



Universidad de Buenos Aires  
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales  
Departamento de Ciencias Geológicas



## ESTUDIO GEOAMBIENTAL Y DE RIESGO GEOLÓGICO DE LA LOCALIDAD DE GENERAL BELGRANO, BUENOS AIRES



Trabajo Final de Licenciatura

Autor: Antonella Monti  
Directora: Marcomini, Silvia Cristina  
Co-Director: López, Rubén

2024



## RESUMEN

El presente trabajo se desarrolló en la localidad de General Belgrano, Buenos Aires, situada dentro de la Cuenca del Río Salado, con el propósito de evaluar las consecuencias ambientales y el riesgo geológico producto de las variabilidades climáticas de la región pampeana.

Para conocer la estratigrafía de la zona se confeccionó un perfil sedimentario en donde se representaron los sedimentos fluviales Lujanenses, sedimentos aluviales recientes y dos niveles de paleosuelo.

Mediante la comparación de imágenes se analizaron cambios geomorfológicos ocurridos en el tiempo, naturales y antrópicos. Además, se confeccionó un mapa de escala 1:80.000 donde se representó el cauce natural del río Salado, un meandro abandonado en consecuencia de una obra hidráulica, tres niveles de terrazas fluviales, una planicie de inundación, lagunas efímeras y distintos elementos antrópicos de interés. También, se realizó un perfil topográfico transversal al río en su tramo natural, donde se identificaron geoformas menores.

Se recopiló documentación sobre inundaciones y sequías en la zona y se realizó un análisis estadístico de las precipitaciones anuales históricas para estimar tendencias climáticas. Se observó un leve aumento de las precipitaciones, pero también un incremento en la frecuencia de los períodos secos. Se identificó una importante variabilidad climática desde los últimos 94 años: a) periodo seco (1931-1957), b) periodo con precipitaciones normales (1958 y 1977), c) periodo húmedo (1978-1986) d) periodo con fuerte alternancia entre sequías e inundaciones (1987-presente).

Para caracterizar las condiciones hidrodinámicas y sedimentológicas del río Salado, actuales y su evolución en el tiempo, se realizaron los ensayos de granulometría, límites de Atterberg, Loss of Ignition, se clasificaron las muestras según Blott y Pye (2012), y se estimaron las velocidades de flujo máximas alcanzadas. Se obtuvo que las variabilidades climatológicas influyen en la hidrodinámica del río y en la depositación de sedimentos:

En el sector de libre circulación predominan los sedimentos fango-arenosos con gravas (4,75 mm) indicando alta energía de flujo (83 cm/s). En el sector aislado de la circulación predomina el transporte por suspensión y la decantación de fangos (93%), con alto contenido de materia orgánica (11,42%). El flujo de agua puede alcanzar velocidades para transportar arena mediana (22 cm/s).

Las muestras testigo indican variaciones hidrodinámicas en el tiempo: los periodos de mayor energía (83 cm/s) (inundaciones) aumentan la capacidad de carga: transporte por saltación (32% arena), suspensión (32% fango) y tracción (36% gravas). En los periodos secos predomina el transporte por suspensión y decantación de finos (89% fango).

Se midieron y compararon parámetros físico-químicos del agua entre el tramo natural y el meandro, observándose en este último un ambiente reductor (27mV), de temperaturas elevadas (32,84°C) y mayor alcalinidad (pH = 9,28).

Se analizó el impacto producido por las obras hidráulicas en la localidad. Si bien redujeron el riesgo de inundación, produjeron que en los periodos secos extremos el meandro se desconecte del cauce natural, derivando en la eutrofización del sistema y generando impactos ambientales, ecológicos y socioeconómicos, potenciados por distintas actividades antrópicas.

Finalmente, se proponen medidas integradas para mitigar los efectos ambientales negativos y prevenir futuros riesgos.

## ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN .....	4
1.1 Ubicación.....	4
1.2 Objetivos .....	5
1.3 Metodología.....	6
1.4 Antecedentes .....	10
2. CARACTERÍSTICAS DEL AMBIENTE.....	13
2.1 Clima .....	13
2.2 Suelos .....	16
2.3 Flora y Fauna .....	17
3. GEOLOGÍA.....	18
3.1 Marco geológico .....	18
3.3 Estratigrafía de la zona de estudio.....	22
3.4 Correlación de las unidades estratigráficas reconocidas en el área de estudio.....	31
4. GEOMORFOLOGÍA.....	33
4.1 Marco geomorfológico .....	33
4.2 Geomorfología de la zona de estudio .....	34
4.3 Intervención antrópica y cambios en la geomorfología .....	45
5. RIESGO GEOLÓGICO .....	52
5.1 Inundaciones y sequías.....	53
5.2 Análisis de las precipitaciones .....	55
6. CARACTERIZACIÓN SEDIMENTOLÓGICA Y FÍSICO-QUÍMICA DEL RÍO SALADO ....	62
6.1 Dinámica sedimentaria actual.....	62
6.2 Evolución de la dinámica sedimentaria.....	70
7. CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL .....	86
7.1 Distribución poblacional y actividades .....	86
7.2 Gestión urbana.....	87
8. RESULTADOS Y CONCLUSIONES .....	96
BIBLIOGRAFÍA.....	99
ANEXO I: Figuras Complementarias .....	110
ANEXO II: Metodología.....	116
ANEXO III: Resultados de los ensayos de laboratorio.....	132



# 1. INTRODUCCIÓN

Entre los principales riesgos geológicos que afectan las zonas de llanura pampeana, el riesgo de inundación ha sido siempre considerado como uno de los principales. Por ello, la mayoría de las obras hidráulicas para mitigar los efectos de las inundaciones han sido diseñadas considerando los parámetros de escurrimiento y caudal asociados a períodos húmedos extremos. Sin embargo, los registros de las variabilidades climáticas en cuenca del Salado en los últimos siglos demuestran que el área ha sufrido una alternancia significativa entre períodos secos y húmedos, con consecuencias de riesgos extremos también en eventos de sequías. Ambos episodios se presentan de manera alternada a lo largo del tiempo. Si bien muchas veces pueden ser más evidentes las consecuencias que ocurren por las inundaciones, es importante considerar las que suceden en épocas de sequía, desde las ambientales, como la erosión y degradación del suelo, la eutrofización de los sistemas acuáticos que deriva en la alteración del ecosistema y la mortandad de especies, hasta las socioeconómicas, como pérdidas en la producción agrícola, ganadera, pesquera y en el sector turístico.

Por otro lado, las intervenciones antrópicas realizadas con el fin de minimizar el efecto de inundación pueden producir efectos adversos en el ambiente durante las sequías. Hasta el momento son muy escasas las investigaciones geológicas que abordan la problemática ambiental (Díaz Apella, 2023; Pommarés, 2020) en épocas de sequías. La presente tesis intenta contribuir con datos concretos y precisos para dar respuesta al manejo ambiental ante las variabilidades climáticas. Además, demuestra la necesidad de abordar de forma integrada el manejo de los sistemas hidrológicos de la llanura pampeana considerando tanto las consecuencias de los períodos húmedo y secos extremos.

## 1.1 Ubicación

El presente trabajo se desarrolló en la localidad de General Belgrano, provincia de Buenos Aires, Argentina (Figura 1). La misma formó parte de Las Flores hasta que alcanzó su autonomía a partir de la estación ferroviaria “Salado”, convirtiéndose en el único pueblo ubicado a orillas del río homónimo; tal es así, que se la denomina “capital” del río Salado. Se ubica a 162 km de distancia de la ciudad de Buenos Aires y se puede acceder a ella a partir de las RP 29 y RP 41. Limita al noroeste con la localidad de San Miguel del Monte, al noreste con Chascomús, al sudeste con Pila y al noreste con Las Flores.

El partido forma parte de la Cuenca del Río Salado, coincidente con la denominada unidad

geomorfológica Pampa Deprimida (Frenguelli, 1950) y dentro de la región hídrica Vallimanca/Las Flores (Sala *et al.* 1983). Dicha cuenca presenta sus nacientes al sur de la provincia de Santa Fe y su desembocadura en la bahía de Samborombón (Figura 1). Se extiende en sentido NO-SE a lo largo de unos 650 km y abarca un área de aproximadamente 170.000 km<sup>2</sup> (García *et al.* 2018) mayormente en la provincia de Buenos Aires, cubriendo 56 de sus 134 municipios y representando gran importancia en materia socioeconómica (Herzer *et al.* 2003).

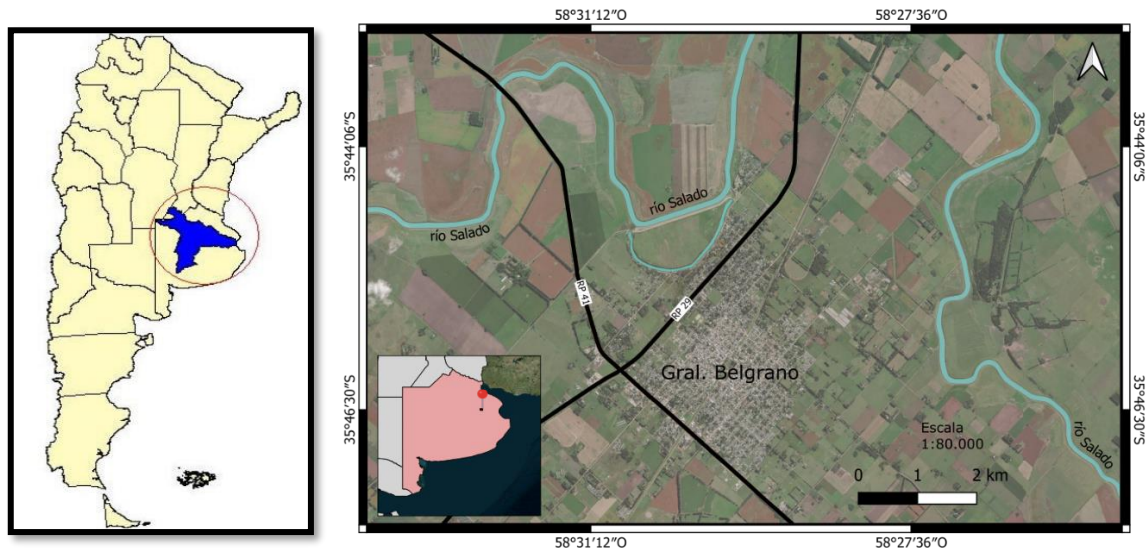


Figura 1: Izquierda: Mapa de ubicación de la cuenca hidrográfica del Salado, tomado de SSRH (2002). Derecha: Mapa de ubicación de la zona de estudio.

## 1.2 Objetivos

El presente trabajo final de licenciatura tiene como finalidad evaluar las consecuencias ambientales y el riesgo geológico que producen las variabilidades climáticas en un tramo del río Salado asociado a la localidad de General Belgrano. Para ello se debieron cumplimentar los siguientes objetivos específicos:

1. Realizar una caracterización geomorfológica de la zona de estudio.
2. Realizar un análisis estadístico de las precipitaciones anuales históricas para estimar tendencias y variabilidades climáticas en la región.
3. Recopilar y documentar la ocurrencia de eventos de inundaciones y sequías.
4. Caracterizar las condiciones hidrodinámicas y sedimentológicas de los sedimentos de fondo del cauce del río Salado, para estimar los cambios en las condiciones ambientales en los registros geológicos mediante análisis de testigos.
5. Evaluar el impacto ambiental y riesgo producido por las obras hidráulicas tanto en periodo de inundación como en sequías.

6. Proponer medidas para mitigar los efectos ambientales adversos y el riesgo de inundación en forma integrada.

Finalmente, se proporciona una serie de recomendaciones y medidas de mitigación para abordar las consecuencias ya manifestadas en el entorno y prevenir la recurrencia de problemáticas similares en el futuro.

### 1.3 Metodología

Para llevar a cabo este trabajo, en primer lugar, se realizó una recopilación bibliográfica de imágenes satelitales y antecedentes de la zona de estudio. A partir de las imágenes satelitales se realizó un primer reconocimiento de la geomorfología de la zona y su variación a lo largo de los años, así como también una identificación de los puntos de interés para realizar descripciones y para la toma de muestras.

En el mes de enero del año 2023 se recopiló información en distintos puntos de la localidad de General Belgrano: en el Museo Histórico Municipal "Alfredo Enrique Múlgura" se obtuvieron fotografías antiguas de la zona balnearia del río Salado y de la ciudad en las cuales se pueden observar distintos registros de inundaciones previas a la construcción del sistema de compuertas. Además, se obtuvieron registros de la evolución del basural municipal de la localidad y sobre del tratamiento de los desechos; en la cooperativa de agua ABSA se adquirieron datos sobre la ubicación y posición de los pozos de abastecimiento, la calidad y tratamiento del agua y del manejo de efluentes cloacales.

Se analizaron también las principales fuentes de contaminación puntual como frigoríficos (se consultó sobre el tratamiento que se realiza a las aguas residuales), y el complejo "termas del Salado" (contaminación termal).

Se realizó una solicitud de datos de temperaturas y precipitaciones históricas al Servicio Meteorológico Nacional de las estaciones de aforo más cercanas a la localidad de General Belgrano: Dolores y Las Flores.

El día 8 de febrero del 2023 se realizó el viaje de campaña, aprovechando un evento de sequía extrema ocurrido entre finales del año 2019 y mediados del 2023. Durante el mismo se relevó un perfil topográfico, un perfil sedimentario, se recolectaron las muestras necesarias para su descripción y se midieron parámetros físico-químicos en el agua del río.

Las muestras fueron tomadas en dos puntos estratégicos principales. Estos corresponden al tramo de libre circulación del río (Sector de muestreo 1) y al tramo sin circulación (Sector de muestreo 2) (Figura 2). En la Tabla 1 se detallan los diferentes tipos de muestras tomadas,

junto con el nombre que se le otorgó a cada una de ellas, su ubicación y los ensayos que se les realizaron.

Lugar de muestreo	Tipo de muestra	Nombre	Ubicación	Profundidad	Ensayo realizado/ mediciones
Sector de muestreo 1	Muestra recogida con barreno	M1	Lecho del río 35°44'24.39"S 58°29'38.25"O	Superficie	Granulometría, Límites de Atterberg, Observación en lupa, LOI
	Muestra recogida con barreno	M2	Lecho del río 35°44'24.32"S 58°29'39.01"O	Superficie	Granulometría, Límites de Atterberg, Observación en lupa, LOI
	Muestra recogida con barreno	M3	Lecho del río 35°44'24.27"S 58°29'39.85"O	Superficie	Granulometría, Límites de Atterberg, Observación en lupa
	Muestra recogida con barreno	M4	Planicie aluvial 35°44'24.13"S 58°29'40.61"O	Superficie	Granulometría, Límites de Atterberg, Observación en lupa
	Muestra testigo	MT1a	Planicie aluvial 35°44'24.13"S 58°29'40.61"O	18 cm	Granulometría, Límites de Atterberg, Observación en lupa, LOI
	Muestra testigo	MT1b	Planicie aluvial 35°44'24.13"S 58°29'40.61"O	28 cm	Granulometría, Límites de Atterberg, Observación en lupa
	Muestra testigo	MT1c	Planicie aluvial 35°44'24.13"S 58°29'40.61"O	42 cm	Granulometría, Límites de Atterberg, Observación en lupa
	Muestra testigo	MT1d	Planicie aluvial 35°44'24.13"S 58°29'40.61"O	56 cm	Granulometría, Límites de Atterberg, Observación en lupa
	Muestra testigo	MT1e	Planicie aluvial 35°44'24.13"S 58°29'40.61"O	70 cm	Granulometría, Límites de Atterberg, Observación en lupa, LOI
	Medición de parámetros fisicoquímicos	FQ1	Curso de agua 35°44'24.81"S 58°29'38.01"O	Pelo de agua	pH, ORP, TSD, Salinidad, Temperatura
Sector de muestreo 2	Muestra recogida con barreno	M5	Lecho del río 35°45'13.87"S 58°30'23.36"O	Superficie	Granulometría, Observación en lupa, LOI
	Muestra testigo	MT2b	Planicie aluvial 35°45'12.56"S 58°30'23.35"O	10 cm	Granulometría, Observación en lupa
	Muestra testigo	MT2c	Planicie aluvial 35°45'12.56"S 58°30'23.35"O	30 cm	Granulometría, Observación en lupa, LOI
	Muestra testigo	MT2f	Planicie aluvial 35°45'12.56"S 58°30'23.35"O	72 cm	Granulometría, Observación en lupa
	Medición de parámetros fisicoquímicos	FQ2	Curso de agua 35°45'13.87"S 58°30'23.36"O	Pelo de agua	pH, ORP, TSD, Salinidad, Temperatura

Tabla 1: Tipo de muestras tomadas con su correspondiente nombre, ubicación, profundidad y ensayos realizados. Donde: LOI (*Loss of Ignition*), pH (potencial de hidrógeno), ORP (Potencial de óxido reducción), TSD (Total de sólidos disueltos).

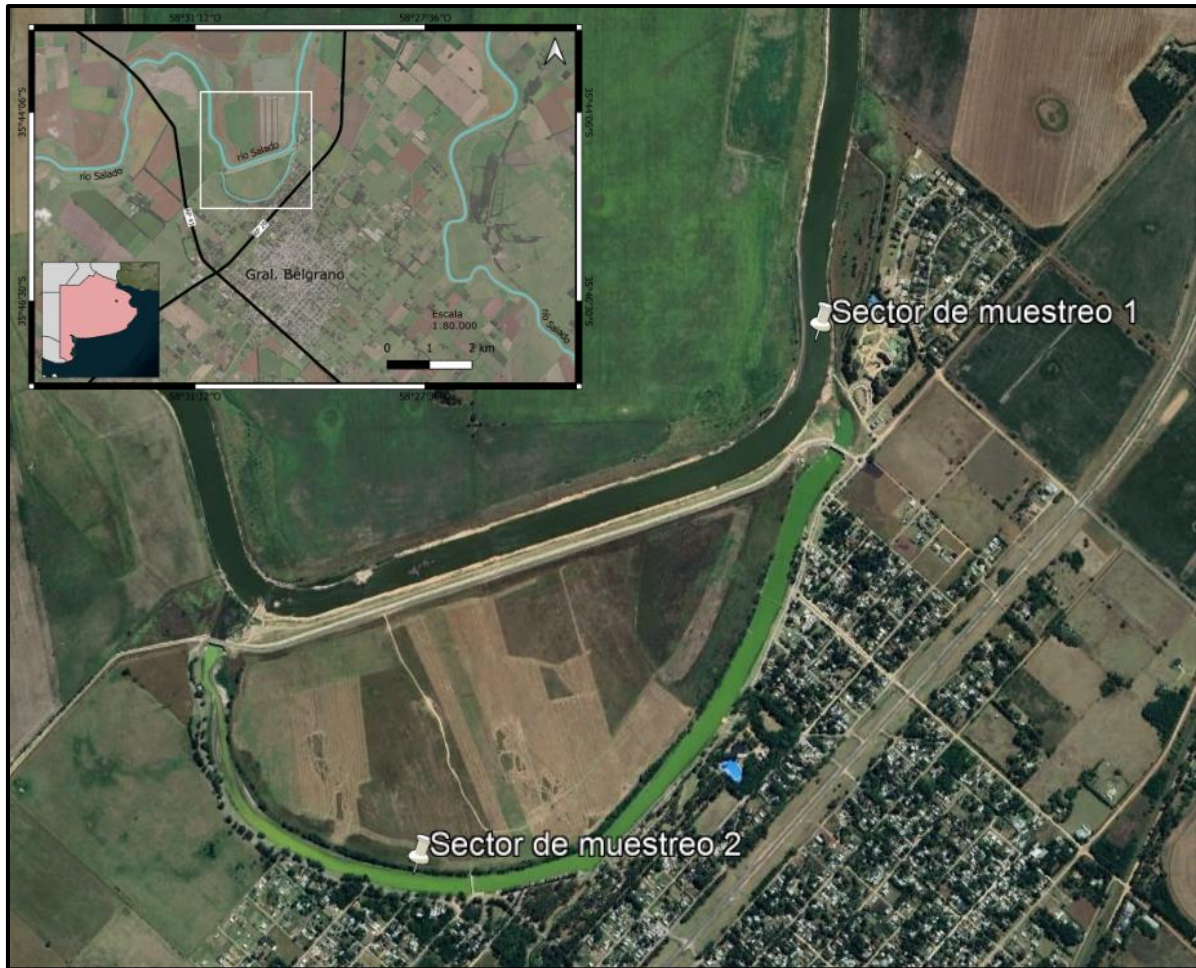


Figura 2: Imagen satelital Landsat/Copernicus del año 2023 (tomada de Google Earth) de la zona de estudio en donde se detalla la ubicación de los muestreos realizados para este trabajo.

En el laboratorio de sedimentología del Departamento de Ciencias Geológicas (FCEN, UBA) se observaron las muestras recolectadas en la lupa para obtener un reconocimiento más detallado de la granulometría y sedimentología de las mismas y también para reconocer la presencia de algún organismo o estructura que no pudiera observarse macroscópicamente. Se realizó el ensayo de granulometría para poder clasificar las muestras (Anexo II, 5a). Para la determinación del fango se emplearon los ensayos de límites de Atterberg (Anexo II, 5b): a partir del límite líquido y límite plástico fue posible realizar el cálculo del índice de plasticidad para estimar si una muestra está mayormente compuesta por limo o por arcilla.

A las muestras de fondo de canal se les calculó el porcentaje de humedad natural (Anexo II, 5c) que presentaban para determinar sus propiedades.

A determinadas muestras se le realizó el ensayo de *Loss of Ignition* (Anexo II, 5d), a partir del cual se puede conocer el contenido de materia orgánica.

Finalmente, el resto de las tareas prosiguieron en gabinete y consistieron en:

- 1) Confección gráfica del perfil sedimentario utilizando el programa de diseño “Inkscape”.
- 2) Confección del mapa geomorfológico mediante “QGIS”. Se utilizó el mapa base Bing Aerial 1, el DATUM World Geodetic System 1984 (WGS 84) y la proyección Pseudo-Mercator EPSG:3857. Para la delimitación de las terrazas se utilizó un modelo de elevación digital basado en datos del *Shuttle Radar Topography* (SRTM).
- 3) Clasificación de las muestras sedimentarias mediante el programa “Particle size distribution classification” de Blott y Pye (2012).
- 4) Confección de la curva Hjulström (1935) para la obtención de las velocidades máximas y mínimas de transporte para las muestras de fondo de canal y de los testigos.
- 5) Análisis e interpretación de los datos obtenidos.

## 1.4 Antecedentes

Diversos autores han estudiado la región pampeana desde el siglo XIX. Los trabajos de González Bonorino (1965), Tricart (1973), Fidalgo *et al.* (1973), Ameghino (1984) fueron pioneros en cuanto al desarrollo de las bases estratigráficas, geomorfológicas y su relación con las variabilidades climáticas del pasado.

La región pampeana se caracteriza por ser un paisaje llano que responde a procesos tanto erosivos como de acumulación mantiforme de los sedimentos eólicos de la Formación Pampeano (González Bonorino, 1965). Estas acumulaciones eólicas fueron retrabajadas por el viento, agua y gravedad, en respuesta a las oscilaciones climáticas ocurridas durante el cuaternario (Fucks, 2005), dando origen a diferentes morfologías que llevaron a dividir la región pampeana en distintas unidades geomorfológicas: Pampa Arenosa (Iriondo y Krohling, 1995), Pampa Deprimida (Frenguelli, 1950), Pampa Ondulada (Daus, 1969).

Este paisaje llano se caracteriza por presentar pendientes topográficas muy bajas. Kruse y Zimmermann (2002) proponen que las mismas varían desde valores del orden de 1% hasta incluso menores al 0,5%. Sala *et al.* (1983) indican que en el sistema Salado-Vallimanca las mismas son de  $10^{-4}$  y que la densidad de drenaje es de  $0,05 \text{ km/km}^2$ .

Frenguelli (1950) vinculó los rasgos morfológicos superficiales con la tectónica del basamento, indicando el predominio de dos orientaciones principales en los rasgos morfológicos superficiales de la provincia: un rumbo NO-SE para los sistemas serranos y los dos grandes elementos morfoestructurales negativos de la provincia: la cuenca del Salado y de Colorado, controladas por la apertura del Atlántico Sur (Urien y Zambrano, 1996), y una orientación SO-NE en la zona deprimida de la región central de la provincia, controladas por estructuras del Precámbrico y del Paleozoico superior. Zárate y Rabassa (2005) afirman que estas estructuras además han condicionado la acción de los procesos sedimentarios y geomorfológicos posteriores.

La zona de estudio de este trabajo se ubica específicamente en La Pampa Deprimida. Esta fue denominada por Frenguelli (1950) como área Pampásica deprimida o central y se ubica en el sector centro-este de la provincia de Buenos Aires. Hacia el N limita con la Pampa ondulada, hacia el S con el sistema de Tandilia, hacia el E con el ambiente litoral marino y hacia el O con la Pampa Arenosa. Fidalgo (1983) la describe como el sector que incluye la mayor parte de la cuenca del río Salado al cual llegan escasos tributarios, principalmente por



su margen izquierdo. Posteriormente, Fidalgo (1992) la caracteriza como una zona fácilmente anegable, por ser una región con un drenaje fluvial de muy baja pendiente.

Esta región se compone por diversas geoformas, entre las cuales se encuentra una gran cantidad de depresiones cerradas ocasionadas por procesos deflacionarios durante los períodos secos, que luego durante los climas húmedos constituyen lagunas (Frenguelli, 1950; Fidalgo *et al.*, 1973). En ocasiones se conectan a través de un colector, mientras que en otras constituyen cuencas endorreicas. Según Riggi *et al.* (1986) el sustrato de las mismas corresponde a los depósitos de las Formaciones Ensenada y/o Buenos Aires. Diversos autores han discutido sobre el origen de las mismas, dado que son las geoformas predominantes de la región: por su parte, Tricart (1973) afirma que se originaron por deflación eólica. Por su parte, Malagnino (1988), con respecto a las lagunas interconectadas, considera que se habrían formado en el lecho del río Salado bajo condiciones de sequía y extrema aridez y que este se habría originado previamente a las cuencas de deflación, otorgándoles una herencia fluvial. Luego, Dangavs (1998) señala que el proceso dominante es deflacionario y que con menor frecuencia su origen se relaciona a cauces fluviales preexistentes. Dangavs (2005b, 2019) concluye que la formación y evolución de las cubetas responden a la acción combinada de varios procesos.

Otras geoformas corresponden a las dunas de arcilla/lunettes/lúnulas y fueron estudiadas por diversos autores como Hills (1940), Bowler (1973), Dangavs (1979), Fucks *et al.* (2012), entre otros, junto con los depósitos de variada composición ubicados en los bordes de algunas lagunas de la región, como la de Lobos, Cerrillo del Medio, El Siasgo (ubicada inmediatamente al norte de la zona de estudio de este trabajo), Santa Rosa, el complejo lagunar Salada Grande, entre otras (Dangavs, 1979, 2018, 2019; Dangavs y Reynaldi, 2008; Dangavs y Blasi, 2002).

Con respecto a la cartografía, se han elaborado diversos mapas geomorfológicos de la zona de estudio: INTA (1977), Fucks *et al.* (2012), Pereyra (2018), principalmente.

Fucks *et al.* (2012), realizaron un mapa de los principales rasgos y unidades geomorfológicas de la provincia de Buenos Aires (Anexo I, 1). Pereyra (2018) realizó un mapa geomorfológico de la provincia de Buenos Aires a escala regional representando 11 unidades geomorfológicas de acuerdo a las características morfoestructurales y a los procesos geomorfológicos del cuaternario (Anexo 1, 2). Además, realizó un mapa de susceptibilidad a las inundaciones de la provincia de Buenos Aires, realizando un gran aporte a escala regional en materia de riesgo geológico (Anexo I, 3).



En cuanto a la variabilidad climática, ya Ameghino (1984) observa una alternancia entre episodios de sequías e inundaciones en la región. Posteriormente, Fucks *et. al.* (2015) estudian la variabilidad climática en la zona de estudio de este trabajo (Anexo I, 4).

Potenciando esta situación natural, en los últimos 150 años se introdujeron modificaciones en el paisaje a causa de actividades antrópicas como la agricultura, ganadería, obras hidráulicas, rutas, caminos que alteraron las respuestas del sistema geomorfológico y su drenaje natural, acelerando los procesos de erosión y de acumulación y modificando la dinámica de estos sistemas en un contexto de extrema variabilidad climática (Zárate y Rabassa, 2005). En este marco, el PMI (1999) propone aprovechar de manera adecuada los recursos hídricos para disminuir los daños ocasionados por las inundaciones y las sequías, a la población, las propiedades y la infraestructura. Particularmente en la localidad de General Belgrano, el Plan incluye diversas obras, entre las que se puede mencionar el dragado del río, la puesta en valor de las compuertas, la pavimentación e iluminación de parte de la avenida Costanera, el desvío de aguas servidas y la construcción de cloacas.

Trabajos recientes que abordan la situación ambiental en la cuenca del Salado corresponden al de Pommarés (2020), que estudia la problemática hídrica de la cuenca del Salado durante las sequías y las inundaciones, teniendo en cuenta la influencia de las condiciones ambientales y climáticas del Cuaternario y las actividades antrópicas que produjeron modificaciones en el régimen hídrico de la cuenca, alterando su drenaje natural o incluso generando una desviación del curso principal y al de Díaz Apella (2023), que analiza la geología y la geomorfología del tramo medio inferior de la Cuenca del río Salado y su relación con las variabilidades hidroclimáticas, y propone medidas de manejo ambiental considerando el peligro de inundación y sequía.

## 2. CARACTERÍSTICAS DEL AMBIENTE

### 2.1 Clima

Según la clasificación climática de Koeppen modificada (Kottek *et al.* 2006), la región en la que se encuentra el área de estudio presenta un clima del tipo templado húmedo (Cfa). Las precipitaciones son del orden de los 1000-1200 mm anuales (Figura 3), concentrándose las máximas en los meses de verano, particularmente el mes de marzo y las mínimas en invierno, durante el mes de junio. Las temperaturas medias anuales poseen un valor del orden de los 16°C (Figura 4), siendo las más altas en el mes de enero con un valor medio de 22-23°C y las más bajas en el mes de julio con valores de 8-10°C (Servicio Meteorológico Nacional, estadísticas climáticas, 1961-2020). Las tormentas son frecuentes, la humedad relativa ambiente generalmente superior al 70% y la evapotranspiración potencial es del orden de los 800 mm (Figura 5), por lo cual la unidad presenta un exceso de agua anual. Sin embargo, estos excedentes están limitados para infiltrarse, debido a la baja permeabilidad de los sedimentos superficiales, entre los que predominan los finos (limos y arcillas) y además por la escasa profundidad a que se emplaza la superficie freática, que con frecuencia aflora (Pererya y Tobío, 2018).

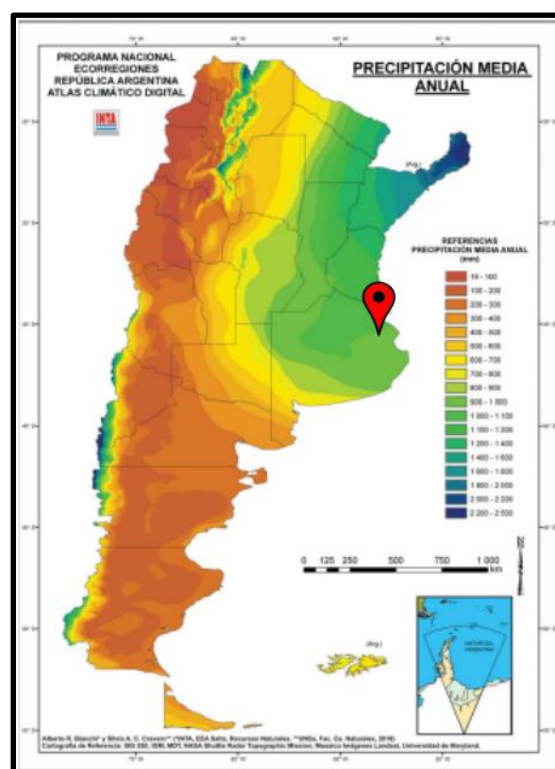
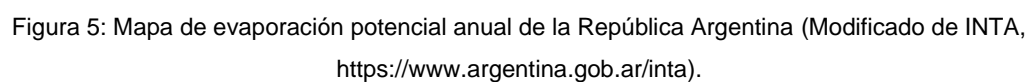
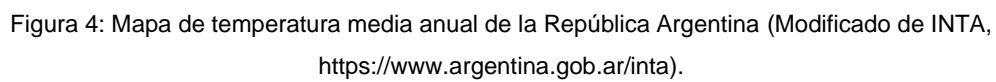


Figura 3: Mapa de precipitación media anual de la República Argentina (Modificado de INTA, <https://www.argentina.gob.ar/inta>).



