dentro de este proceso de progradación deltaica, comenzó a formarse una espiga angosta que deja en su interior a la ensenada de Barragán, sitio utilizado en la época colonial como puerto alternativo al de Buenos Aires. En los primeros mapas de la zona (1730) se observa una amplia ensenada alargada en el sentido de la costa, con gran cantidad de barras en su parte más interna donde desembocaban varios cursos y que se asociaría a un delta dominado por mareas (Boyd *et al.* 2006).

A pesar de los procesos de acumulación que se producían en la ensenada de Barragán, la desembocadura del río Santiago, la puerta de entrada a la ensenada, se mantuvo abierta hasta que la construcción del puerto La Plata (inaugurado en 1890), el que desvió el escurrimiento por el canal de acceso, qui-

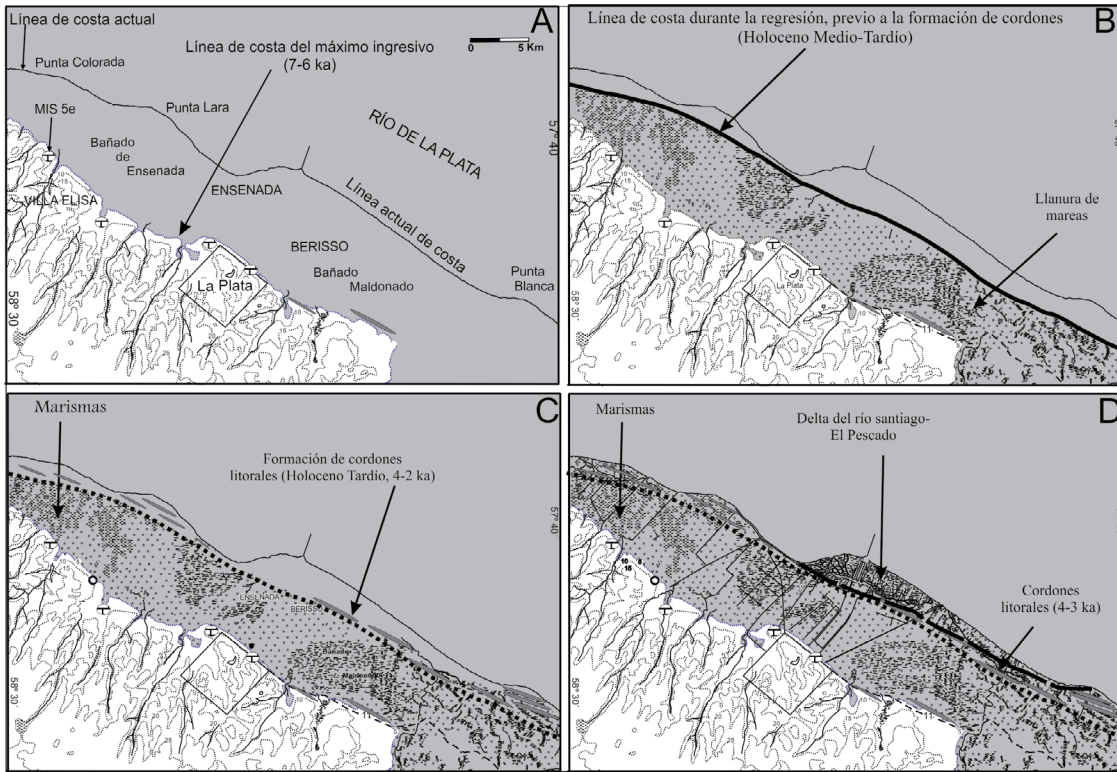


Figura 8: Evolución geomorfológica de la región del Gran La Plata.

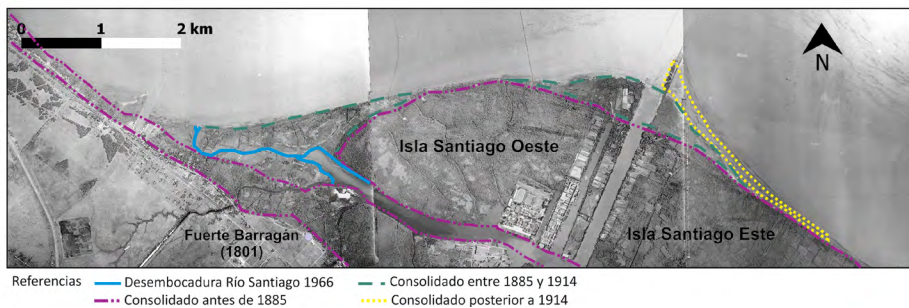


Figura 9: Análisis seriado de materiales topográficos, aerofotográficos y satelitales que permiten reconstruir la porción final de la ensenada de Barragán. Las líneas de colores representan los distintos periodos de consolidación de las diferentes unidades morfológicas. Mosaico fotográfico de base de 1966, dirección de Geodesia de la Provincia de Buenos Aires.

tándole dinámica a la porción final, llevando prácticamente a la obstrucción total debido al nuevo patrón de circulación interna (Figs. 8d y 9). La construcción de dos líneas paralelas de tablestacado para garantizar el acceso seguro de las embarcaciones al puerto (al disminuir la sedimentación en el canal de acceso), provocó la paulatina agradación tanto hacia el norte (Isla Santiago Oeste), vinculada a la descarga del Río de la Plata, como hacia el sur (Isla Santiago Este; ver en figura 9 sectores consolidados a partir de 1885), relacionada a la deriva litoral de dirección sur-norte.

