



# Análisis de las inundaciones en la cuenca superior y media del río Luján, provincia de Buenos Aires

## Analysis of the floods in the upper and middle basin of the Luján river, province of Buenos Aires

Molero, Vanesa<sup>1</sup> - Pereyra, Fernando X.<sup>2,3</sup> - Marcomini, Silvia<sup>1,4</sup>

Recibido: 25 de agosto de 2021 • Aceptado: 16 de mayo de 2022

### Resumen

*Las inundaciones en la cuenca del río Luján son eventos geológicos recurrentes que han adquirido una gran importancia en estos últimos años debido, esencialmente, al aumento de la población en los tramos superior y medio de la cuenca. La zona estudiada se encuentra el sector noreste de la provincia de Buenos Aires, al NO de la Región Metropolitana Bonaerense (60°-59°O y 34°- 35° S). En el presente trabajo se analizan los aspectos geológicos, geomorfológicos, hidrológicos y edafológicos que determinan la ocurrencia de las inundaciones en el área. Asimismo, se han considerado los principales factores demográficos y la variación temporal y espacial de la ocupación y uso urbano de la tierra. En función de los puntos señalados se han identificado las principales causas, tanto antrópicas como naturales, que determinan la extensión, magnitud e impacto de las inundaciones en la cuenca del río Luján. Dichos análisis fueron empleados también para la zonificación de áreas con diversos grados de susceptibilidad a las inundaciones, mediante la confección de un mapa de susceptibilidad, en el cual se determinaron tres grados: alto, medio y bajo. Algunas de las principales inundaciones de la región tuvieron lugar en los años 1885, 1985, 1993, 2014 y 2015 y están relacionadas con eventos de precipitaciones intensas. Numerosas intervenciones humanas en la cuenca han implicado la reducción de la planicie aluvial, la rectificación del curso y la presencia de numerosos puentes de escasa luz, las que se suman a la construcción de canales aliviadores, albardones (y su posterior disección), ocupación de la planicie aluvial, relleno de zonas anegables e impermeabilización de suelo natural, entre otras. Finalmente, se espera que la información obtenida en este trabajo contribuya a la implementación de medidas, tanto estructurales como no estructurales.*

1. Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Departamento de Ciencias Geológicas. Buenos Aires, Argentina.

2. Universidad Nacional de Avellaneda, Departamento de Ambiente y Turismo, Buenos Aires, Argentina.

3. Instituto de Geología y Recursos Minerales (IGRM) - Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR).

4. CONICET- Universidad de Buenos Aires, Instituto de Geociencias Básicas, Aplicadas y Ambientales de Buenos Aires (IGEBA), Buenos Aires, Argentina.

molerovg@gmail.com

**Palabras clave:** causas - inundaciones - río Luján - zonificación susceptibilidad

### Abstract

*Floods in the Luján river basin are recurrent geological events that have acquired great importance in recent years, essentially, due to the increase in population in the upper and*

*middle sections of the basin. The studied area is located in the northeast sector of the province of Buenos Aires, NW of the Buenos Aires Metropolitan Region (60 ° -59 ° W and 34 ° - 35 ° S). In the present work, the geological, geomorphological, hydrological, and edaphic aspects that determine the occurrence of floods in the studied area are analyzed. Likewise, the main demographic factors and the temporal and spatial variation of urban land use and occupation have been considered. Based on these points, the main causes, both anthropic and natural, that determine the extension, magnitude, and impact of the floods in the Luján river basin have been identified. Those analyzes were also used for flood susceptibility zoning through the preparation of a susceptibility map, in which three susceptibility scales were determined: high, medium, and low. Some of the main floods in the region took place in the years 1885, 1985, 1993, 2014 and 2015 and are related to events of intense rainfall. Numerous human interventions in the basin have involved the reduction of the alluvial plain, the rectification of the course and the presence of numerous low-light bridges, which are added to the construction of relief channels, ridges (and their subsequent dissection), occupation of the alluvial plain, filling of flooded areas and waterproofing of natural soil, among others. Finally, the information obtained in this paper is expected to contribute to the implementation of both structural and non-structural measures.*

**Keywords:** *causes - floodings - Luján river - susceptibility zonification.*

## INTRODUCCIÓN

Las inundaciones en la Argentina constituyen uno de los principales peligros naturales por su recurrencia, extensión y su impacto tanto social como económico. Los efectos de las inundaciones en la provincia de Buenos Aires son especialmente notorios. En esta región se suma a las condiciones naturales (tanto geológicas como climáticas), la alta densidad poblacional, los intensos y variados usos de la tierra y la superposición espacial y temporal de los mismos. Si bien las causas y efectos de las inundaciones en las grandes ciudades como AMBA (Área Metropolitana Bonaerense) en el Gran La Plata han sido estudiadas por numerosos investigadores (Pereyra, 2004, 2014; Marcomini y López, 2011, Fucks et al., 2017) no han merecido igual interés las inundaciones en las cercanas cuencas de los ríos Luján, Areco y Arrecifes. El presente trabajo se focaliza en el análisis de las causas y efectos de las inundaciones de la cuenca principal del río Luján.

Esta cuenca, y en particular las localidades de Luján y Mercedes, han experimentado numerosas inundaciones en su historia, entre las que se cuentan, como de mayor magnitud, las registradas en los años 1885, 1985, 1993, 2014, 2015, entre otras. Las inundaciones se producen, básicamente, por el desbordamiento del río homónimo. Si bien las mismas se han sucedido en la ciudad de Luján desde el momento de su fundación, en los últimos años, los efectos de estas se han incrementado, afectando notoriamente a toda la población.

El objetivo de este trabajo es analizar las causas de las inundaciones, tanto naturales como antrópicas, así como su sinergia, prestando especial atención a los efectos que generan las modificaciones antrópicas realizadas sobre el sistema fluvial. Para establecer la influencia en la magnitud y extensión de las inundaciones se tuvo en cuenta la relación entre la geomorfología, los suelos presentes, y la influencia de las acciones antrópicas sobre el relieve. Estas alteraciones han potenciado en los últimos años las inundaciones incrementando los efectos devastadores en el área, generando grandes pérdidas económicas y humanas.

La cuenca del río Luján, está ubicada al noreste de la Provincia de Buenos Aires, (60°-59°O y 34°- 35° S, (Figura 1). En este trabajo, se abarca la cuenca del río Luján, desde sus nacientes en la localidad de Suipacha hasta las cercanías del cruce con la Ruta Nacional N°8, en el partido de Pilar.

La cuenca del río Luján se divide en función de sus características geológicas y geomorfológicas, en una cuenca principal que posee tres tramos: superior, medio e inferior, y una cuenca baja o distal. La cuenca principal se extiende desde sus nacientes hasta las cercanías de la Ruta Nacional N°9 (Autopista Panamericana) y posee características netamente fluviales, mientras que la cuenca baja se emplaza desde la RN9 hasta la desembocadura del río de la Plata y responde a ambientes estuariales y deltaicos del Holoceno. El presente trabajo se desarrolla en la cuenca principal.

En esta contribución se han abordado los principales aspectos demográficos, los usos del suelo y diferentes acciones antrópicas más relevantes y se han confeccionado una serie de mapas temáticos (geomorfológico y de susceptibilidad). Finalmente, se ha realizado una zonificación de susceptibilidad de inundaciones como base para el ordenamiento territorial de la cuenca del río Luján. Se espera que el conocimiento aportado en este trabajo contribuya a apoyar la toma decisiones fundadas y efectivas para la mitigación de los efectos de las inundaciones en la cuenca, y a la implementación de medidas tanto estructurales como no estructurales.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Las inundaciones en la cuenca del río Luján están en relación directa con el régimen de precipitación. Por ello se analizaron los datos de precipitaciones anuales para las localidades de Mercedes, Luján y San Fernando. Los mismos fueron otorgados para Mercedes por la estación meteorológica de la Chacra Experimental de Mercedes, provincia de Buenos Aires (1970 a 2019), para Luján por la estación meteorológica de la Universidad de Luján (1988 a 2017), y para San Fernando por el Servicio Meteorológico Nacional (1999-2019). Para determinar las inundaciones históricas se recurrió al archivo histórico del Museo Udaondo. Por su parte, la información edafológica se obtuvo de las cartas de suelos del INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria) y de Pereyra y Ragas (2021).