El periodo de estudio coincidió con una sequía extrema que comenzó a finales del año 2019, mostró un empeoramiento durante 2022 (Skansi *et al.*, 2023) y continuó hasta el 2023. Se identificaron, según el análisis multiíndice, 163 millones de has en sequía en Argentina, de las cuales más de 22 millones de has se encuentran en categoría severa (rojo) (Skansi *et al.*, 2022) (Figura 6). Puntualmente para la localidad de General Belgrano, la categoría se encuentra entre el límite de moderada y severa.

El año 2023 fue caracterizado por presentar también condiciones más secas que lo habitual, alcanzando récords mínimos históricos de precipitaciones durante los primeros meses desde 1961 (Servicio Meteorológico Nacional) y temperaturas, con un récord histórico de año más cálido a nivel país, con una anomalía estimada de  $+0.83^{\circ}\text{C}$ , varias décimas por encima del récord anterior del año 2017 ( $+0.5^{\circ}\text{C}$ ) (Servicio Meteorológico Nacional).

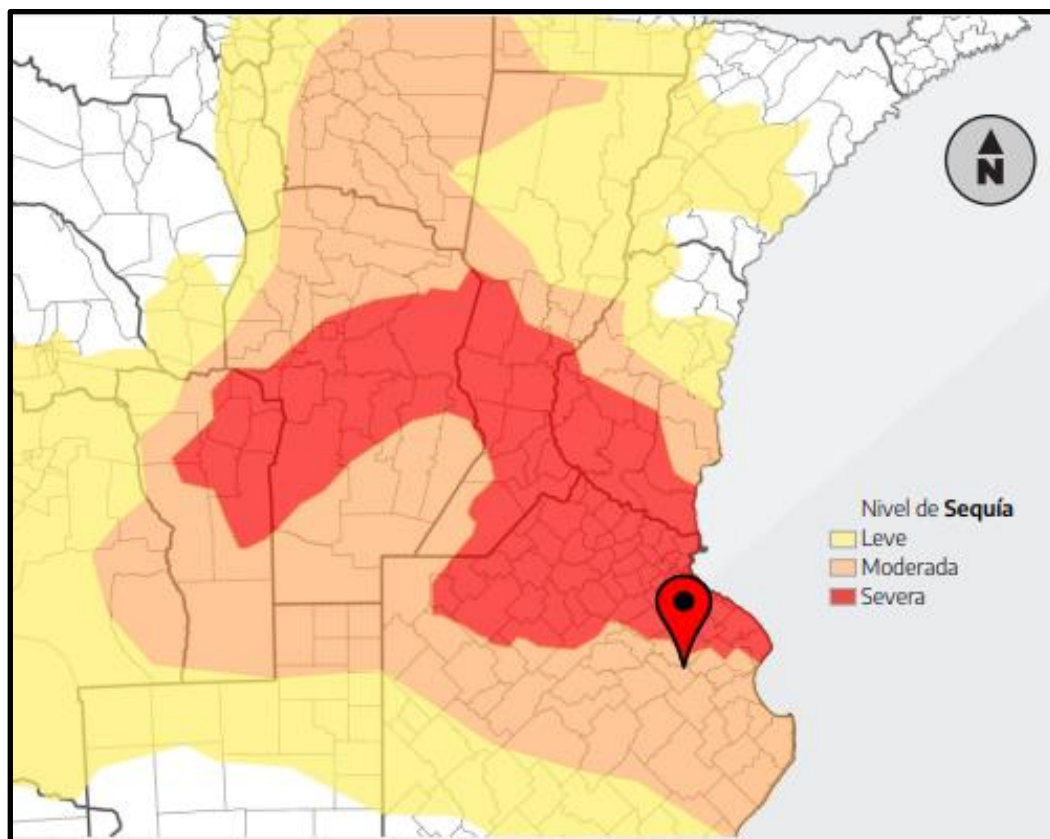


Figura 6: Mapa de nivel de sequía para la región centro y norte de Argentina. Modificado de Skansi et al. (2023).

## 2.2 Suelos

En el área de estudio predominan los Molisoles (INTA, 2019) (Figura 7), principalmente argiudoles y hapludoles y en menor proporción, los entisoles y alfisoles (Rubio *et al.*, 2019). Los molisoles locales se desarrollan a partir de materiales loésicos de granulometría predominantemente limosa, aunque con cierto porcentaje de arena, lo que da condiciones físicas naturales del suelo muy favorable para el crecimiento de los cultivos y el desarrollo de la actividad agrícola de la región, ubicándose dentro de los suelos más fértiles de Argentina. Los argiudoles suelen ser profundos y muestran un perfil complejo con horizontes muy diferenciados, mientras que los hapludoles tienen perfiles más simples con capas superficiales que contienen depósitos más gruesos. Por otro lado, los Alfisoles son suelos con horizontes subsuperficiales donde la acumulación de arcillas dificulta el drenaje lo que determina que se acumulen sales de sodio en la superficie (INTA, <https://www.argentina.gob.ar/inta>). Luego, los entisoles, según la clasificación *Soil Taxonomy* (Soil Survey Staff, 1999), son los que menos desarrollo presentan en el perfil del suelo, es decir, son suelos jóvenes desarrollados sobre material parental no consolidado y no presentan horizontes de diagnóstico.

Por otra parte, en este sector, los suelos son fuertemente sódicos, contrariamente a lo esperado en regiones de clima húmedo como lo es la zona de estudio. A causa del relieve plano y la red de drenaje poco integrada se generan amplios sectores mal drenados que le otorgan al suelo un régimen de humedad ácuico. Por último, los procesos pedogenéticos que dominan son la humificación/melanización y en menor medida la argiluvación y la salinización/sodificación (Pereyra, 2018).

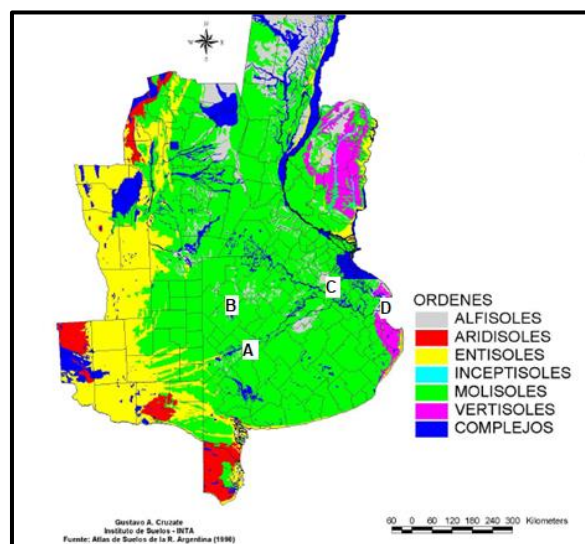


Figura 7: Carta de suelos de la provincia de Buenos Aires. Notar que en la zona de estudio (C) predominan los Molisoles. Tomado de INTA (2019).

### 2.3 Flora y Fauna

En la región de interés, la vegetación dominante son las praderas o pastizales naturales, constituidas principalmente por gramíneas, mientras en los cuerpos de agua aparecen ejemplares de junco y sectores de vegetación adaptada a suelos salinos correspondientes a estepas de halófitas, asociadas a una geomorfología de planicies deprimidas y a suelos con altos contenidos de sodio (Seguí, 2020), donde las más dominantes son las especies de los géneros *Salicornia* sp. (Burkart *et al.*, 1990). Los árboles nativos, en cambio, son muy escasos y su distribución ha estado restringida a sitios singulares como las terrazas del Río Salado. Esta escasez de árboles ha sido atribuida a las frecuentes sequías estivales intensificadas por la escasa profundidad y por la salinidad de los suelos (Walter, 1967; Vervoorst, 1967; Lemcoff, 1992). Por la agricultura también es común encontrar en la zona cultivos de soja, maíz, trigo y girasol, principalmente.

Con respecto a la fauna terrestre, las aves más comunes son los horneros, chimangos, caranchos, teros, perdices, flamencos y lechuzas, aunque también se encuentran ñandúes, (Escosteguy *et al.*, 2015, 2017; González, 2005). Dentro de los mamíferos se hallan liebres, zorros, murciélagos, comadrejas y roedores como los cuis pampeanos, (Escosteguy, 2023). Además, se encuentran anfibios y reptiles como sapos, ranas, lagartijas, culebras, lagarto overo, (González, 2005). También hay fauna asociada a la ganadería, tanto para cría (bovinos de carne, ovejas, gallinas), como para transporte o trabajo en los ranchos (caballos).

El río Salado proporciona un hábitat adecuado para diversas especies de peces, como pejerrey, bagre, carpas, lisas, tarariras. En el río también es posible encontrar valvas de gastrópodos de agua dulce de amplia distribución, como son *Heleobia parchappi* y *Pomacea canaliculata* (Pisano, 2015) (Figura 8).



Figura 8: *Pomacea canaliculata* encontrado en el lecho del río Salado en la localidad de General Belgrano.



### 3. GEOLOGÍA

#### 3.1 Marco geológico

##### Marco tectónico

La cuenca del salado se encuentra limitada por los bloques elevados del macizo del Uruguay al norte, y el Macizo de Tandil al sur (Figura 9) y constituye una cuenca aulacógena con orientación NO-SE desarrollada durante el Mesozoico (Introcaso y Ramos, 1984).

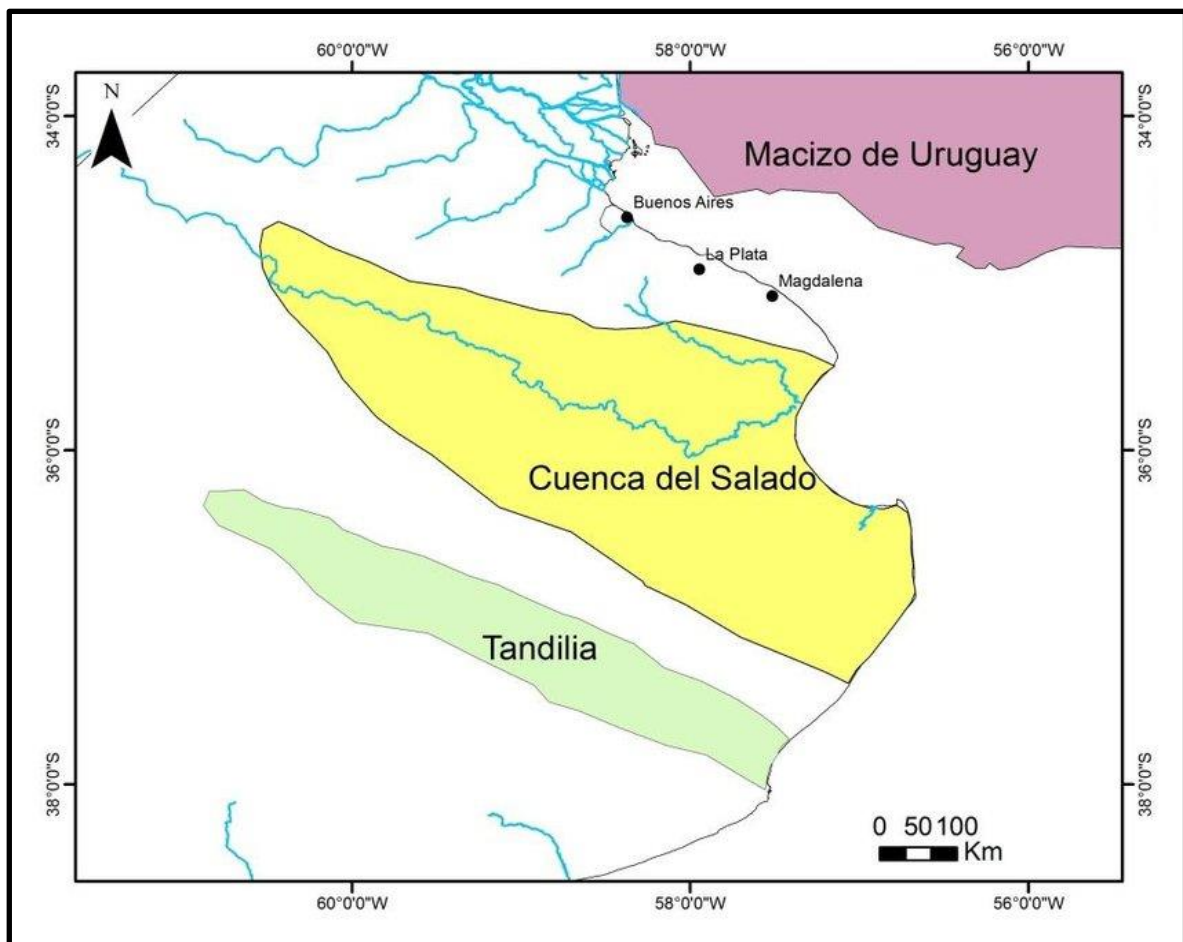


Figura 9: Mapa de ubicación de la cuenca del Salado, tomado de Misseri et al. (2016)

Es una depresión estructural definida como una cuenca aulacogénica (Introcaso y Ramos, 1984). Su origen está vinculado a procesos de fracturación extensional que tuvieron lugar sobre primitivas zonas de debilidad (como viejas zonas de sutura o fracturas del basamento) y que se reactivaron durante la apertura del Atlántico Sur en el Mesozoico tardío (Yrigoyen, 1975; Stoakes *et al.*, 1991). Dichas fracturas constituyeron focos de puntos triples que dieron lugar a la apertura del océano Atlántico. Sin embargo, algunas de sus ramas quedaron

desactivadas, transformándose en brazos abortados y abandonados con ejes orientados transversalmente al margen continental que dieron lugar a la formación de esta cuenca (Burke, 1976).

La razón por la que Introcaso y Ramos (1984) interpretaron esta cuenca como una cuenca aulacogénica se debe a su anomalía gravimétrica de Bouguer positiva, escasa actividad magmática, relleno de sinrift mesozoico, depósitos cenozoicos de hundimiento térmico y sus relaciones geométricas y temporales con el margen continental: las secuencias cenozoicas traslapan los márgenes originales de la cuenca y se depositan directamente sobre el basamento metamórfico precámbrico (Figura 10).

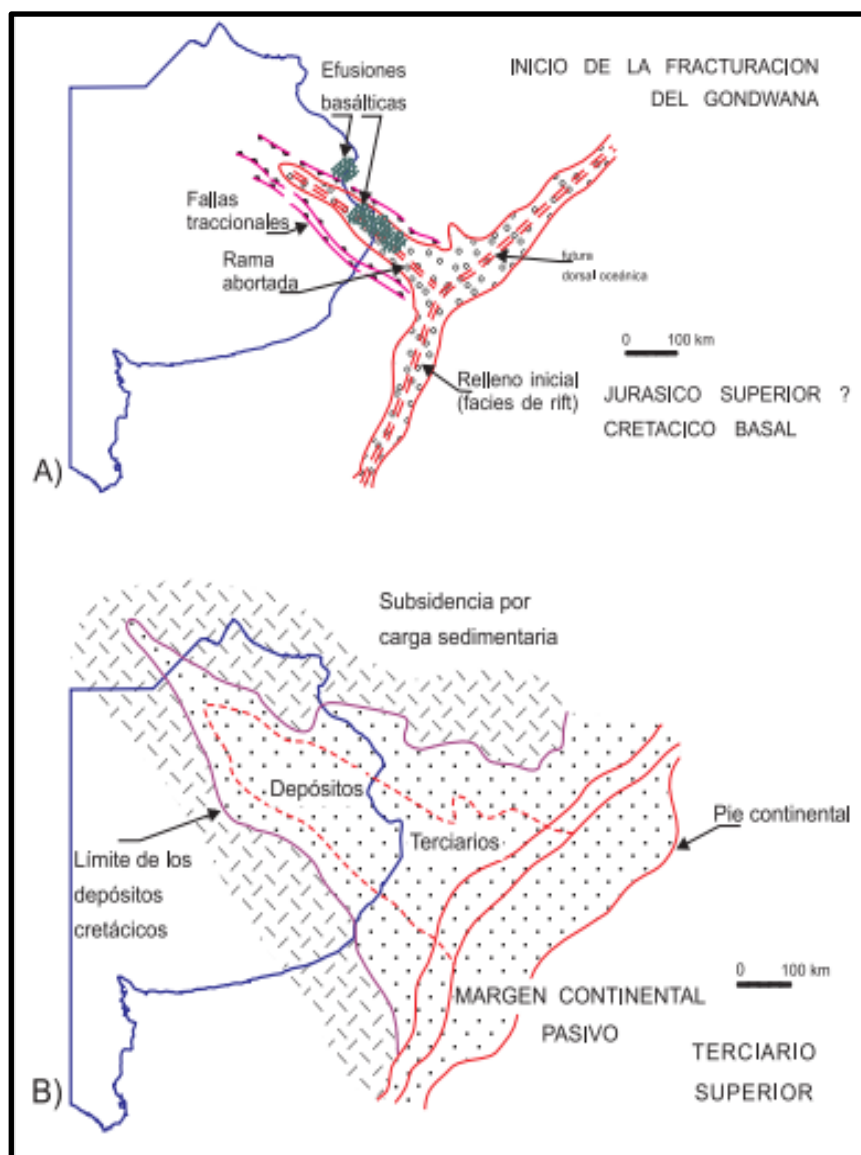


Figura 10: Representación gráfica de la formación de la cuenca aulacogénica del Salado, tomado de Ramos y Caminos (1999).



### Marco estratigráfico

En cuanto a la estratigrafía de la Cuenca del Salado, esta inicia con un basamento ígneo-metamórfico de edad precámbrica cuyas rocas evolucionaron durante el ciclo geotectónico Transamazónico (Dalla Salda, 1999), seguido de rocas volcánicas jurásicas tardías a cretácicas tempranas y una secuencia de conglomerados relacionadas con los estadios de rift (Rolleri, 1975). Desde el Cretácico Inferior hasta el Cuaternario se deposita una cobertura sedimentaria que alcanza los 7.000 m de espesor, con sedimentos de ambientes continentales hasta marinos (Cingolani, 2005) relacionada a una etapa de margen pasivo con ciclos transgresivos-regresivos. Sin embargo, no se encuentran afloramientos de rocas pre-cuaternarias dado que la subsidencia (reflejada en el suave relieve y la baja altura respecto al nivel del mar) no permitió que la erosión exponga sedimentos más antiguos.

Los afloramientos más antiguos corresponden a los sedimentos pampeanos del Pleistoceno inferior a superior. Estos han sido estudiados desde mitad del siglo XIX por diversos autores, los cuales utilizaron diferentes criterios y nomenclaturas para definir unidades litológicas (Figura 11): Alcide d'Orbigny (1842) introdujo el término "terrains pampéens" para referirse a la típica secuencia sedimentaria de la región, caracterizada por presentar una marcada uniformidad litológica. A su vez, Darwin (1845), utilizó el término "Pampean Formation" para hacer alusión a estos sedimentos. Doering (1882, 1884) formalizó el término de Formación Pampeana y la dividió en Pampeano Inferior (Plioceno) y Pampeano Lacustre (Pleistoceno). Por otro lado, Ameghino (1889), dividió a la Formación en cuatro pisos: Pampeano inferior o Ensenadense, Pampeano medio o Belgranense, Pampeano superior o Bonaerense y Pampeano lacustre o Lujanense. También reconoció la existencia de los terrenos postpampeanos y los dividió también en cuatro pisos: Querandino (marino), Platense, Aimará y Ariano. Posteriormente, Frenguelli (1940) utilizó el término "región pampásica" o simplemente "pampasia", adoptando una vieja denominación de Martín de Moussy y luego dividió a los terrenos superficiales de la Pampasia en dos series: Pampiano, que abarcaría desde el Pleistoceno medio a superior y se compone por el Ensenadense, Bonaerense y Belgranense (facies costera) y Postpampiano, del Pleistoceno superior al Holoceno, compuesta por el Lujanense, Querandinense (marino), Platense, Cordobense, Aimareense y Arianense, (Frenguelli, 1950-1957). Fidalgo (1983) afirma que abarcan desde el Plioceno hasta el Pleistoceno superior y dividió la secuencia sedimentaria en Miembro inferior (equivalente al Ensenadense) y Miembro superior (equivalente al Bonaerense). Dangavs y Blassi (1992, 2002, 2003), Dangavs (2005b, 2018, 2019) y Dangavs y Pierrard (2013) se refieren a los sedimentos pampeanos como Formación Ensenada y Formación Buenos Aires.

ERA	PERIODO	Ma.	Doering, A. (1882,1884)	Ameghino, (1881, 1884, 1889)	Frenguelli (1950, 1957)	Tricart (1973)	Fidalgo, et al. (1973), Fidalgo (1990)	Dangavs (2005, 2018, 2019), Dangavs y Blasi (2003), Dangavs y Pierrard (2013)	Fucks et al., 2015
CUATERNARIO	HOLOCENO		ARIANO	ARIANO	ARIANENESE		ALUVIO Suelo La Pelada	Aluvio reciente Fm. La Postrera VI Mb. Monte (Fm. Luján) Fm. La Postrera III	Mb. Puente Las Gaviotas (Fm. Luján) Geosuelo Frigorífico Belgrano
		0,011	AIMARIANO	AIMARÁ	AIMARENSE CORDOBENSE PLATENSE		Mb. Río Salado (Fm. Luján)	Mb. Río Salado (Fm. Luján)	Geosuelo La Pelada Mb. Gorch (Fm. Luján)
	PLEISTOCENO	0,02	PLATENSE	PLATENSE	LUJANENSE	E1  PLATENSE  LUJANENSE/ E3	Suelo Puesto Callejón Viejo Mb. Guerrero (Fm. Luján)	Fm. La Postrera II Mb. Lobos (Fm. Luján) Fm. La Postrera I Mb. La Chumbiada (Fm. Luján)	Mb. La Chumbiada (Fm. Luján)
		2,6	PAMPEANO LACUSTRE	LUJANENSE	BONAERENSE		S P e a d m i p e a n n t o s s	Fm. Buenos Aires  Fm. Ensenada	Fm. Pampeano
CUATERNARIO	PLEISTOCENO		PAMPEANO INFERIOR	BONAERENSE	ENSENADENSE				

Figura 11: Cuadro estratigráfico comparativo según distintos autores, modificado de Pommarés (2020).

Por encima continúan la secuencia depósitos fluviales, eólicos y marinos que conforman del denominado Postpampeano. En primer lugar, se encuentran los sedimentos limosos y arenosos fluviales atribuidos a distintas facies de la Formación Luján de edad Pleistoceno superior hasta Holoceno medio Fidalgo *et al.* (1973). Se ubican en las fajas fluviales de los cursos mayores de la provincia y corresponden a limos arenosos de coloraciones verdosas y rojizas de espesores inferiores a los 5 metros y con presencia de paleosuelos con alto contenido de materia orgánica. Se depositan sobre los sedimentos de la Fm. Ensenada o equivalentes. Se encuentra compuesta por los Miembros Guerrero y Río Salado de edad Pleistoceno superior-Holoceno. Sobre las mismas identificaron dos paleosuelos: Puesto Callejón Viejo, desarrollado sobre el Miembro Guerrero, y La Pelada, sobre el miembro Río Salado. Posteriormente, Dillon y Rabassa (1985) separan el tramo inferior del Miembro Guerrero en una nueva unidad litoestratigráfica a la que denominaron Miembro La Chumbiada, de edad Pleistoceno superior. Fucks *et al.* (2007, 2009, 2011, 2012), Prado *et al.* (2013) y Scanferla *et al.* (2013) proponen edades muy cercanas al límite del Pleistoceno tardío-Holoceno, principalmente Holocenas para la mayoría de los depósitos fluviales de la Cuenca del Salado. Especialmente, Fucks *et al.* (2015) realizaron dataciones radiocarbónicas de las secuencias fluviales y obtuvieron que las mismas se depositaron después del máximo

glacial correspondiente al MIS 1 (Marine Isotopic Stages, Estadios Isotópicos Marinos) y reconocieron tres miembros de origen fluvial: La Chumbiada, Gorch y Puente Las Gaviotas, incluidos dentro de la Formación Luján; y un paleosuelo al que denominaron “Geosol Frigorífico Belgrano”, ubicado en el sector medio del Mb. Puente Las Gaviotas (Figura 12). En este trabajo los autores se refieren a los sedimentos pampeanos como Formación Pampeano.

Por último, se depositan los depósitos fluviales recientes y actuales.

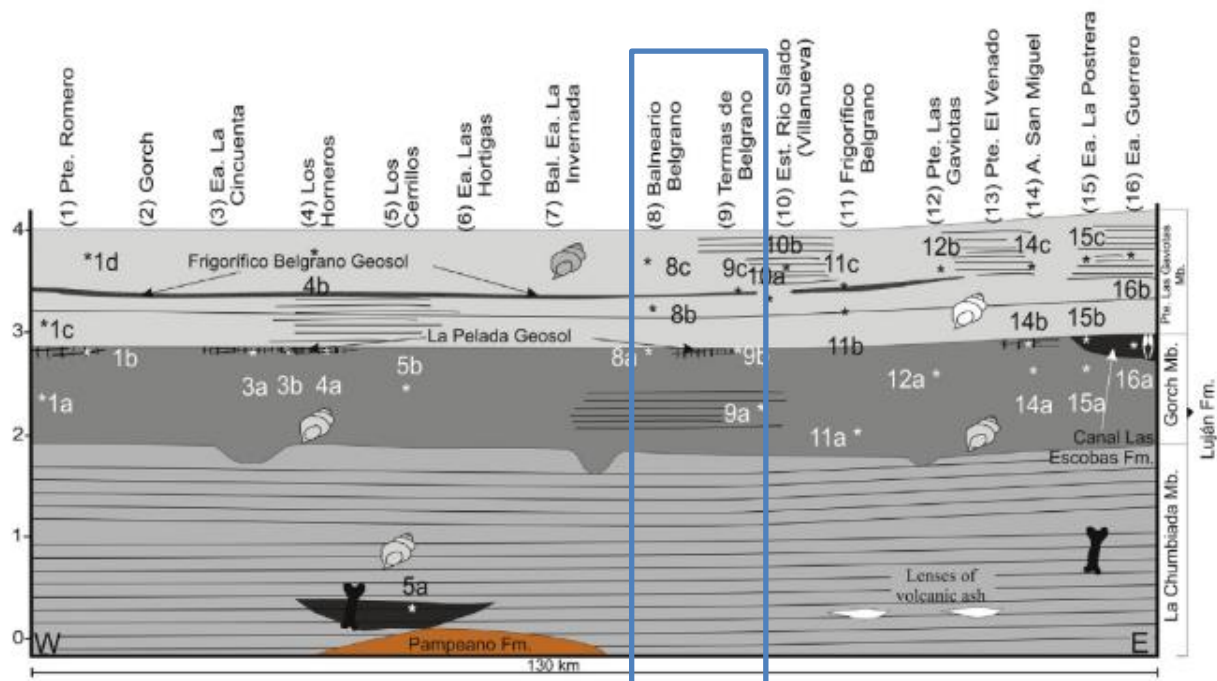


Figura 12: Perfil longitudinal del río Salado en donde se resalta la zona de estudio de este TFL. Modificado de Fucks *et al.* 2015.

### 3.3 Estratigrafía de la zona de estudio

La zona de estudio se caracteriza principalmente por la presencia de sedimentos fluviales de la Fm. Luján (Pleistoceno superior – Holoceno medio), labrados sobre los sedimentos pampeanos, localmente representados por la Fm. Ensenada, que no aflora en la zona de estudio, por lo que sólo puede observarse en perfiles de pozos.

La secuencia estratigráfica completa fue descrita por Silva Busso (2015), a través de una perforación ubicada en el extremo sur de la localidad de General Belgrano (35°46'57.40"S, 58°29'2.50"O), a una cota de 20 msnm (Anexo I, 5). A partir de los datos obtenidos, el autor

realizó un perfil sedimentario que se describe a continuación y que es de gran importancia para complementar la secuencia estratigráfica de la zona a través de datos del subsuelo.

#### 0m – 0,5m

Cubierta Edáfica y Relleno

#### 0,5m - 4m

Limos arenosos de color gris-claro a castaño grisáceo, poco consolidada, moderadamente cementada con escasos nódulos de carbonatos. Intercala niveles o bancos con restos de conchilla de bivalvos y gasterópodos. Equivalente a Mb. Gorch y Mb. Puente las Gaviotas según Fucks *et al.* (2015).

#### 4m – 22m

Limos de color castaño claro a blanquecino (es seco), poco consolidada, presenta cementación con carbonatos. Intercala escasos niveles o bancos carbonaticos (calcretes) y restos de materia orgánica. Equivalente a Mb. La Chumbiada según Fucks, *et al.* (2015).

#### 22m - 24m

Arcilla de color blanquecina a castaño claro, poco consolidada, con nódulos de carbonatos.

#### 24m – 42m

Limos de color castaño claro, poco consolidada, moderadamente cementada con carbonatos. Intercala niveles o bancos carbonaticos (calcretes), identificada como Fm. Ensenada por el autor.

#### 42m - 54m

Limos arcillosos de color castaño claro, poco consolidada, presenta cementación con carbonatos. Intercala escasos niveles o bancos carbonaticos (calcretes), identificada como Fm. Ensenada por el autor.

Para complementar la información del pozo previamente descrito, se relevó un perfil estratigráfico de la escarpa de erosión fluvial ubicada en el margen este del río Salado (35°44'24" S; 58°29'37,22" O) a una cota de 15 metros sobre el nivel del mar. El mismo tiene un espesor de 7,20 metros desde el nivel del agua del río y hasta el tope del afloramiento. A continuación, se describe cada una de las unidades representadas en el perfil (Figura 13).

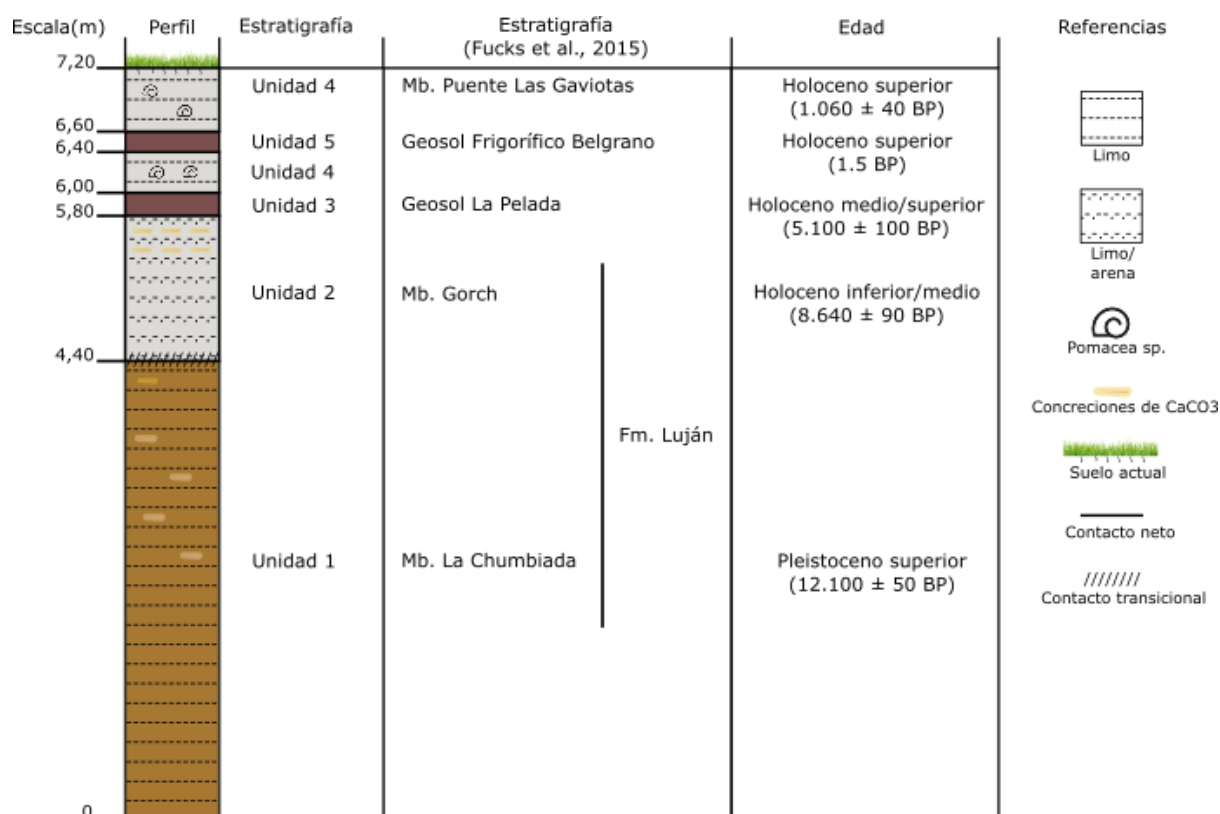


Figura 13: Perfil sedimentario de la zona de estudio.