EVENTOS METEOROLÓGICOS SIGNIFICATIVOS

Los eventos de tipo catastróficos están directamente relacionados con la ocurrencia de eventos meteorológicos significativos, como sudestadas, precipitaciones abundantes en cortos periodos de tiempo y tormentas severas acompañadas de fuertes vientos. Las características particulares -altura y pendiente- de las unidades geomorfológicas planicie costera y la planicie continental, en el área de estudio, y la disposición de la su-

perficie urbanizada potencian el efecto y los daños que estos eventos causan.

Sudestadas

Son eventos de anomalía climática de fuertes vientos provenientes del E-ESE que soplan sobre el Río de la Plata, pudiendo estar o no asociados a precipitaciones. Las sudestadas se originan cuando se produce la conjunción de dos sistemas de circulación atmosférica: uno de baja presión, que aporta aire cálido y húmedo, que se localiza en el norte de Argentina o Uruguay, y otro de alta presión, de aire frío marítimo, ubicado frente a las costas patagónicas (SMN 1989). La masa de aire se moviliza desde los centros de alta hacia los de baja presión dando origen a la afluencia de vientos del sudeste. La misma genera una onda de tormenta (ODT) que ingresa por el estuario del Río de la Plata, aumentando el nivel de las aguas a medida que se aproxima a la costa. Bischoff (2005) determina una altura mínima de 1,60 m para la ODT de sudestada, debiendo luego sumarse la altura de la marea a nivel local. El efecto Coriolis acentúa el fenómeno pues impulsa las aguas hacia la costa argentina, y sumado a la baja pendiente

de la misma, el aumento del nivel del río puede desencadenar inundaciones en la planicie costera. Las sudestadas interrumpen el normal flujo de aguas de los ríos Paraná y Uruguay, e incluso de los ríos y arroyos que vuelcan sus aguas al Río de la Plata, al actuar como efecto “tapón”, potenciando la inundación de las zonas bajas aledañas a los mismos. La duración de las inundaciones provocadas por este evento puede extenderse desde algunas horas hasta dos o tres días.

En cuanto a la frecuencia mensual de ocurrencia de las sudestadas, aquellas acompañadas por precipitaciones presentan dos máximos, en enero y entre septiembre y octubre, con un mínimo en el mes de mayo extendido hasta junio y julio (Bischoff 2005). Los eventos no acompañados por precipitaciones poseen máximos en los meses de marzo y noviembre, siendo junio el mes donde ocurren la mayor cantidad de sudestadas fuertes, y octubre el que presenta mayor frecuencia (SMN 1989). Existe una correlación entre la ocurrencia de sudestadas y una mayor frecuencia de vientos del cuadrante sudeste, entre principios de la primavera y el final del verano (Escobar *et al.* 2004).

La ocurrencia de sudestadas se ha modificado en las últimas décadas, con una tendencia hacia el aumento en la frecuencia, duración e intensidad de los eventos, tomando como referencia una onda de tormenta de 1,60 m y una duración mayor a 24 hs (Escobar *et al.* 2004, Vargas y Bischoff 2005, D’Onofrio *et al.* 2008). La frecuencia anual de los eventos con una ODT de 2,05 metros no ha sufrido grandes variaciones (Escobar *et al.* 2004).

Siguiendo a Balay (1961), el nivel sobre el 0 del Riachuelo (-0,56 m con respecto al nivel medio del mar, en Mar del Plata) que alcanza el rango de alerta es $\geq 2,50\text{m}$, con un nivel de emergencia $\geq 2,80\text{m}$, y de evacuación de $\geq 3,20\text{m}$. Bischoff (2005) analizó 297 casos de sudestadas ocurridas entre 1951-2000. En el 15% de los eventos la ODT fluctuó entre 2-3 m y la duración fue mayor a 24 hs, mientras que sólo el 1% (3 casos) se corresponde con eventos extremos en el cual la ODT fue mayor a 3 m. Aunque esta probabilidad es baja, no debe ser menospreciada a la hora de prevenir las consecuencias que podrían traer estos eventos.

Precipitaciones ordinarias y extraordinarias

El criterio de diferenciación de precipitaciones ordinarias y extraordinarias para Cipponeri *et al.* (2014) surge de la capacidad efectiva de los sistemas de desagüe pluvial para escurrir el agua precipitada. Las precipitaciones extraordinarias, a diferencia de las ordinarias, son aquellas cuya recurrencia es mayor a la considerada para la construcción de los desagües de un área.

En particular, las precipitaciones en el área de estudio presentan una variación estacional, con una máxima relativa en verano y otoño, y una mínima en invierno. Asimismo, efectuando un análisis temporal a largo plazo, la serie anual de precipitaciones estudiada por Kruse *et al.* (2014) entre los años 1909 y 2011 indica alternancia de ciclos húmedos y secos, con una leve tendencia al aumento de las mismas. Camillioni (2005) destaca una tendencia similar a lo largo de la costa este de Sudamérica, asociado al desplazamiento latitudinal hacia el sur del anticiclón del Atlántico Sur, a partir de la década de 1960 en Argentina. Esta tenden-

cia también podría correlacionarse con la mayor intensidad y frecuencia de eventos El Niño.