Los efectos de la urbanización sobre las inundaciones se evaluaron mediante el análisis de la evolución urbana y poblacional obtenida de cartografía histórica y registros periodísticos de la ciudad de Luján. Asimismo, se consultaron otras fuentes para otros sectores de la cuenca, así como numerosas fuentes periodísticas

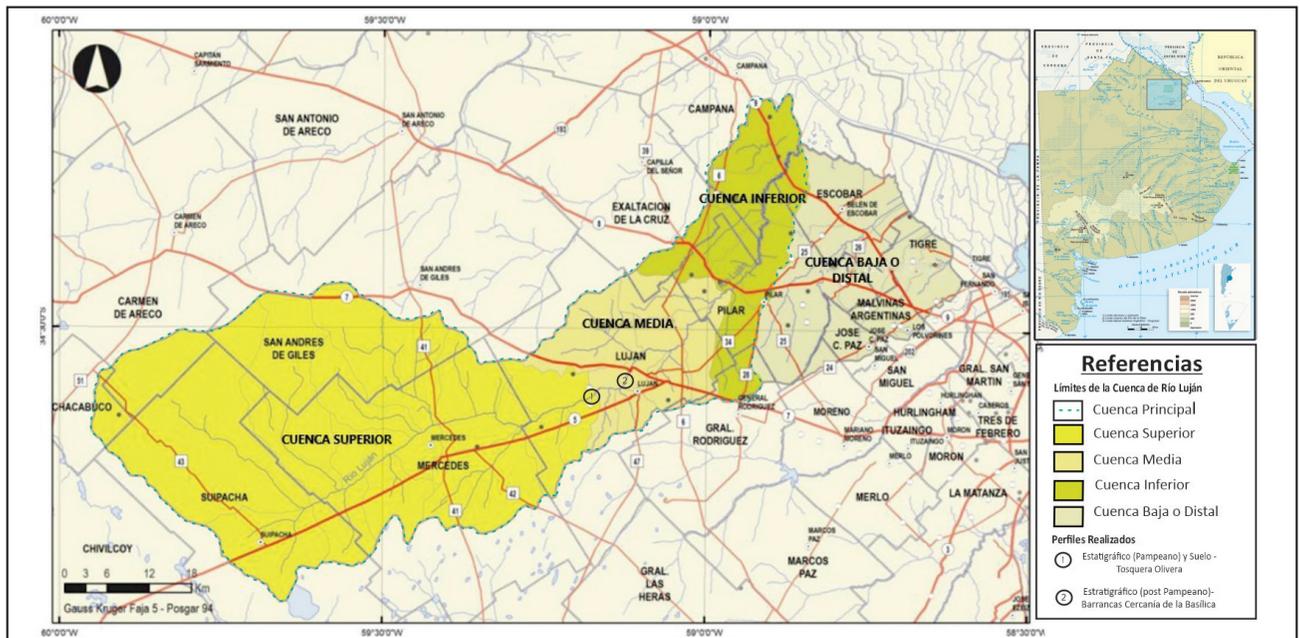


Figura 1. Mapa de ubicación de la cuenca del río Luján y localización de los perfiles realizados.

y de organismos municipales y provinciales. Para analizar la evolución demográfica se utilizaron los datos de los diferentes censos poblacionales del INDEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos).

El relevamiento geológico y geomorfológico se realizó en tres campañas, entre 2015 y 2017. En ellas se levantaron perfiles estratigráficos y edafológicos, en los sectores de Tosquera Olivera, ubicada en la Ruta Nacional N°5 ( $34^{\circ}37'42.52''S$  y  $59^{\circ}14'14.63''O$ ) y sobre la barranca del Río Luján, ( $34^{\circ}33'35.29''S$  y  $59^{\circ}07'19.25''O$ ), en las inmediaciones de la Basílica de Nuestra Señora de Luján.

La identificación de las diversas unidades geomorfológicas se realizó utilizando las Cartas imagen satelitaria de la República Argentina, en escala de 1:50.000, y las cartas Topográficas de la misma escala, ambas del IGN (Instituto Geográfico Nacional), de toda la extensión de la cuenca. Posteriormente, se digitalizó la información y mediante la herramienta QGIS se realizaron dos mapas, uno geomorfológico y otro de susceptibilidad de inundación, ambos basados en el análisis de la cartografía generada previamente y el trabajo de campo. La confección del mapa de susceptibilidad de inundaciones y los grados establecidos en el mismo fueron determinados a partir del análisis y la interrelación entre las características geomorfológicas, edafológicas y la observación directa de la zona junto a la información recopilada de artículos periodísticos y archivos fotográficos históricos, lo que permitió determinar regiones y geformas inundables, ubicadas en las cotas más bajas (en general menos a 15 m y aquellas comprendidas entre 15 y 20 m). Esta información se volcó en el programa QGIS, por medio del cual, se otorgó una coloración determinada para cada grado asignado. Se establecieron así, tres grados, alto, medio y bajo. El grado alto se identificó con una coloración azul oscura, y abarca cotas menores a 15 m. El grado medio, está representado en el mapa con coloración celeste oscuro, comprendiendo las cotas entre 15 y 20 m. El grado bajo es de color celeste claro, cuyas cotas quedan por encima de los 20 m. De esta forma, las diversas geformas presentes en la cuenca, y sus suelos asociados, quedaron agrupadas dentro de los distintos grados de susceptibilidad.

## CARACTERIZACIÓN DEL MEDIO

### Clima

La cuenca del río Luján presenta un clima de tipo templado-húmedo, similar al de casi toda la Pampa Ondulada, con temperaturas medias estivales oscilando alrededor de los  $25^{\circ}C$  y las medias invernales aproximadamente en  $9,5^{\circ}C$ . El régimen de precipitaciones es de tipo mediterráneo con lluvias que oscilan alrededor de 950 mm anuales, con máximos de 1.300 a 1.400 mm, y mínimos de 600 mm (Brea et al., 2007). Es importante tener en cuenta que las precipitaciones disminuyen de E a O (Andrade, 1986). La precipitación anual en la zona de estudio presenta valores de 1000 a 1100 mm (INTA 2010). A su vez, los valores de evapotranspiración potencial anual son de 800 a 850 mm (INTA 2010). Sin embargo, un hecho a destacar es la gran variabilidad interanual en las precipitaciones, pudiendo de un año al otro variar hasta un 50% e incluso más, como por ejemplo entre 2011-2012 y 2013-2014, donde casi se duplicó. De la serie temporal, el año más seco fue el 2005, con alrededor de 600 mm y el más lluvioso el 2014 con casi 1800 mm, para la cuenca superior.

El análisis de las precipitaciones anuales (Figura 2), muestra una tendencia similar para las tres estaciones, siendo San Fernando la estación de mayor precipitación anual, seguida por la registrada en Luján (Universidad Nacional de Luján, UNLU), y luego la estación experimental de Mercedes. De la misma manera, la relación es igual en el promedio de precipitación anual calculado, observándose que el promedio es similar para las estaciones de Luján y San Fernando, y menor para Mercedes.

Las mayores temperaturas se observan en los meses de enero y febrero, con valores de alrededor de  $20-21^{\circ}C$  y las mínimas en junio, julio y agosto, con temperaturas medias mensuales del orden de los  $10^{\circ}C$ . Este comportamiento es similar en las tres estaciones, por lo tanto, la variabilidad térmica no es de importancia a lo largo de la cuenca principal.

Finalmente, un factor relevante es la ocurrencia relativamente frecuente de precipitaciones diarias e incluso horarias anómalas, con valores que pueden superar en una hora la media mensual

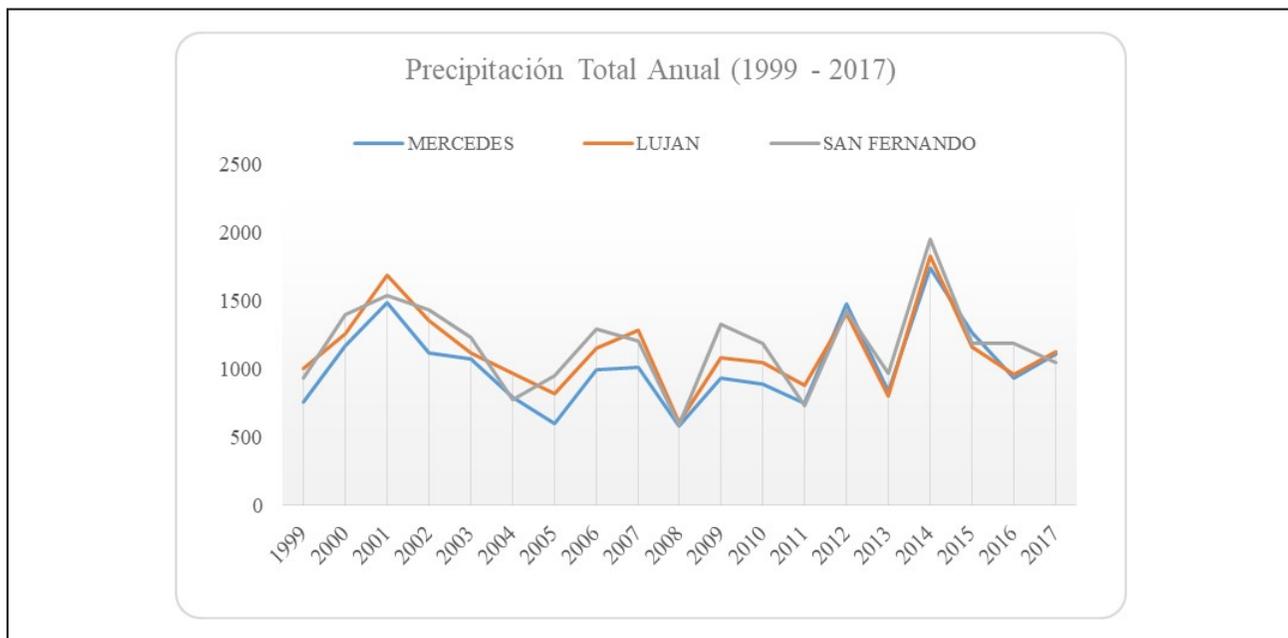


Figura 2. Gráfico de precipitación total anual 1999-2017 para Mercedes, Luján y San Fernando.

e incluso precipitaciones diarias que superan la media de varios meses juntos. Si bien la zona se caracteriza por no presentar estación seca, las mayores precipitaciones suelen ocurrir en los meses de verano y otoño, si bien pueden darse en casi cualquier momento.