### Unidad 1 (0 – 4,40 m)

Sedimentos tamaño limo de color castaño claro a oscuro que en algunos sectores que intercalan con niveles de concreciones de CaCO<sub>3</sub>, de aproximadamente 10 cm de diámetro. La estructura es compacta por sectores a moderadamente friable. Normalmente presenta un espesor medio expuesto de aproximadamente dos metros, pero este se encuentra sujeto al nivel del agua del río. En el caso del presente trabajo, en el mes de febrero del año 2023, el río presentó un nivel muy bajo, por lo que logró exponer aproximadamente cuatro metros de esta unidad. Los primeros dos metros desde el pelo de agua se encuentran erosionados por el margen erosivo del meandro, generando una plataforma de erosión con resaltos que corresponden a distintos niveles del agua del río (Figura 14).

El contacto con la unidad suprayacente es transicional, mientras que el contacto con la unidad infrayacente no se encuentra expuesto en el área.

Según Fucks *et al.* (2015), esta unidad correspondería al Mb. La Chumbiada, la sección basal de la Fm. Luján y serían sedimentos de planicie de inundación depositados en un ambiente de cuenca restringidos, o ambientes deprimidos abiertos que evolucionaron a planicies de inundación. Dichos autores proponen que la unidad se habría depositado luego del máximo glaciario, en la amplia depresión del Salado, donde la deflación y acumulación eólica durante



el evento frío y seco. Los autores proponen una edad de  $12.100 \pm 50$  AP, correspondientes al Pleistoceno superior, obtenida a partir de dataciones en materia orgánica.

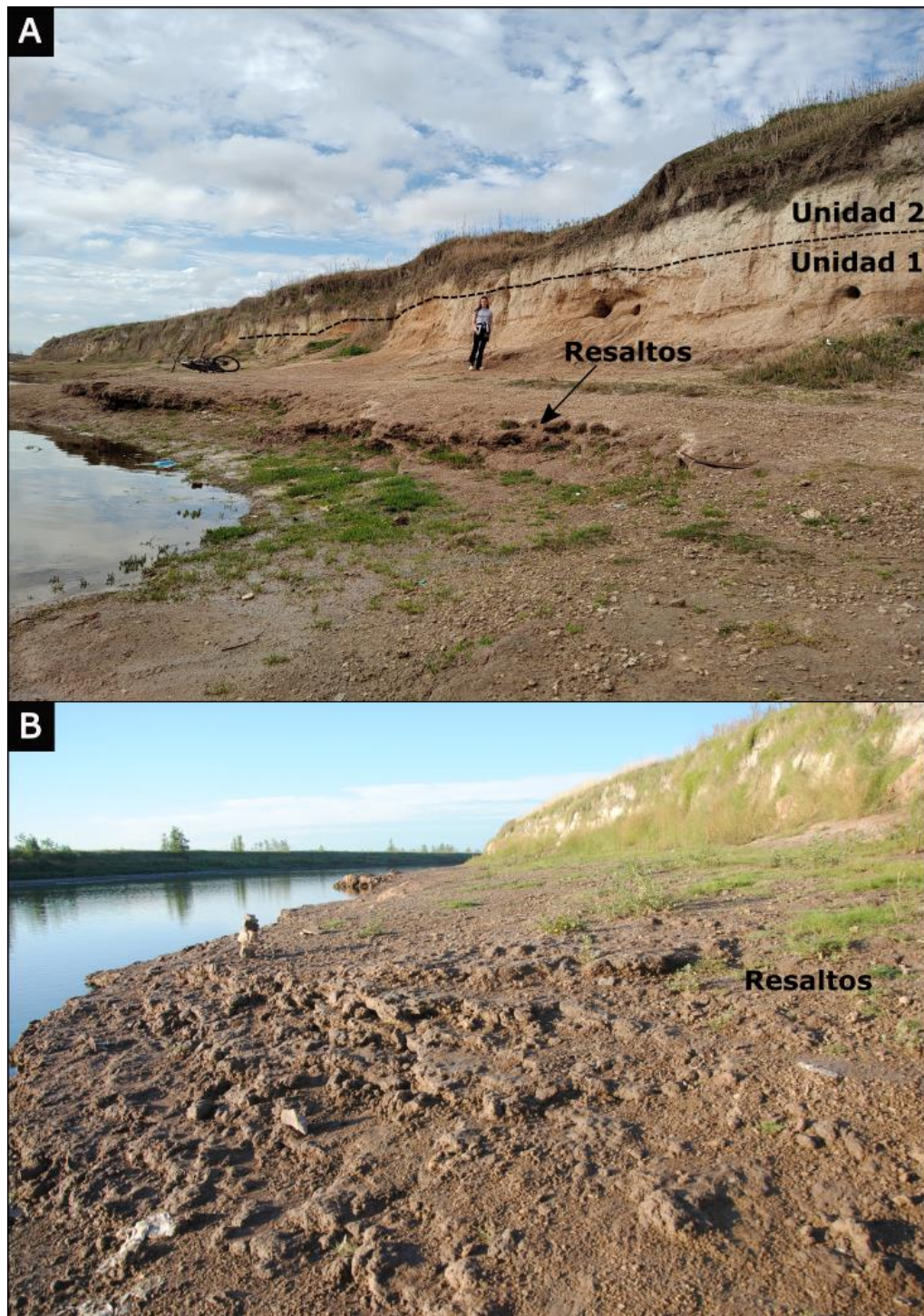


Figura 14: A) Fotografía del perfil sedimentario en la cual se observa el contacto transicional entre las unidades 1 (Mb. La Chumbiada) y 2 (Mb. Gorch) y la presencia de resaltos labrados por el margen erosivo del río sobre la Unidad 1. B) Fotografía detalle de los resaltos de la Unidad 1.

Unidad 2 (4,40 – 5,80 m)

Sedimentos fango-arenosos de color gris claro de 80 cm de espesor. Hacia el techo presenta una abundante concentración de concreciones de  $\text{CaCO}_3$  de forma elongada, de aproximadamente 5 cm de largo y 2 cm de espesor (Figura 15). Se hallaron también pequeños (0,5 cm) restos de gastrópodos *Heleobia parchappi*, aunque estos se encuentran mejor representados en el paleosuelo suprayacente.

El contacto con la unidad infrayacente es transicional, mientras que con la unidad suprayacente es neto. Sobre este último contacto se encuentra el desarrollo de un paleosuelo que delimita los sedimentos fluviales de la Fm. Luján y los sedimentos aluviales recientes. En los sectores donde este paleosuelo está ausente, es difícil diferenciar ambos miembros, dado su similitud en el tamaño de los sedimentos y su coloración.

Esta unidad se correlaciona con el Mb. Gorch según Fucks *et al.* (2015). Los autores proponen que el ambiente de formación correspondería a un ambiente fluvial con procesos de decantación subacuática. La presencia de los niveles de tosca y el desarrollo de suelos se asocian a períodos de exposición aérea con altos niveles de evaporación.

Fucks *et al.* (2007) ofrecen datos de edades radiométricas procedentes de *Heleobia parchappi* encontradas por los autores en esta unidad, correspondientes a  $8.640 \pm 90$  AP, Holoceno inferior y medio.



Figura 15: Fotografía de la Unidad 2 en el cual se observan las concreciones de  $\text{CaCO}_3$ .



Unidad 3 (5.80 – 6 m)

Este nivel corresponde a un paleosuelo muy estructurado (Figura 16), típico de un horizonte “b” textural, que conforma un banco tabular de aproximadamente 20 cm de espesor. Está compuesto por sedimentos negros fango-arenosos y presenta restos de *Heleobia parchappi* (Figura 17).

Fue desarrollado sobre el Mb. Gorch y, si bien se encuentra de manera discontinua, su presencia permite separar las dos unidades adyacentes a él.

Su formación se atribuye a ambientes deprimidos que en ausencia de importantes acumulaciones fluviales evolucionaron como un suelo pantanoso desarrollados en el Holoceno medio-superior, con edades entre  $5.100 \pm 100$  y  $2.580 \pm 50$  AP, datados a partir de materia orgánica (Fucks *et al.*, 2015). Los autores le otorgan el nombre de “Geosol La Pelada”.



Figura 16: Fotografía de la Unidad 3 (paleosuelo Geosol La Pelada) en donde se observa la estructura bien desarrollada.



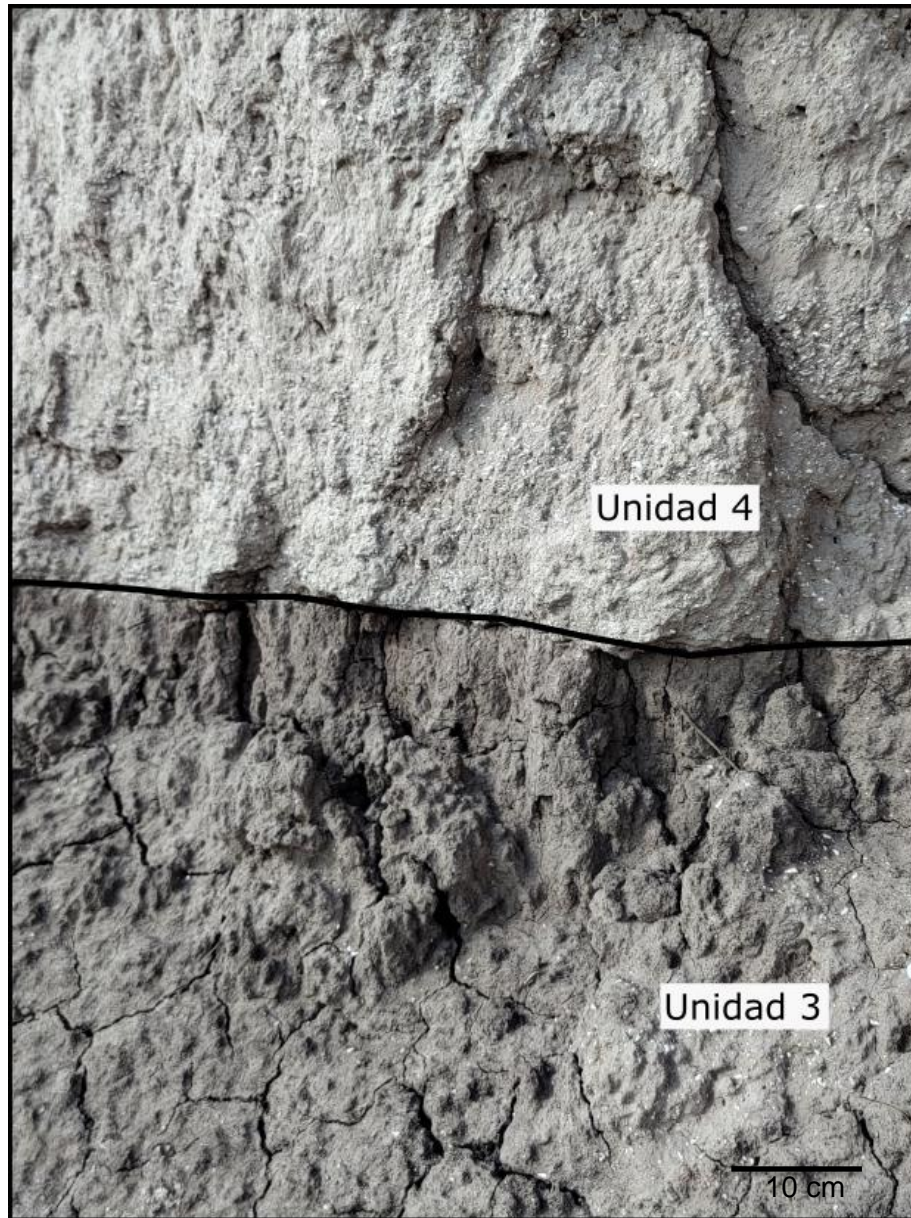


Figura 17: Fotografía de la Unidad 4 (Mb. Puente Las Gaviotas) y de la Unidad 3 (paleosuelo Geosol La Pelada) en la que se observan abundantes restos de *Heleobia parchappi*.

#### Unidad 4 (6 – 6,40 m y 6,60 – 7,20 m)

Esta unidad se encuentra compuesta por sedimentos limosos homogéneos de color gris claro, poco consolidados y cuenta con la presencia de gastrópodos de *Heleobia parchappi* (Figura 30) y *Pomacea canaliculata* (Figura 18). En el área de estudio, esta unidad presenta un espesor de 1 metro, y se encuentra separada en dos unidades por la presencia de un paleosuelo. En ocasiones este paleosuelo no se encuentra representado, por lo que, en ese caso, este miembro se manifiesta como una sola unidad y de menor espesor (0,5 m) (Figura 19).

Estos sedimentos corresponden al aluvio de los cursos principales del río y sus afluentes.

Fucks *et al.* (2012) obtuvieron las edades a partir de la datación de *Pomacea canaliculata* y *Heleobia parchappi* arrojando valores de  $1.060 \pm 40$  años AP, correspondientes al Holoceno superior. Esta unidad se correlaciona con el Mb. Puente las Gaviotas según Fucks *et al.* (2015).

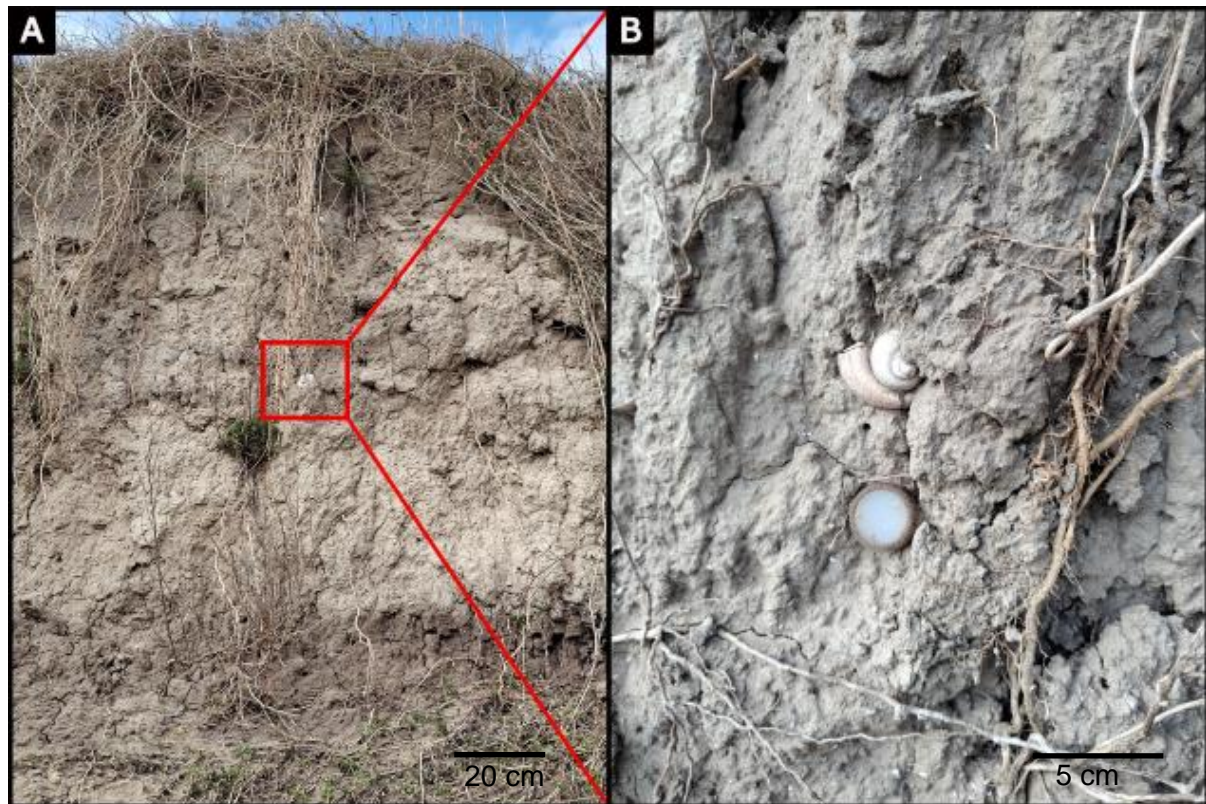


Figura 18: A- Fotografía de la Unidad 2 (Mb. Gorch) en el que se observa la presencia del gastrópodo *Pomacea canaliculata*. B- Fotografía en detalle del gastrópodo *Pomacea canaliculata*. dentro de la Unidad 2.



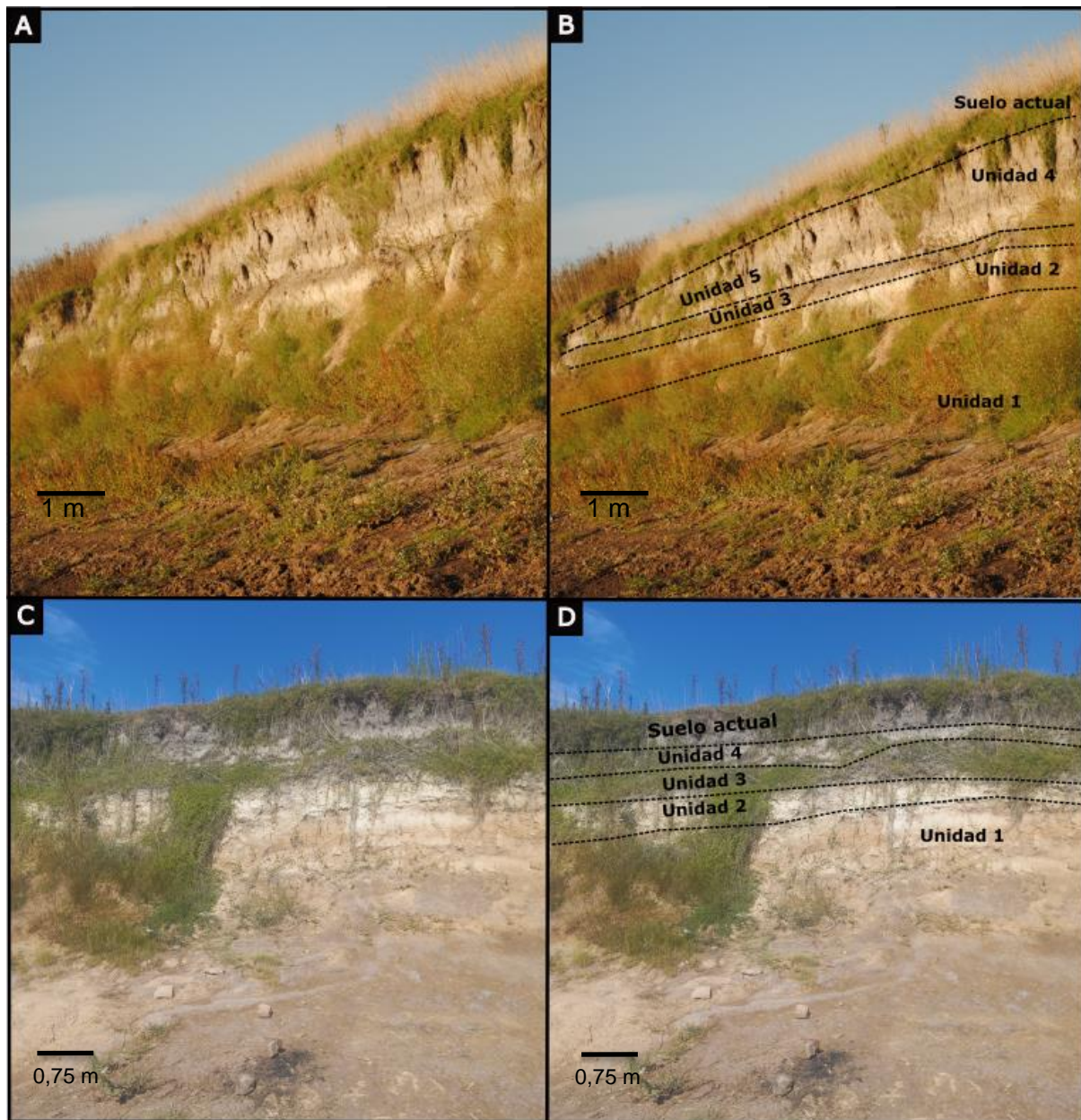


Figura 19: A- Fotografía del perfil sedimentario en la cual se observa la presencia bien marcada de los dos paleosuelos. B- Fotografía del perfil sedimentario con las unidades correspondientes identificadas (notar como la presencia de la unidad 5 (Geosol Frigorífico Belgrano) divide a la Unidad 4 (Mb. Puente las Gaviotas) en dos partes). C- Fotografía del perfil sedimentario representando sectores en los cuales no se observa el desarrollo claro de los dos paleosuelos mencionados. D- Fotografía del perfil sedimentario con las unidades correspondientes identificadas (notar ausencia de la Unidad 5, lo que implica que la Unidad 4 se observe como una única unidad).

#### Unidad 5 (6,40 – 6,60 m)

Esta unidad corresponde a un paleosuelo de aproximadamente 20 cm compuesto por sedimentos fangosos de color negro oscuro y de estructura granular. Su presencia es discontinua y se lo reconoce principalmente por la coloración oscura, ubicada en el sector

medio del Mb. Puente Las Gaviotas de color gris claro (Figura 19). Cuenta con restos de *Pomacea canaliculata* y *Heleobia parchappi*.

Según Fucks *et al.* (2015), se correlaciona con el paleosuelo “Geosol Frigorífico Belgrano”, su ambiente de formación correspondería a episodios de no deposición fluvial y las edades radiométricas del límite superior obtenidas a partir de materia orgánica arrojan edades de 1,5 años AP, correspondientes al Holoceno superior.

#### Superficie (7,20 m)

La secuencia sedimentaria culmina con un depósito limoso color castaño muy oscuro correspondiente al suelo actual (Figura 19).

### 3.4 Correlación de las unidades estratigráficas reconocidas en el área de estudio.

A continuación, se muestra el modelo estratigráfico para la zona, elaborado a partir del perfil relevado y datos previos de Silva Busso (2015) y Fucks *et al.* (2015), Figura (20). A partir de dicha correlación se observa que los depósitos fluviales de la Formación Luján alcanzaron una gran extensión en el área, lo que demuestra que durante el Holoceno la planicie aluvial del río Salado cubría grandes extensiones y tenía características predominantemente deposicionales calculándose una acumulación media de tres metros aproximadamente desde el Holoceno Inferior. Asimismo, los depósitos alcanzaron una cota de aproximadamente 20 m actualmente representada por una terraza aluvial. La naturaleza fango arenosa de los sedimentos indica que se trataba de un ambiente de baja energía, donde en algunos momentos dominaba la exposición subáerea y la generación de paleosuelos. Esto demuestra que las características dinámicas del río Salado fueron muy distintas a las actuales.

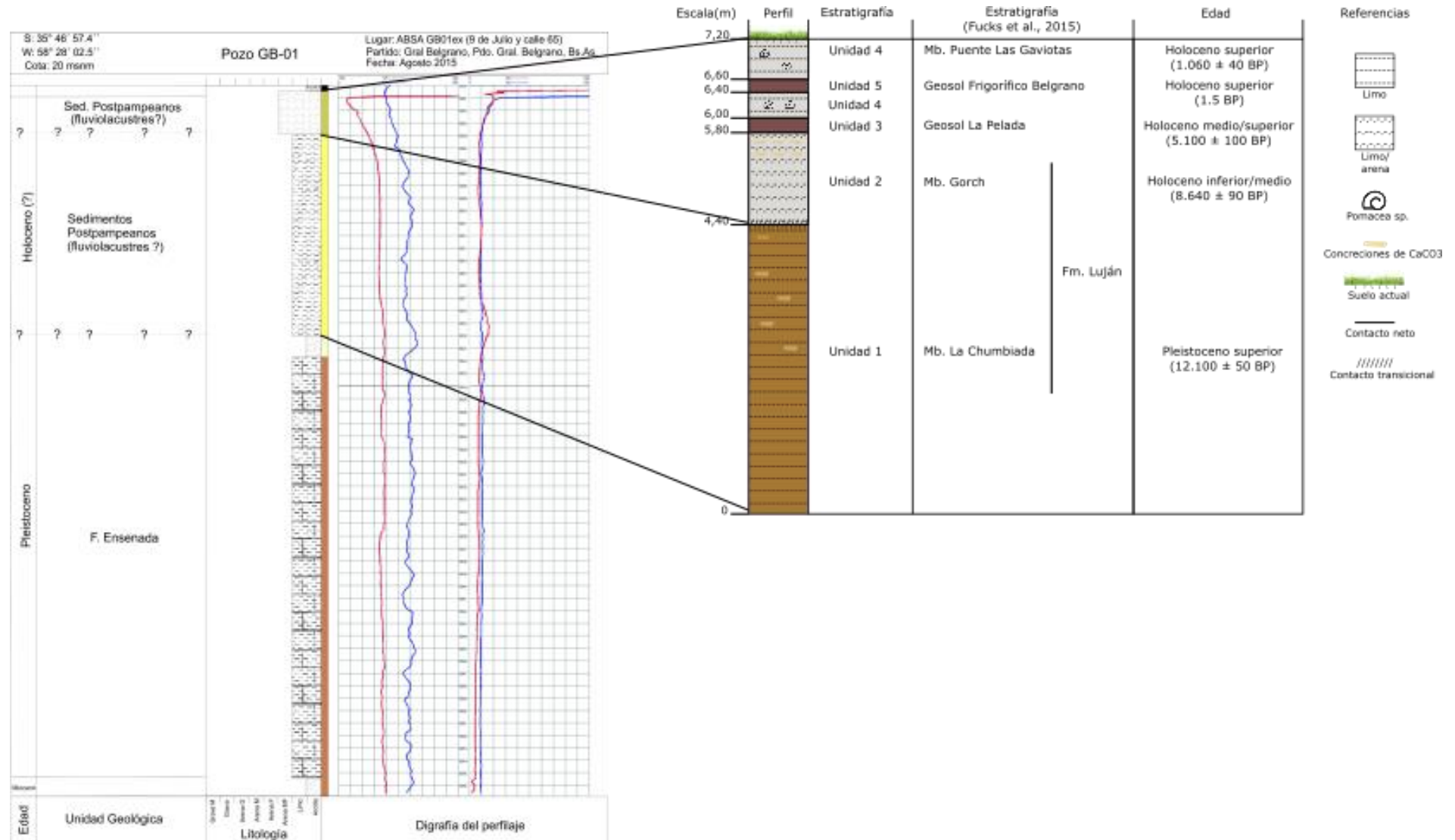


Figura 20: Perfil sedimentario modificado de Silva Busso (2015) en el que se observan las secuencias interpretadas por el autor y las equivalentes al perfil descrito en este TFL.

## 4. GEOMORFOLOGÍA

### 4.1 Marco geomorfológico

La cuenca del Salado se encuentra dentro de la unidad Pampa Deprimida (Frenguelli, 1950). Se caracteriza por presentar una topografía esencialmente plana, con muy bajas pendientes regionales del orden de  $10^{-4}$  y densidad de drenaje de  $0,05 \text{ km/km}^2$  (Sala *et al.*, 1983). Esta forma llana es consecuencia de procesos eólicos erosivos y también los de acumulación mantiforme de los sedimentos de la Fm. Pampeano (González Bonorino, 1965). Sobre estos, se ha modelado el paisaje principalmente por la acción de agradación fluvial y parcialmente modificado por la acción litoral y eólica (Pereyra, 2018).

La cuenca presenta forma alargada y recibe el aporte de numerosos tributarios y canales artificiales. En su cabecera las geoformas más características son depósitos de dunas, mientras que en el sector medio (correspondiente al del presente trabajo) abundan las lagunas, paleolagunas, paleocauces y llanuras de inundación. La cuenca del Salado, desemboca en un ambiente litoral asociado a la transgresión holocena (Fucks *et al.*, 2012).

Hidrográficamente es de gran extensión ( $170.000 \text{ km}^2$ ) y por lo tanto se la divide en distintas regiones hídricas: la región Salado/ Vallimanca/Las Flores ( $85.000 \text{ km}^2$ ), la región Noroeste ( $55.000 \text{ km}^2$ ) y la región de las Encadenadas del Oeste ( $30.000 \text{ km}^2$ ) (Figura 21).

El curso principal muestra redes poco integradas. Los sectores del río Salado con morfologías fluviales meandriforme se asocian a la presencia de lagunas que desbordan unas en otras en sentido de la pendiente regional durante períodos húmedos con abundantes precipitaciones. El resto de los tramos, como el de la zona de estudio, son más bien sinuosos, con ausencia de meandros abandonados o paleocauces, lo cual indica una marcada estabilidad (Fucks *et al.*, 2012).

El balance de agua es preponderadamente vertical y existe una estrecha relación entre la dinámica del nivel freático y la generación de excedentes hídricos (García *et al.*, 2018). Esto, sumado a las bajas pendientes y al bajo drenaje, la convierten en una zona susceptible al peligro de inundación.

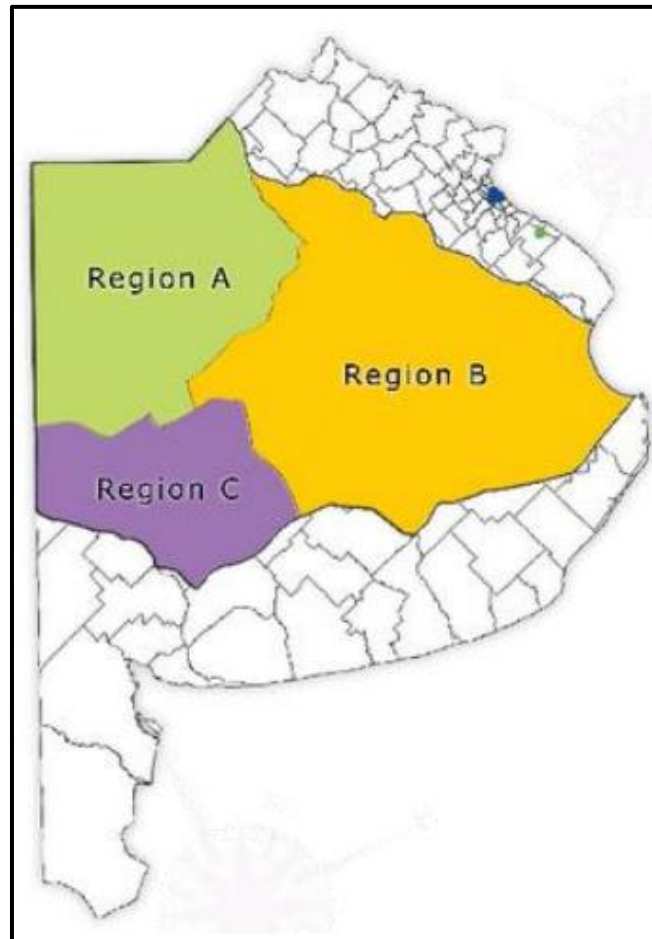


Figura 21: Mapa de regiones hídricas de la cuenca del Salado donde Región A: Noroeste (55.000 km<sup>2</sup>); Región B: Salado - Vallimanca - Las Flores (85.000 km<sup>2</sup>); Región C: de las Encadenadas del Oeste (30.000 km<sup>2</sup>). Tomado de Universidad Nacional de La Plata – Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales – Curso manejo y conservación de suelos.

#### 4.2 Geomorfología de la zona de estudio

La zona de estudio se encuentra en el sector medio de la cuenca del Salado. En ella los procesos dominantes son el eólico y el fluvial. Los mismos han actuado sobre los depósitos pampeanos formando las distintas unidades geomorfológicas que se describen a continuación, junto con los diversos rasgos morfológicos asociados a cada una de ellas.