En cuanto a las precipitaciones extraordinarias en el Gran La Plata, Cipponeri *et al.* (2014) indican que su frecuencia y magnitud ha aumentado en los últimos años, particularmente a partir de la década del 70.

LAS INUNDACIONES DE CONSECUENCIAS CATASTRÓFICAS

Las inundaciones en el área de estudio obedecen a dos causas principales: aquellas relacionadas con las sudestadas y las producidas por precipitaciones extraordinarias. Ambos fenómenos suelen potenciarse, aunque tienden a concentrarse en sectores distintos, quedando circunscriptas las sudestadas a la planicie costera.

Inundaciones por sudestadas

Las sudestadas constituyen las principales causas naturales de inundaciones en las zonas costeras. Si bien la planicie costera de la

CUADRO 1: Sudestadas y Precipitaciones Extraordinarias

Evento	Altura ¹ (en metros)	Zona Afectada	Daños materiales	Pérdidas humanas
18/8/1914	3,90 MOP	Isla Paulino e Isla Santiago	Anegamientos	4 muertos (Isla Paulino)
15/4/1940	4,45 MOP ODT 3,24 m Vientos > 100 km/h	Isla Paulino, Isla Santiago, Los talas y Palo Blanco	Edificaciones costeras arrasadas.	Se registraron pérdidas humanas
27/7/1958	3,85 MOP ODT 3,10 m	Alto impacto en la ribera de Berisso y Ensenada. Islas Santiago y Paulino quedaron cubiertas.	Deterioró del murallón y puente del A° Miguelín en Punta Lara. Anegamientos en el bañado lindante a la refinería de YPF.	Evacuados en zonas afectadas y 11 muertos en la Región Metropolitana
12/11/1989	4,06 MOP ODT 3,25	Punta Lara Cascos urbanos de Berisso y Ensenada altamente inundados.	Daños en el murallón de Punta Lara y anegamientos de calles.	8000 evacuados y 1 muerto (en Punta Lara).

Eventos destacados de Inundaciones por Sudestadas detallando las localidades afectadas en cada uno y los daños sufridos durante el periodo 1914-1989. El nivel 0 MOP equivale al nivel 0 del Riachuelo (-0,56 ms.n.m.). Fuente: Diarios El Día y El Argentino, ¹Bischoff (2005).

zona de estudio es afectada periódicamente por este fenómeno, se han registrado, desde los inicios del registro de mareas en Buenos Aires en 1905, al menos 72 eventos relacionados a sudestadas (ODT positivas) con alturas significativas.

Para el periodo 1950-2013, se destacan al menos ocho eventos con alturas (nivel MOP) cercanas o superiores a los 3,50 m (Re *et al.* 2015; Fig. 10). Si bien se han registrado numerosas alturas de sudestada que sobrepasan el límite de alerta y evacuación para el área de estudio (2,50 m/2,65 m y 2,80 m/3,15 m para Berisso y Ensenada respectivamente), se destacan los eventos de 1914, 1940, 1958 y 1989 (ver detalle de los mismos en el cuadro 1) por la magnitud del impacto derivado de los mismos. En los registros periodísticos, suelen mencionarse siempre como zonas afectadas a las localidades costeras de isla Paulino (también denominada como Santiago Este), Los Talas y Palo Blanco (partido de Berisso), e isla Santiago Oeste y Punta Lara (partido de Ensenada). Se destaca en alguno de estos eventos el anegamiento en el casco urbano de las ciudades de Berisso y Ensenada, producto del aumento del nivel de las aguas en los canales o, eventualmente, de las precipitaciones que pueden acompañar a las sudestadas. Los mayores impactos por acción del oleaje son destacados en el caso de Palo Blanco, Los Talas y Punta Lara, localidades más expuestas a la dinámica del oleaje del estuario. Por su parte, las islas Santiago y Paulino poseen registros de inundación producto de las sudestadas, debido a su escasa altura y suave pendiente. Las áreas pobladas y sectores productivos se encuentran protegidos del embate de las olas por el monte ribereño.

D'Onofrio *et al.* (1999) calcularon un periodo de retorno para alturas extraordinarias en el Río de la Plata (similares a la de abril de 1940) de 265 años. Sin embargo, teniendo en cuenta las alturas de alerta y evacuación para Berisso y Ensenada (2,50 m/2,65 m y 2,80 m/3,15 m respectivamente), los periodos de retorno oscilan entre 2,5 y 9 años. Cabe destacar que tanto Berisso como Ensenada han emprendido obras de defensa costera para evitar o disminuir los efectos de la sudestada en sus respectivos territorios. El terraplén costero de Berisso, que comenzó a construirse en el año 2010, presenta una traza paralela a la costa actual de 7,5 km. con una elevación de 4 m s.n.m. Se com-