### Hidrología

La cuenca del río Luján, ocupa una superficie de 2.856 km<sup>2</sup>, abarcando los partidos de Chacabuco, Carmen de Areco, Suipacha, Mercedes, Gral. Rodríguez, Luján, San Andrés de Giles, Exaltación de la Cruz, Pilar y Belén de Escobar. Posee una topografía suave con alturas máximas hacia el oeste de 60 m s.n.m., que descienden hacia el sureste hasta alcanzar el nivel del mar (Brea et al., 2007). El río posee una extensión de 128 km hasta su desembocadura en el río de la Plata, en el Partido de San Fernando. Su caudal medio es 5,37 m<sup>3</sup>/seg (Evaluación ambiental de los recursos hídricos del Sistema Metropolitano Bonaerense, 1981) y los cursos que forman la red de drenaje son mayormente permanentes. Posee una dirección sudoeste-noreste que en su tramo final se hace paralelo al paleoacantilado que bordea la planicie loésica. Sus principales tributarios los recibe en su tramo inferior en el ambiente del Delta, y son los arroyos Garín, Escobar, Claro y de las Tunas. Incluye sectores de los partidos de Suipacha, Mercedes, Luján, Pilar, Gral. Sarmiento, San Andrés de Giles, Campana, Escobar y Tigre. En el tramo inferior, aldeaño al cruce de la Autopista Panamericana, el río Luján ocupa una amplia planicie baja, anegable, que se formó originariamente como un pequeño estuario durante la última ingresión marina, ocurrida entre 7000 y 3000 años AP.

El comportamiento hidrológico de la cuenca del río Luján no es homogéneo en sus tres tramos. En los tramos superior y medio el comportamiento de sistema fluvial es de tipo efluente debido a la proximidad de los cursos con el nivel freático, el cual no se encuentra a gran profundidad, y aflora estacional o temporariamente. En la planicie loésica, el nivel freático se encuentra a mayor profundidad, oscilando entre 4 y 6 m generalmente, presentando notorias fluctuaciones como respuesta

períodos de lluvias, o secas, las que tendrán injerencia al momento de definir las áreas con mayor susceptibilidad en los eventos de inundación.

### Suelos

Los suelos de la región son esencialmente Molisoles y, en mucha menor medida, Alfisoles y Entisoles. Los suelos de la cuenca superior son predominantemente Argialboles típicos y Argiudoles típicos. En la cuenca media, predominan los Argiudoles típicos, seguidos por los Endoacuales típicos. Según su ubicación, poseen un rol importante en la dinámica del agua, sobre todo en las características de infiltración y escorrentía.

Para el caso de la planicie loésica, los suelos predominantes son los Argiudoles vérticos y típicos, con un epipedón mólico y un potente horizonte argílico (Bt) subsuperficial que condiciona su permeabilidad y velocidad de infiltración. Asimismo, la ocurrencia de niveles de calcretes Ckm ("toscas") también limitan la infiltración. Los Argialboles se diferencian de los anteriores por presentar además horizontes álbicos (E), entre los A y Bt, y aparecen en las zonas de ligeras pendientes que marginan la planicie loésica.

Los suelos de las planicies aluviales, terrazas fluviales, bajos y cubetas de deflación que conforman complejos hidromórficos, son suelos que no poseen capacidad de infiltración, debido a la presencia de un nivel freático aflorante o muy somero, y por lo tanto el agua que precipita en esa zona, escurre, conformando escorrentía superficial. Los rasgos hidromórficos más notorios en la zona son la presencia de moteados y colores gley, los cuales son indicadores de áreas potencialmente anegables. Predominan, en estos casos, los Endo y Epiacuales y Udifluentes, seguidos de Acuentes, Natracuales y Natracualfes. En la Tabla 1, se observa la relación entre geoformas, formaciones superficiales y suelos en la zona estudiada.

### Medio antrópico

A partir de los datos de los censos de 1991, 2001 y 2010 (INDEC), para los partidos de Mercedes, Luján y Pilar, los cuales

**Tabla 1. Unidades geomorfológicas, formaciones geológicas y suelos dominantes, de los tramos superior y medio de la cuenca del río Luján.**

Unidad Geomorfológica	Geología	Suelos Dominantes
Terrazas fluviales y Planicies Aluviales	Formaciones Luján, La Plata y Aluvio actual	Complejos Hidromórficos (Acuales, Fluventes y Acuentes)
Laterales de Planicie Loésica	Formaciones Ensenada, Buenos Aires y La Postrera	Argialbol Típico y Argiudol típico
Planicie Loésica	Formaciones Ensenada, Buenos Aires y La Postrera	Argialbol típico y vértico
Bajos	Formaciones Buenos Aires y La Postrera y Depósitos Lacustres	Complejos Hidromórficos (Acuales, Fluventes y Acuentes)
Cubetas de Deflación	Formaciones Buenos Aires y La Postrera y Depósitos lacustres	Complejos Hidromórficos (Acuales, Fluventes y Acuentes)

se tomaron como representativos de la cuenca del río Luján, es notable el aumento poblacional que se sucedió entre los años 1991 y 2010. De los tres partidos tomados como representativos, es el de Pilar el que mayor población posee, siendo ésta unas tres veces superior a la de Luján y Mercedes (Tabla 2).

**Tabla 2. Población por municipio. Fuente INDEC, Censo Nacional de Población y Vivienda 1991, 2001, 2010.**

	Población - Municipio		
	1991	2001	2010
Mercedes	55.613	59.870	63.284
Luján	80.645	93.992	106.273
Pilar	130.187	232.463	299.077

En líneas generales, muchos asentamientos nuevos se ubicaron en sectores anegables ocupando la planicie de inundación del río. De esta manera, se ven muy afectados en los momentos de crecidas del río, trayendo consigo pérdidas económicas, y generando muchos inconvenientes en la población.

La cuenca superior se caracteriza por presentar zonas principalmente rurales, aumentando la urbanización hacia la cuenca inferior y baja. Los usos del suelo en la zona a lo largo de la cuenca son variados, siendo los mismos agropecuarios en la cuenca superior, y hacia la zona de la cuenca media e inferior, se distinguen áreas industriales y de actividad agropecuaria intensiva, tales como avícola, horticultura.

El aumento poblacional modifica los usos del suelo, afectando así, los espacios naturales, sitios patrimoniales y sitios de producción rural tradicional. De esta manera, comienza el conflicto de la competencia entre los usos del suelo, afectando directamente las actividades desarrolladas por las poblaciones locales (Buzai, et al. 2019). En líneas generales, la intensificación de la urbanización ha generado un aumento de la impermeabilización de los suelos (por construcciones o por compactación), lo que ha elevado significativamente el escurrimiento superficial, aumentando la frecuencia y magnitud de las inundaciones. En tal sentido, en las últimas décadas es evidente el reemplazo de tierras rurales por nuevos asentamientos urbanos de tipo barrios cerrados o barrios precarios, los cuales se localizan esencialmente en las zonas de influencia fluvial. En el primero, especialmente evidente en el Partido de Pilar, los nuevos barrios se asientan en terrenos nivelados y elevados por encima de las cotas de inundación lo que implica el traslado de la problemática de los anegamientos a otras zonas en las cuales se han preservado sus rasgos

originarios y que antes eran menos vulnerables. Por el contrario, en los barrios precarios y carenciados, los efectos de las inundaciones son repetidos y dramáticos.

## RESULTADOS

### Geología

Las características principales de la geología de la cuenca fueron estudiadas en primer lugar por Florentino Ameghino, a fines del siglo del XIX y principios del siglo XX, sentando las bases fundamentales del conocimiento geológico y paleontológico de la región. Si bien numerosos geólogos trabajaron en la zona, se han utilizado como antecedentes inmediatos los aportes de Toledo (2011), Fucks et al. (2008) y Blasi et al. (2010), Frenguelli (1945, 1957), Fidalgo (1973), Tófaló et al. (2005) y la Hoja Geológica José C. Paz (Pereyra et al., 2021, en prensa), realizada por el SEGEMAR (Servicio Geológico Minero Argentino).

La estratigrafía de la zona de estudio está dominada por sedimentos eólicos y fluviales, que constituyen las diversas formaciones de la región agrupadas, principalmente, en los ciclos Pampeano y Postpampeano (Ameghino, 1889). Los primeros se ubican en las regiones más elevadas (perfil de la Cantera Olivera) mientras que el Postpampeano es fácilmente observable en las barrancas del río (perfil de Barrancas de río Luján). Estratigráficamente, el Pampeano está compuesto por las Formaciones Ensenada y Buenos Aires. Se trata de sedimentos loésicos que, en total, pueden superar los 40 m de potencia, de edad pliocena superior a pleistocena superior. A su vez, el Postpampeano incluye unidades fluviales, eólicas y litorales marinas, de edades pleistocenas superior a holocenas.

En la cuenca principal se reconocen depósitos principalmente fluviales (Formación Luján y Formación La Plata, "lujanense y platense" de Ameghino, respectivamente) y eólicos de la Formación La Postrera, esencialmente compuesta por loess retransportado localmente.

Existe un hiatus entre las Formaciones Buenos Aires y Luján, correspondiente a un período de denudación. Este último rellena los valles que se labraron sobre el pampeano superior, posee tosca rodada y su coloración es blanca y verdosa. En este trabajo se tomó como base la denominación de las Formaciones asignadas por Ameghino, y se apoyaron las descripciones en el trabajo realizado por Toledo (2011) y Pereyra et al. (2021).