Se elaboró un mapa geomorfológico a escala 1:80.000 (Figura 22) de la zona de estudio con el propósito de representar las unidades geomorfológicas presentes la región. En él también se incluyeron elementos antrópicos de interés para este trabajo dado que han generado influencias en la dinámica sedimentológica, geomorfológica, y ambiental natural de la zona.



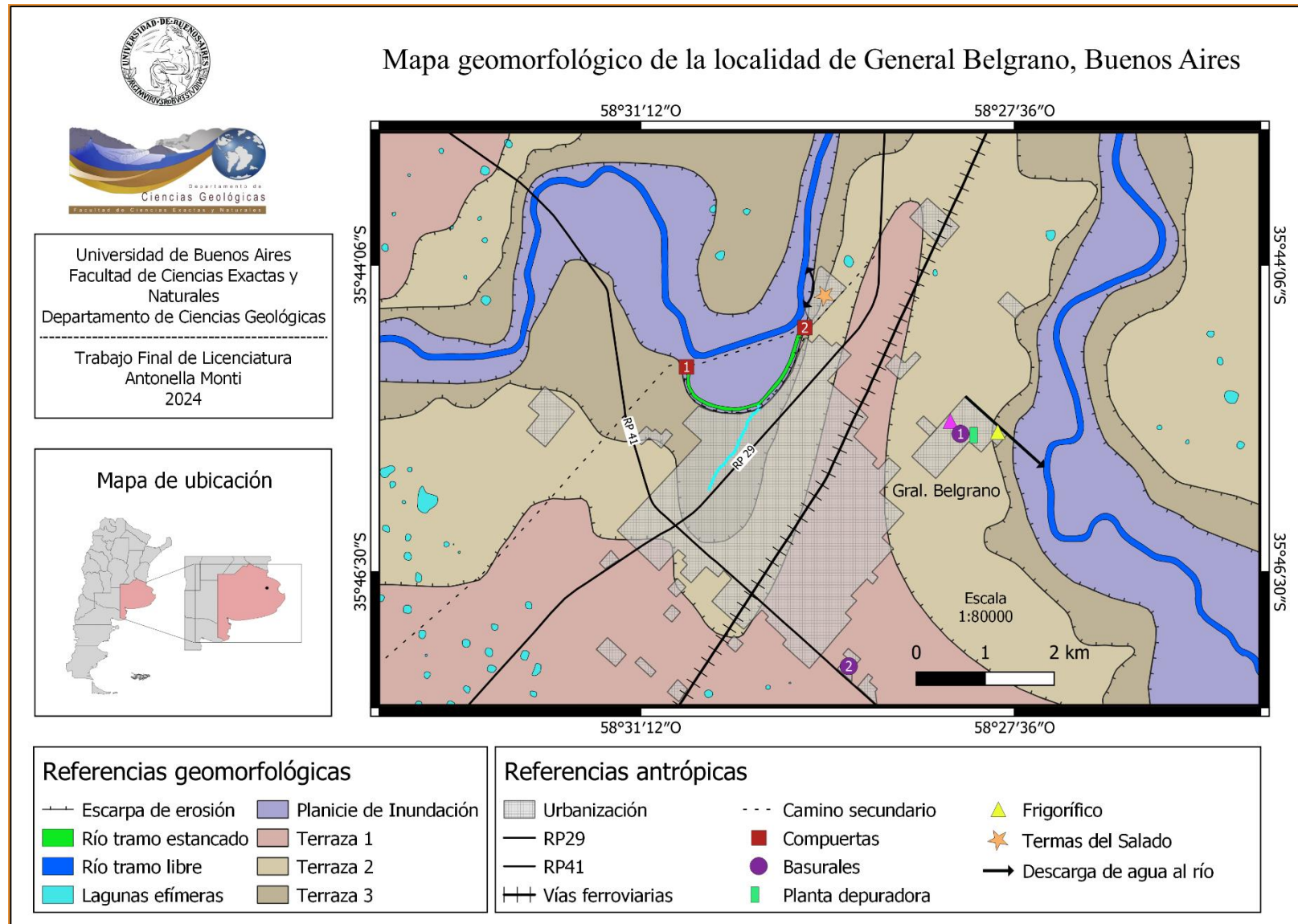


Figura 22: Mapa geomorfológico de la localidad de General Belgrano, Buenos Aires.



Para identificar con mayor precisión las geoformas mencionadas y para conocer la morfología en detalle dentro del canal del río, se realizó un perfil topográfico transversal al mismo (Figura 3) para la construcción de un esquema en el cual se identifican las diferentes geoformas reconocidas (Figura 23). Este permitió reconocer dentro del canal principal del río la presencia de dos canales menores separados por una barra y también las morfologías presentes en los márgenes del río. En el margen este se observan características erosivas tales como una plataforma de erosión con dos niveles de resaltos que indican antiguas posiciones del río; además, se observa una escarpa de erosión de 5 metros de alto con una pendiente de  $80^\circ$  aproximadamente. Por otro lado, el margen oeste, la terraza fluvial se encuentra a una cota un metro por debajo que la del margen opuesto y la escarpa de erosión de la misma mide 4 metros de alto y presenta una pendiente menor, de aproximadamente  $70^\circ$ ; además, en este margen se observan geoformas de acumulación, como la planicie aluvial, que presenta una pendiente de  $30^\circ$ .

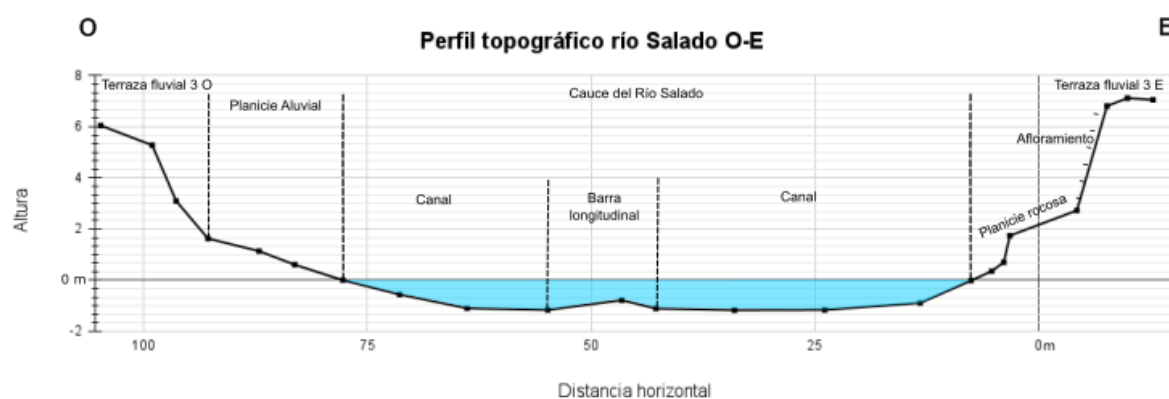


Figura 23: Perfil topográfico transversal al tramo libre del río Salado.

El río Salado es alóctono, de régimen permanente, presenta una pendiente longitudinal baja, una dirección de drenaje O-E y en la zona de estudio presenta un hábito sinuoso, se encuentra encajonado y sus principales tributarios se ubican hacia el norte. Los rasgos morfológicos asociados a su cauce se describen a continuación.

En los laterales del canal, dada la sinuosidad del cauce, se distinguen zonas erosivas y de acumulación a lo largo del mismo como consecuencia de la incidencia al flujo de descarga. Los rasgos morfológicos erosivos corresponden a escarpas de erosión y planicies rocosas labradas sobre sedimentitas fluviales del Holoceno.

Los laterales del cauce principal del río Salado están delimitados por escarpas de erosión (Figura 24), de 5 metros de alto con pendientes muy altas ( $80^\circ$  aproximadamente). En otros sectores normalmente presentan menos pendiente y desarrollan longitudes de 2 metros. Al

momento de realizar la campaña, dado el bajo nivel del río Salado, se la pudo observar en su totalidad. En períodos de inundaciones los niveles inferiores de la misma pueden estar alcanzados por el nivel del agua del río.

Las planicies rocosas están labradas sobre la Unidad 1 (Mb. La Chumbiada), tienen una pendiente de  $22^\circ$  grados y están cortadas por escarpas de erosión de 1,30 m (Figura 24). Además, se observó la presencia de carcavamientos en algunas de ellas (Figura 25).



Figura 24: Fotografías sobre la planicie rocosa, sus resaltos y las escarpas de erosión en el margen este del río Salado.



Figura 25: Carcavamiento en las escarpas de erosión.

Los márgenes acumulativos presentan barras en punta (*point bars*) generadas a partir de la migración lateral río Salado (Figura 26) y el desarrollo de una planicie aluvial (Figura 27) actual compuesta por sedimentos de tamaño arena muy fina, limo y arcilla (Ver capítulo 6). En la localidad de General Belgrano, las planicies aluviales son angostas, de aproximadamente 15 metros, a diferencia de lo que ocurre en otros tramos del Salado. Paralelamente, se identificó un área correspondiente a la planicie de inundación, de un ancho máximo de 1500 metros, hasta la cota de los 15 msnm, coincidente con el nivel alcanzado por la inundación de 2015.

Hacia los márgenes se reconocen asociaciones vegetales que representan zonas de recurrencias de inundaciones, indicando los niveles máximos alcanzados por el río en eventos hidrológicos extremos: en el área más próxima al río, donde es más frecuente que el nivel del agua alcance ese sector, los suelos son más recientes y ricos en nutrientes, predominando las plantas halófitas, como las salicornias (adaptables a suelos salinos); en un nivel superior, aparecen especies arbóreas, indicando condiciones un poco más estables y suelos más desarrollados; por último, la vegetación arbórea se ubica hacia niveles donde las inundaciones son muy ocasionales, indicando condiciones de mayor estabilidad (Figura 28).



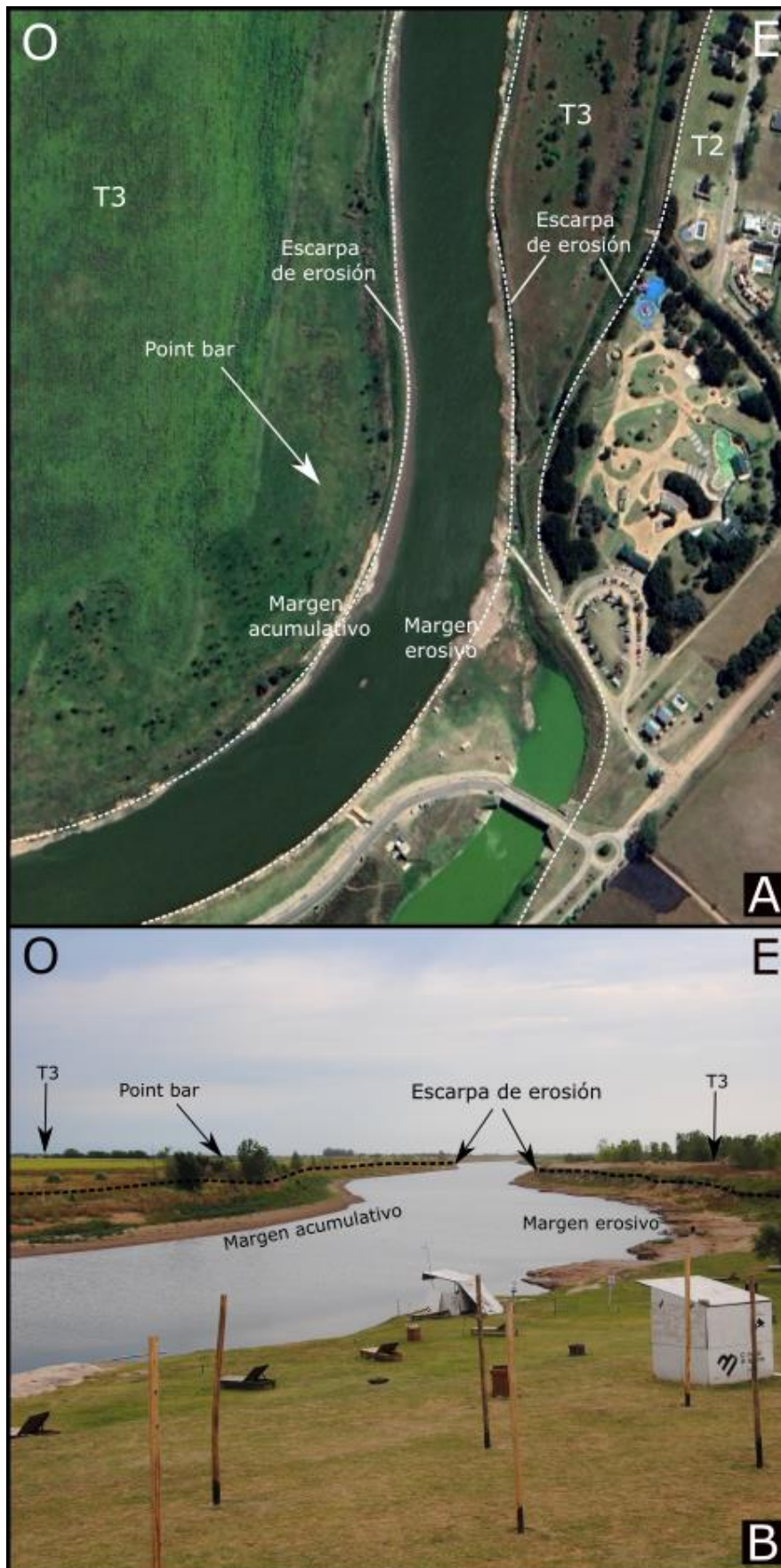


Figura 26: A) Imagen satelital Landsat/Copernicus del año 2023 (tomada de Google Earth) del tramo libre del río en la que se reconocen las geoformas asociadas a él. B) Fotografía del sistema fluvial y sus geoformas.



Figura 27: Margen de acreción y sucesión ecológica en barras laterales



Figura 28: Asociación de especies vegetales en el margen oeste del río Salado.

Por otro lado, se reconocen tres niveles de terrazas fluviales en la zona de estudio:

T3: Ubicado en los márgenes del río a una cota de 15 msnm con un ancho máximo de 1500 metros, reconocido a partir de la escarpa de erosión desarrollada en el canal principal, en donde el perfil estratigráfico reveló la presencia de sedimentos fluviales de la Fm. Luján.



T2: a una cota de 18 msnm de hasta 3000 metros de ancho. El segundo nivel (T2) se reconoce a partir de un desnivel en el terreno identificado en el modelo digital de elevación.

T1: a una cota de 20 msnm, abarcando el resto de la extensión del área de interés, reconocido a partir del estudio de pozo de Silva Busso (2015) quién también reconoce la presencia de estos sedimentos en el extremo del sector urbano de la localidad, a una cota de 20 msnm.

Sobre las terrazas se observan cubetas y bajos de deflación, hacia el norte y hacia el sur del río Salado, de pequeños tamaños que varían entre los 120 y los 20 metros aproximadamente y se forman en áreas mal drenadas de escasa pendiente y freática alta (Figura 29).

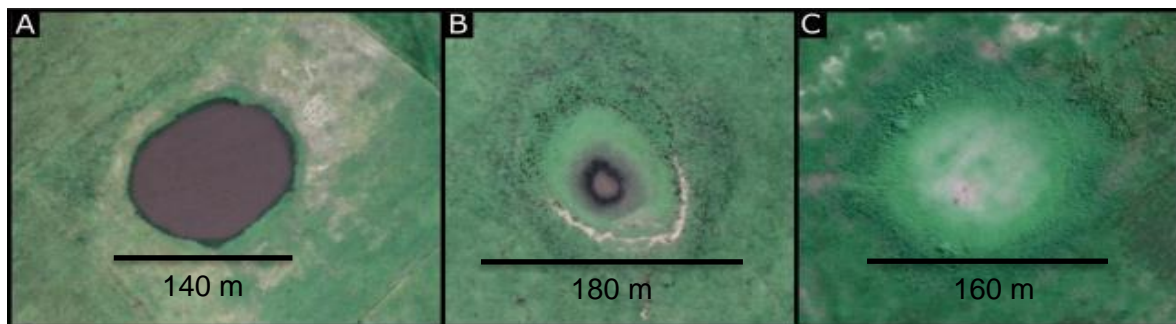


Figura 29: Imágenes satelitales Airbus del año 2023 (tomadas de Google Earth) de distintas lagunas efímeras hacia el N del río Salado con estadios diferentes: A) laguna de 140 metro de diámetro con agua. B) cubeta de 180 metros de diámetro en donde se observa una pequeña concentración de agua en su sector central. C) cubeta de 160 metros de diámetro sin agua.

En otros casos, estos bajos alcanzan mayor dimensión, llegando a formar lagunas, como la laguna del Siasgo (Figura 30). La misma no se incluye en la zona de estudio, pero se ubica inmediatamente al norte de la misma. Esta se encuentra a una cota topográfica menor que la del río, por lo que se genera un escurrimiento inverso desde el río hacia las lagunas en eventos de mayores caudales (Pommarés, 2020) (contrario a lo que sucede hacia el sur, donde el drenaje es hacia el río) (Figura 31). Dicha laguna se encuentra prácticamente colmatada, comportándose como un cuerpo léntico temporario (Dangavs y Blasi, 2002) y presenta asociadas geoformas como los *lunettes*, que son dunas de arcilla con forma de medialuna formados por deflación eólica y acumulados en los bordes de las lagunas (Fucks *et al.* 2012). También se encuentra atravesada por el arroyo “El Siasgo”, el cuál desemboca en el río Salado comportándose como uno de sus tributarios.

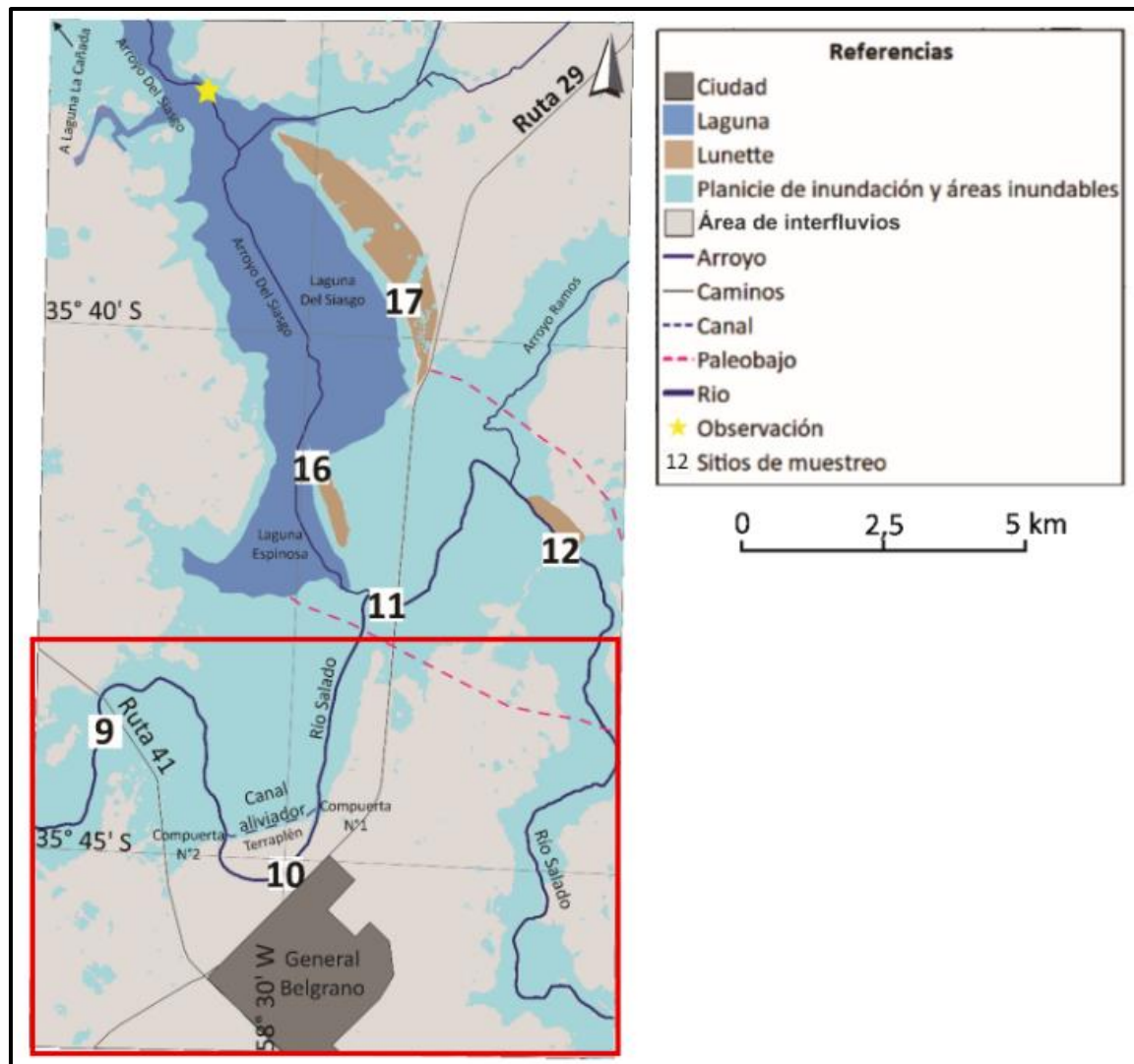


Figura 30: Mapa geomorfológico de la laguna del Siasgo. Modificado de Pommarés y Fucks (2022). En rojo el polígono correspondiente a la zona de estudio de este trabajo. Observar la ubicación inmediatamente al norte de la laguna del Siasgo respecto a la zona de estudio, y las geoformas como los *lunettes* asociadas a ella.

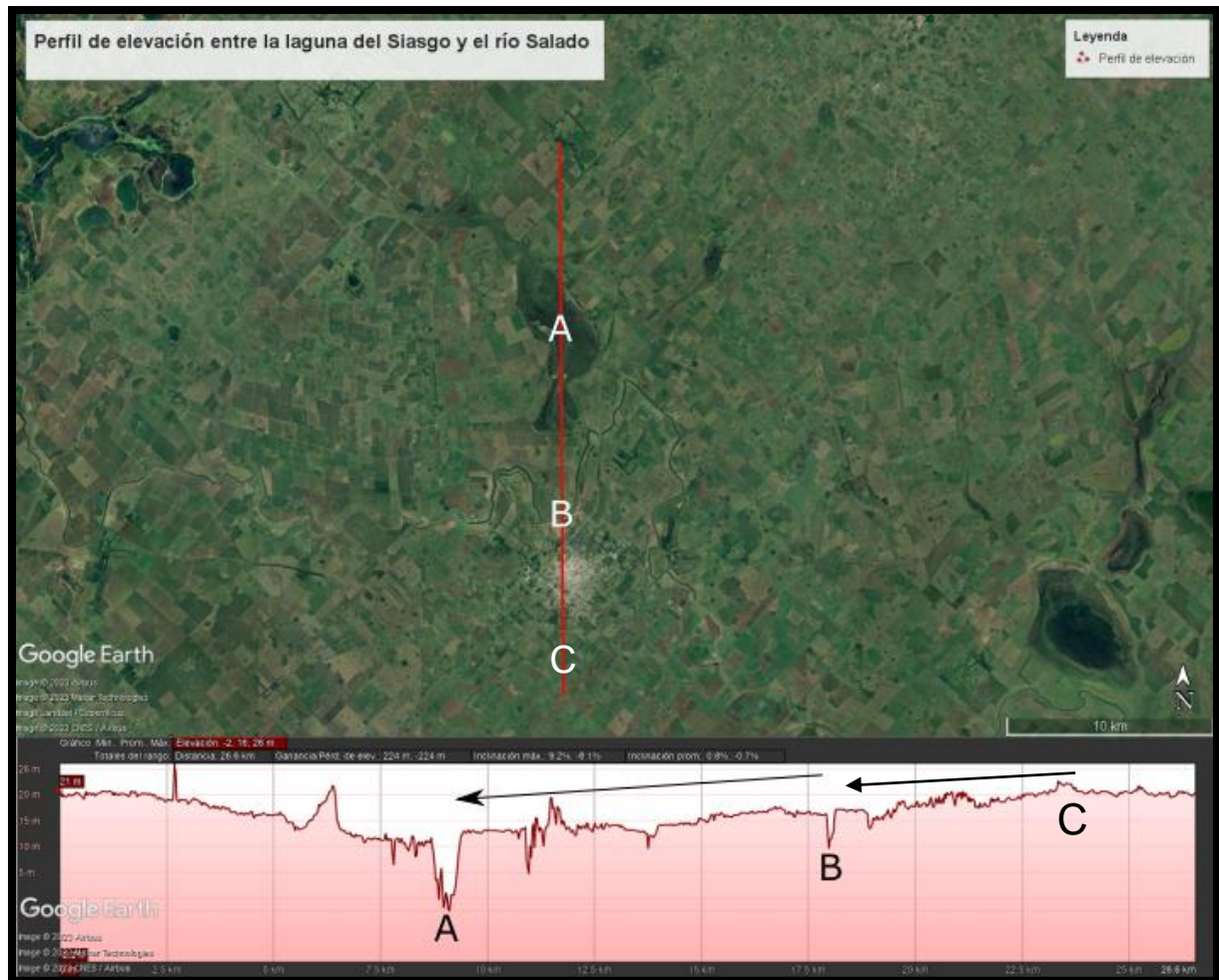


Figura 31: Perfil de elevación entre la laguna del Siasgo (A), el río Salado en la localidad de General Belgrano (B) y el sector sur (C) (Sobre imagen satelital Landsat del año 2023, tomado de Google Earth). Observar que la altura sobre el nivel de la laguna es menor que la del río, por lo tanto, la dirección de drenaje en esta zona es del río a la laguna, hacia el norte. En cambio, en el sector sur, el río Salado se encuentra a menor cota, por lo que el drenaje es hacia el río en este caso.

Hacia el sector sur del río Salado se observa una mayor densidad de bajos de deflación hacia el SO (Figura 32 A) y tamaños más variables que el sector norte: desde casi 300 metros hasta menos de 50 metros de diámetro (Figura 32 B, C, D). En este sector, el drenaje es de S a N, es decir, hacia el río Salado.

Regionalmente, Pereyra (2018) identifica esta zona bajo el nombre de “Planicie loésica con cobertura de dunas” por la presencia de dunas transversales de limo con orientación SE-NO, con lagunas interdunales asociadas, pero las mismas no se identifican en el área de interés del presente trabajo. Se habrían formado por vientos provenientes del SO, siendo estos los mismos que habrían generado las cuencas de deflación y los *lunettes* (Fucks *et al.*, 2012), pero según Zárate y Blasi (1991), éstas son más recientes, correspondiendo al Holoceno superior.



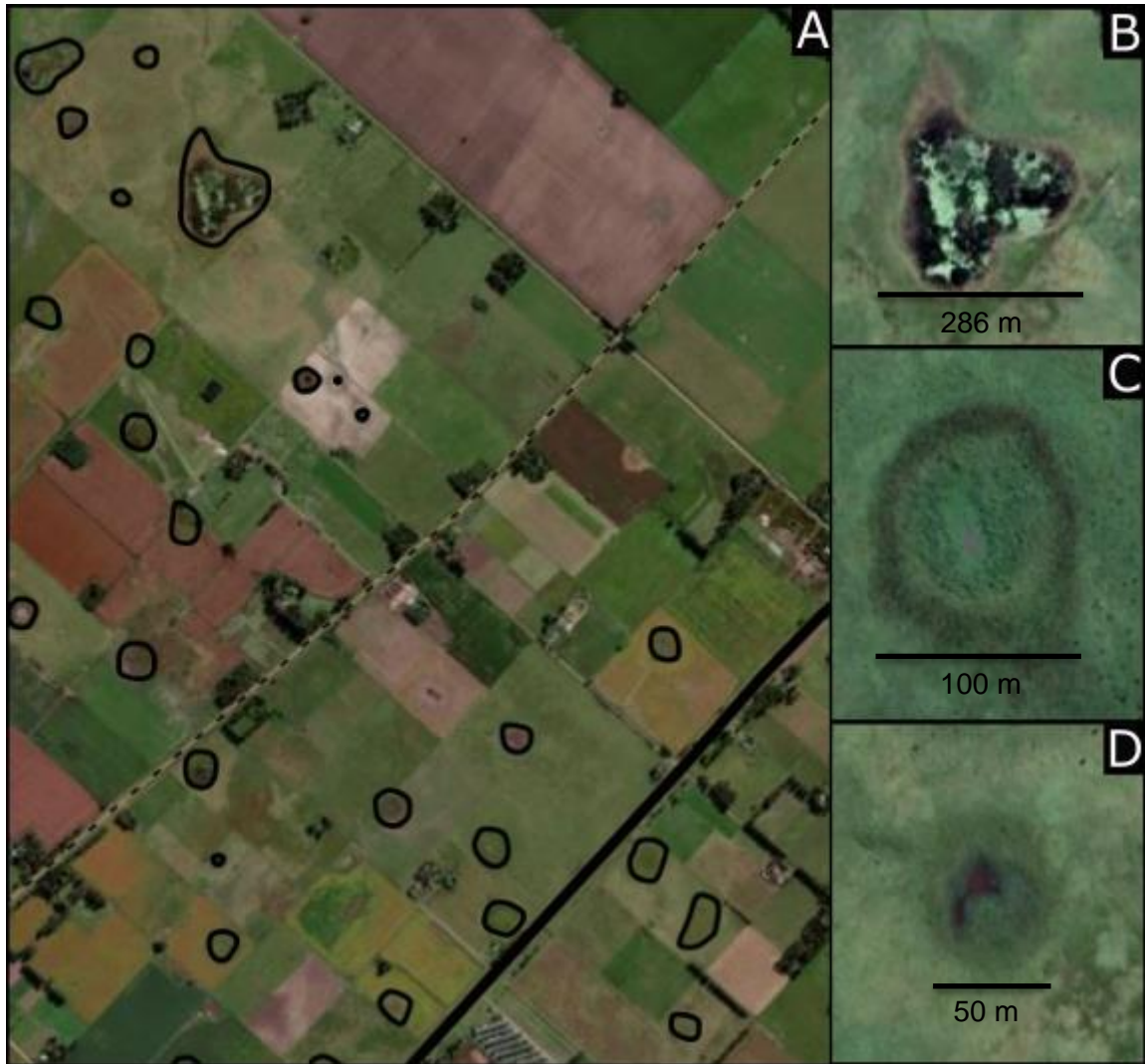


Figura 32: Imágenes satelitales Airbus del año 2023 (tomadas de Google Earth) de las lagunas efímeras ubicadas al sur del río Salado. A) Densidad de lagunas en el extremo SO de la zona de estudio. B) Laguna efímera de 286 metros de diámetro. C) Laguna efímera de 100 metros de diámetro. D) Laguna efímera de 50 metros de diámetro.

La presencia de tres niveles de terrazas fluviales indica que, durante el Holoceno, el río Salado exhibía una extensa planicie aluvial con una elevación de aproximadamente 20 metros sobre el nivel del mar (Terraza 1) y se caracterizaba por su baja pendiente, planicies aluviales de gran extensión y alta carga sedimentaria. También en este periodo domina el proceso eólico generando dunas y fenómenos deflacionarios y se interpreta como un clima más húmedo. Posteriormente se produce un rejuvenecimiento y el valle se estrecha, experimentando un descenso hasta una cota de 18 msnm (Terraza 2) y luego otro hasta la cota de los 15 msnm (Terraza 3). Finalmente experimentó un nuevo descenso, disminuyendo abruptamente su nivel, encajonándose, aumentando el caudal y disminuyendo la carga, predominando las geoformas erosivas en varios sectores.

#### 4.3 Intervención antrópica y cambios en la geomorfología

En la región estudiada, se han ejecutado numerosas obras civiles para mitigar los efectos de las inundaciones. Entre las más frecuentes fueron los planes de dragado (Plan Maestro Integral, 1999), que consisten en lograr un ensanchamiento o profundización del canal principal para aumentar la sección transversal y disminuir la altura de desborde, con el caudal pico asociado a las inundaciones extremas.

Particularmente en General Belgrano, a partir de las frecuentes inundaciones que afectaron históricamente a esta región, a principios de 1990 se realizó la construcción de un sistema de compuertas para minimizar el efecto de las frecuentes inundaciones que afectaban a la localidad (Figura 33).