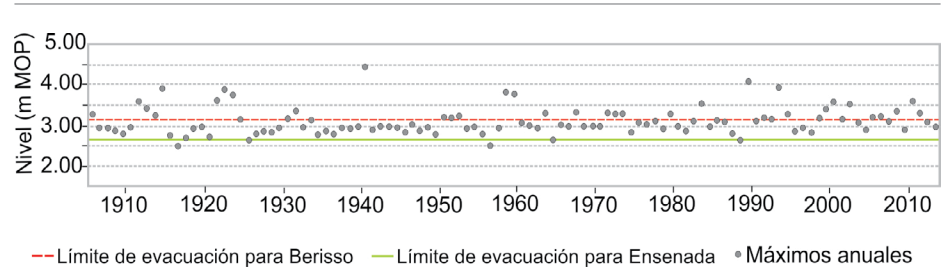


Figura 10: Serie de máximos anuales de altura de inundación con valores mayor o igual a 2,50m, nivel de alarma medido por el mareógrafo del Riachuelo (plano de reducción Ministerio de Obras Públicas). Modificada de Re *et al.* (2015).

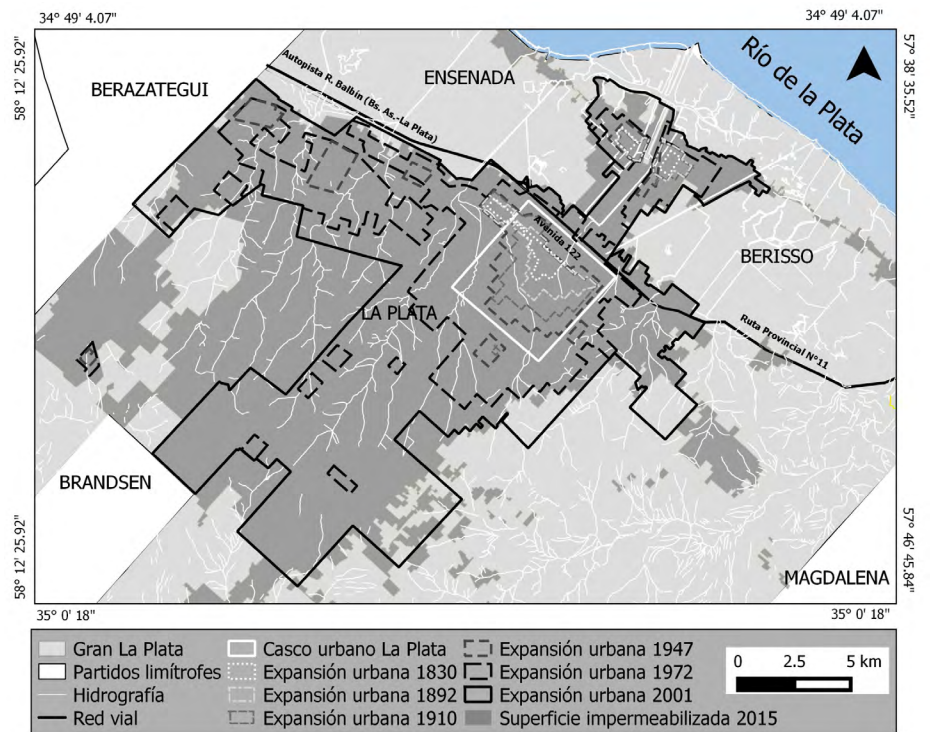


Figura 11: Mapa del área de estudio registrando el crecimiento urbano del Gran La Plata para los periodos mencionados. Imagen de elaboración propia a partir de 1) imagen de base: IGN escala 1:250000; 2) límites de expansión urbana: Dirección de Ordenamiento Urbano de la Provincia de Buenos Aires y 3) superficie impermeabilizada 2015: imagen satelital QuickBird, Google Earth.

plementa con obras de desagüe y estaciones de bombeo para encauzar el drenaje de las aguas continentales. Su efectividad paliativa de las sudestadas fue puesta a prueba en 2014, cuando la obra contuvo un pico de 3,20 m de altura.

Por su parte, la margen costera de Ensenada presenta, en la localidad de Punta Lara, un murallón costero con rompeolas (elevación 3 m s.n.m), construido a mediados de la década de 1940.

La combinación de la altura de la ODT y las mareas, en particular la pleamar más alta, pueden ser desencadenantes de eventos significativos con alto impacto en la población. Asimismo, la conjunción de sudestadas con eventos de abundante precipitación aumenta el riesgo de inundación.

Inundaciones por precipitaciones extraordinarias

Vastos sectores de la planicie continental

han sufrido inundaciones desde tiempos históricos, siendo las planicies de inundación en los sectores medio e inferior de las cuencas y los paleoestuarios los ámbitos geomorfológicos más afectados.

El crecimiento del casco urbano de la ciudad de La Plata y sus ampliaciones al sur y norte se desarrollaron siguiendo, en principio, el sentido de las vías de comunicación férreas y viales, que vinculaban la ciudad con el interior de la provincia (zona sur) y con la ciudad de Buenos Aires (zona norte). El área urbanizada (Fig. 11), que en 1910 era de 16,8 km², aumentó a 26,9 km² en 1947. En el año 1972 se registró una expansión a 105 Km², valor que ascendió a 271 km² para el 2001, llegando en el año 2015 a 366 km². Este último valor refleja, de manera conjunta, la superficie urbanizada (según amanzanado) y la superficie ocupada por invernáculos (obtenida mediante fotolec-tura de una imagen satelital QuickBird del año 2015).