En el sector correspondiente a la planicie loésica se han reconocido las Formaciones Ensenada en la base y Buenos Aires en el sector superior (Figura 3). Ambas unidades están integradas por sedimentos limosos friables. La base del perfil (unidad C1)

posee sedimentos limosos de coloración castaño-oscuro, con un espesor de 0,8 metros aproximadamente. Por encima de estos depósitos se reconoce un calcrete de coloración blanquecina de unos 0,60 metros (C3). Continuando la secuencia se observa un nivel de loess de coloración pardo amarillento con moteados de coloración grisácea y negra, posiblemente de materia orgánica. El espesor del mismo es de 1,4 metros. El tope del perfil (C4) constituye otro nivel de calcretes con un espesor de 2,20 metros. Los niveles C1, C2, C3 y C4 observados en el perfil de la Tosquera, pertenecen a la Formación Buenos Aires (Ameghino, 1889).

El perfil estratigráfico realizado en el puente Luis Gogna (Figura 4) comienza desde la base hacia el tope con un banco arenoso limoso, de coloración rojiza, masiva de un metro de espesor (L1). Por encima continúa un nivel de grava fina de coloración verdosa integrado por clastos de tosca principalmente (L2) con laminación horizontal. La grava tiene una matriz arenosa, con moteados amarillentos y rojizos. Esta unidad presenta un sector basal, con mayor proporción grava de 50 cm de espesor. Sobreyace la secuencia un banco de 60 cm de espesor (L3), formado por arena gravosa con mayor proporción de arcillas. La secuencia continúa con un paleosuelo (L4), de coloración verdosa, posible Bt, con cutanes y moteados, el cual indicaría un suelo hidromórfico, con un espesor de 20 cm, aproximadamente. Esta secuencia, según el perfil realizado por Ameghino, se correspondería con el Lujanense y Luján Verde Superior (Toledo, 2011).

La secuencia continúa con limos con abundantes conchillas de moluscos de coloración grisácea de unos 50 cm de espesor (L5) a la cual se superpone un banco de 50 cm de espesor de

limos, ligeramente rojizos, con antiguos moteados. (L6). El perfil culmina (L7) con arenas de coloraciones castañas de 100 cm de espesor. En el perfil descrito, los niveles L1, L2, L3 y L4, pertenecerían al Lujanense (Ameghino, 1889), los L5 y L6 formarían parte del Platense, mientras que L7 corresponde con el aluvio actual.

### Geomorfología

El modelado del paisaje es en general el resultado de la combinación de una serie de procesos geomórficos actuantes en la interfase atmósfera-litósfera. El accionar, intensidad y las mutuas relaciones entre los diversos procesos son función de los diferentes factores, principalmente la geología y el clima. Las formas de relieve son importantes porque condicionan distintos aspectos, en especial en lo referente a la circulación del agua, el balance infiltración/escorrentía y la erosión y acumulación, así como las características del nivel freático. Por lo tanto, son elementales para abordar diversas acciones de mitigación como, por ejemplo, establecer pautas de ordenamiento territorial. En el área de estudio, se pueden diferenciar tres ambientes geomorfológicos: A. ambiente eólico, B. ambiente fluvial y C. antiguo ambiente litoral-marino y deltáico. Este último no es considerado en la presente contribución ya que excede a los objetivos de este trabajo. Según los diferentes ambientes geomorfológicos, se agrupan las principales unidades geomorfológicas en cada uno de ellos: A. ambiente eólico: 1) planicie loésica, 2) cubetas de deflación (actualmente ocupadas por lagunas); B. ambiente fluvial: 1) terrazas y planicie aluvial y 2) laterales de valles.

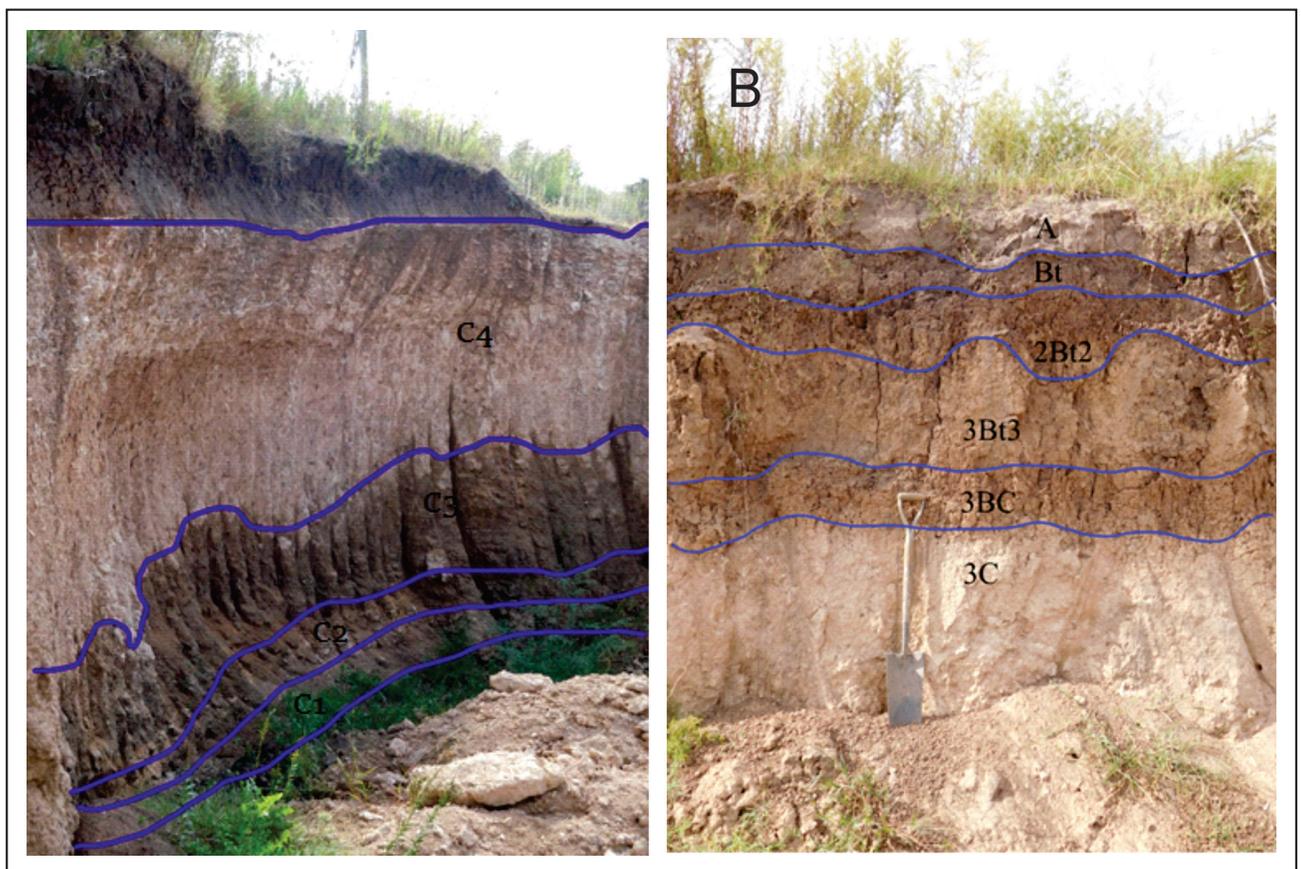


Figura 3. Geología y suelos en la planicie loésica en la cantera Tosquera "Olivera". (Lat. 34°37'42.52"S y Long. 59°14'14.63"O).



**Figura 4. Perfil estratigráfico de la barranca de Río Luján en las inmediaciones de la Basílica de Nuestra Señora de Luján. Izq.: sector inferior del perfil; Der.: sector superior.**

El Neógeno y el Cuaternario se caracterizaron por la alternancia de eventos de climas secos y fríos, con climas húmedos y cálidos. Esta alternancia es la que provocó el depósito de diversos materiales, y condicionó el accionar de los diferentes procesos geomorfológicos, de tal manera que para los momentos de climas secos y fríos tuvieron lugar los eventos de acumulación de loess, y hacia zonas periféricas se acumulaban arenas eólicas, mientras que en momentos de climas húmedos y cálidos, predominaron los procesos pedogenéticos, con una limitada acción fluvial que ha modificado parcialmente las morfologías eólicas debido al bajo relieve relativo de la zona. Consecuentemente, se observan en el área numerosos niveles de paleosuelos cuaternarios, con importantes niveles de calcretes o tosca (Ckm) y horizontes argílicos (Bt). Estos niveles influyen en varias características del relieve, por ejemplo, constituyendo resaltos dentro de los cursos fluviales. Las ondulaciones características de la región son el resultado de la acumulación discontinua y episódica de loess. En los momentos de acumulación de loess la red de drenaje preexistente fue cubierta por dicho material, llegando en ciertos lugares a desaparecer.

El sustrato de la región se encuentra a pocos cientos de metros y las litologías terciarias se acuñan hacia el norte. De esta manera, la evolución morfológica se vio afectada por posibles movimientos de reactivación tectónica del basamento. Los pulsos tectónicos de la orogenia Andina y desarrollo de las cuencas adyacentes generaron basculamientos y movimientos de distintos bloques. Esto provocó que los estratos terciarios y cuaternarios se ubiquen a diferentes profundidades, mientras que, en superficie, se observa que la red de drenaje posee un control estructural en el sector. Por su parte, las variaciones del nivel mar fueron importantes para el desarrollo de la red fluvial y el grado de disección del ambiente loésico.