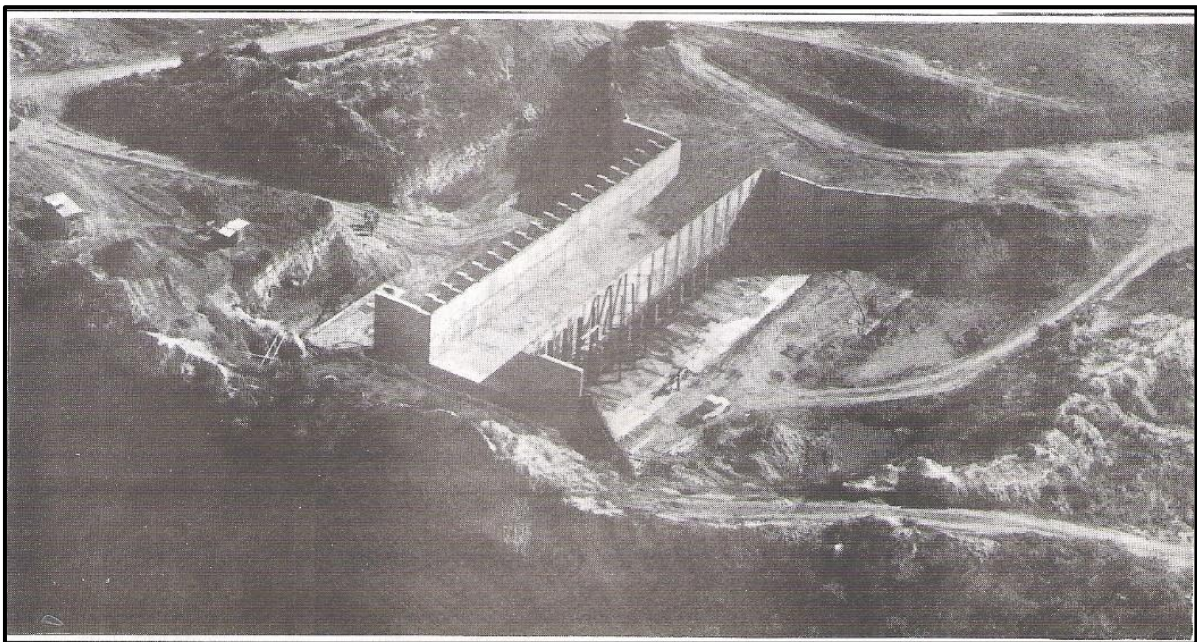


Figura 33: Fotografía de la construcción del sistema de compuertas en la localidad de General Belgrano, facilitada por el Museo Histórico Municipal "Alfredo Enrique Múlgura".

Esta obra consistió en la construcción de dos presas de regulación con compuertas ubicadas en la zona de La Baguala (Compuerta N°1) y Playa Azul (Compuerta N° 2) (Amarilla *et al.* 2007) (Figura 34) y de un canal aliviador que cortó el meandro del río en dirección E-O. También se construyó un terraplén para el tránsito vehicular, con dos terraplenes de acceso.





Figura 34: A) Imagen satelital Landsat/Copernicus del año 2023 (tomada de Google Earth) del río Salado en la localidad de General Belgrano en donde se muestra la ubicación de las dos compuertas. B) Fotografía de la Compuerta 1 (Año 2023). C) Fotografía de la Compuerta 2 (Año 2023).

En estas obras el material obtenido se deposita en los márgenes del canal aliviador, construyendo un albardón artificial y también sobre la planicie de inundación. Estas obras han generado cambios geomorfológicos en el área, principalmente entre el tramo comprendido entre las dos compuertas y el tramo de libre circulación, como se analizará a continuación (Figura 35).



Figura 35: A) Morfología natural del río previa a la construcción del sistema de compuertas (Imagen Landsat/Copernicus del año 1985, tomada de Google Earth). B) Imagen satelital Landsat/Copernicus del año 2023 (tomada de Google Earth) posterior a la obra. C) Detalle de la imagen B donde se muestran los cambios geomorfológicos a grandes rasgos como consecuencia de la construcción (C1: Compuerta N° 1; C2: Compuerta N° 2).

El canal aliviador presenta en sus márgenes albardones, que evitan el desborde, pero cambian las condiciones morfodinámicas del sistema fluvial (Figura 36).



Figura 36: A) Imagen satelital Landsat/Copernicus del año 2023 (tomada de Google Earth): vista en planta del canal aliviador. B) Fotografía del canal aliviador.

La construcción del sistema de compuertas ha desconectado el meandro de la dinámica natural del río Salado regulando el caudal pico para evitar la inundación de la localidad de General Belgrano, la cual se asienta inmediatamente en los márgenes de la misma. Con caudales normales se permitía el paso de agua entre ambos tramos, de manera de mantener la circulación del río. Sin embargo, en los últimos años, ante la ocurrencia de una sequía importante, el nivel registrado quedó por debajo del sistema de compuertas, por lo cual no se pudo regular el caudal quedando desconectado del sistema fluvial principal (Figura 37).



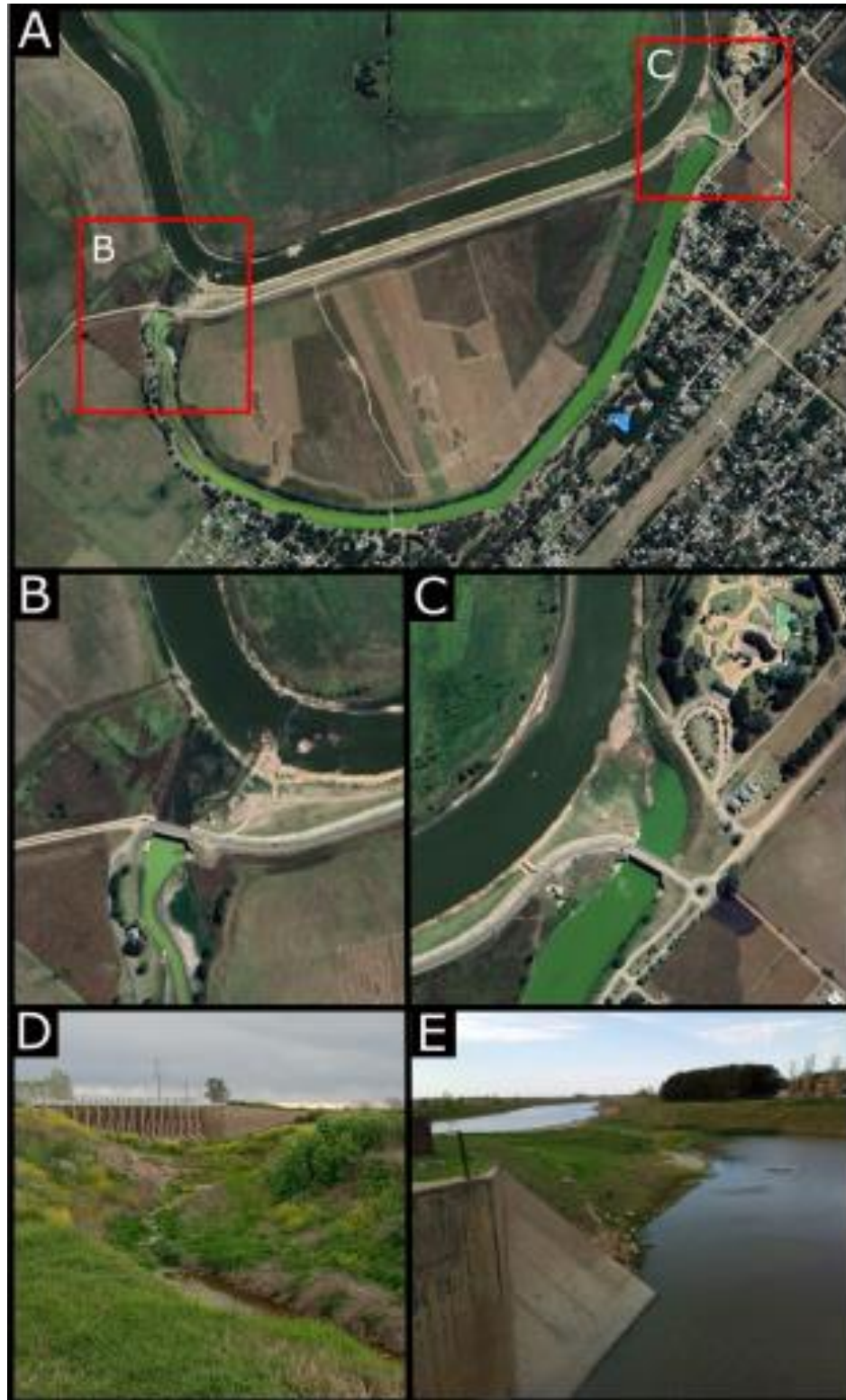


Figura 37: A) Imagen satelital Landsat/Copernicus del año 2023 (tomada de Google Earth) del río Salado en la localidad de General Belgrano en donde se puede ver el tramo del río desconectado del tramo libre principal por haber quedado comprendido entre dos compuertas. B) Amplitud de imagen en la cual se puede observar la desconexión entre los dos tramos del río en la Compuerta N°1. C) Amplitud de imagen en la cual se puede ver la desconexión entre los dos tramos del río en la Compuerta N°2. D) Fotografía de la Compuerta N°1 en la cual se observa la ausencia de agua, evidencia de la desconexión entre ambos tramos del río. E) Fotografía de la Compuerta N°2 en la cual se puede observar directamente la desconexión entre los dos tramos del río.

Esto generó como consecuencia cambios geomorfológicos, sedimentológicos y ambientales que se analizarán en profundidad en los próximos capítulos (Figura 38): anteriormente, la población ocupaba la planicie del río como balneario. Hoy en día el sector endicado presenta condiciones ambientales no aptas para dicho uso.



Figura 38: A) Fotografía del año 1978 en donde se observa el uso recreativo del balneario, facilitada por el Museo Histórico Municipal "Alfredo Enrique Múlgura". B) Fotografía del tramo estancado del río Salado tomadas durante el mes de febrero del año 2023 en el mismo sector que la fotografía anterior. Notar la exposición del lecho del mismo junto con la presencia de grietas de desecación y la coloración del agua.

Las terrazas fluviales también se encuentran completamente intervenidas y modificadas para la construcción de paseos costaneros (Figura 39).



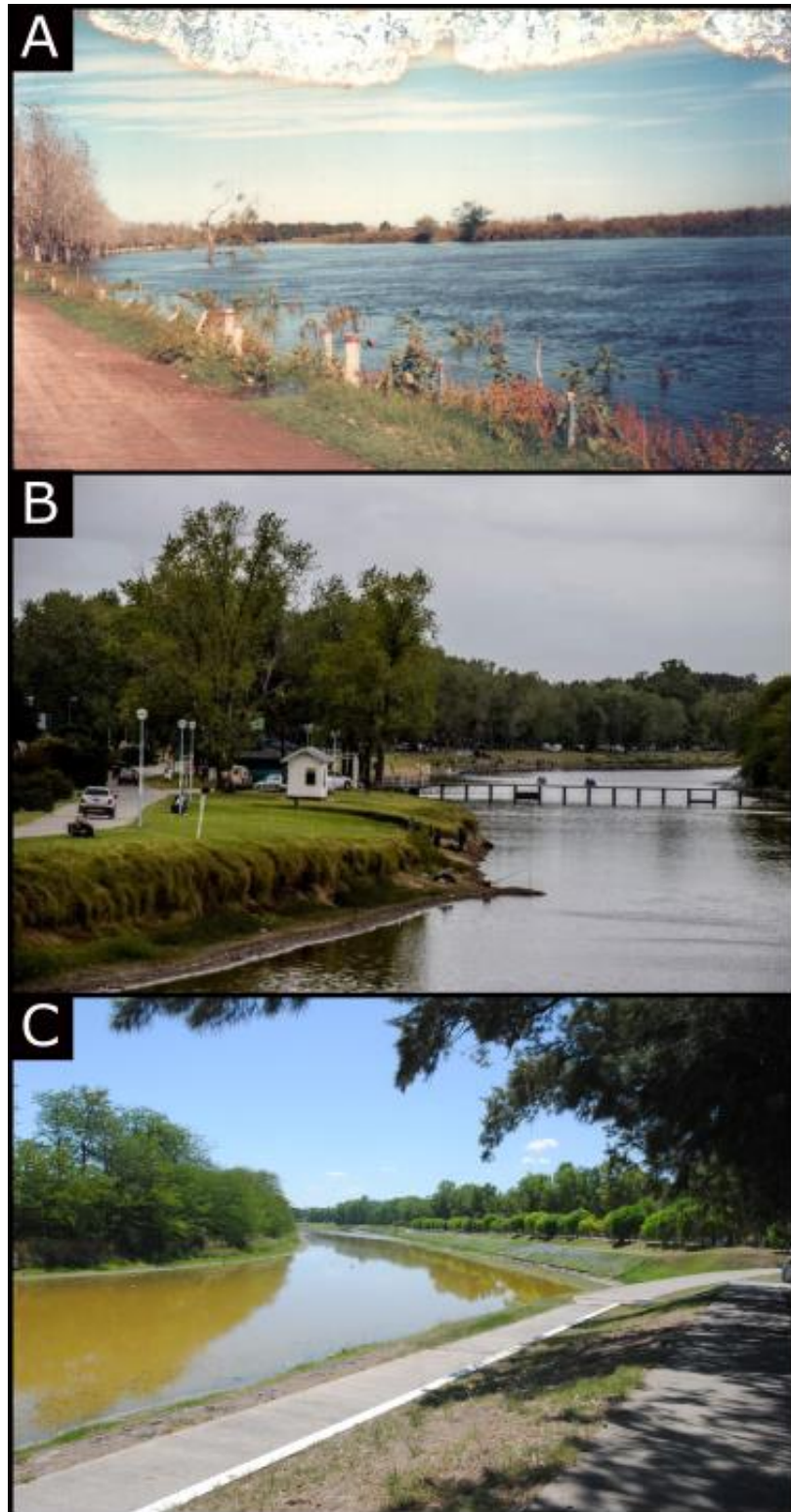


Figura 39: A) Fotografía antigua del año 1980 del tramo actualmente estancado del río Salado en donde se puede observar un momento de mayor altura del nivel del agua y de poca intervención antrópica sobre sus márgenes, facilitada por el Museo Histórico Municipal "Alfredo Enrique Múlgura". B) Fotografía del año 2016 sobre el paseo costanero construido en la terraza que se ubica inmediatamente en el margen del río Salado, facilitada por el Museo Histórico Municipal "Alfredo Enrique Múlgura". C) Fotografía del año 2023 del tramo estancado del río Salado: notar la intervención total de los márgenes del mismo para la construcción de un camino costanero.

## 5. RIESGO GEOLÓGICO

En la zona de estudio, el principal factor en cuanto a la peligrosidad natural son las inundaciones. El mapa de Pereyra y Tobío (2018) (Anexo I, 3) muestra que el río Salado presenta una muy alta susceptibilidad a lo largo de su curso y particularmente la localidad de General Belgrano, por ubicarse inmediatamente en sus orillas, presenta una susceptibilidad alta. Esto se debe a motivos de distinta índole: de manera general se relaciona con aspectos atmosféricos globales como el fenómeno de el Niño y la Niña (Sierra *et al.*, 1994); variabilidades climáticas como la tendencia en el aumento de las precipitaciones anuales (Berbery *et al.*, 2006; Castañeda *et al.*, 1994; Seager *et al.*, 2010), donde la presencia de frecuentes lluvias intensas puede producir anegamientos de gran extensión y durabilidad provocando también ascensos freáticos en las zonas cercanas a los cursos fluviales (Pereyra y Tobío, 2018); condiciones topográficas de la zona tales como la baja pendiente que impide el escurrimiento del agua y el desarrollo de un buen drenaje; influencia de la actividad antrópica, especialmente a partir de la segunda mitad del siglo XX, con respecto a la alteración de cuencas hidrológicas, construcción de obras de infraestructura (Sierra *et al.*, 1994), o al uso del suelo: incremento de áreas destinadas a la agricultura y disminución de zonas con pasturas y pastizales naturales (Viglizzo, 2009). Esto ha inducido un aumento progresivo en el nivel freático que como consecuencia ha incrementado los riesgos de inundación (Viglizzo, 2009; Contreras *et al.*, 2011).

No obstante, otro riesgo significativo en la cuenca del Salado corresponde a las sequías, las cuáles se presentan de manera alternada con episodios de excesos hídricos (Ameghino, 1984). Sin embargo, los planes de manejo en la provincia de Buenos Aires generalmente han sido diseñados considerando una tendencia en el aumento de las precipitaciones anuales desde 1920 (Plan Maestro Integral, 1999).

Si bien muchas veces pueden ser más evidentes las consecuencias que ocurren por las inundaciones, es importante considerar las épocas de sequía extremas, como la que transcurre durante la realización de este TFL. Durante las mismas ocurren cambios geomorfológicos, sedimentológicos y ambientales. La intervención antrópica en muchos consigue el objetivo de disminuir el riesgo de inundaciones, pero en ocasiones potencia el riesgo ambiental durante las sequías.

## 5.1 Inundaciones y sequías

Diversos eventos de inundaciones y sequías han ocurrido en la zona de estudio desde que se tiene registro. La red meteorológica nacional ofrece datos desde el año 1961 hasta la actualidad. Los registros previos corresponden a datos proporcionados por viajeros o por la población, motivo por el cuál son generalizados e imprecisos. A continuación, se brindan los distintos episodios de inundaciones y sequías recopilados ocurridos desde el siglo XVI hasta el presente.

Registros antiguos indican que los siglos XVI y XVII se caracterizaron por presentar períodos secos a muy secos, especialmente durante los años 1695 y 1698-99, con periodos lluviosos puntuales en los años 1573 y 1636 (Oliver, 1959; Moncaut, 2001).

Dentro del siglo XVIII la sequía continúa, registrándose 44 años caracterizados por condiciones secas a muy secas, y sólo 11 años con excesos de agua, donde puntualmente se reconoce una inundación en el año 1751 (Oliver, 1959; Moncaut, 2001).

Durante el siglo XIX los registros indican condiciones opuestas con respecto a periodos anteriores: las lluvias e inundaciones adquirieron mayor frecuencia, reconociéndose al menos 12 episodios de inundaciones, siendo la de 1883-84 la que afectó con mayor intensidad a la cuenca del río Salado (Ameghino, 1886; Deschamps *et al.* 2003). Si bien en este siglo los periodos de sequía fueron de menor duración que el anterior, se registraron dos momentos: el primero desde 1801 hasta 1810 y el segundo entre los años 1827 y 1832, denominado “La Gran Seca” por Charles Darwin.

En el siglo XX se registraron tres episodios secos: el primero en 1910 donde la laguna de Chascomús se secó por completo (Oliver, 1959; Dangavs, 2005b); el segundo en entre los años 1930 y 1950 (Herzer, 2003; Seager *et al.*, 2010) y luego entre los años 1995-96 (Moncaut, 2001). El resto de los años corresponden a períodos de excesos hídricos, o condiciones normales: se registran episodios de inundación en los años 1900, 1915, 1919, pero a partir del año 1970 se distingue inundaciones con mayor recurrencia: 1978, 1980, 1984-1986, 1991–1993, 2000–2002, 2012–2013, 2014 y 2015 (Figura 40), y sequías en 1988-1989, 1995-1996, 1999, 2004-2005, 2008 y 2011 (Kuppel *et al.*, 2015; Herzer, 2003; Herzer *et al.*, 2004; PMI, 2017; Moncaut, 2001; Scarpati y Capriolo, 2013). En los últimos años, particularmente desde finales del 2019 hasta el 2023, se reporta una situación de sequía (Skansi *et al.*, 2023) (Figura 41).



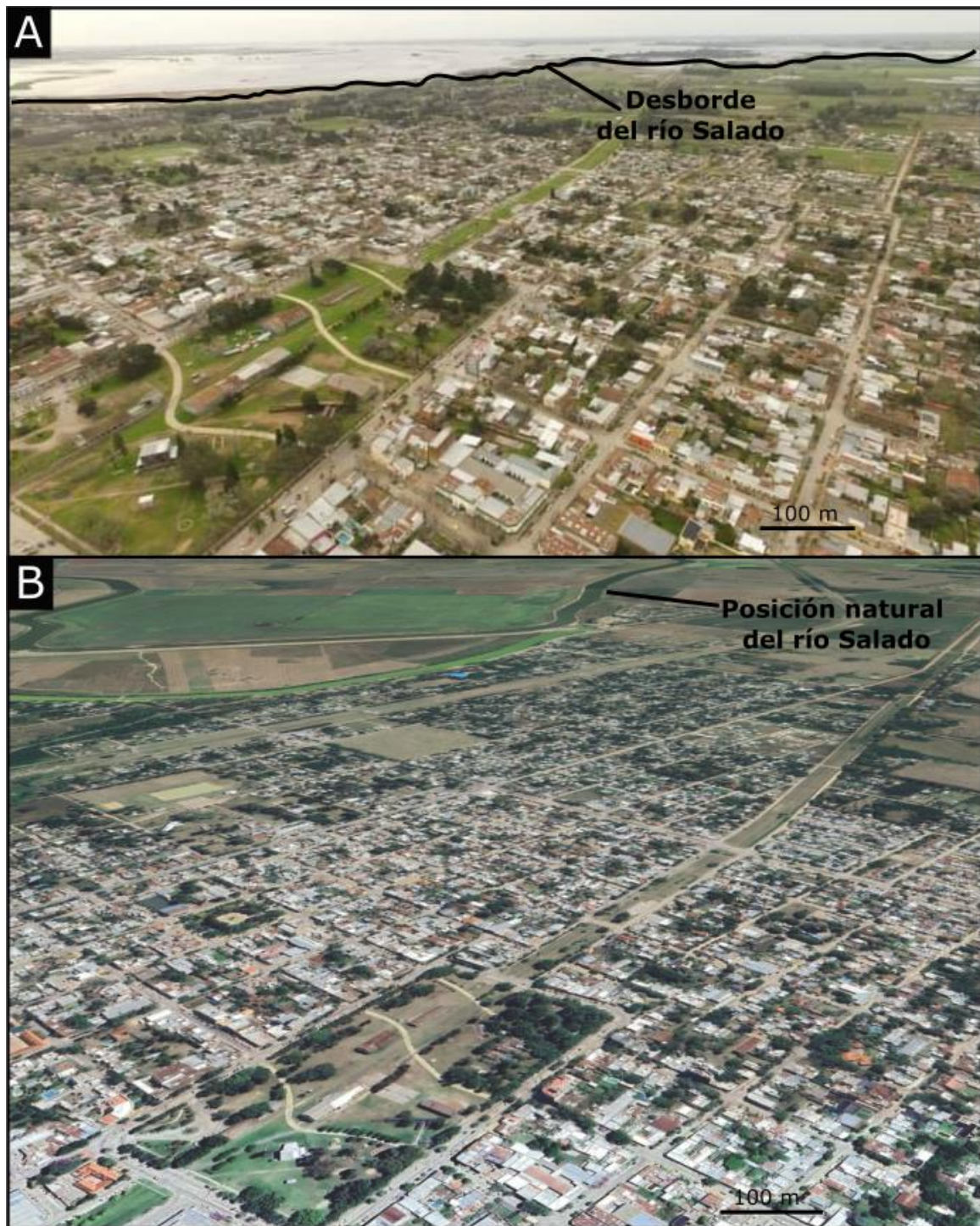


Figura 40: A) Fotografía de la inundación del año 2015 en la localidad de General Belgrano. Facilitadas por el Museo Histórico Municipal "Alfredo Enrique Múlgura". B) Imagen satelital del año 2024 con nivel normal.



Figura 41: A) Fotografía de la sequía durante enero del año 2023 en la localidad del General Belgrano.  
B) Condiciones normales del río Salado.

## 5.2 Análisis de las precipitaciones

Con el objetivo de analizar las precipitaciones a lo largo del tiempo se confeccionó un gráfico de precipitaciones anuales entre 1931 a 2023 para la estación meteorológica de Dolores. Esta fue seleccionada por ser la más próxima a la localidad de General Belgrano y tener un mayor registro temporal de datos. Los datos analizados fueron proporcionados por el Servicio Meteorológico Nacional (Figura 42).



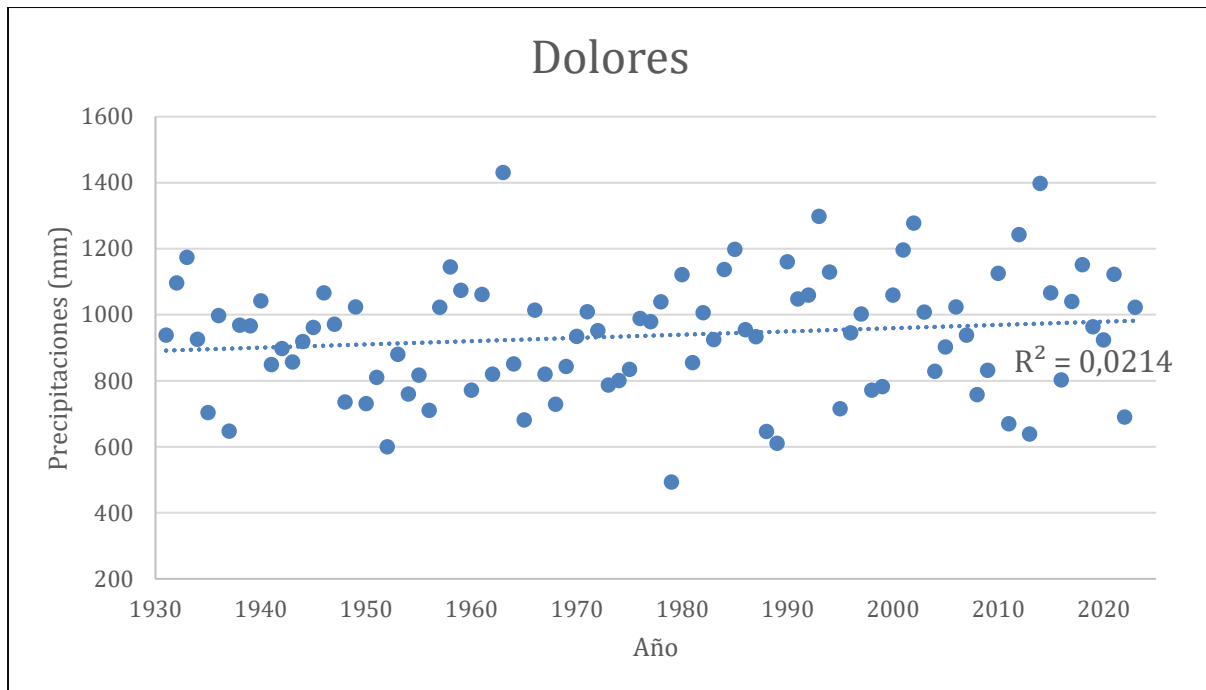


Figura 42: Gráfico de precipitaciones anuales (mm) para la estación meteorológica de Dolores.

El análisis de las precipitaciones históricas en Dolores muestra una tendencia al incremento de la precipitación de 0,47 mm por año, con una precipitación media anual acumulada de 936,7. Sin embargo, la relación entre las variables es débil ( $R^2 = 0,0214$ ), con lo cual sería más conveniente considerar que existen variabilidades climáticas y que la tendencia que puede variar depende del periodo considerado. A partir de la década de 1980 la desviación estándar se incrementa de 142 a 202 indicando una mayor amplitud en la alternancia entre eventos húmedos y secos

Por otro lado, se realizó un gráfico comparativo entre las precipitaciones anuales acumuladas entre las dos localidades más cercanas a la de General Belgrano: Las Flores (70 kilómetros) y Dolores (95 kilómetros) (Figura 43), con el objetivo de comparar las precipitaciones ocurridas en cada una de ellas y su incidencia en los periodos secos y húmedo registrados en el cauce del Salado. La estación de Dolores cuenta con datos disponibles desde el año 1931 y la de Las Flores desde el año 1988.

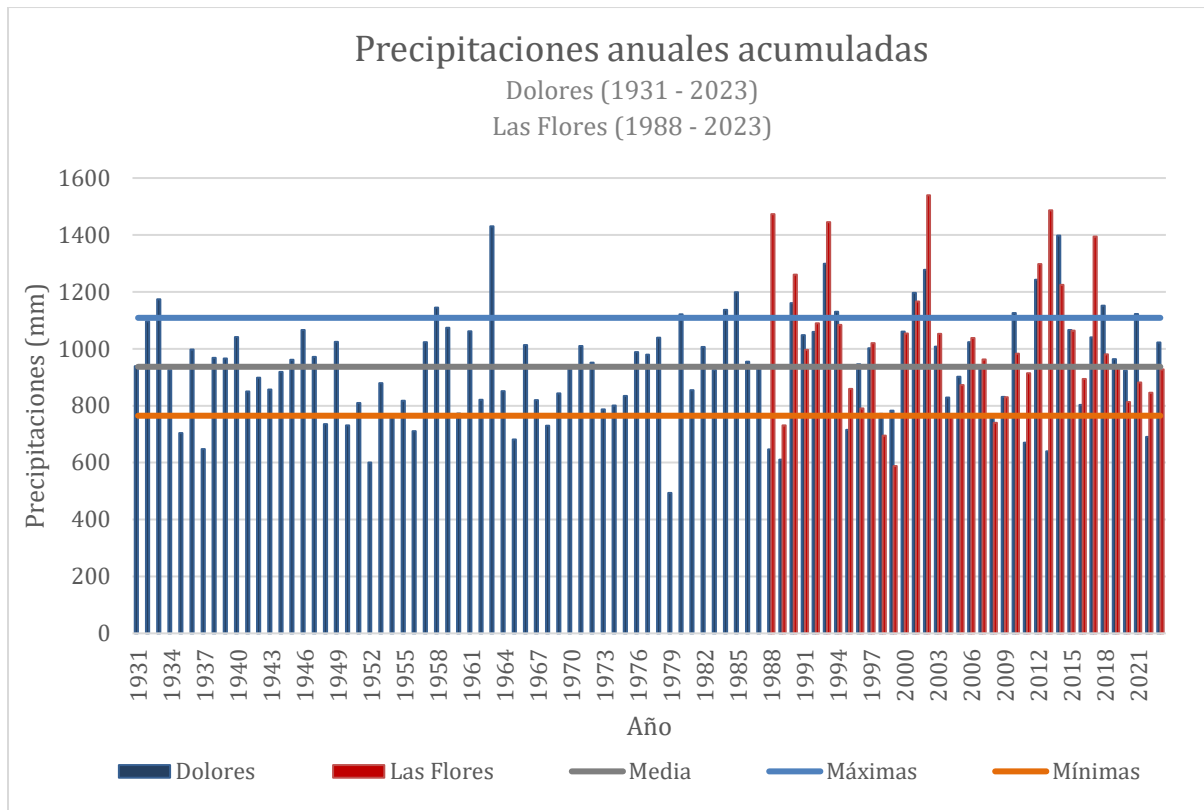


Figura 43: Precipitaciones anuales acumuladas para la estación meteorológica de Dolores (1931 – 2023) y Las Flores (1988 – 2023).

Paralelamente, se calculó el valor medio y la desviación estándar de la distribución con el fin de establecer límites que determinen períodos secos y húmedos a partir de la siguiente premisa: los años con precipitaciones mayores al límite máximo (media + desviación estándar) corresponden a períodos húmedos (H), mientras que los años con valores menores al límite mínimo (media – desviación estándar) son períodos secos (S). Los valores intermedios se consideran períodos normales (N). Los resultados se comparan con los registros históricos de eventos en la Tabla 2.

Año	REGISTRO	Dolores	Las Flores	
1931	Sequía	N	x	
1932			x	
1933		H	x	
1934		N	x	
1935		S	x	
1936		N	x	
1937		S	x	
1938		N		x
1939				x
1940				x
1941				x
1942				x
1943				x
1944				x
1945				x
1946				x
1947				x
1948			S	x
1949		N	x	
1950		S	x	
1951		N	x	
1952		S	x	
1953		N	x	
1954		S	x	
1955		N	x	
1956		S	x	
1957		N	x	
1958	N	H	x	
1959		N		x
1960				x
1961				x
1962			x	
1963		H	x	
1964		N	x	
1965		S	x	
1966		N		x
1967				x
1968		S	x	
1969		N		x
1970				x
1971				x
1972				x
1973				x
1974				x
1975				x
1976				x
1977				x

Año	REGISTRO	Dolores	Las Flores
1978	Inundación	N	x
1979	N	S	x
1980	Inundación	H	x
1981	N	N	x
1982			x
1983			x
1984	Inundación	H	x
1985		H	x
1986		N	x
1987	N		x
1988	Sequía	S	H
1989		S	S
1990	N	H	H
1991	Inundación	N	N
1992			
1993		H	H
1994	N	H	N
1995	Sequía	S	
1996		N	
1997	N		
1998	Sequía		S
1999	Inundación		N
2000		H	H
2001		H	H
2002	N	N	N
2003	Sequía		
2004			
2005	N		
2006	Sequía	S	S
2007			
2008	N	H	N
2009	Sequía	S	
2010	Inundación	H	H
2011		S	H
2012		H	H
2013	N	S	N
2014		H	
2015		N	
2016	Sequía	N	H
2017			
2018			
2019	Sequía	N	N
2020			
2021			
2022			
2023	N	N	

Tabla 2: Resultados de las precipitaciones para las estaciones meteorológicas de Dolores y Las Flores y comparación con los registros históricos, dónde: H= años húmedos; S= años secos; N= años “normales”, x= años sin registro.