El aumento de la superficie del área urbanizada conlleva, cuando la ocupación del suelo es significativa, la impermeabilización de la superficie disminuyendo la capacidad de absorción del suelo. La construcción de invernáculos, propia de la actividad hortícola intensiva en la periferia del área urbana de La Plata, ha aumentado significativamente en el último quinquenio, factor que potencia la impermeabilización de la superficie, máxime en las nacientes de la cuenca del arroyo El Gato.

Gran parte de las urbanizaciones desarrolladas a partir de 1947 (Fig. 11) se ubican sobre las planicies de inundación y las márgenes de los arroyos, ocupándolos total o parcialmente para 1972. Liscia (2013) destaca que la urbanización se extendió, al menos en el casco urbano platense, superponiéndose al relieve natural, por lo que las calles emulan los cauces de los arroyos, canalizando el agua de las lluvias por donde estas escurrirían de no existir urbanización. Lo mismo ocurre con algunos paleoestuarios como los de los arroyos El Gato, Maldonado y Rodríguez que han sido total o parcialmente urbanizados.

La creciente presión urbana sobre estos terrenos bajos ha aumentado el riesgo de inundaciones; la frecuencia e intensidad con la cual ocurren las mismas en la ciudad registra un aumento en las últimas décadas. Scarpatti y Benitez (2005) analizaron

CUADRO 2: Inundaciones por precipitaciones extraordinarias destacadas durante el período 1998-2013.

Evento Precipitación (mm) Intensidad (mm/h)	Zona Afectada	Consecuencias y causas probables (CP)	Evacuados y pérdidas humanas
Enero 1998 119,4 mm en pocas hs. sin datos	Casco urbano (Plaza Paso), City Bell, Villa Elisa (desborde A° El Gato), Los Hornos y accesos a la ciudad	Anegamientos CP: Obsolescencia de los desagües y falta de obras	Cerca de 100 evacuados en La Plata y Berisso.
Diciembre 1998 70 mm 59 mm/h	Cascos urbanos de Berisso, Ensenada y Punta Lara, NE La Plata: zonas cercanas al Paseo del Bosque (1,20 m de altura) Tolosa y Ringuet (0,50cm)	Anegamientos CP: remodelación de Av. 44 sin cambiar los desagües. Extensión del pavimento en áreas de la periferia sin las correspondientes obras hidráulicas. Obsolescencia de los desagües	No hubo registro de evacuados
Enero 2002 121,2 mm 75 mm/h	Desborde del A° El Gato (afectó desde Tolosa a City Bell), A° Maldonado (Villa Elvira) A° Perez (zona N de La Plata)	Anegamientos CP: construcción del tramo Hudson-La Plata de la autopista Buenos Aires - La Plata, (inaugurada en mayo de ese año) que frena el escurrimiento de las aguas del norte del partido	>70000 evacuados
Febrero 2008 240,0 mm 90 mm/h	N del partido de La Plata: periferia de City Bell, Villa Elisa, Gorina, Ringuet y Abasto, áreas céntricas en el eje de la avenida 13	Anegamientos CP: falta de limpieza de cursos de los arroyos. Autopista Buenos Aires- La Plata impidió el escurrimiento	900 evacuados en La Plata y 1 muerto
Abril 2013 392,2 mm 100 mm/h	Afectó casi exclusivamente en el casco urbano de La Plata, principalmente a la población radicada sobre o en cercanías de las antiguas líneas de drenaje (Figura 9)	Anegamientos, incendio en sector de Refinería YPF CP: impermeabilización del suelo, falta de obras hidráulicas y la magnitud extraordinaria de la tormenta	89 muertos (según datos oficiales) y más de 70000 viviendas inundadas

Fuente: Diarios El Día, El Argentino y Hoy. Los datos de precipitaciones e intensidad fueron tomados de Liscia (2013) y Romanazzi (2014).

el periodo 1971-2000 y reconocieron 25 inundaciones ocurridas en el periodo 1971-1980, valor que se duplica en la década siguiente y se triplica durante 1991-2000 (78 eventos). Los autores destacan la acción antrópica como la causante de esta tendencia positiva, debido a que se registraron eventos de inundación incluso sin precipitaciones de altos valores.

La inundación de abril de 2013 se produjo casi exclusivamente en el casco urbano de La Plata, afectando principalmente a la población radicada sobre o en cercanías de las antiguas líneas de drenaje (Fig. 4). La impermeabilización del suelo y la intensidad de las precipitaciones (con un pico de 303,3 mm en 3 horas, registrados en la estación del Observatorio Astronómico de la UNLP) produjeron una concentración de agua tan importante, que ocasionó el mayor desastre natural que se conozca en la ciudad.

En las últimas dos décadas ocurrieron otros hechos similares pero de dimensiones menores (1998, 2002, 2005 y 2008, Cuadro 2) afectando diferentes sectores de la región.

CONCLUSIONES

El área del Gran La Plata ocupa diferentes ámbitos geomorfológicos: planicie continental, planicie costera y estuario rioplatense, cada uno de los cuales presentan diferentes particularidades.