La pendiente regional de la zona de estudio es muy baja e inclina hacia el litoral atlántico y los ríos Paraná y de la Plata. La planicie loésica está modificada parcialmente por el accionar del proceso fluvial y por las intrusiones marinas cuaternarias en la zona costera, destacando la formación de un paleoacantilado

(la "barranca" del Paraná), fuera del área estudiada. En la figura 5 se observa el mapa geomorfológico.

El proceso eólico, en su accionar, genera una de las geoformas características de la zona de estudio, y es la denominada planicie loésica. Tal como se dijera, los eventos de acumulación generados por los procesos eólicos fueron rápidos y de naturaleza episódica, seguidos de largos períodos de estabilidad geomórfica. El depósito del loess generó el "ahogamiento" del relieve fluvial preexistente al acumularse en forma mantiforme, cubriendo el relieve previo. Además, presenta una suave ondulación en la dirección del transporte del material. Esta característica se acrecentó debido al accionar del proceso fluvial, el cual ha tendido a encauzarse siguiendo estas depresiones aproximadamente coincidentes con el diseño de la antigua red de drenaje (siguiendo la pendiente regional, hacia el Paraná-de la Plata). Si bien su génesis se debe al accionar eólico, los procesos fluviales que actuaron y actúan en la planicie loésica son los que caracterizan el paisaje de la Pampa Ondulada.

La planicie loésica conforma una región relativamente alta, con cotas de 30 y 20 m s.n.m, delimitando la divisoria de aguas en esta región. Son terrenos planos o suavemente ondulados, constituidos esencialmente por depósitos loésicos "Pampeanos" es decir, compuestos por las Formaciones Ensenada-Buenos Aires. Como se mencionó previamente, los eventos de acumulación eólica fueron seguidos de largos períodos de estabilidad geomórfica. Fue en esos períodos de estabilidad, donde las condiciones bioclimáticas favorecieron una activa pedogénesis, generando numerosos paleosuelos de diferentes tipos, observables en los perfiles de los depósitos pampeanos y postpampeanos. Estos suelos, se componen de diversos horizontes, pero fueron los horizontes argílicos y los petrocálcicos los que tuvieron una actuación particular, comportándose como superficies estructurales de control para la erosión eólica. Los calcretes fueron especialmente importantes, ya que no sólo controlaron la deflación eólica sino también la incisión fluvial, particularmente con los niveles presentes en la Formación Ensenada mucho más cementados que los niveles calcáreos de la Formación Buenos Aires.

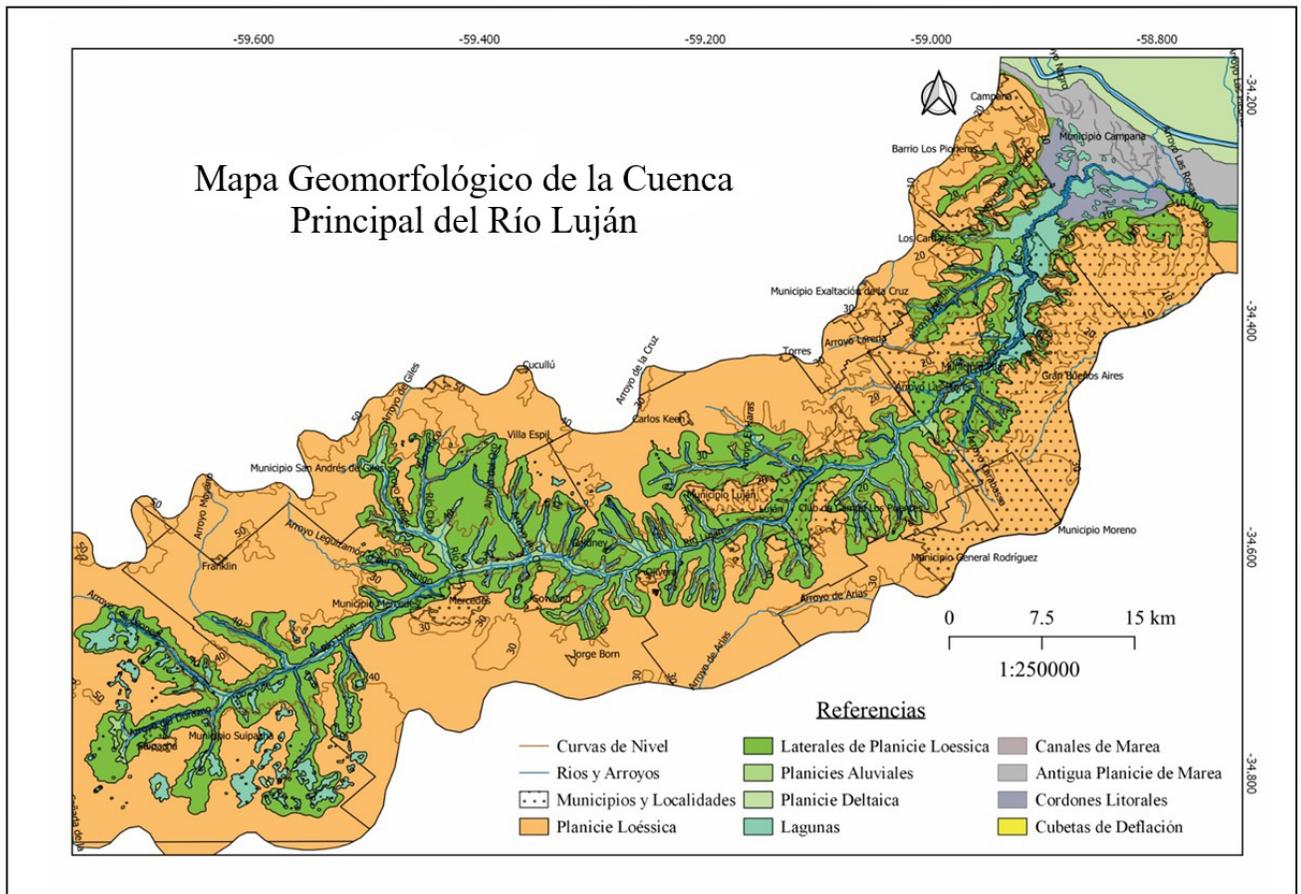


Figura 5. Mapa geomorfológico de la cuenca alta y media del río Luján.

En ciertos sectores de la planicie, se observan unas geoformas redondeadas, que pueden estar o no anegadas, y que pueden presentar cierta linealidad. Estas geoformas son antiguas cubetas de deflación y se formaron en los períodos de clima seco. Muchas de ellas se formaron a partir de depresiones de las antiguas vías de escurrimiento obliteradas parcialmente por el depósito de loess. Las cubetas han ido evolucionando hasta constituir ambientes lacustres y palustres a costa de los climas húmedos que se sucedieron, conformando lagunas, además de ubicarse actualmente en zonas bajas anegadizas.

El río Luján posee hábito meandriforme, con laterales bastante abruptos y estables dada la naturaleza cohesiva de los sedimentos limosos que acarrea. Presenta a grandes rasgos una planicie aluvial de escaso desarrollo, la cual a su vez se encuentra muy intervenida antrópicamente. Es posible diferenciar al menos dos niveles de terrazas en diferentes sectores de su recorrido, especialmente en sectores ubicados entre Mercedes y Luján y aguas abajo, en las cercanías del cruce con RN N°8. Las terrazas involucran a los sedimentos "lujanenses" y "platenses", en el sentido de Ameghino, y no superan la centena de metros de ancho. La zona de la Basílica de Luján, Museo y plaza se ubica en uno de estos niveles de terraza, de unos 10 metros, aproximadamente (Hoja 3560-11-4, Carta Topográfica, IGN).

El perfil longitudinal del río Luján posee resaltos controlados por interposición de bancos de tosca que actúan como límite para la incisión vertical. Los cursos tributarios poseen características similares al troncal y generalmente, en los mayores, al igual que el río Luján, su base suele estar labrada en la Formación Ensenada.

Entre la planicie loésica y la planicie aluvial se encuentra una geoforma de transición, denominada laterales de valle. Se trata de una superficie más o menos continua paralela al curso fluvial, con una pendiente hacia el mismo, bien marcada, como se observa en la zona de Olivera. Se trata de una geoforma de erosión hídrica debida a pequeños cursos fluviales y al flujo no encausado, a los que se suman procesos gravitacionales de tipo reptación de suelos.

### Análisis de las inundaciones

#### Causas y extensión de las inundaciones en la cuenca superior y media

Al generarse importantes precipitaciones en la cuenca de aporte y en el resto del área se producen importantes crecidas en el río. En el caso del río Luján, el escurrimiento responde al modelado fluvial, por lo tanto, el agua que desborda se encuentra con la planicie aluvial, lugar que ocupara el agua de desborde en mayor o menor extensión según la magnitud de la crecida. Este punto es vital, ya que, si el valle de inundación es ocupado por el inminente crecimiento demográfico el agua no tiene otro lugar y, por lo tanto, afectara a la población que allí se asiente. La magnitud y la frecuencia de las inundaciones están íntimamente relacionadas con la intensidad y distribución de las precipitaciones, la capacidad de infiltración y naturaleza de los materiales superficiales y de las características del paisaje. Es por esto que el aumento de población ha incrementado la posibilidad de inundación, dado que el aumento de terreno edificado incrementa considerablemente la escorrentía superficial y muy poca agua puede infiltrar sobre el suelo.