Del análisis de los datos obtenidos se pueden definir cuatro periodos climáticos para la zona en estudio

- 1) Periodo de sequias entre 1932 y 1957 con precipitaciones anuales por debajo de la media. Alternancia entre periodos secos y neutros. Solo se registra un evento húmedo en 1933 y 7 secos. Corresponde a una época de sequía prolongada de 25 años.
- 2) Periodo neutro entre 1958 y 1979. Aumenta el valor de precipitación anual pero no se registran eventos de sequías ni inundaciones extremas. Se evidencia el dominio de años neutros, dos años húmedos y tres secos (21 años neutros sin eventos extremos).
- 3) Periodo con alternancia de eventos extremos entre 1980 y 2002. Las inundaciones y sequías son extensas y duraderas. Inundaciones con permanencia de 3 años y sequías de 1 a 2 años. Eventos extremos bien marcados en especial picos de inundación. Este periodo duró 22 años
- 4) Periodos con alternancia de eventos extremos de mayor duración temporal (desde 2003). En este periodo si bien las precipitaciones anuales alcanzan valores elevados en los períodos húmedos, se comienza a registrar mayor alternancia y duración de las sequías. Se inicia un periodo más seco para la pampa deprimida.

De los datos exhibidos en la tabla se obtiene que:

#### Período con datos de una sola estación (1931 – 1987)

- 1) Los años definidos en este trabajo como secos o húmedos coinciden con años donde se registraron eventos de sequías o inundaciones, respectivamente: 1935, 1937, 1948, 1950, 1952, 1954, 1956, 1980, 1984, 1985.
- 2) Existieron años donde se registraron eventos de sequías o de inundaciones, pero no se registraron precipitaciones extremas mínimas o máximas en la estación de Dolores: 1931, 1932, 1934, 1936, 1938-1947, 1949, 1951, 1953, 1955, 1957, 1978, 1986.
- 3) Existieron años húmedos o secos en cuanto a las precipitaciones pero que no se registró un evento de sequía o inundación: 1958, 1963, 1965, 1968, 1979.
- 4) El resto de los años donde no hubo registros de eventos, tampoco se consideran secos o húmedos en cuanto a las precipitaciones.

#### Período con datos de las dos estaciones (1987 – 2023)

- 1) Los años definidos como secos o húmedos que coinciden en ambas estaciones meteorológicas generalmente se corresponden con un año donde ocurrió un



evento de sequía o de inundación en la región, respectivamente, como es el caso de 1989, 1993, 2001, 2002, 2008, 2012, 2014.

- 2) Existen años donde se registraron eventos de sequías o de inundaciones, pero no se registraron precipitaciones extremas mínimas o máximas en ninguna de las estaciones, como en 1991, 1992, 1996, 2000, 2004, 2005, 2015, 2019, 2020.
- 3) En algunas ocasiones, hay años en donde se registran inundaciones o sequías, pero no hay coincidencia en las precipitaciones entre una estación y la otra, como ocurre en 1988, 1995, 1999, 2011, 2013, 2021 y 2022.
- 4) En otros casos, existió un año húmedo en cuanto a las precipitaciones medidas en ambas estaciones, pero que no se registró un evento de sequía o inundación: 1990.
- 5) De manera similar al caso anterior, existieron años sin registros de eventos de sequías o inundaciones, pero que fueron secos o húmedos para una sola de las estaciones: 1994, 1998, 2010, 2017 y 2018.
- 6) Por último, el resto de los años donde no hubo registros de eventos, tampoco se consideran secos o húmedos en cuanto a las precipitaciones.

Si bien hay una tendencia general a que los años con precipitaciones máximas definidos como “húmedos” coincidan con inundaciones, y los años con precipitaciones mínimas, denominados “secos” coincidan con sequías, no siempre se cumple esta relación: las precipitaciones pueden ser un indicador útil para determinar si un año fue más seco o más húmedo, sin embargo, no es el único factor que provoca la ocurrencia de sequías o de inundaciones. La intensidad de las precipitaciones, la capacidad de retención de agua del suelo, la topografía del terreno, eventos climáticos extremos como El Niño o La Niña, la temperatura, la evapotranspiración, la humedad natural del suelo y la intervención antrópica son otros parámetros que influyen en la ocurrencia o no de estos fenómenos.

Existen casos donde la tendencia entre una estación meteorológica y la otra no coincide entre sí. Por ejemplo, en el año 2013 se registran eventos de inundaciones, lo cual es coherente con las mediciones obtenidas en Las Flores (1486 mm); sin embargo, en la estación de Dolores se obtuvo un valor medio anual de 639 mm. Un caso contrario es el del año 1988, en donde se registra un evento de sequía, concordante con las mediciones obtenidas en la estación de Dolores, de 646,1 mm, pero incongruente con la medición obtenida en Las Flores, de 1473,6 mm. Esto demuestra que, si bien pueden existir regionalmente condiciones de sequía o registrarse inundaciones, también pueden existir anomalías de precipitación locales que no logran revertirlas. También puede ocurrir que las estaciones meteorológicas en ocasiones no representen de manera precisa las condiciones de toda la región y sucedan

eventos de inundaciones o sequías en áreas localizadas que no están registradas por las estaciones, o, lo contrario: condiciones de precipitaciones elevadas o bajas sectorizadas que generan inundaciones o sequías respectivamente, que no llegan a ser captadas por las estaciones.

Con respecto a la ocurrencia de los eventos, se puede ver que en los casos que ocurren inundaciones, estas se manifiestan durante 3 o 4 años consecutivos y cada aproximadamente 7 a 10 años. En cambio, la ocurrencia de las sequías es más dispersa. Estas ocurren de manera intermitente, registrándose un máximo de dos años seguidos intercalando con años “normales”, con excepción de la extensa sequía de 1931-1957 y la última sequía extrema que se extendió durante 4 años (2019-2022).

Esta distribución refleja la ocurrencia alternada de estos eventos en la región pampeana.

## 6. CARACTERIZACIÓN SEDIMENTOLÓGICA Y FÍSICO-QUÍMICA DEL RÍO SALADO

Con el objetivo de describir la dinámica sedimentaria actual del río Salado en la localidad de General Belgrano y su evolución en el tiempo se realizó un muestreo en distintos puntos de su curso para analizar sus características sedimentológicas, granulométricas y físico-químicas y determinar su relación con la actividad antrópica.

### 6.1 Dinámica sedimentaria actual

Se analizaron los sedimentos de fondo de canal del tramo de libre circulación (sector 1) y del tramo estancado (sector 2) (Figura 44). A continuación, se describe las observaciones en lupa de los mismos.

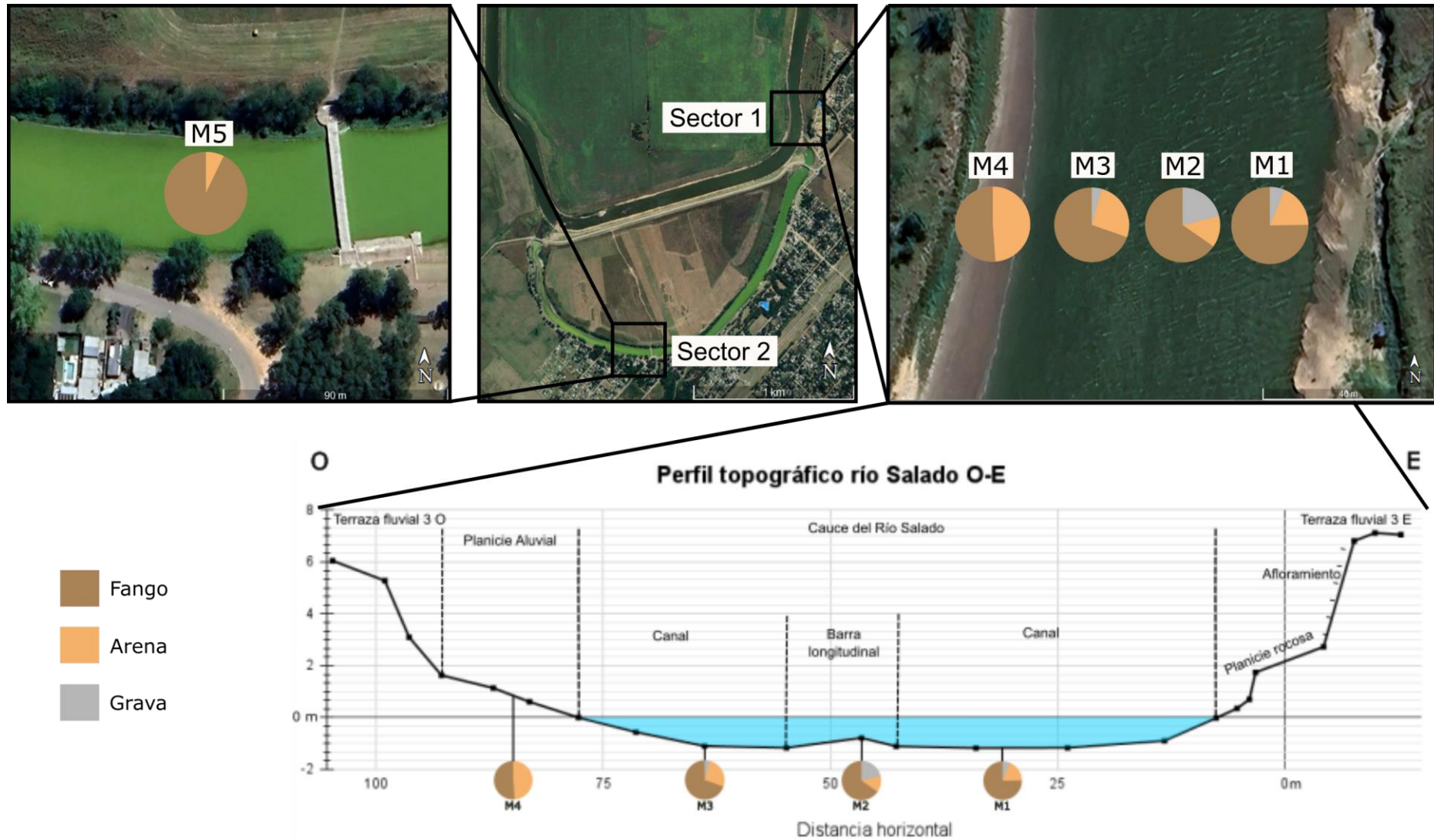


Figura 44: Ubicación de los Sectores 1 y 2 junto con una ampliación de los mismos en donde se expone la granulometría de cada una de las muestras.



## Sector 1

### *Muestra 1*

Los sedimentos presentan color pardo claro (Figura 45) y un tamaño de grano predominantemente limoso fino, aunque también se observa la presencia de granos de tamaño arena muy fina. Se distinguen pequeños cristales de cuarzo y algunas partículas con tonalidades amarillentas y verdosas que podrían corresponder a semillas.



Figura 45: Fotografía de la muestra 1 observada en lupa.

### *Muestra 2*

Sedimentos de coloración homogénea de tonalidad pardo claro, con algunas partículas verdosas y amarillentas, al igual que la muestra 1. Se identifican restos de conchillas partidas de coloración blanquecina (Figura 46 A). En cuanto a la granulometría, principalmente se compone de partículas tamaño limo, aunque también se observan algunos cristales de cuarzo de tamaño arena muy fina y algunas partículas de grava dispersas (Figura 46 B, C), coincidiendo con los ensayos granulométricos realizados.

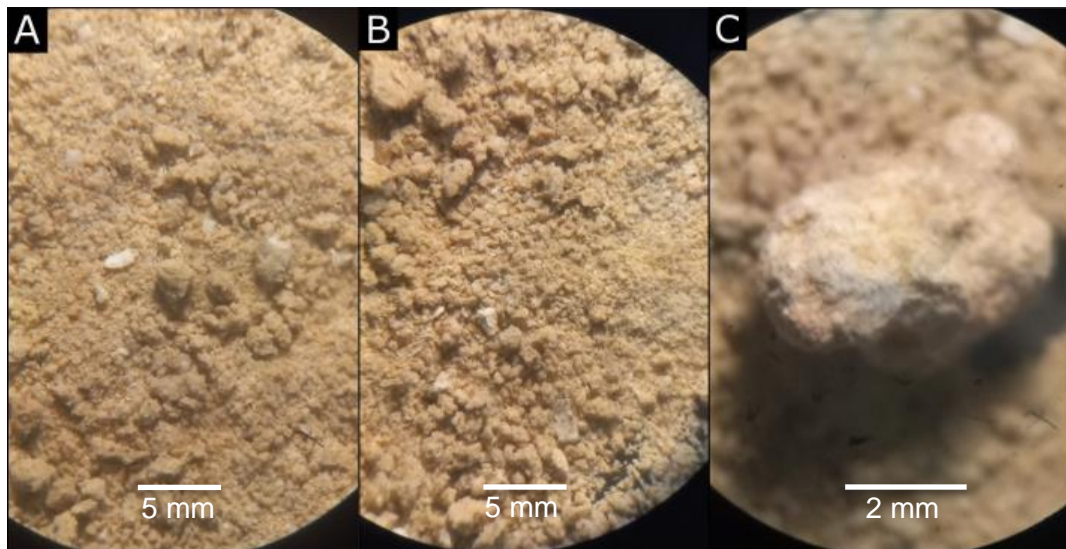


Figura 46: Fotografías de la muestra 2 observada en lupa. A) Restos de conchillas presentes en la muestra. B) Granulometría limosa predominante. C) Partículas tamaño grava de forma redondeada.

### *Muestra 3*

Sedimentos de coloración pardo claro (Figura 47), con algunas partículas amarillentas y verdosas correspondientes a semillas. La granulometría predominante es limosa, pero se observa un mayor porcentaje de cristales de cuarzo de tamaño arena muy fina en comparación a los casos anteriores. Además, se observa la presencia de escasos cristales de micas.

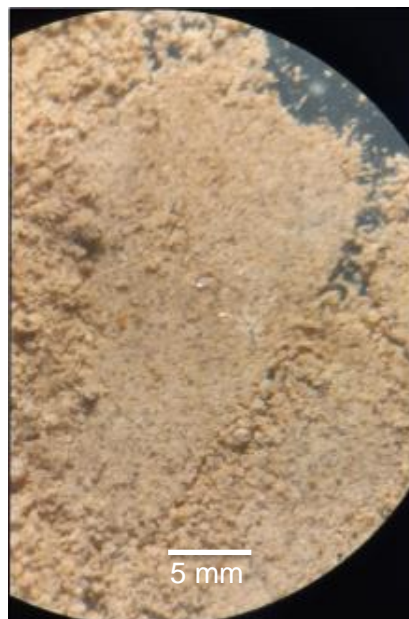


Figura 47: Fotografía de la muestra 3 observada en lupa.

#### *Muestra 4*

La muestra 4 exhibe un color pardo y una composición granulométrica de partículas tamaño arena muy fina, fina y limo en partes iguales, en contraste con las muestras anteriores. Dado el aumento de presencia de arena en la muestra, se distinguen con mayor claridad los granos individuales, reconociéndose cristales de cuarzo y partículas de semillas de color anaranjado y verdoso. Además, se observa la presencia de abundantes restos de conchillas partidas y de plantas (Figura 48 A, B). El aumento en la proporción de partículas de tamaño arena y de restos orgánicos se correlaciona con el ambiente deposicional de esta muestra, correspondiente a la planicie aluvial del río.

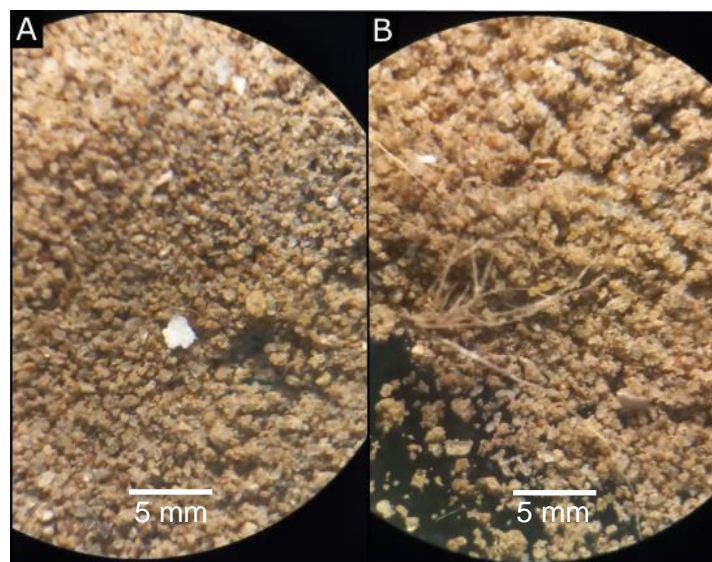


Figura 48: Fotografía de la muestra 4 observada en lupa. A) Restos de conchillas partidas en la muestra. B) Presencia de restos de plantas o raíces.

### Sector 2

#### *Muestra 5*

Los sedimentos presentan un color pardo oscuro y una composición granulométrica predominantemente conformada por fango y en menor medida arena muy fina. El fango se compone por cristales de cuarzo de tamaño limoso y por arcillas, las cuales se aglutinan y forman grietas de desecación (Figura 49 A). La fracción arena se compone por cristales de cuarzo. Se observa escasa presencia de cristales de mica de tamaño arena fina, partículas color pardo oscuro que podrían corresponder a semillas, restos de conchillas partidas (Figura 49 B) y de ramas pequeñas (Figura 49 C).

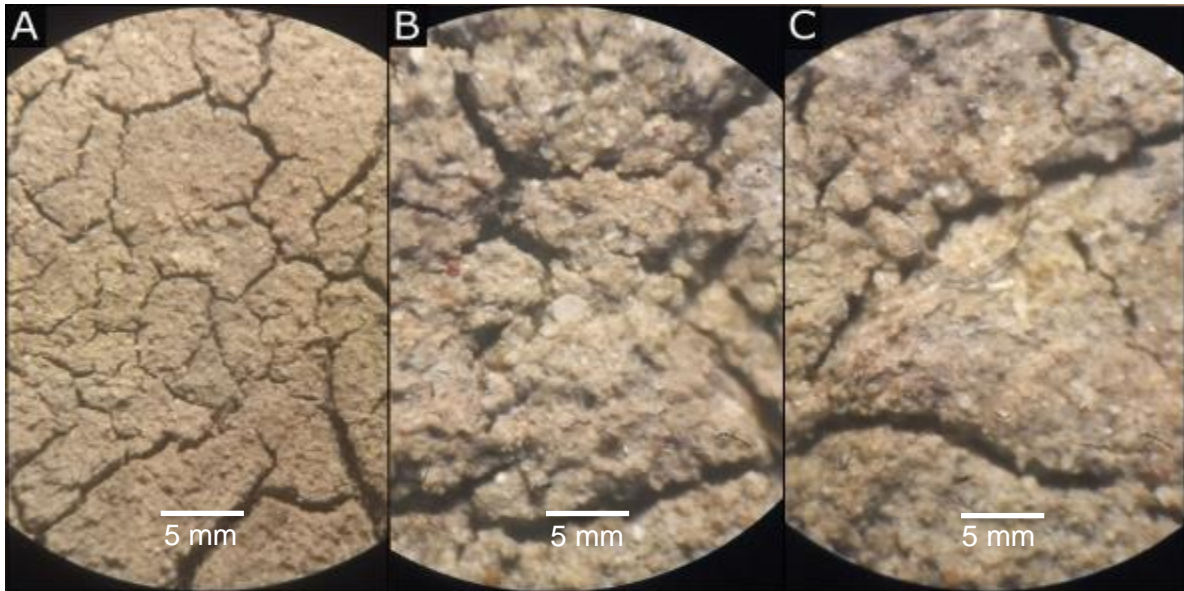


Figura 49: Fotografía de la muestra 5 en lupa. A) Grietas de desecación. B) Restos de conchillas. C) Restos de ramillas.

En la Figura 44 se expone de manera gráfica la ubicación de cada una de las muestras de fondo de canal de los sectores 1 y 2 con sus respectivos resultados granulométricos. En todas ellas predomina el fango (51 a 92 %) y en menor medida fracción arenosa (7 a 26 %) (Tabla 3). La fracción gravosa se incrementa en las muestras más cercanas a los márgenes erosivos del canal como consecuencias del aporte de las sedimentitas asociadas a la erosión de los sedimentos limosos de las escarpas y planicies erosivas.

La mayor concentración de grava (21 %) se distingue en la barra longitudinal subácuea que se encuentra depositada en el centro del canal separando ambos canales subácueos, alcanzando un tamaño máximo de 4,75 mm, lo que indica velocidades de flujo relativamente altas (hasta 83 cm/s), con capacidad de transportar gravas, (Tabla 4). La barra lateral que conforma el margen acrecivo está conformada por cantidades semejantes de fango y arena (con valores máximos de 0,85 mm, correspondientes a arena mediana), lo que estaría indicando condiciones de menor energía (máximo de 32 cm/s) con una tendencia a la estabilización de los depósitos y dando lugar a una sucesión ecológica que en muchos casos genera estabilización del sector norte de la planicie aluvial. Los dos canales subácueos reconocidos están compuestos por fangos arenosos levemente gravosos que indicarían condiciones energéticas intermedias. Sin embargo, la presencia de gravas de hasta 4,75 mm indica que en algún momento la velocidad de flujo podría haber alcanzado también los 83 cm/s. En todas las muestras del cauce natural del Salado se reconoce transporte por tracción, suspensión y saltación, lo que indica la alta energía del medio y la diversidad de los materiales aportados. El aporte del material de tracción es local y corresponde a las sedimentitas que conforman los depósitos del Lujanense. La mayor carga es de sedimentos fango arenosos que constituyen la carga de sedimentos de la cuenca. Por otro lado, los sedimentos



correspondientes al meandro abandonado por la presa, están compuestos en un 93 % por fango (mayormente arcilla, según índice de plasticidad  $> 11$ ; Tabla 5) con escaso porcentaje de arena (7%, hasta 0,3 mm, es decir, arena mediana). Esto indicaría el dominio de condiciones de muy baja energía (máximo de 22 cm/s) con una tendencia a la depositación de los sedimentos en suspensión y muy escaso transporte por saltación. En todos los casos, se reconoce la presencia de arcilla en las muestras, evidenciando la variabilidad en la energía del flujo, desde energías altas para transportar sedimentos granulares, hasta prácticamente nulas como para que decanten los sedimentos finos.

Muestra	Grava	Arena	Fango	Clasificación (Blott y Pye, 2012)
M1	6,22%	18,56%	75,23%	Fango ligeramente gravoso y ligeramente arenoso
M2	21,07%	13,66%	65,27%	Fango gravoso ligeramente arenoso
M3	4,40%	26,00%	69,60%	Fango arenoso muy ligeramente gravoso
M4	0,00%	48,84%	51,16%	Fango arenoso
M5	0	7,16%	92,84%	Fango muy ligeramente arenoso

Tabla 3: Resultados de los ensayos de granulometría para las muestras M1, M2, M3, M4 y M5.

Muestra	Tamaño de grano mínimo	Velocidad mínima de transporte (cm/s)	Tamaño de grano máximo	Velocidad máxima de transporte (cm/s)
M1	$<0,0039$	0	4,75	83
M2	$<0,0039$	0	4,75	83
M3	$<0,0039$	0	4,75	83
M4	$<0,0039$	0	0,85	32
M5	$<0,0039$	0	0,3	22

Tabla 4: Tamaño de grano máximo y mínimo junto con las velocidades máximas y mínimas correspondientes, para las muestras M1, M2, M3, M4 y M5.

Las muestras M3 y M4 presentaron valores de límite plástico y límite líquido menores que las otras, ya que en su composición hay mayor porcentaje de arena, lo que disminuye su capacidad de retención de agua y, por lo tanto, su plasticidad. Con respecto al meandro, la muestra (M5) presentaba un contenido de materia orgánica elevado (Tabla 7), lo que impide la realización del ensayo. Sin embargo, por la textura se infiere que también predominaría la arcilla sobre el limo.

Muestra	Límite Plástico	Límite Líquido	Índice de plasticidad	Tamaño de grano
M1	21,72	42,05	20,33	arcilloso
M2	21,32	43,33	22,01	arcilloso
M3	20,56	31,98	11,42	arcilloso
M4	18,12	29,5	11,38	arcilloso

Tabla 5: Límite plástico, líquido, índice de plasticidad y clasificación de la porción fangosa para las muestras M1, M2, M3 y M4.

La humedad en general varía entre 33 y 35 % para el canal natural. En el meandro la humedad asciende a casi el triple como consecuencia del menor tamaño de grano detectado en los sedimentos de fondo (Tabla 6).

<b>Muestra</b>	<b>Humedad (%)</b>
<b>M1</b>	35,05
<b>M2</b>	32,9
<b>M3</b>	33,34
<b>M5</b>	119,27

Tabla 6: Resultados de la humedad natural en porcentaje en peso para las muestras M1, M2, M3 y M5.

El porcentaje en peso de materia orgánica (MO) presente en los canales del tramo natural (M1, M2) es del orden del 4% y en el meandro (M5), de aproximadamente el triple (Tabla 7), como consecuencia de la circulación reducida en este tramo, impidiendo la degradación de la misma y favoreciendo su acumulación.

<b>Muestra</b>	<b>MO (% en peso)</b>
<b>M1</b>	3,78
<b>M2</b>	4,01
<b>M5</b>	11,42

Tabla 7: Porcentaje en peso de materia orgánica para las muestras M1, M2, y M5.

### *Parámetros físico-químicos*

En el tramo natural, el agua es ligeramente alcalina (pH = 8,21), con valores de salinidad relativamente altos para el agua dulce (1968 uS/cm) y con un potencial oxidante moderado (98,7 mV). En contraste, en el meandro se generó un ambiente anóxico con valores de ORP de 27 mV (reductor), con alta degradación orgánica y alto grado de eutrofización. Los valores de pH fueron alcalinos (9,28), la salinidad se elevó al doble (4908 uS/cm), el total de sólidos disueltos se elevó considerablemente (3387) y temperatura fue mayor (32,84 °C) con respecto al tramo natural (Tabla 8).

<b>Parámetro/Muestra</b>	<b>FQ1 (Sector 1)</b>	<b>FQ2 (Sector 2)</b>
<b>pH</b>	8,21	9,28
<b>ORP (mV)</b>	98,7	27
<b>Salinidad (µS/cm)</b>	1968	4908
<b>TSD (ppm)</b>	1358	3387
<b>Temperatura (°C)</b>	30,38	32,84

Tabla 8: Parámetros físicoquímicos medidos para los sectores 1 (FQ1) y 2 (FQ2).

## 6.2 Evolución de la dinámica sedimentaria

Para entender los cambios hidrodinámicos ocurridos en el tiempo se tomaron muestras testigo en el tramo de libre circulación (sector 1) y en el tramo estancado (sector 2). A continuación, se describe el resultado del análisis de los testigos extraídos (Figura 50) y las unidades diferenciadas en cada uno de ellos:

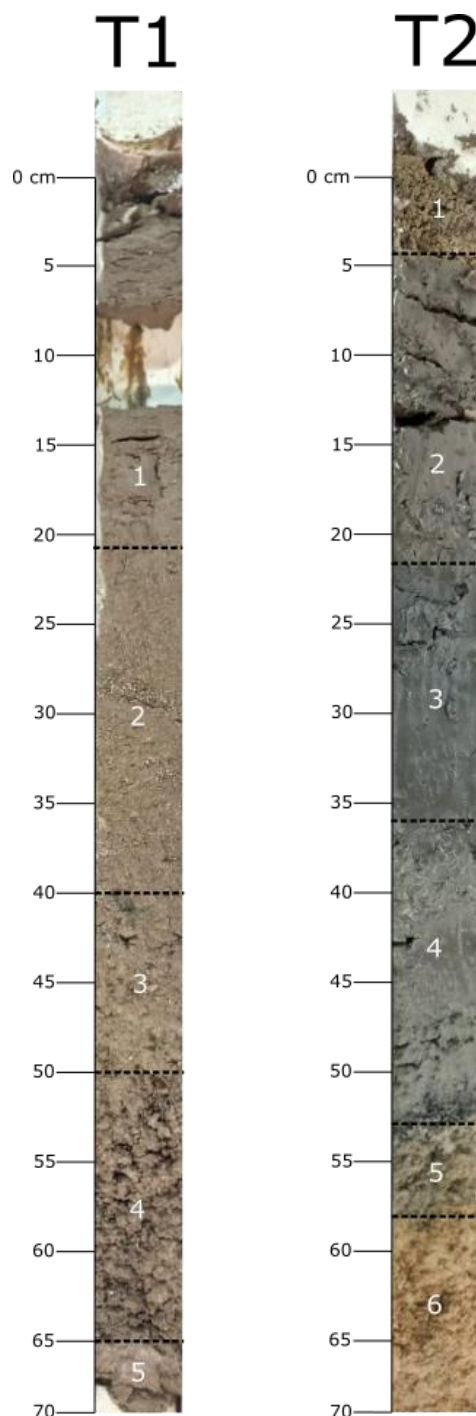


Figura 50: Fotografías de los testigos tomados en la planicie aluvial del río Salado en la localidad de General Belgrano. (T1: testigo tomado en el tramo de libre circulación, sector 1; T2: testigo tomado en el tramo sin circulación, sector 2)

Testigo 1*Unidad 5 – Muestra MT1e*

Los sedimentos tienen una coloración pardo oscura y son fangos areno-gravosos. Las gravas corresponden a partículas de tosca blanquecinas (Figura 51 A); la fracción arena se compone por cristales de cuarzo anaranjado y transparente y por algunos cristales de mica pequeños. La fracción fangosa forma agregados (Figura 51 B), lo que indica que en su mayoría corresponde a arcillas, coincidiendo con los resultados del ensayo de límites de Atterberg. Se observan restos de conchillas y ramas pequeñas. El contenido de materia orgánica para esta muestra es de 4,37%.

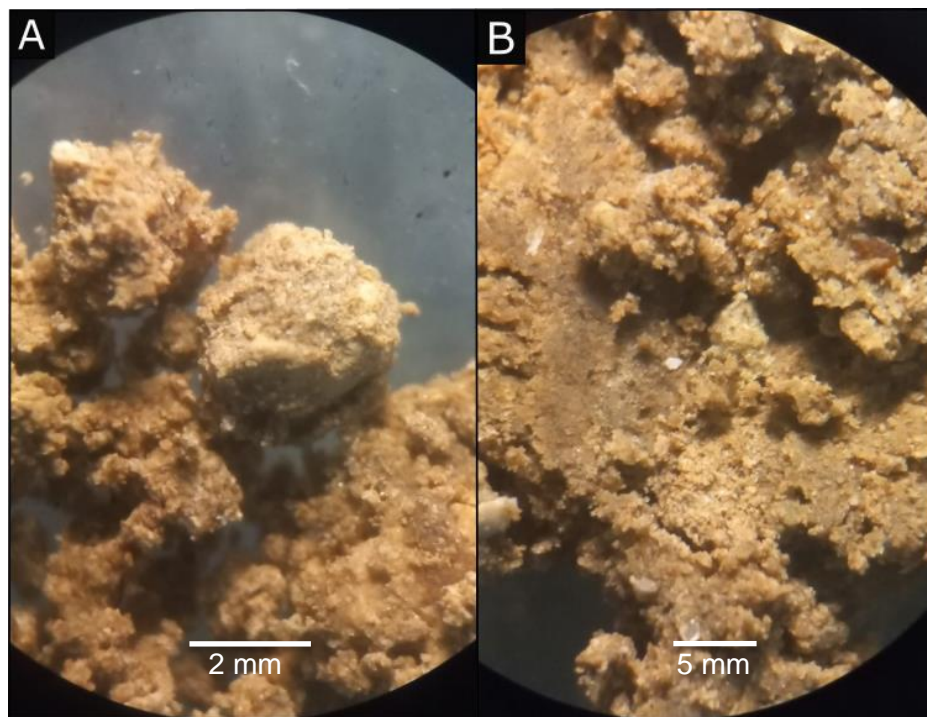


Figura 51: Fotografía de la muestra MT1e en lupa. A) Partícula de grava blanquecina. B) Fracción de fango donde se evidencia la capacidad aglutinante de las arcillas.