La planicie costera del Río de la Plata representa el ámbito de menor altitud y los mayores problemas naturales a los que se encuentra sometida la población de esta zona (partidos de Berisso y Ensenada) se vinculan a las inundaciones desde el Río de la Plata (sudestadas) y a los anegamientos e inundaciones generados por las precipitaciones y desbordes de cursos y canales provenientes de la planicie continental. En este sector se produce una combinación de factores como la exposición a las dinámicas hidrológicas del estuario, la escasa altura y pendiente y las urbanizaciones asentadas en cercanías de la costa que acentúan los riesgos de anegamientos. Las soluciones instrumentadas para mitigar los daños han sido la construcción de protecciones (muros de contención) y elevación del nivel de construcción, a través de relleno, las cuales no siempre resultaron adecuadas.

En cuanto a la planicie continental, zona con mayor desarrollo urbanístico y produc-

tivo de la región, donde la altura promedio sobre el nivel del mar es mayor, el principal desencadenante de las inundaciones está dado por las abundantes precipitaciones extraordinarias y/o aquellas prolongadas en el tiempo. El mayor riesgo se produce cuando la cantidad de agua precipitada supera la capacidad de infiltración y escurrimiento; pudiendo ocurrir inundaciones principalmente en zonas deprimidas, como las planicies de inundación de los arroyos, los que de acuerdo al grado de urbanización pueden representar unas de las zonas de mayor peligrosidad de la región. Cabe destacar que la combinación de ambos fenómenos, sudestadas y precipitaciones extraordinarias, puede potenciar el riesgo de inundación, al producir el primero un efecto temporal de freno al escurrimiento de las aguas continentales hacia el Río de la Plata.

Si bien problemas de inundaciones han existido desde el momento mismo de la fundación de la ciudad de La Plata, los mismos se han intensificado producto del mayor escurrimiento superficial como consecuencia del aumento de la superficie impermeabilizada, a lo que debemos sumarle el no acompañamiento de obras de drenaje a este proceso.

Los factores desencadenantes de estas catástrofes pueden agruparse en naturales y antrópicos. Dentro de las causas naturales se encuentran las intensas precipitaciones y las exiguas pendientes existentes en la región, sobre todo en las cercanías del contacto entre la planicie continental y la planicie costera. Respecto a los factores antrópicos se destacan ineficiente planificación urbana, con la consecuente ocupación de las planicies de inundación e impermeabilización del suelo, canales de desagües insuficientes y falta de mantenimiento en los entubamientos urbanos. Otro factor importante es el trazado que presentan las vías troncales de comunicación, como los caminos General Belgrano y Centenario, las vías del ferrocarril General Roca y la autopista Buenos Aires-La Plata, que se disponen perpendicularmente al drenaje actuando como verdaderos dique de contención al escurrimiento y dificultando la evacuación de las aguas, etc.

Se debe considerar que la expansión urbana, sin una adecuada planificación territorial, asociada a otros factores de inequidad social como las desiguales oportunidades de acceso a la vivienda, condena a los sectores más vulnerables de la población a ocupar (formal

e informalmente) sitios o ambientes sometidos a amenazas naturales, como las planicies de inundación de los arroyos. Estos factores agudizan la vulnerabilidad de dichos sectores sociales ante eventos de inundación.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el PIITAP de la Universidad Nacional de La Plata. A los revisores Oscar A. Martínez y la Dra. Adriana E. Niz por sus valiosos comentarios y sugerencias que ayudaron a mejorar la versión final de este trabajo.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Aguirre, M. y Fucks, E. 2003. Moluscos y Paleoambientes del Cuaternario Marino en el sur de Entre Ríos y Litoral Bonaerense. En: Aceñolaza, F. (ed.), *Temas de la Biodiversidad del Litoral Fluvial Argentino*. INSUGEO, Miscelánea 12: 55-70.
- Ameghino, F. 1908. Las formaciones sedimentarias de la región litoral de Mar del Plata y Chapalmalán. *Anales del Museo Nacional de Historia Natural* 10: 343-428, Buenos Aires.
- Balay, M. 1961. El Río de la Plata entre la Atmósfera y el Mar. Servicio de Hidrografía Naval, Publicación N° 621, 153 p., Buenos Aires.
- Bidegain, J.C. y Rico, Y. 2004. Mineralogía magnética y registros de susceptibilidad en sedimentos cuaternarios de polaridad normal (Brunhes) y reversa (Matuyama) de la cantera de Juárez, provincia de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 59: 451-461.
- Bidegain, J.C., Cortelezzi, C.R., Pittori, C.A. y Rico, Y. 2002. Registros paleomagnéticos y paleontológicos en sedimentos loessoides del Pleistoceno-Holoceno en el "Estadio Ciudad de La Plata", provincia de Buenos Aires, República Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 57: 404-414.
- Bischoff, S. 2005. Sudestadas. En: Barros, V., Menéndez, A. y Nagy, G. (ed.), *El cambio climático en el Río de la Plata*. CIMA: 53-68, Buenos Aires.
- Blasi, A.M., Zarate, M.A. y Kemp, R. 2001. Sedimentación y pedogénesis cuaternaria en el noreste de la pampa bonaerense: La localidad Gorina como caso de estudio. *Revista de la Asociación Argentina de Sedimentología* 8: 77-92.
- Boyd, R., Dalrymple, R.W. y Zaitlin, B.A. 2006. Estuarine and incised-valley models. En: Posamentier, H.W. y Walker, R.G. (eds.), *Facies models revisited*. SEPM, Special Publication