Las causas de las inundaciones en la zona estudiada son una conjunción de diversos factores naturales y humanos (Tabla 3). Las causas naturales incluyen las características climáticas y geológicas-geomorfológicas, entre ellas se destacan precipitaciones frecuentes de gran intensidad, existencia de una red de drenaje poco integrada, existencia de bajos anegables, presencia de capa freática alta y, en menor medida, el proceso de tapón ejercido por las sudestadas en las desembocaduras. La cuenca principal no posee el problema de la sudestada de forma directa, pero si se pueden sentir los efectos de esta como consecuencia de algún evento de esas características en su tramo inferior, trasladándolos aguas arriba, en especial hacia su tramo medio (ej. ciudad de Luján).

Numerosas inundaciones han afectado la región (Tabla 4). Tomando como referencia la ciudad de Luján (que es que la que más información concentra), se desprende que las principales inundaciones ocurrieron en los años 1885, 1985, 1993, 2014, 2015. Se han recopilado datos históricos de las distintas precipitaciones y del nivel alcanzado por el cauce en dichos eventos, desde 1800 hasta la actualidad (Tabla 4). Como se observa en la tabla anterior, desde fines del siglo XIX ya había registros de inundación. En septiembre de 1884 las aguas del río llegaron a la basílica con una precipitación de 245 mm, evento que se repitió en 1885 con una precipitación de 340 mm. Otras inundaciones importantes ocurrieron en 1900 (456,4 mm en siete días), 1903, 1911, 1912, 1914 (389,5 mm), 1933 (300 mm en 2 días), 1959 (del 1 al 20 de abril 349 mm), 1967 (232 mm, en 3 días), alcanzando el río una altura de 5,80 m.

Durante la década del ochenta, Luján sufrió una de sus principales inundaciones históricas. En mayo de 1985 cayeron unos 295,4 mm, lo cual ocasionó una crecida del río de 6,25 metros, dejando a la ciudad de Luján inundada desde la Ruta 7 hasta la Basílica. En esa oportunidad la cantidad de evacuados fue de 4.000. En noviembre del mismo año se registró una segunda inundación, en donde 160 hectáreas fueron alcanzadas por el agua, con más de 19.000 personas afectadas, 300 evacuados y 6.000 auto evacuados. En esta ocasión la Basílica quedó rodeada por un espejo de agua, de unos 0,80 m de altura. Tanto el centro, la terminal de ómnibus y el museo sufrieron anegamientos, alcanzando el agua en esos lugares unos 2 m de altura. Se generaron grandes pérdidas en los documentos del museo y material de archivo. En esta ocasión, el agua afectó sectores que estaban a 200 metros de la ribera del río.

En 1993 la altura registrada del río fue de unos 5,25 metros, generándose un ascenso de unos 20 cm por hora, y una precipitación de 140 mm. Otros eventos de inundación importantes se registraron en los años 2014 y 2015. Para 2014, en los meses de octubre y noviembre se registró una de caída de agua de unos 110-120 mm y una altura del río de 4,26 m. A comienzos de agosto de 2015, un temporal con intensas lluvias afectó varias regiones de la provincia de Buenos Aires, sur de Santa Fe, Entre Ríos, y Córdoba. Este fenómeno provocó inundaciones en diversas cuencas, entre ellas la del río Luján. En esta ocasión el río alcanzó un nivel máximo de 5,43 m, generando grandes anegamientos y afectando principalmente los barrios ubicados en las zonas ribereñas.

En base al análisis de los planos brindados por el Museo Udaondo y el estudio de imágenes satelitales y fotos aéreas de diferentes épocas, las principales alteraciones antrópicas reconocidas a lo largo de la cuenca del río Luján que potencian el efecto de las inundaciones son: 1) intervenciones en zonas anegables, (relleno en sectores anegables, construcción de albardones y ocupación de la planicie aluvial); 2) cambio de drenaje superficial (rectificaciones, dragados, entubamientos), 3) cambios en el uso del suelo (cuenca) relacionados con la compactación, degradación y cambios en el tipo de actividad agrícola y su reemplazo por barrios cerrados y urbanizaciones), estos cambios implican, en primer lugar, el efecto de impermeabilización de las superficies del suelo (asfaltado y forestación del suelo) y 4) construcción de obstáculos al escurrimiento y flujo, como puentes y terraplenes de rutas y vías férreas.

En numerosos sectores de la cuenca se observa el incremento de cota por relleno en sectores anegables (planicie aluvial). A partir de las cartas topográficas de la cuenca del río Luján, se obtiene que la zona de ribera queda comprendida entre las cotas de 10 y 20 m. Varios de esos sectores han sido rellenados para poder elevar el terreno y para el asentamiento de viviendas. En otros casos, las viviendas se ubican sobre zonas bajas anegables. Según los planos, se observó que el aumento poblacional se desarrolló en el centro de la ciudad, pero con el correr del tiempo, se extendieron hacia la ribera y bajos. Los rellenos redujeron el ancho de la planicie aluvial limitando la sección del cauce durante las inundaciones. Alteraciones similares se reconocen también en la construcción de barrios privados en el tramo inferior del río Luján.

**Tabla 3. Causas de las inundaciones en la cuenca superior y media del río Luján.**

Causas de Inundaciones		Acciones, Procesos y Factores
Naturales	Climáticas	Grandes precipitaciones Sudestadas
	Geológicas- y Geomorfológicas	Suelos y materiales superficiales poco permeables Bajas pendientes regionales Crecidas del río Paraná en la zona del Delta
Antrópicas		Impermeabilización por urbanización Remoción de la cubierta vegetal Rectificación de cursos Obstrucción de cursos Ocupación de zonas anegables Remoción de la cobertura edáfica y compactación de los materiales superficiales. Acumulación de residuos en los cauces Puentes viales y ferroviarios con escasa luz, los que los convierte en diques.

**Tabla 4. Eventos extremos en la cuenca del río Luján, precipitaciones asociadas y alturas del nivel de agua por encima del normal en la ciudad de Luján (Fuentes La Verdad, 1; El Telar, 2; Ladrán Sancho, 3; Página 12, 4; La Perla del Plata, 5; El Civismo 6; Presente, 7; El Tiempo, 8)**

Fecha de la inundación (fuente)	Precipitación (mm)	Altura de Río (m)
1884 (1 y 2)	245	-
1885 (1 y 2)	340	-
1888 (1 y 2)	-	-
1890 (5)	-	-
1900 (2)	456,4 (7 días)	-
1932 (6)	-	-
1933 (2)	300	-
1950 (6)	-	6,35
959 (2)	349	-
1962 (6)	-	-
1967 (6)	400 (5 días)	5,8
1968 (6)	200 (2 días)	-
1982 (6)	-	3,90-3,83
1984 (6)	-	4,84 - 4,27
1985 (6)	mayo: 295,4	6,25 - 6,40
1986 (6)	213 (en 2 días) 108 (en 1 día)	4,79
1988 (6)	298	5,52
1991 (6)	-	3,68
1993 (6)	140	5,25
1995 (6)	-	4,16
1998 (6)	-	2,50
2000 (6)	-	3,95
2001 (6)	-	4,42
2003 (6)	-	4,04
2006 (6)	117	4,86
2012 (6)	-	5,12
2014 (7)	110-120	4,26
2015 (4)	+ 200	5,43
2017 (2)	70	1.80
2018 (2)	-	2.90
2018 (2)	120	-
2020 (2)	50	-

Un método empleado para contener la inundación en la ciudad de Luján fue la construcción de albardones de tierra bordeando los márgenes del río. El primer albardón habría sido inaugurado en 1889 en la zona de la ribera de la basílica, y aparece en el plano de 1912. La función de los albardones es la de contener el cauce en momentos de desborde. Para que esta función sea efectiva, los albardones no deben ser disectados en su longitud. Sin embargo, el corte del albardón para la construcción de un paso de vehículos en la calle Lavalle fue la principal causa de la catástrofe de 1967 en la ciudad de Luján. La nota periodística describe que las aguas entraban con tanta violencia que removieron los cimientos de la pasarela recién inaugurada, y por lo tanto se desmoronó. Esta pasarela, se volvió a inaugurar en 1968, pero

en una de las inundaciones de ese mismo año, con una caída de agua de 200 mm, nuevamente volvió a colapsar. En estos cortes del albardón durante la inundación, el flujo de agua aumenta la velocidad y posee mucha energía, incrementando la erosión en las bases de estas estructuras y la susceptibilidad de la inundación en estos sectores.

En la ciudad de Luján el relleno artificial de la planicie disminuye la sección transversal natural del río incrementando la altura del pelo de agua durante la inundación. De esta manera, frente a un mismo caudal de crecida, el nivel de inundación será mayor, potenciando las superficies de terreno inundables. Esta situación se reproduce aguas abajo de la citada localidad.

La impermeabilización de las superficies del suelo es especialmente debida a la pavimentación por la expansión urbana. Esta conlleva un aumento de la escorrentía superficial y una disminución de la infiltración durante el pico de las crecidas (Marcomini y López, 2011). Además, la escorrentía superficial favorece la erosión a medida que el agua fluye.

Finalmente, otro aspecto importante es la construcción de obstáculos al escurrimiento y flujo, entre los que destacan los numerosos puentes, tanto viales como ferroviarios. Los puentes en la ciudad de Luján datan de 1890. Algunos han sido modificados y otros demolidos, pero en general son los principales conectores de los habitantes de la ciudad. Una de las problemáticas que trae la construcción de los puentes es que, al momento de crecida, quedan retenidos todos aquellos materiales que el río arrastra consigo, acumulándose basura en ese lugar. Esto genera una disminución del perfil transversal del cauce, una disminución local del caudal, propiciando el desborde del río aguas arriba.