*Unidad 4 – Muestra MT1d*

Sedimentos gravo-arenosos de color pardo oscuro. Es muy similar a la muestra anterior con la excepción de que las gravas en este caso alcanzan mayores tamaños, de hasta 7 mm (Figura 52 A). Las gravas corresponden a partículas de tosca de coloración blanquecina y de líticos de color grisáceo. Se observan cristales de cuarzo transparentes y otros anaranjados y blanquecinos de tamaño arena y luego otros de menor tamaño representando la fracción



limosa. Se registran restos de conchillas partidas, lo cual no permite identificar su origen (Figura 52 B).

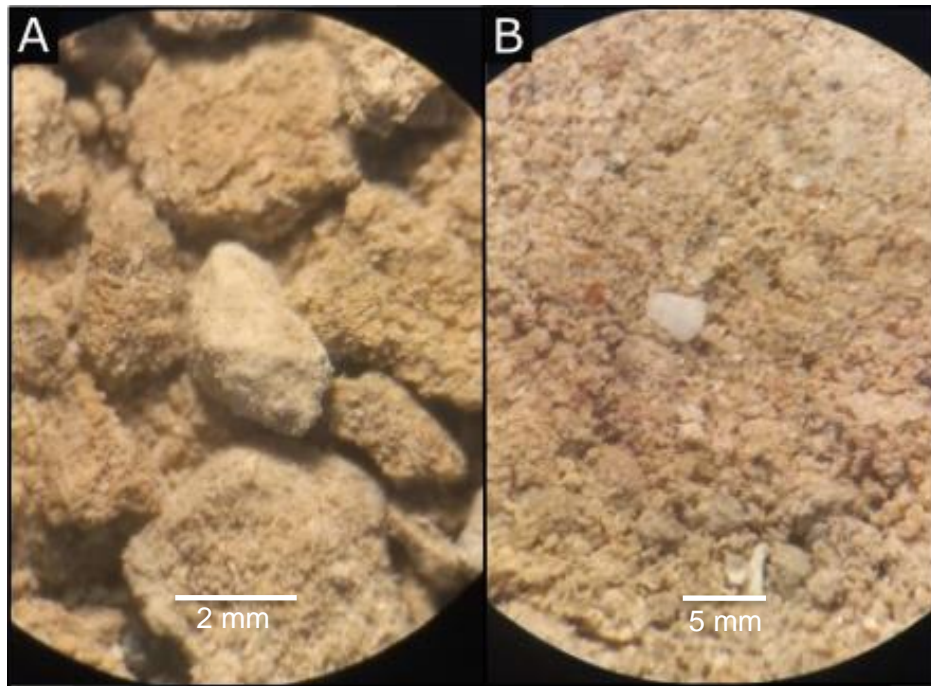


Figura 52: Fotografía de la muestra MT1d en lupa. A) Partículas de grava. B) Restos de conchillas.

### *Unidad 3 – Muestra MT1c*

El sedimento está formado por una grava areno fangosa de coloración pardo oscura. Los clastos de grava corresponden en su mayor parte a fragmento de tosca (Figura 53 A) y a líticos de color grisáceo oscuro (Figura 53 B) y presentan tamaños de hasta 4 mm. Las partículas de tamaño arena corresponden a cristales de cuarzo transparentes y anaranjados y a pequeños cristales de micas. De los mismos se observan algunos tamaños más pequeños, correspondientes a la fracción limosa. Se observa la presencia de pequeños restos de ramas o raíces (Figura 53 C) y de conchillas de gastrópodos de hasta 3 mm de largo (Figura 53 D).

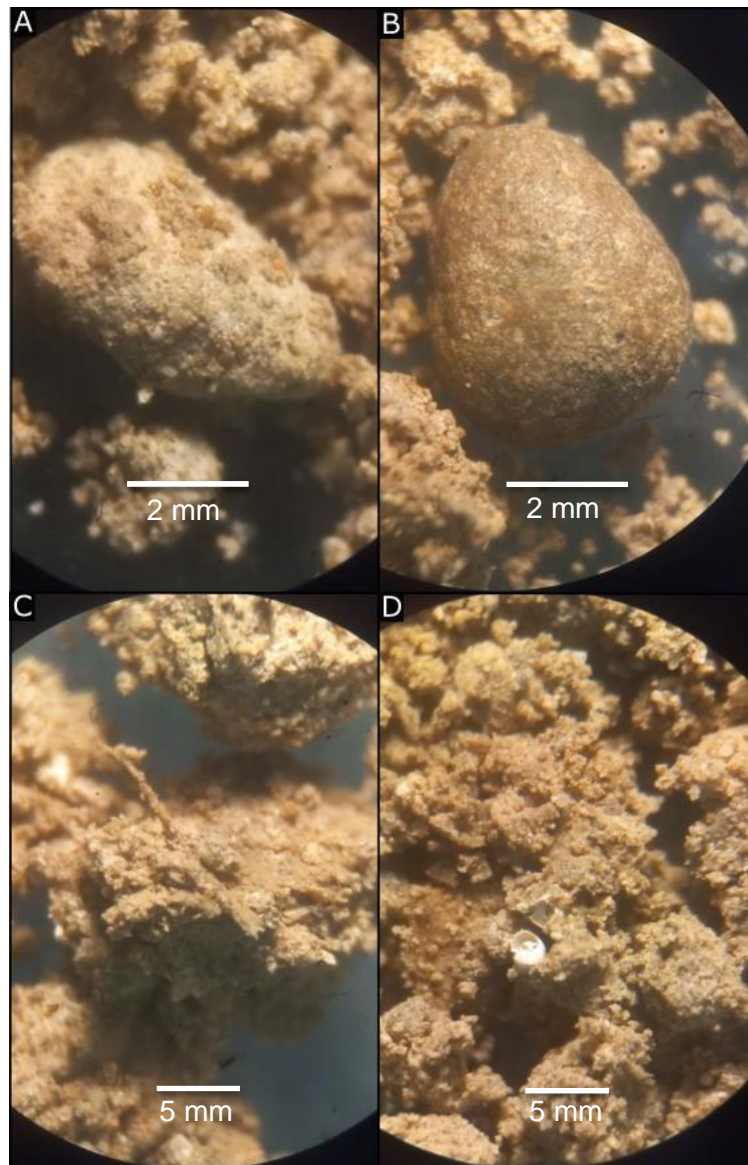


Figura 53: Fotografías de la muestra MT1c en la lupa. A) Fragmento líticos de tosca. B) Fragmento lítico. C) restos de ramas o raíces pequeñas. D) Restos de gastrópodos.

#### *Unidad 2 – Muestra MT1b*

Los sedimentos son de color pardo y se compone de una arena fangosa. La fracción arenosa está integrada principalmente por cuarzo transparente y de tonalidad anaranjada y mica. Los sedimentos de tamaño limo son cristales de cuarzo transparente y blanquecino. También se registran semillas de coloración rojiza y verde, algunos restos de raíces muy finas, restos de conchillas partidas y abundantes restos de gasterópodos. Estos últimos se observan de dos formas: cónicos de color grisáceo o blanquecino y de hasta 2 mm de longitud (Figura 54 A, B) y espiralados de color blanquecino de hasta 1 mm (Figura 54 C). Los mismos corresponden al género *Pomacea*, de la familia *Ampullariidae* (=Pilidae). Los miembros de este género son caracoles dulceacuícolas de amplia distribución.

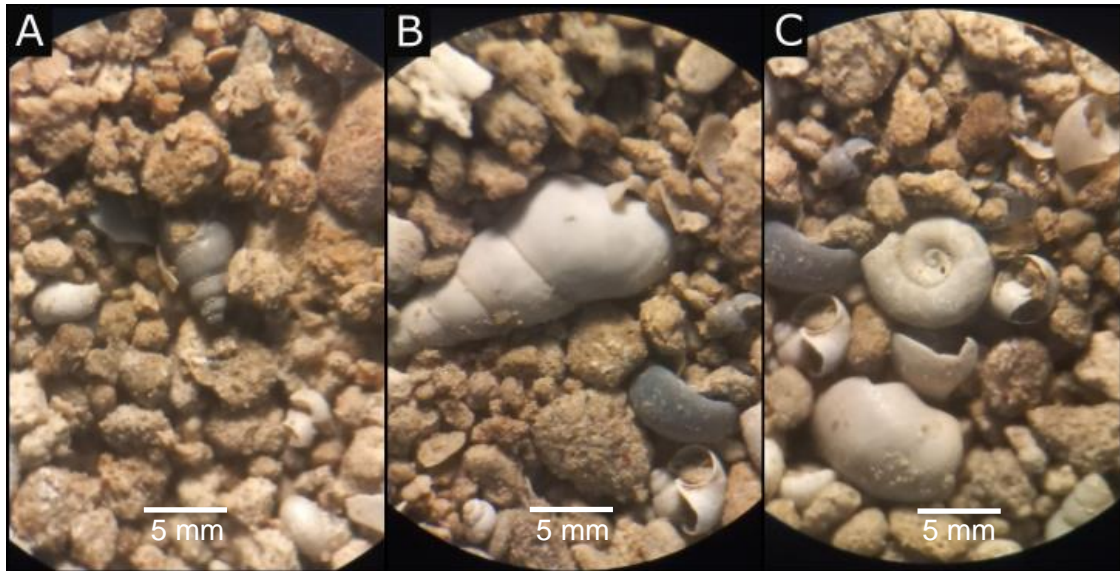


Figura 54: Fotografía de la muestra MT1b en la lupa. A) Restos de gastrópodo. B) Gastrópodo de conchilla cónica. C) Gastrópodo de conchilla espiralada.

#### *Unidad 1 – Muestra MT1a*

Sedimentos color negro a pardo oscuro de composición granulométrica compuesta por arena muy fina a fina y limo en proporciones similares. Se identifican cristales transparentes de cuarzo, algunos pequeños cristales de micas y otras partículas de coloración anaranjada, correspondientes a semillas. También se observa la presencia de restos partidos de conchillas (Figura 55 A), lo que impide identificar su origen, y de pequeñas ramas o raíces (Figura 55 B). Los resultados del ensayo LOI indican que el contenido de materia orgánica de esta muestra corresponde al 5,27%.

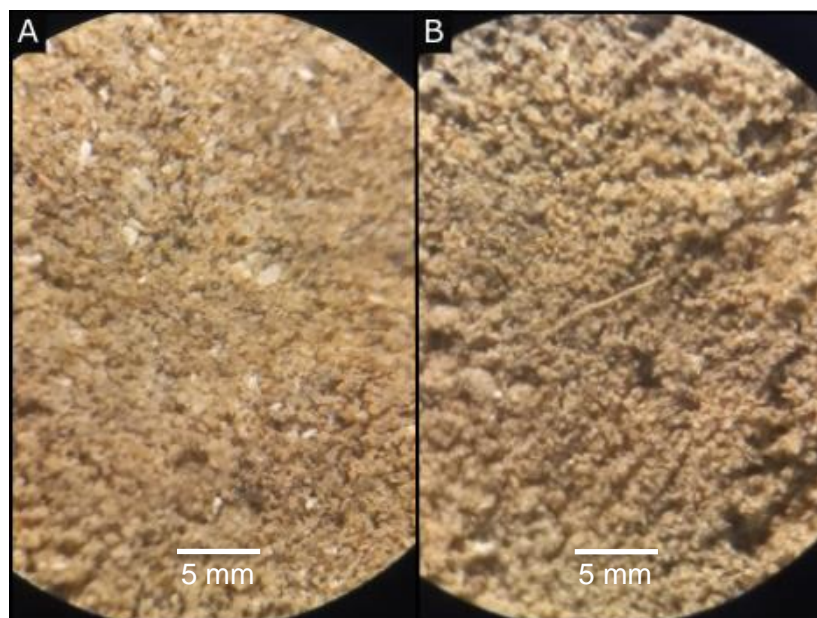


Figura 55: Fotografía de la muestra MT1a en lupa. A) Notar la presencia de los restos de conchillas. B) Se observa la presencia de restos de raíces pequeñas o ramas.



Testigo 2*Unidad 6 – Muestra MT2f*

Fango gravoso de color pardo claro (Figura 56) compuesta principalmente por partículas de tamaño limo y arcilla con algunas gravas subordinadas. La fracción limosa se compone de pequeños cristales de cuarzo transparente y algunos amarillentos y blanquecinos, y cristales de mica. Las gravas corresponden a partículas de tosca de 0,8 cm de diámetro. Se observan pequeños restos de raíces.

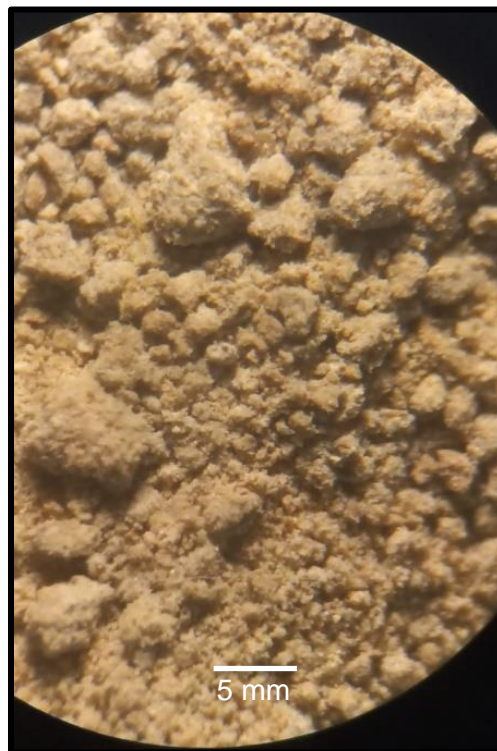


Figura 56: Fotografía de la muestra MT2f en la lupa.

*Unidad 5 – Muestra MT2e*

Fango color pardo con tonalidades grisáceas de tamaño de grano principalmente limoso y en menor medida arcilloso (Figura 57). La fracción limo se compone por pequeños y escasos cristales de micas y de cuarzo color amarillento. Se observan restos de raíces en baja proporción.





Figura 57: Fotografía de la muestra MT2e.

#### *Unidad 4 – Muestra MT2d*

Fango levemente gravo y arenoso de coloración gris oscuro y un tamaño de grano fino predominantemente, con partículas tamaño grava y arena fina subordinadas. Las gravas presentan hasta 5 mm de diámetro y corresponden a partículas de tosca. La fracción arenosa se compone por cristales de cuarzo transparente y de abundantes cristales de mica, mientras que en la fracción limosa se observan cristales de cuarzo de coloración blanquecina. Se observa la presencia de abundantes restos de conchillas cónicas de gastrópodos blanquecinos de aproximadamente 2 mm de largo (Figura 58 A) y de pequeñas ramas (Figura 58 B).

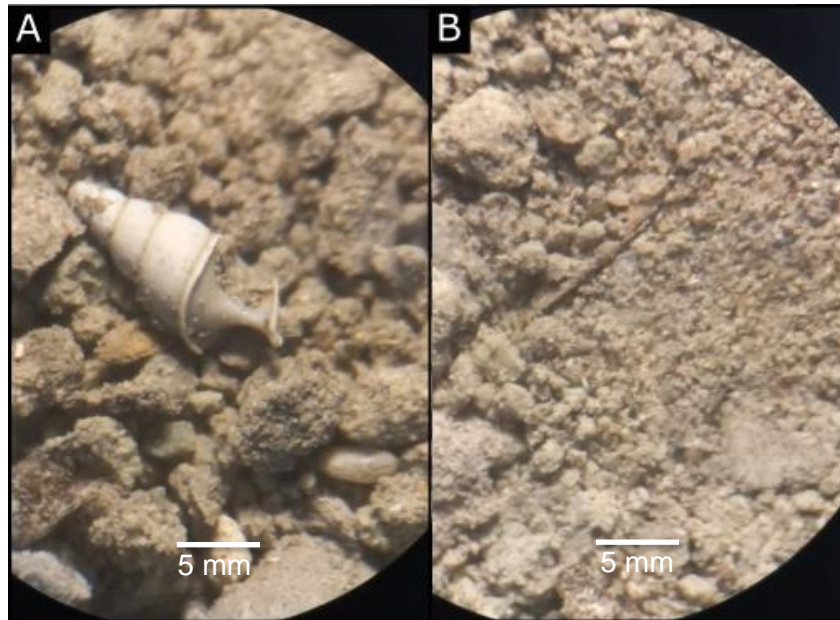


Figura 58: Fotografía de la muestra MT2d. A) Conchilla cónica de gastrópodo color blanquecino. B) Resto de pequeña rama.

### *Unidad 3 – Muestra MT2c*

Fango de coloración gris muy oscuro a negro. El tamaño de grano es muy fino (Figura 59 A) y presenta un comportamiento plástico. En la lupa se pueden identificar la presencia de grietas de desecación (Figura 59 B), lo que indica la predominancia de tamaños de grano arcilla. Se observan escasos cristales tamaño limo de cuarzo transparentes y de micas, muy subordinados, y restos de conchillas partidas. A este segmento se le realizó el ensayo LOI para conocer su contenido de materia orgánica y este corresponde al 11,26%.

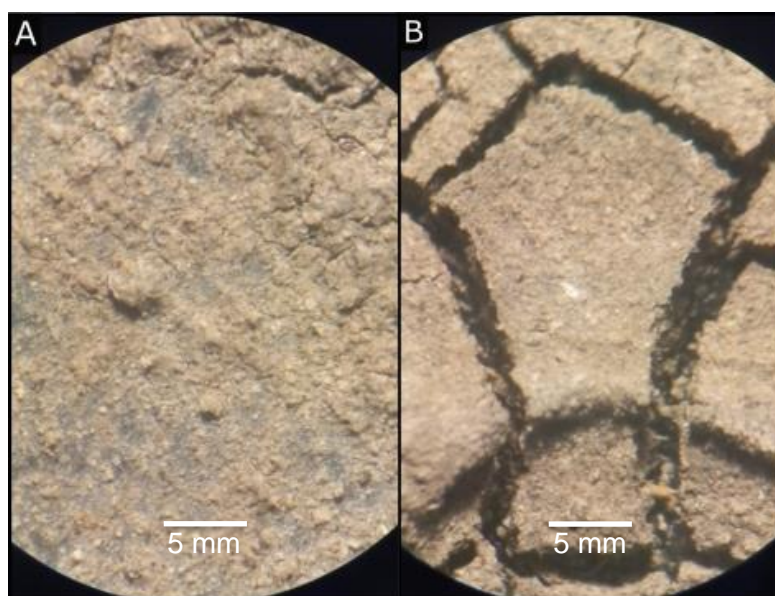


Figura 59: Fotografía de la muestra MT2c en la lupa. A) Tamaño de grano arcilla predominante. B) Grietas de desecación.

*Unidad 2 – Muestra MT2b*

Fango de color pardo oscuro compuesta por partículas de tamaño muy fino, principalmente limo y en menor medida arcilla. La fracción limosa se compone por cristales pequeños de cuarzo transparente a blanquecino y algunos cristales de micas. Se observan restos de raíces y pequeños y escasos fragmentos de conchillas partidas (Figura 60).



Figura 60: Fotografía de la muestra MT2b en la lupa.

*Unidad 1 – Muestra MT2a*

Fango de color pardo de textura limosa principalmente. Se identifican cristales de cuarzo transparentes y blanquecinos de tamaño de grano limo y arena muy fina, partículas de tosca (Figura 61 A) y algunos cristales de mica pequeños. Hay presencia de abundantes restos de hojas (Figura 61 B), ramas (Figura 61 C), raíces (Figura 61 D), semillas (Figura 61 E) y conchillas cónicas de gastrópodos color blanquecino (Figura 61 F).



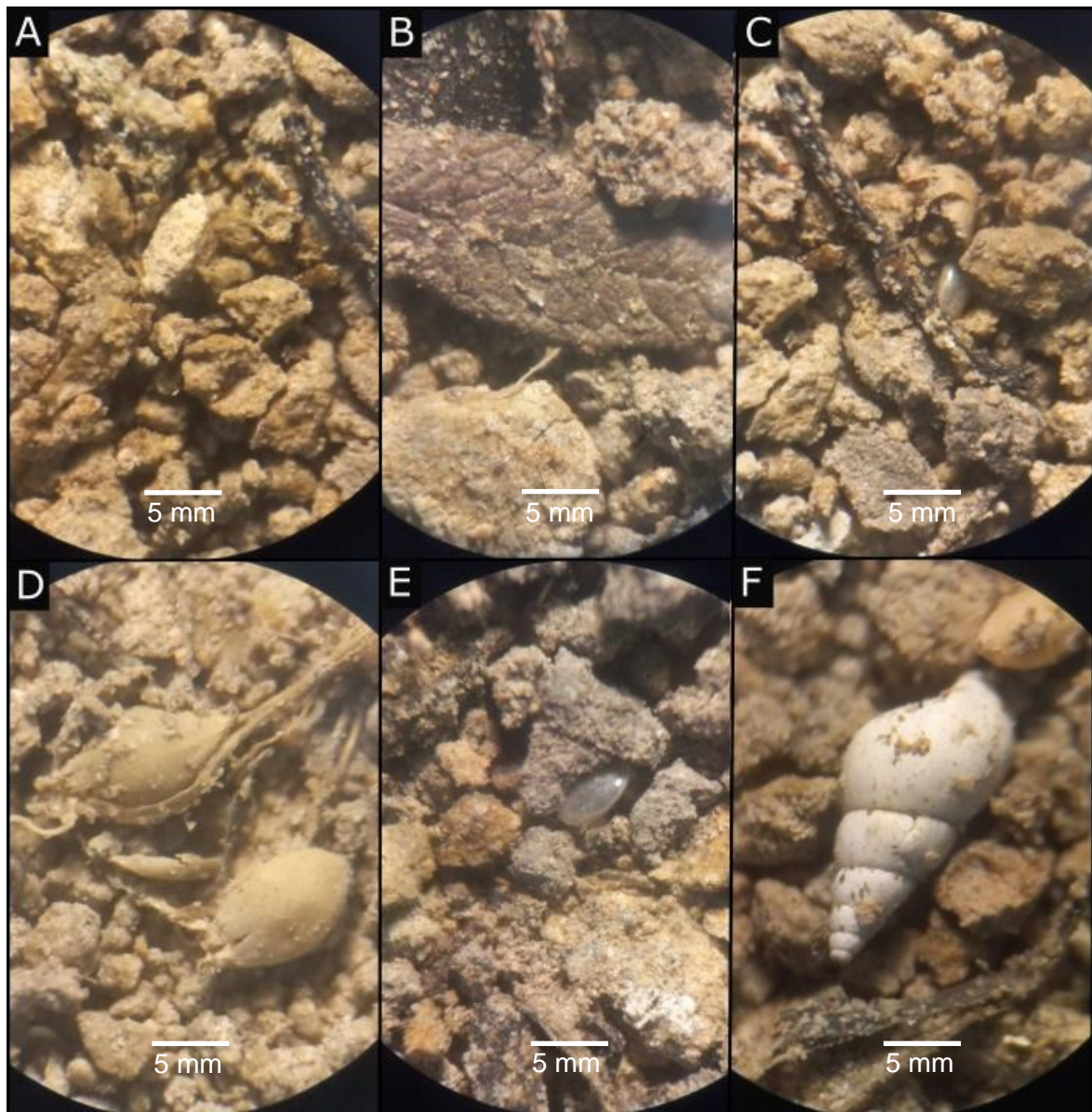


Figura 61: Fotografía de la muestra MT2a. A) Partícula de tosca. B) Restos de hojas. C) Pequeña rama en la muestra. D) Presencia de raíces. E) Restos de semillas. F) Conchilla cónica de gastrópodo color blanquecino.

En la Figura 62 se expone de manera gráfica la ubicación de los testigos 1 y 2 y los resultados granulométricos de cada una de sus unidades, y con mayor detalle, en las Figuras 63 y 64, se exhiben los tamaños de grano máximos y mínimos con sus correspondientes velocidades de flujo de cada muestra.



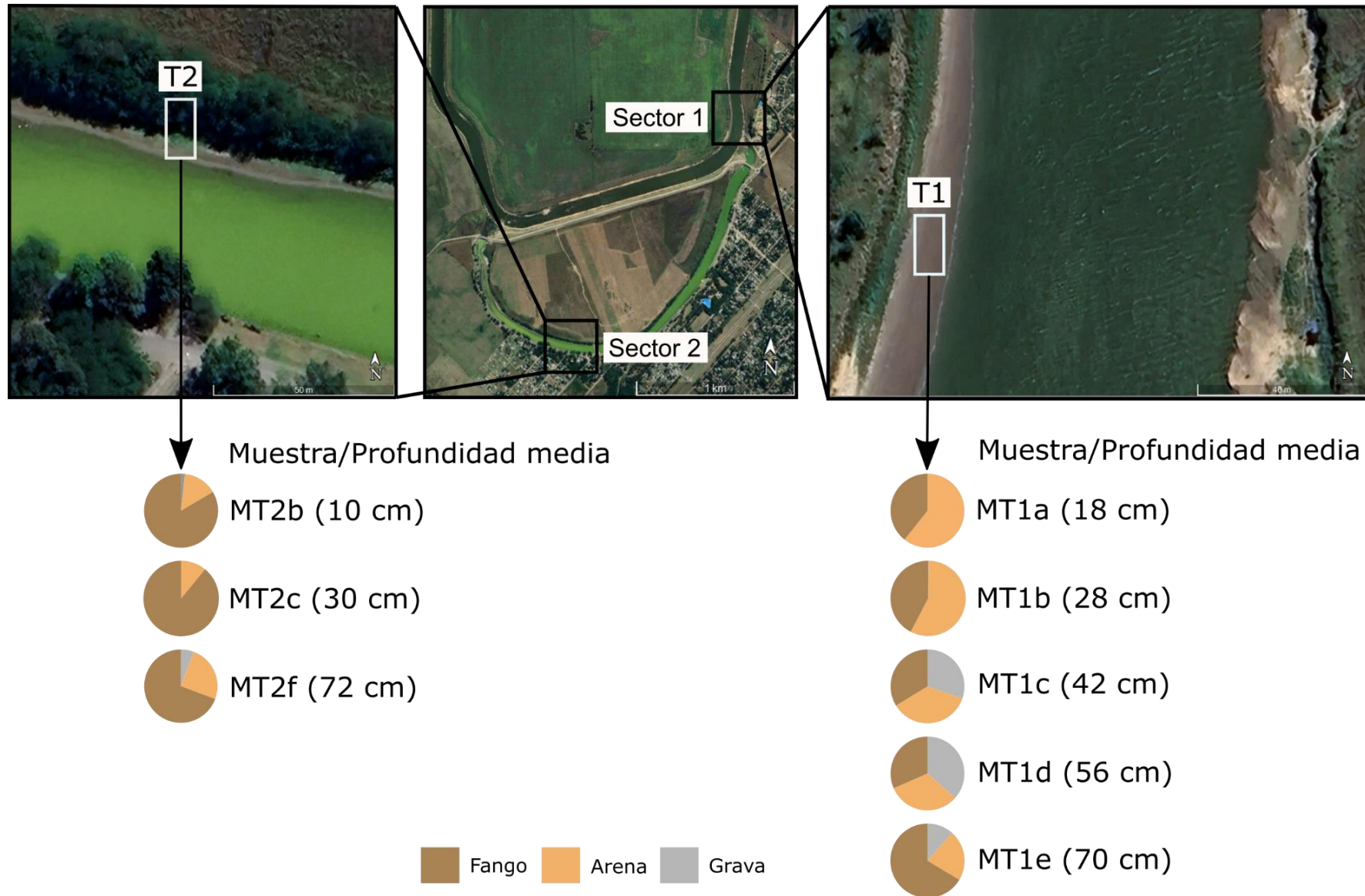


Figura 62: Ubicación de los Sectores 1 y 2 junto con una ampliación en donde se expone la granulometría de cada uno de los testigos.

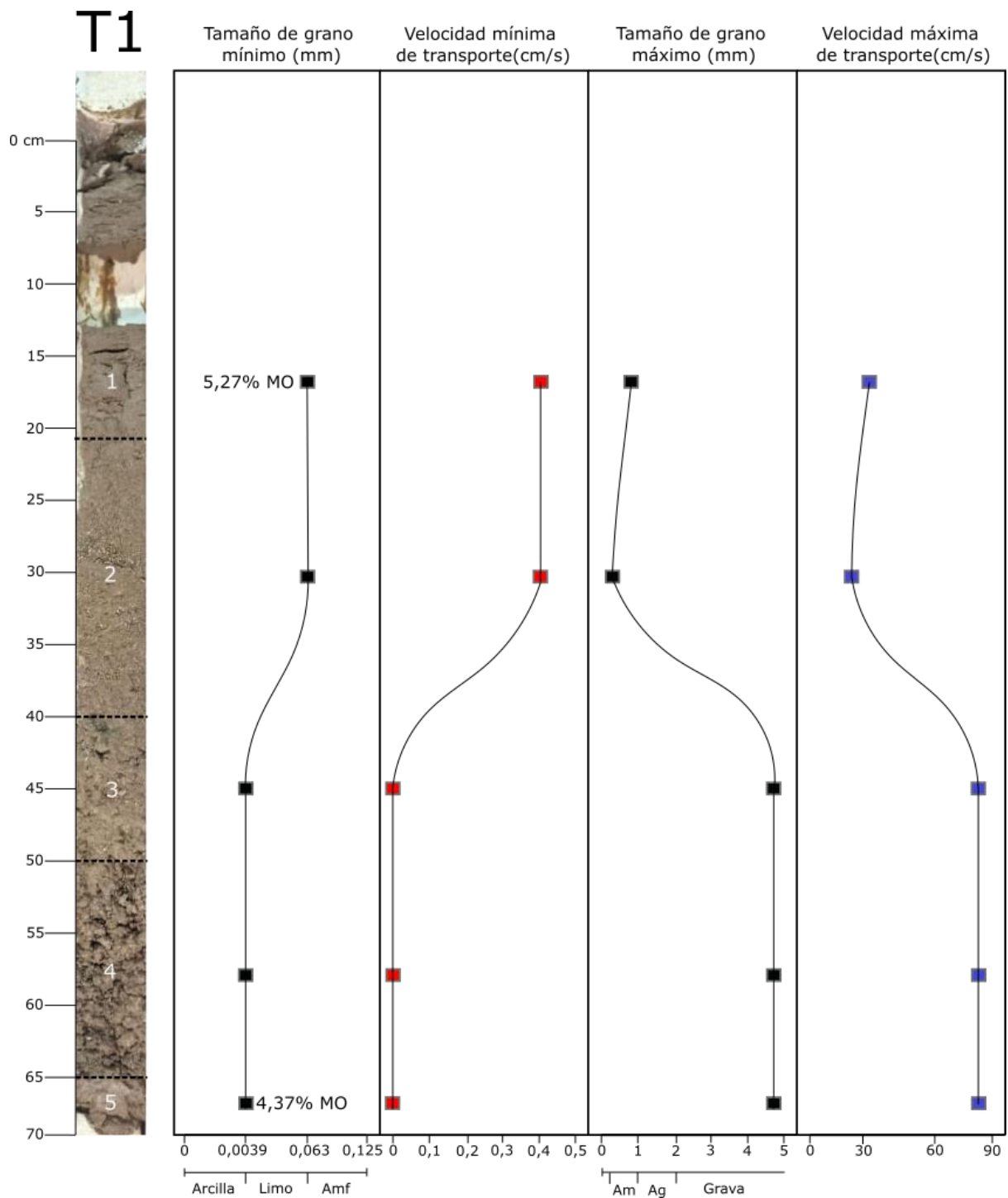


Figura 63: Representación gráfica del tamaño de grano mínimo y máximo junto con la velocidad de flujo mínima y máxima correspondiente para cada unidad del testigo 1.