- 84: 171-237 p., Tulsa.
- Camillioni, I. 2005. Tendencias climáticas. En: Barros, V., Menendez, A. y Nagy, G. (ed.), El cambio climático en el Río de la Plata. CIMA: 13-20, Buenos Aires.
- Cavallotto, J.L. 1995. Evolución Geomorfológica de la Llanura Costera del Margen Sur del Río de La Plata. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata (inérita), 237 p., La Plata
- Cipponeri, M., Salvioli, M., Larrivei, G. Afranchi, A. y Colli, G. 2014. Vulnerabilidad de la población de la ciudad de La Plata (Argentina) a precipitaciones extraordinarias. *Aqua-LAC* 6: 11-20.
- Codignotto, J.O. 1996. Avances del delta de Paraná y la Isla Martín García. 11° Congreso Geológico Argentino, Actas 1:272-275, San Juan.
- Colado, U., Figini, A., Fidalgo, F. y Fucks, E. 1995. Los depósitos marinos del Cenozoico superior aflorantes en la zona comprendida entre Punta Indio y el Río Samborombón, Provincia de Buenos Aires. 4° Jornadas Geológicas y Geofísicas Bonaerenses, Actas 1: 151-158, Junín.
- Cortezzi, C. 1977. Datación de las formaciones marinas en el Cuaternario de las proximidades de La Plata-Magdalena, provincia de Buenos Aires, LEMIT, Serie II, 341: 75-93, La Plata.
- Cortezzi, C. y Lerman, J. 1971. Estudio de las formaciones marinas de la costa atlántica de la provincia de Buenos Aires. LEMIT, Serie II 178: 133-164, La Plata.
- Cortezzi, C., Pavlicec, R. y Pittori, C. 1999. Estudio geológico del sector norte del Partido de Ensenada. 14° Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 512-515, Salta.
- D'Onofrio, E.E., Fiore, M.M.E. y Romero, S.I. 1999. Return periods of extreme water levels estimated for some vulnerable areas of Buenos Aires. *Continental Shelf Research* 19: 1681-1693.
- D'Onofrio, E.E., Fiore, M. y Pousa, J.L. 2008. Changes in the regime of storm surges at Buenos Aires, Argentina. *Journal of Coastal Research* 24: 260- 265.
- Escobar, S., Vargas, W. y Bischoff, S. 2004. Wind tides in the Río de la Plata estuary: meteorological conditions. *International Journal of Climatology* 24: 1159-1169.
- Fidalgo, F. y Martínez, O.R. 1983. Algunas características geomorfológicas dentro del Partido de La Plata (Buenos Aires). *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 38: 263-279.
- Fidalgo, F., Colado, U. y De Francesco, F.O. 1973. Sobre intrusiones marinas en los partidos de Castelli, Chascomús y Magdalena, Prov. de Buenos Aires. V Congreso Geológico Argentino, Actas 3: 227-240, Villa Carlos Paz.
- Fidalgo, F., De Francesco, F. O. y Pascual, R. 1975. Geología superficial de la llanura bonaerense (Argentina). *Geología de la Provincia de Buenos Aires*. 6° Congreso Geológico Argentino, Relatorio: 103-138, Bahía Blanca.
- Fucks, E. 2005. Estratigrafía y Geomorfología en el ámbito del curso inferior del Río Luján, Provincia de Buenos Aires. 2005. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata (inérita), 239 p., La Plata.
- Fucks, E. y Deschamps, C. 2008. Depósitos continentales cuaternarios en el noreste de la provincia de Buenos Aires. *Revista de Asociación Geológica Argentina* 63: 326-243.
- Fucks, E., Schnack, E.J. y Aguirre, M. 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: 27-39.
- Fucks, E., Schnack, E.J., Pisano M. F., Briones, L., Nuccetelli, G. y Charó, M. 2014. Procesos de formación y colmatación de la Ensenada de Barragan, partido de Ensenada, provincia de Buenos Aires. 19° Congreso Geológico Argentino, Resúmenes: S12-20, Córdoba.
- González Bonorino, F. 1965. Mineralogía de las fracciones arcilla y limo del pampeano en el área de la Ciudad de Buenos Aires y su significado estratigráfico y sedimentológico. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 20: 67-148.
- Guilderson, T., Burckle, L., Hemming, S. y Peltier, W. 2000. Late Pleistocene sea level variations derived from the Argentine shelf. *Geochemistry, Geophysics and Geosystems* 1: 2000GC000098 (N° de paper).
- Imbelloni, P. y Cumba, A. 2003. Una sucesión de paleosuelos superpuestos del Pleistoceno medio-tardío, Holoceno. Zona sur de la Plata, Provincia de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Argentina de Sedimentología* 10: 3-21.
- Isla, E.I., Rutter, N., Schnack, E.J. y Zárate, 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.
- Kemp, R., Zárate, M., Toms, P., King, M., Sanabria, J., y Arguello, G. 2006. Late Quaternary paleosols, stratigraphy and landscape evolution in the northern pamps, Argentina. *Quaternary Research* 66: 119-132.
- Kruck, W., Helms, F., Geyh, M., Suriano, J., Marengo, H. y Pereyra, F. 2011. Late Pleistocene-Holocene History of Chaco-Pampa Sediments in Argentina and Paraguay. *Quaternary Science Journal* 60: 188-202.
- Kruse, E., Sarandón, R. y Gaspari, F. 2014. Impacto del cambio climático en el Gran La Plata. Editorial Universidad Nacional de La Plata, 105 p., La Plata.
- Liscia, S. 2013. Estudio sobre la inundación ocurrida los días 2 y 3 de abril en las ciudades de La Plata, Berisso y Ensenada. Informe Técnico Departamento de Hidráulica. Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata. (en www.sedici.unlp.edu.ar: mayo-2015)
- Parker, G. y Marcolini, S. 1992. Geomorfología del delta del Paraná y su extensión hacia el Río de la Plata. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 47: 243-249.
- Parker, G., Violante, R.A., Paterlini, C.M., Marcolini, S., Costa I.P. y Cavallotto, J.L. 2008. Las secuencias sismoestratigráficas del Plioceno-Cuaternario en la Plataforma Submarina adyacente al litoral del este bonaerense. *Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis* 15:105-124.
- Passarelli, L.M., Roller, C. H., Ciciarelli, M. M., Dedomenici, A.C. y González, G. 2014. Flora vascular de humedales permanentes y transitorios bonaerenses (Buenos Aires, Argentina). *Botanica Complutensis* 38: 139-154.
- Prieto, A.R., Mourelle, D., Peltier, W. R., Drummond, R., Vilanova, I. y Ricci, L. 2016. Relative sea-level changes during the Holocene in the Río de la Plata, Argentina and Uruguay: A review. *Quaternary International*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.quaint.2016.02.044>.
- Re, M., Storto, L., Lecertua, E. y Kazimierski, L. 2015. Anticipando la crecida: Inundaciones en La Rivera de Quilmes. Mapas de nivel y duración de inundaciones. Informe Final. Instituto Nacional del Agua, Laboratorio de Hidráulica, 67 p., Ezeiza.
- Riggi, J.C., Fidalgo, F., Martínez, O.R. y Porro, N.E. 1986. Geología de los "sedimentos pampeanos" en el partido de La Plata. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 41: 316-333.
- Romanazzi, G. 2014. Aproximación a la estimación estadística de la Precipitación Máxima Probable (PMP) para La Plata, Provincia de Buenos Aires, Argentina. II Congreso Internacional de Hidrología de Llanuras, ACTAS: 452-458, Santa Fe.
- Rodríguez, S.G., Iacona, F., Salgado, J.S., Cerroni, M., Pereyra, C., Martín, A. y Fucks, E. 2015. Evidencias de secuencias marinas del sector continental en el Parque Provincial y Reserva Forestal "Pereyra Iraola", noreste de la provincia de Buenos Aires. 6° Congreso Argentino de