Considerando los efectos producidos por las inundaciones en la ciudad de Luján desde su fundación, se observa que los mismos han ido aumentando a medida que las modificaciones antrópicas se incrementaban sobre el sistema fluvial. Estas modificaciones fueron realizadas sobre el lecho del río y en sus planicies. En este último punto, se incluyen los asentamientos poblacionales generados por la expansión urbana no planificada, y los grandes emprendimientos inmobiliarios (barrios cerrados).

Todas estas modificaciones realizadas sobre el ambiente natural generaron un aumento significativo de los efectos de las inundaciones en toda la cuenca del río Luján.

### *Mapa de zonas de susceptibilidad de inundación de la cuenca de río Luján*

Los efectos de la naturaleza sobre las poblaciones humanas y sus diversas actividades económicas son múltiples y variados. El accionar de los procesos naturales muchas veces puede alcanzar una importante extensión, magnitud y violencia generando grandes pérdidas. Un determinado fenómeno natural es un proceso que se genera en la naturaleza y que posee una determinada probabilidad de ocurrencia. Este fenómeno o acontecimiento, posee una localización, magnitud o intensidad y frecuencia.

El riesgo en una comunidad determinada, en este caso para la zona de estudio en la cuenca del río Luján, incluye la amenaza o peligrosidad natural, la exposición dada por la localización de la población y su vulnerabilidad. Para el caso particular de las inundaciones, el aumento de los daños generados no implica un incremento de la frecuencia o intensidad del evento, sino que puede significar un incremento de la exposición por un aumento de la urbanización en las zonas aledañas a los cursos fluviales, o en otros casos, por un aumento en la vulnerabilidad (por ejemplo, el establecimiento de la población socialmente más vulnerable) (Figura 6).



Figura 6. A. Vista desde un avión de la ciudad y la Basílica de Luján (11/2014) (Fuente: <http://noqueremosinundarnos.blogspot.com/2014/11/imagen-satelital-de-la-inundacion-de.html>). B. Emprendimiento San Sebastián en el límite entre Pilar y Escobar (10/2014). C. Basílica de Luján: inundaciones 2014. (Fuente: <http://www.eladanbuenosayres.com.ar/la-importancia-de-los-humedales-para-reducir-los-riesgos-de-desastres-naturales/>) D. ribera inundada, ciudad de Lujan (09/2018) (Fuente: <https://tribunadelpueblo.com.ar/2018/09/16/por-las-fuertes-lluvias-el-rio-lujan-salio-de-su-cauce-e-inunda-la-ribera/>).

Del mapa de susceptibilidad de inundación de la cuenca del río Luján (Figura 7) surge que el grado alto de susceptibilidad se diferenció para aquellos sectores más propensos a los anegamientos en los momentos de precipitaciones, es decir, aquellos que se encuentran en las cercanías del río y sectores deprimidos. Por lo tanto, se agruparon dentro de este grupo las planicies de inundación, cubetas de deflación, canales de marea, planicie deltaica, estas últimas dos, aguas abajo, fuera del área de estudio. A este grado de susceptibilidad se le identificó con un color azul oscuro.

El grado medio de susceptibilidad se ubica en aquellos sectores que poseen cotas un poco más elevadas. Estos sectores son alcanzados por las aguas de desborde en aquellos eventos de importante intensidad de precipitación, pero en general, el agua escurre rápidamente de estas áreas y no se generan importantes anegamientos. Las geoformas que poseen grado medio de susceptibilidad son laterales de planicie loésica y la antigua planicie de marea (fuera del área estudiada). Este grado medio de susceptibilidad se evidencia en el mapa con una coloración celeste oscura.

Finalmente, el grado bajo de susceptibilidad queda establecido para aquellos sectores donde difícilmente el agua de las inundaciones alcance debido a que, además de poseer una cota elevada, mayor a 20 metros, están alejadas de la zona de desborde. De esta manera, la geoforma que corresponde a la planicie loésica. La excepción está dada por la ocasional presencia de cubetas, en las cuales el nivel freático aflora, por lo que se incluyen en los sectores de alta o media susceptibilidad, según el caso.

El mapa de susceptibilidad constituye una herramienta para la identificación de zonas con grados de susceptibilidad diferente, por lo tanto, permite plantear distintas medidas tanto estructurales como no estructurales, incluyendo en este último caso, pautas para el ordenamiento territorial y la planificación con la finalidad reducir los efectos ocasionados por las inundaciones.

### CONCLUSIONES

La cuenca principal del río Luján experimenta frecuentes inundaciones, las cuales han quedado registradas en varias localidades que allí se asientan. Una de ellas es la ciudad de Luján, la cual registra eventos desde su fundación en 1885. Las inundaciones tienen una relación directa con las precipitaciones; sin embargo, las modificaciones antrópicas que se han realizado sobre el sistema fluvial las han potenciado significativamente. De esta manera, las crecidas ordinarias afectan sectores que no eran alcanzados previamente.

Las modificaciones humanas más significativas realizadas sobre el sistema fluvial se han agrupado a partir del análisis de la evolución histórica en cinco grupos. El primero incluye obras de relleno en planicies aluviales y bajos, mediante el incremento de cota y la construcción de albardones. En la ciudad de Luján fue producto del aumento demográfico, pero en el tramo inferior de la cuenca principal se da por el aumento de la construcción de barrios privados sobre la planicie aluvial. El segundo grupo corresponde a las modificaciones humanas que generaron un cambio en el drenaje superficial. En el tercer grupo se encuentran

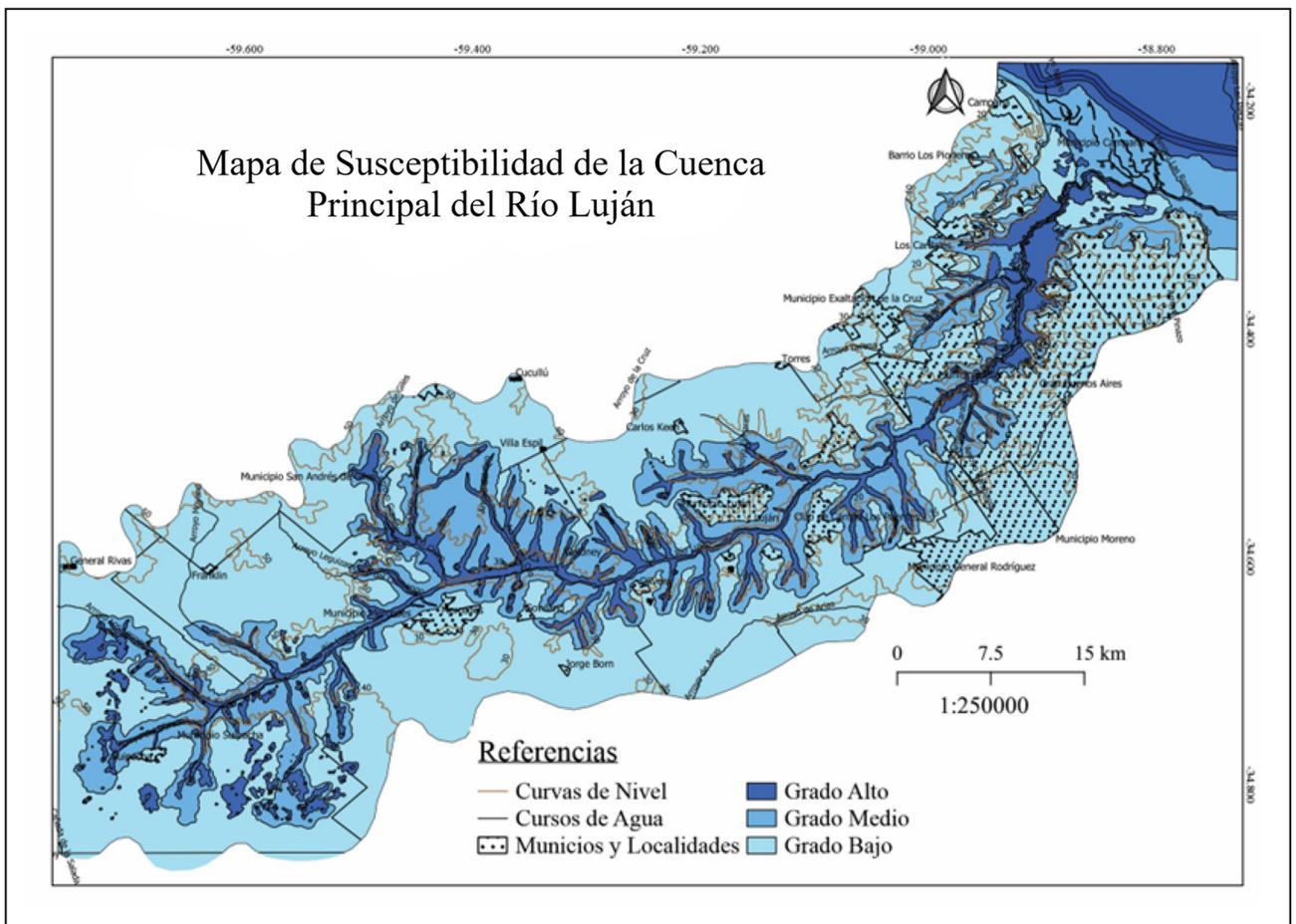


Figura 7. Mapa de Peligrosidad de la Cuenca Alta y Media del Río Luján.

las modificaciones generadas por la impermeabilización de las superficies del suelo, ya sea por asfaltado e incremento urbano o por los cambios en el uso del suelo (compactación, degradación y cambios en el tipo de actividad agrícola). El último grupo contiene las modificaciones relacionadas con la construcción de obstáculos al escurrimiento y flujo y en este punto se incluye la construcción de puentes.

Es evidente que, ante las sucesivas modificaciones sobre el ambiente fluvial natural, los efectos de las inundaciones se han ido incrementando. Esto se demuestra en los diversos registros históricos periodísticos de inundaciones donde se plasma que, ante las sucesivas modificaciones antrópicas sobre el lecho fluvial, los efectos de las inundaciones se fueron agravando, sobre todo en estos últimos años.

A partir de la caracterización geológica, geomorfológica, edáfica e hidrológica del área se realizó un mapa de susceptibilidad de los tramos superior, medio e inferior de la cuenca principal del río Luján. Se delimitaron tres grados de susceptibilidad, siendo estos, bajo, medio y alto, quedando agrupadas, en cada uno de ellos, diversas geofomas y sus suelos asociados. El grado alto contiene los sectores de cotas con valores menores de 15 metros, ubicándose en las inmediaciones de la ribera del río. El grado medio corresponde a las áreas de cotas entre 15 y 20 metros. El grado bajo se sitúa en zonas de cotas de más de 20 metros, ubicados sobre la planicie loésica.

Del mapa de susceptibilidad se desprende que, cuando se producen los eventos de inundación, si bien toda la cuenca se ve afectada, los mayores efectos se observan en los sectores de grados de susceptibilidad alta. Estas zonas están contenidas dentro del área azul oscura y ubicadas en las cercanías de la ribera donde, en varias localidades de la cuenca media e inferior, se ubican importantes asentamientos y la urbanización es importante, registrándose grandes pérdidas económicas y causando importantes problemas sociales en la región. Asimismo, cuando estos eventos alcanzan la zona de la cuenca superior, donde la actividad agropecuaria es dominante, las mismas ven sumamente afectadas por el alcance del agua.

En función del trabajo realizado, se desprende que, para lograr la disminución de los efectos nocivos de las inundaciones en la zona, es fundamental tener en cuenta las características geomorfológicas del sistema fluvial. Consecuentemente es necesario considerar los aspectos geológico-geomorfológicos en la planificación y en la toma de decisiones en lo referente a la implementación de medidas tanto estructurales como no estructurales. Estas últimas generalmente soslayadas, suelen ser las más efectivas a la hora de mitigar los efectos de las inundaciones e incluyen en primer lugar el ordenamiento territorial. Asimismo, las intervenciones hidráulicas, asentamientos habitacionales, y cualquier tipo de modificación que se realice en las inmediaciones y sobre el río deben basarse en la consideración de los aspectos propios del medio físico.

#### CONTRIBUCION DE AUTORÍA

“Todos los autores contribuyeron a la concepción y el diseño del estudio. La preparación del material, la recopilación y el análisis de datos fueron realizados por Vanesa G. Molero, Fernando X. Pereyra, Silvia Marcomini. El primer borrador del manuscrito fue escrito por Vanesa G. Molero y todos los autores comentaron las versiones anteriores del manuscrito. Todos los autores leyeron y aprobaron el manuscrito final.”

#### DECLARACIÓN DE CONFLICTOS DE INTERESES

“Los Autores declaran que no existe algún conflicto de interés”.

#### TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

AMEGHINO, F. (1889).

Contribución al conocimiento de los mamíferos fósiles de la República Argentina.  
*Actas de la Academia Nacional de Ciencias de la República Argentina en Córdoba, Vol. 6, 1-298.*

ANDRADE, M. (1986).

Factores de deterioro ambiental en la cuenca del Río Luján.  
*Instituto de Geografía. Facultad de Filosofía y Letras. Universidad de Buenos Aires.*

BLASSI, A., CASTIÑEIRA LATORRE, L., DEL PUERTO, L., PRIETO, A., FUCKS, E., DE FRANCESCO, C., HANSON, P., GARCÍA RODRIGUEZ, F., HUARTE, R., CARBONARI, J., YOUNG, A. (2010).

Paleoambientes de la cuenca medio del río Luján (Buenos Aires, Argentina) durante el último período glacial (EIO 4-2).

*Latin american journal of sedimentology and basin analysis, Vol. 17: 85-111.*

BREA, J., REYNA, J., SPALLETTI, P., (2007).

Diagnóstico del funcionamiento hidrológico hidráulico de la cuenca del río Luján, Provincia de Buenos Aires.  
*Delimitación de las zonas de bajo riesgo hídrico. Laboratorio de hidráulica aplicada. Instituto Nacional del Agua. Buenos Aires.*

BUZAI, G. D. (2018).

Crecimiento urbano y potenciales conflictos entre usos del suelo en el municipio de Luján.  
*Cuadernos Geográficos, Vol. 57: 155-176.*

BUZAI, G.D.; LANZELOTTI, S. L. (2019).

Atlas de Geografía Humana de la cuenca del río Luján.  
*Instituto de Investigaciones Geográficas. Universidad de Luján. Buenos Aires.*

- FIDALGO, F., DE FRANCESCO, F.O. Y COLADO, U.R. (1973).  
Geología superficial de las Hojas Castelli, J.M. Cobo y Monasterio, Provincia de Buenos Aires.  
*5º Congreso Geológico Argentino. Vol. 4: 27-39.*
- FIDALGO, F., COLADO, U.R. Y DE FRANCESCO, F.O. (1973).  
Sobre intrusiones marinas cuaternarias en los partidos de Castelli, Chascomús y Magdalena  
(Provincia de Buenos Aires).  
*5º Congreso Geológico Argentino (Córdoba). Vol. 4: 225-24.*
- FRENGUELLI, J. (1945).  
El Piso Platense.  
*Revista del Museo de La Plata. Vol. 2: 287-311.*
- FRENGUELLI, J. (1957).  
Neozoico. En Geografía de la República Argentina.  
*Sociedad Argentina de Estudios Geográficos (GAEA). Vol. 2: 1-218.*
- FUCKS, E. (2005).  
Estratigrafía y geomorfología en el ámbito del curso inferior del río Luján, Provincia de Buenos Aires.  
*Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata, 857: 239.*
- FUCKS, E. Y DESCHAMPS, C.M. (2008).  
Depósitos continentales cuaternarios en el noroeste de la provincia de Buenos Aires.  
*Revista de la Asociación Geológica Argentina. Vol. 63: 326-343.*
- INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGÍA AGROPECUARIA (INTA). (2009).  
Carta de Suelos de la República Argentina, Hoja 3560.  
*Buenos Aires.*
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y CENSOS (INDEC).  
Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 1991, 2001, 2010.
- MARCOMINI, S.C., LÓPEZ, R.A. (2011).  
Problemática ambiental del estuario del río de la Plata y Delta del Paraná.  
*En López, R.A., y Marcomini, S.C. (Ed.). Problemática de los Ambientes Costeros, Sur de Brasil, Uruguay y Argentina (129- 144). Buenos Aires, Argentina: Croquis.*
- PEREYRA, F. X. (2004).  
Geología urbana del área metropolitana bonaerense (AMBA), Argentina y su influencia en la problemática ambiental.  
*Serie de contribuciones técnicas - Ordenamiento Territorial. Instituto de Geología y Recursos Minerales. Dirección de Geología Regional y Aplicada. Servicio Geológico Minero Argentino. Vol. 4.*
- PEREYRA F. X. (2014).  
Inundaciones en el área Metropolitana Bonaerense (Amba) y Gran La Plata: causas, evaluación del riesgo y ordenamiento territorial.  
*XI Simposio de la Asociación Internacional de Planificación Urbana y Ambiente, Vol. 11: 254-267.*
- PEREYRA, F. X., TOBÍO, M. (2018).  
Geomorfología de la Provincia de Buenos Aires.  
*Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino. Serie Contribuciones Técnicas - Ordenamiento Territorial, Vol. 10.*
- PEREYRA, F.; CASANOVA, C; PAGNANINI, F. (2021).  
Hojas Geológicas 3557- I Buenos Aires, 3560- II José C. Paz.  
*Servicio Geológico Minero Argentino. Instituto de Geología y Recursos Minerales. (En prensa). Buenos Aires.*
- SOIL SURVEY STAFF. (2014).  
Soil Taxonomy - Claves para la Taxonomía de Suelos.  
*Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Servicio de Conservación de Recursos Naturales. Vol. 400. Décima segunda Edición.*
- TÓFALO O., ETCHICHURY M. Y FRESINA M. (2005).  
Características texturales y petrofacies de depósitos neógenos, Bancalari, provincia de Buenos Aires.  
*Revista de la Asociación Geológica Argentina, Vol. 60: 316-326.*
- TOLEDO, M. (2005).  
Secuencias Pleistocenas “lujanenses” en su sección tipo: Primeras dataciones C14 e implicancias estratigráficas, arqueológicas e históricas, Lujan-Jáuregui, provincia de Buenos Aires.  
*Revista de la Asociación Geológica Argentina, Vol. 60: 417-424.*
- TOLEDO, M. (2011).  
El legado Lujanense de Ameghino: revisión estratigráfica de los depósitos pleistocenos-holocenos del valle del río Luján en su sección tipo.  
*Registro paleoclimáticos en la Pampa de los estadios OIS 4 al OIS 1. Revista de la Asociación Geológica Argentina, Vol. 1: 121-167.*