- Cuaternario y Geomorfología, Resumen: 47-48, Ushuaia.
- Servicio Meteorológico Nacional. 1989. Inundaciones, Sudestadas y Crecidas Repentinas. Boletín Informativo 2, 19 p., Buenos Aires.
- Scarpati, O.E. y Benítez, M. 2005. Las inundaciones en la ciudad de La Plata. Su análisis en relación con las precipitaciones durante las últimas décadas del siglo XX. Revista Geograficando 1: 111-121.
- Schnack, E.J., Isla, F.I., De Francesco, F.O. y Fucks, E.E. 2005. Estratigrafía del Cuaternario Marino Tardío en la Provincia de Buenos Aires. 14° Congreso Geológico Argentino, Relatorio: 159-182, La Plata.
- Teruggi, M. 1957. The nature and origin of Argentine loess. *Journal of Sedimentary Petrology* 27: 322-332.
- Tonni, E. y Fidalgo, F. 1978. Consideraciones sobre los cambios climáticos durante el Pleistoceno tardío - reciente de la provincia de Buenos Aires. Aspectos ecológicos y zoogeográficos relacionados. *Ameghiniana* 15: 235-253.
- Urien, C.M. 1966. Distribución de los sedimentos en el Río de la Plata Superior. *Boletín del Servicio de Hidrografía Naval* 3: 197-203.
- Vargas, W. y Bischoff, S. 2005. Precipitaciones. En: Menéndez A.N. (ed.), *Vulnerabilidad de la zona costera*. Informe final. 2° Comunicación de cambio climático, Fundación Torcuato Di Tella, 392 p., Buenos Aires.
- Zárate, M. 2003. Loess of southern South America. *Quaternary Science Reviews* 22: 1987-2006.
- Zárate, M., Kemp, R. y Toms, P. 2009. Late quaternary landscape reconstruction and geochronology in the northern Pampas of Buenos Aires province, Argentina. *Journal of South American Earth Science* 27: 88-99.

Recibido: 28 de junio de 2016

Aceptado: 17 de octubre de 2016