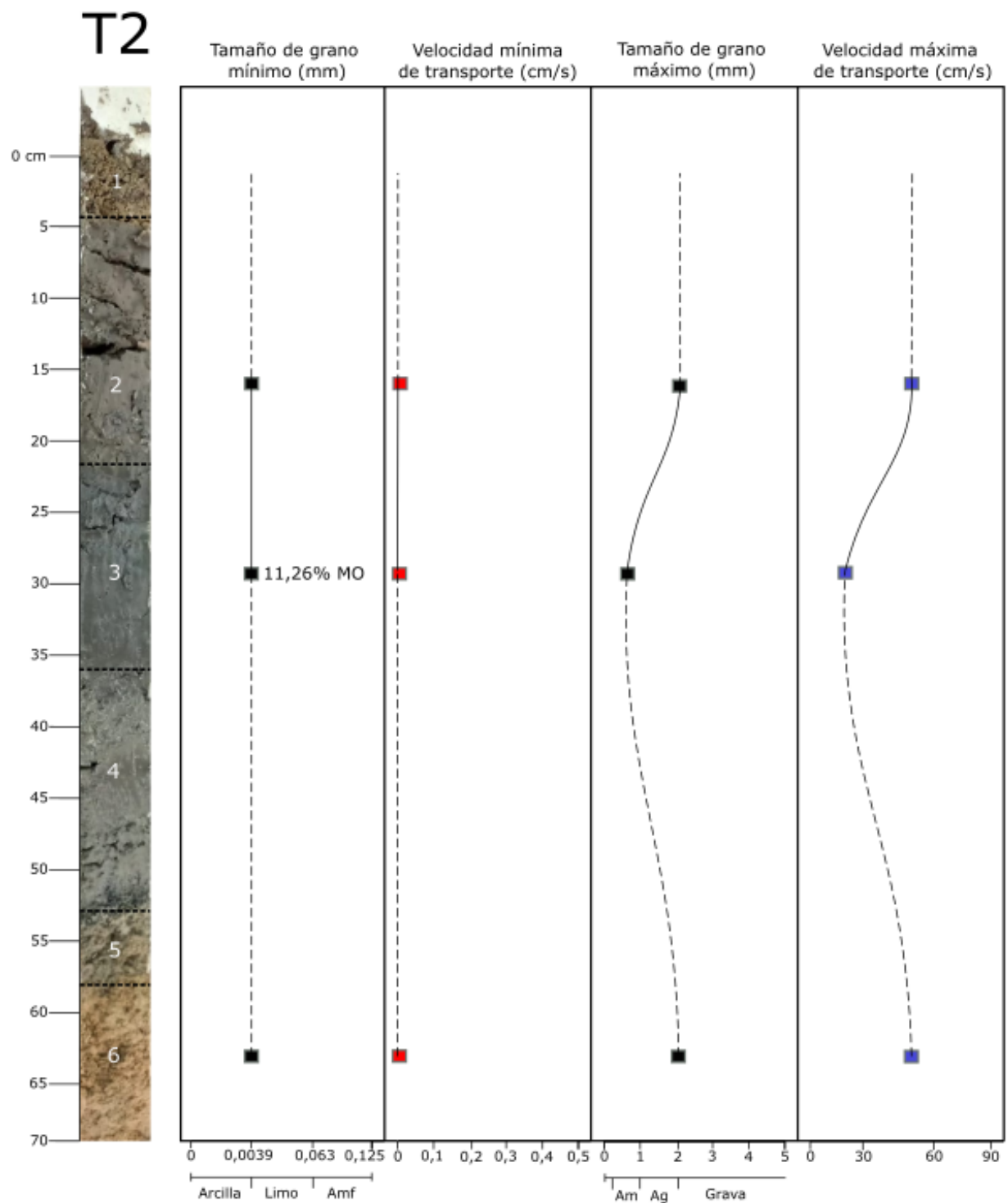


Figura 64: Representación gráfica del tamaño de grano mínimo y máximo junto con la velocidad de flujo mínima y máxima correspondiente para las unidades 2, 3 y 6 del testigo 2. El resto de las unidades no presenta datos, por lo que se infiere con línea punteada.

El testigo del tramo natural (T1) presenta un arreglo granodecreciente de base a techo: en los primeros centímetros el componente principal es el fango (66,41%, tabla 9) y en menor medida arena y grava, con un tamaño de grano máximo de 4,75 mm, correlacionable con una velocidad de flujo máxima relativamente alta (83 cm/s), (tabla 10), en donde ocurre el transporte por tracción, suspensión y saltación. En el centro, aparecen en proporciones similares las tres fracciones y finalmente hacia el techo prácticamente no se registra la presencia de gravas, sino que predominan las arenas (57,26% a 60,66%), con tamaños máximos de 0,37 mm a 0,85 mm, correspondientes a arenas medianas, y, en segundo lugar, el fango (42,36% a 39,34%), (limo>arcilla, tabla 11), transportados por saltación e indicando condiciones de menor energía (24 cm/s a 32 cm/s) y mayor estabilidad.

La variabilidad en el tamaño de grano registra la evolución de las condiciones hidroclimáticas del río Salado: la base del testigo refleja condiciones de alta energía, que se asociarían a períodos de caudal elevado, como podría ocurrir durante períodos más húmedos, en donde el flujo presenta mayor poder erosivo como para incorporar y transportar partículas de mayor tamaño provenientes de la planicie rocosa del margen erosivo, que luego formarían depósitos de barras en el canal, aunque también la presencia de depósitos de arcilla indican períodos de prácticamente nula energía intercalados. El techo del testigo indica condiciones de baja energía y períodos de estabilidad, común en períodos de caudal bajo, como en los períodos más secos, en donde disminuye la capacidad de transporte de partículas mayores, y predomina la acumulación de sedimentos más finos que conformarían depósitos de fondo canal.

En el testigo tomado en el meandro (sin circulación) (T2), predominan los fangos (arcilla>limo) en todas las unidades que lo componen (69% a 89%) y en menor medida la fracción arenosa (11% a 25%), dominando el transporte por suspensión y en menor medida, por saltación. Las gravas se encuentran de manera subordinada hacia el techo y hacia la base del testigo y tienen un tamaño correspondiente al límite inferior de su clasificación (2mm), indicando condiciones energéticas moderadas (51 cm/s), transportadas por tracción; mientras que, hacia el centro del testigo, su presencia es nula, dado que el tamaño de grano máximo en este punto es arena muy fina (>0,063), lo que refleja condiciones de muy baja energía (velocidad máxima: 20 cm/s) y el dominio de la depositación de sedimentos en suspensión. La granulometría indicaría que se trata de depósitos de fondo de canal.

La presencia de arcillas en todos los segmentos del testigo y la escasa presencia de sedimentos de grano más grueso refleja condiciones en la velocidad de flujo mucho más bajas que en el caso del testigo 1 (tramo natural), debidas al estancamiento que sufre el meandro por encontrarse entre las dos compuertas, situación que se acentúa en períodos de sequía, donde el nivel disminuye considerablemente.



	Grava	Arena	Fango	Clasificación (Blott and Pye, 2012)
<b>MT1a</b>	0,00%	60,66%	39,34%	Arena fangosa
<b>MT1b</b>	0,38%	57,26%	42,36%	Arena fangosa
<b>MT1c</b>	30,38%	35,93%	33,69%	Arena gravosa fangosa
<b>MT1d</b>	36,45%	32,01%	31,54%	Grava fangosa arenosa
<b>MT1e</b>	11,58%	22,01%	66,41%	Fango arenoso ligeramente gravoso
<b>MT2b</b>	1,69%	14,82%	83,49%	Fango muy ligeramente gravoso y ligeramente arenoso
<b>MT2c</b>	0,00%	10,90%	89,10%	Fango ligeramente arenoso
<b>MT2f</b>	5,72%	25,00%	69,28%	Fango arenoso ligeramente gravoso

Tabla 9: Resultados de los ensayos de granulometría para las muestras MT1a, MT1b, MT1c, MT1d, MT1e, MT2b, MT2c y MT2f.

Muestra	Tamaño de grano mínimo	Velocidad mínima de transporte (cm/s)	Tamaño de grano máximo	Velocidad máxima de transporte (cm/s)
<b>T1a</b>	0,063	0,42	0,85	32
<b>T1b</b>	0,063	0,42	0,37	24
<b>T1c</b>	0,0039	0	4,75	83
<b>T1d</b>	0,0039	0	4,75	83
<b>T1e</b>	0,0039	0	4,75	83
<b>T2b</b>	0,0039	0	2	51
<b>T2c</b>	0,0039	0	0,063	20
<b>T2f</b>	0,0039	0	2	51

Tabla 10: Tamaño de grano máximo y mínimo junto con las velocidades máximas y mínimas que le corresponde a cada uno, para las muestras MT1a, MT1b, MT1c, MT1d, MT1e, MT2b, MT2c y MT2f.

Las muestras MT1a y MT1b presentaron valores de límite líquido menores que las otras, ya que en su composición hay mayor porcentaje de arena, lo que disminuye su capacidad de retención de agua, perdiendo las propiedades cohesivas. En contraposición, la muestra MT1e presentó un valor de límite líquido considerablemente mayor que las otras, ya que se compone mayormente por sedimentos finos. Las muestras del testigo correspondiente al meandro, presentaban un contenido de materia orgánico elevado (Tabla 12), lo que impide la realización del ensayo. Sin embargo, por la textura se infiere que también predominaría la arcilla sobre el limo.

Muestra	Límite Plástico	Límite Líquido	Índice de plasticidad	Tamaño de grano
<b>MT1a</b>	22,27	26,38	4,1	limoso
<b>MT1b</b>	18,5	25,55	7,05	limoso
<b>MT1c</b>	19,39	31	11,61	arcilloso
<b>MT1d</b>	21,36	32,88	11,52	arcilloso
<b>MT1e</b>	21,7	43,2	21,5	arcilloso

Tabla 11: Límite plástico, líquido, índice de plasticidad y clasificación de la porción fangosa para las muestras MT1a, MT1b, MT1c, MT1d y MT1e.

El porcentaje en peso de materia orgánica (MO) correspondiente al testigo del tramo natural varía entre 4,37% y 5,27%, mientras que el testigo del meandro presenta valores de un poco menos que el triple (Tabla 12). Esto, sumado a las condiciones más reductoras del ambiente por la falta de circulación del agua, genera cambios en la coloración de los sedimentos, oscureciéndose notablemente.

<b>Muestra</b>	<b>MO (% en peso)</b>
<b>MT1a</b>	5,27%
<b>MT1e</b>	4,37%
<b>MT2c</b>	11,26%

Tabla 12: Porcentaje en peso de materia orgánica para las muestras MT1a, MT1e y MT2c.

## 7. CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL

### 7.1 Distribución poblacional y actividades

La población de General Belgrano se asienta sobre los márgenes del río Salado, específicamente en el tramo comprendido entre compuertas (Figura 22). En la Figura 65 se puede ver que su población ha experimentado un crecimiento constante desde 1975 hasta el 2020 (INDEC). El crecimiento fue particularmente más rápido en las últimas dos décadas, alcanzando una población de 24000 habitantes para el año 2022. Su rápido crecimiento tuvo consecuencias positivas como el impulso en la economía local. Sin embargo, la ocupación de algunos espacios y la gestión urbana y de los recursos, en ocasiones, no se desarrolla de manera estratégica, provocando consecuencias negativas en el ambiente que luego repercuten en la calidad de vida de los habitantes.

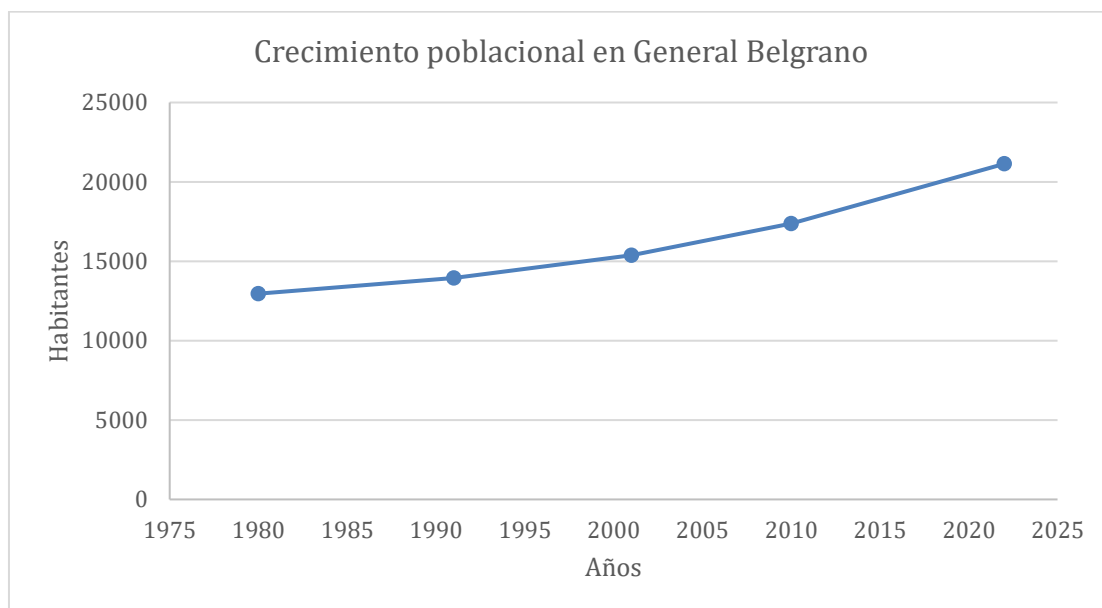


Figura 65: Crecimiento poblacional de la localidad de General Belgrano entre los años 1970 y 2022.

Las principales actividades económicas de la localidad son las agropecuarias. Históricamente, la más desarrollada en la Cuenca del Salado es la cría de bovinos de carne (Jauregui, 2011). Con respecto a la agricultura, predominan los cultivos sembrados de soja, maíz, trigo, y girasol (Estimaciones agrícolas, 2023). Por otro lado, el turismo también constituye una actividad económica significativa, impulsada tanto por la pesca de pejerrey, tararira, bagre, carpa y lisas, entre otros; así como también la inauguración del complejo Termas del Salado en el año 2012, el cual ofrece aguas a una temperatura de 41°C.

## 7.2 Gestión urbana

Se identificaron diferentes sectores en el área de estudio en donde las actividades de origen municipal, industrial o turístico podrían generar algún impacto sobre el río Salado.

Por un lado, se reconoció un sector muy próximo al tramo libre del río Salado en el que se ubica la planta depuradora de residuos cloacales perteneciente a la compañía de agua ABSA, el basural municipal, un frigorífico y la presencia de un canal colector que desemboca en el curso fluvial (Figura 66). Durante la campaña se visitaron estas instalaciones y se obtuvo información sobre la gestión de las mismas y su influencia en el río.



Figura 66: A) Ubicación del basural municipal, la planta depuradora de residuos cloacales pertenecientes a la compañía de agua ABSA, el basural municipal, un frigorífico y un canal colector hacia el río. B) Detalle de los mismos elementos.



Por otro lado, se reconoce otro sector, también ubicado en las inmediaciones del río Salado en donde se ubica el completo recreativo “Termas del Salado” y una de las compuertas que integran el denominado "Complejo Defensa de la Ciudad Ricardo Callegari" (Figura 67).



Figura 67: A) Ubicación del complejo “Termas del Salado” y de la Compuerta N°2. B) Detalle de dichos elementos.

Finalmente, se analiza el drenaje pluvial proveniente del área urbana hacia el tramo sin circulación del río Salado y la presencia de un arroyo que realiza allí su descarga (Figura 68).

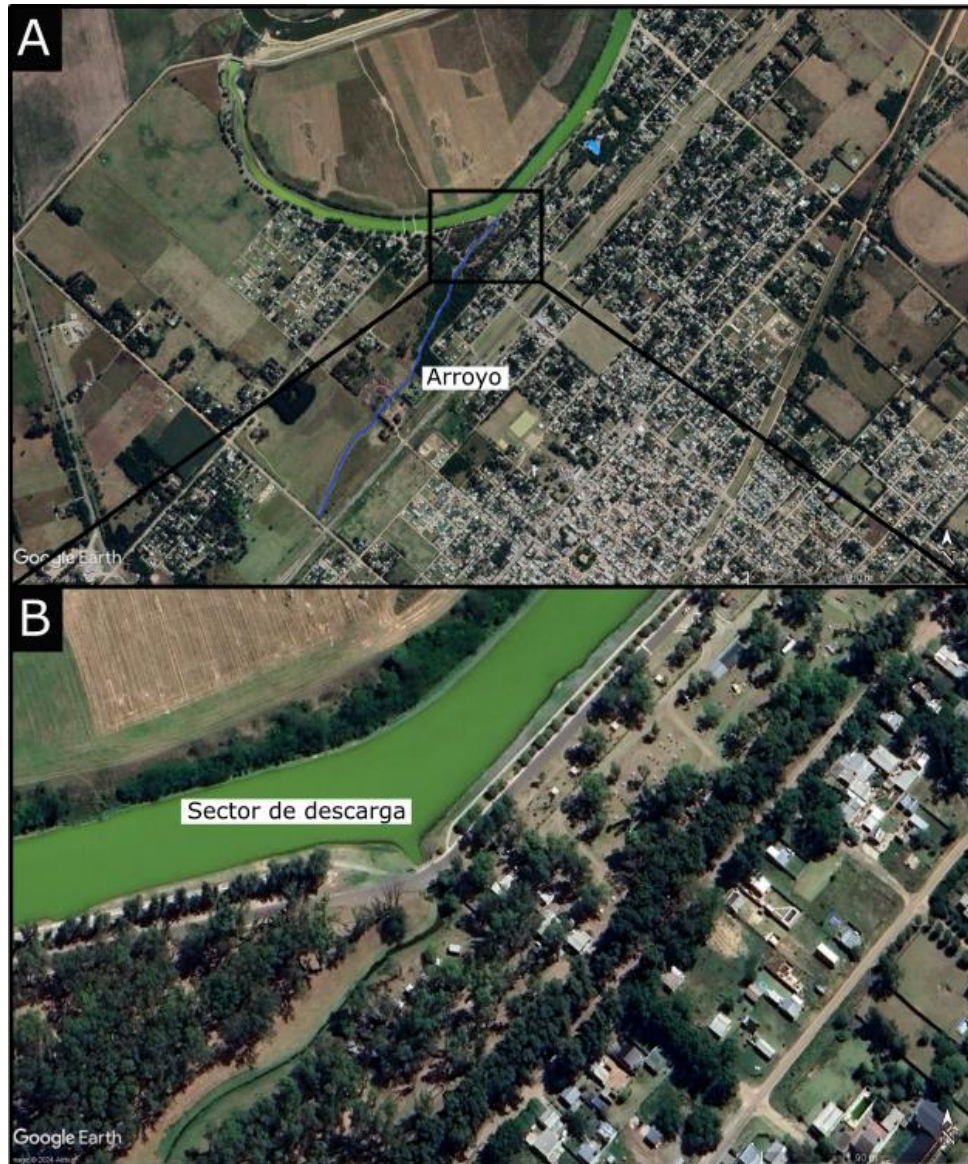


Figura 68: A) Ubicación del arroyo que atraviesa la localidad de General Belgrano. B) Sector de descarga del arroyo hacia el tramo sin circulación del río Salado.

### *Compañía de agua*

En General Belgrano la población ubicada en el centro de la localidad cuenta con agua de red, mientras que en los sectores periféricos se abastecen a partir de pozos propios. La compañía de agua ABSA tiene un total de 14 pozos a una profundidad de 40 metros aproximadamente, alcanzando el acuífero Puelches. Dichos pozos se ubican en su mayoría hacia el sector SO, dado que el agua subterránea se mueve en dirección SO-NE, hacia el río, donde tiende a ser más salada. El tratamiento que se le hace al agua es el de clorado para eliminar la presencia de microorganismos o bacterias. La misma cuenta con presencia de arsénico en un valor de 0,02 (la tolerancia actual para el código alimenticio es de 0,05). Para quitar el arsénico hay que hacer un tratamiento de ósmosis inversa, pero el mismo no se



realiza en esta localidad ni en casi ningún lugar de Buenos Aires por la cantidad de desechos que se generan para realizarlo y porque habría que producir el doble para ello (Conv. Pers).

La compañía de agua ABSA además de potabilizar el agua para consumo cuenta con una planta depuradora de efluentes cloacales. El tratamiento consta de:

- Extracción de sólidos retenidos por reja en el acceso de la cañería a 8 metros de profundidad.
- Bombeo y elevación de los líquidos para la realización de un segundo filtrado por rejillas, y luego conducción de los líquidos hacia un sector donde decanta la arena.
- Conducción de los líquidos al tanque Imhoff donde tienen un tiempo de estadía para la decantación de los sólidos y separación de los sobrenadantes.
- Conducción de los líquidos hacia dos lagunas facultativas con un desnivel entre ellas.
- El último paso es por una cámara de contacto donde se realiza el clorado del agua y finalmente se conduce al río (Conv. Pers).

Sin embargo, en un estudio sobre la presencia de agroquímicos en el ambiente realizado por la Asociación Civil Convocatoria Ambiental General Belgrano (2022) se detectó la presencia de plaguicidas en el agua subterránea, siendo incluso una muestra tomada en un domicilio particular del casco urbano la muestra que más principios activos presentó. Esto indica que el proceso de tratamiento del agua para consumo humano no logra filtrar todas las sustancias que llegan a ella. Se sugiere realizar un monitoreo para el control de estas sustancias en el agua de consumo humano.

### *Basurales*

Actualmente existe sólo un basural oficial dependiente del municipio que se encuentra en funcionamiento en General Belgrano. Este se ubica en las cercanías del río Salado en su tramo libre y se efectúan tratamientos de distinto tipo (Basural 1, Figura 66). Anteriormente funcionaba otro a cielo abierto en la ruta 41 mediante el acopio y quema de la basura, pero fue cerrado debido al reclamo de los vecinos que se veían afectados (Basural 2, Figura 22).

En el basural municipal realizan los siguientes tratamientos:

En primer lugar, se separa el plástico de lo que es el resto de la basura y a su vez se subdivide según el tipo de plástico: botellas de gaseosa (luego se las divide según el color), soplados como botellas de detergente, plásticos blancos como botellas de lavandina y plásticos duros como juguetes. Con cada tipo de plástico se arman cubos que luego se compactan y se venden (Figura 69). Es decir, el reciclado no se realiza en General Belgrano, sino que queda a cargo de la empresa compradora.

Luego se separa el resto de los materiales: tetrabrik, aluminio liviano como latas, aluminio pesado como botellas de aerosol y por último el nylon transparente y el nylon blanco. Estos se enfardan, se entregan y se carga a granel.

Además, se encuentra en proceso de construcción un “Dromel”, una máquina que funciona como un colador. Consiste en un tubo cilíndrico inclinado donde se tira la basura y al girar se separa el material más fino o polvillo suelto. Este se acumula en un acoplado donde luego de todo el proceso se convierte en tierra.

Finalmente, todo el material sobrante se entierra en un pozo protegido con nylon y se tapa. Complementariamente, en las zonas urbanas se colocaron cestos de basura para material húmedo (verdes) y otros para material seco, dividido por color, como vidrios (rojo), botellas (amarillo), etc., (Conv. Pers).



Figura 69: Fotografía tomada en el Basural 1 donde se observan los cubos de diferentes tipos de plástico preparados para compactar y vender para luego ser reciclados.

Dado que la escorrentía superficial natural en este sector tiene dirección hacia el río Salado y la proximidad a la que se encuentra ubicado el basural, los contaminantes derivados del mismo presentan una alta probabilidad de ser incorporados al sistema fluvial. Si bien existe un tratamiento para los desechos en este basural, se sugieren una serie de recomendaciones para optimizar el manejo de los mismos y general el menor impacto posible, como impermeabilizar de manera adecuada el pozo en donde se ubica la basura, para así evitar que se genere contaminación en el suelo y derive hacia el río o se infiltre hacia el sistema acuífero.



### *Frigorífico*

La industria frigorífica posee un gran poder contaminante si sus efluentes no reciben el tratamiento adecuado. Con respecto a las aguas, algunos autores sugieren que podría representar el 30% de la contaminación total (Shimamoto, 1998). No obstante, la mayoría de ellos pueden ser reutilizados y existen normativas establecidas por el Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA) para garantizar su correcto reciclado.

En el caso de General Belgrano, uno de sus frigoríficos presenta sus instalaciones a pocos metros del río Salado y dispone un sector donde se ubican 5 piletones o lagunas para el tratamiento de sus residuos. Los efluentes se dividen en dos tipos: la línea roja, compuesta principalmente por sangre del degüello de los animales, y la línea verde que incluye desechos como la bosta y el contenido digestivo de los mismos. En el caso de la línea roja, esta se separa y se comercializa como subproducto, mientras que la línea verde se conduce subterráneamente hacia las lagunas mencionadas. En ellas, se realiza un tratamiento mediante bacterias aeróbicas y anaeróbicas que permiten obtener un producto final en condiciones de ser vertido al río sin producir efectos negativos. Este proceso se somete a inspecciones regulares que controlan su correcto funcionamiento (Conv. Pers).

### *Complejo “Termas del Salado”*

En la localidad de General Belgrano se halló la presencia de aguas termales a 41°C que surge de una perforación de 965 metros de profundidad. Estas son aguas de alta mineralización con alto contenido de sales como sodio, azufre, óxidos de hierro, calcio y otros minerales en menor proporción. El complejo se inauguró en el año 2012 y representa gran importancia en materia turística para la localidad.

El tratamiento de las aguas termales es fundamental al momento de la descarga dado que de no hacerse puede afectar considerablemente al cuerpo de agua receptor, en este caso, al río Salado. En este caso en particular, el procedimiento consiste en dirigir el agua hacia una fuente de enfriamiento en donde la misma alcanza una temperatura ambiente para finalmente ser dirigida hacia el río (Conv. Pers). Gracias a este tratamiento, se reducen los impactos ecológicos en el cuerpo de agua receptor. Sin embargo, se recomienda realizar una desmineralización de las mismas de acuerdo con la normativa ambiental de la provincia de Buenos Aires, ya que los niveles de minerales y compuestos químicos presentes pueden alterar el ecosistema acuático del río Salado en este sector.

*Sistema de compuertas*

Como consecuencia de la ocurrencia frecuente de inundaciones en el río Salado, en el año 1994 se construyó un sistema de compuertas denominado "Complejo Defensa de la Ciudad Ricardo Callegari". Como consecuencia de esta construcción, es posible distinguir dos tramos del río Salado que han evolucionado de manera diferente por la presencia de la presa reguladora: por un lado, un tramo natural de libre circulación y otro tramo que ha quedado entre las dos compuertas y que durante los períodos secos pierde su conexión con el sistema (Figura 70 y Figura 71).



Figura 70: Fotografía de la compuerta N°1 del río Salado en donde se aprecia la ausencia de agua debajo de la misma.



Figura 71: Fotografías aéreas del río Salado en donde se observa la desconexión entre dos tramos del mismo, facilitadas por el Museo Histórico Municipal "Alfredo Enrique Múlgura".

La implementación de obras de este estilo requiere una evaluación previa de diferentes factores como el tipo de suelo, la tasa de sedimentación, la capacidad erosiva del río, la ocurrencia de eventos de sequía y de precipitaciones y la intensidad de los mismos, entre otros. La obra en sí misma y la no consideración de estos factores puede alterar significativamente la hidrodinámica natural del río, provocando cambios en la geomorfología, sedimentología y generando conduciendo a consecuencias ambientales, como la eutrofización del tamo desconectado, y también impactos socioeconómicos, como la pérdida de turismo para la localidad.

Se recomienda regular el nivel del agua en la presa antes de que ocurran posibles periodos de sequias extremas (verano) para asegurar el almacenamiento del agua.

### *Drenaje pluvial*

La dirección de drenaje natural en el sector sur de la zona de estudio es hacia el río Salado. El tramo estancado del río Salado recibe, además, la descarga de un arroyo que cruza parte de la zona urbana de General Belgrano (Figura 72).





Figura 72: Fotografía del último tramo del arroyo atravesando el Camping Municipal, antes del sector de descarga en el tramo sin circulación del río Salado.

Esta situación puede resultar en diversas implicancias ambientales como la contaminación del agua por la descarga de todo el material recolectado durante su trayecto a lo largo del sector urbano, introduciendo diferentes químicos, metales pesados y nutrientes en exceso a un tramo del río que ya tiene tendencia a la eutrofización por no tener circulación.

El estudio realizado por la convocatoria ambiental revela la presencia de plaguicidas en las muestras de suelos y sedimentos, los cuales pueden ser transportados por el arroyo y terminar siendo incorporados en el río, contribuyendo significativamente al enriquecimiento de nutrientes como nitrógeno y fósforo en el agua, acelerando el proceso de eutrofización del sistema.

Se recomienda realizar un tratamiento adecuado de las aguas residuales e industriales e implementar prácticas agrícolas sostenibles que reduzcan el uso de agroquímicos y promuevan técnicas de manejo del suelo, además del monitoreo continuo para llevar un control adecuado de la situación.



## 8. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

El riesgo de inundaciones en la región pampeana es uno de los principales factores que caracterizan esta región. Sin embargo, también lo es el de las sequías. Estos eventos ocurren de manera alternada y si bien no existe una relación lineal marcada entre las variables, hay una leve tendencia positiva al aumento de las precipitaciones en el tiempo.

Durante las últimas décadas ha aumentado la amplitud entre los valores extremos de precipitación anual. Se observa una importante variabilidad climática desde 1931 con: a) un periodo seco entre 1930 a 1960, b) un periodo con precipitaciones normales entre 1960 y 1980, c) un periodo húmedo del 1978 a 1987 d) periodo con fuerte alternancia entre sequías e inundaciones extremas (desde 1987 a la actualidad). Si bien las precipitaciones anuales han aumentado levemente, es visible también un incremento en la ocurrencia de periodos secos. Por ello es importante planificar a futuro para minimizar las consecuencias ambientales asociadas.

Se reconocieron tres niveles de terrazas fluviales: T1 (20 msnm), compuesta por sedimentos Holocenos e indicando la extensión de la planicie aluvial y una alta carga sedimentaria, T2 (18 msnm) y T3 (15 msnm), evidenciando el descenso que fue experimentando el río hasta alcanzar el nivel actual, encajonándose, disminuyendo la carga y generando geoformas erosivas en sectores: en su tramo natural, presenta terrazas rocosas labradas sobre sedimentos postpampeanos en el margen erosivo y planicies aluviales en el margen acumulativo formadas por arena muy fina. En el sector estancado (meandro) predomina la acreción vertical, con sedimentos fangosos, debido a la pérdida de conexión de este tramo con el resto del curso fluvial por la construcción de la presa reguladora.

Las planicies aluviales son estrechas, con un ancho de 15 metros, pero se identificó un área de 1500 metros de ancho correspondiente a la planicie de inundación, que se extiende hasta la cota de los 15 msnm, coincidiendo con el nivel alcanzado durante la inundación de 2015.

Las variabilidades climatológicas influyen en la hidrodinámica del río y en la depositación de los sedimentos. Las muestras de lecho del río presentan una marcada diferencia en cuanto a la coloración, porcentaje de humedad y contenido de materia orgánica entre el sector de libre circulación y el sector estancado. En el sector de libre circulación, el lecho se conforma por dos canales mayormente fangosos (hasta 75%, aunque también se componen por arenas y gravas subordinadas), y por una barra longitudinal en el centro donde la presencia de gravas es mayor (21%). En todos los casos estas alcanzan los 4,75 mm indicando una velocidad de flujo máxima de 83 cm/s. La profundidad del agua es de 1,40 m y el transporte es por tracción

(aporte local: sedimentitas de la Fm. Luján), suspensión y saltación, lo que indica la alta energía del medio y la diversidad de los materiales aportados, predominando la carga de sedimentos fango arenosos.

En el sector aislado de la circulación predomina el transporte por suspensión y la decantación de fangos (93%), con alto contenido de materia orgánica (11,42%) y coloración oscura. La velocidad del flujo de agua es prácticamente nula, aunque subordinadamente alcanza velocidades para transportar arena mediana (22 cm/s) y la profundidad del nivel de agua es muy baja. También se detectaron cambios significativos en los parámetros físicoquímicos de calidad del agua, generándose un ambiente reductor (27mV), de temperaturas elevadas (32,84°C) y mayor alcalinidad (pH = 9,28), derivando en la eutrofización del sistema.

El análisis de las secuencias observadas en las muestras testigo indica diferencias en las condiciones hidrodinámicas a lo largo del tiempo en el curso del Salado, infiriendo eventos de sequías e inundaciones. Estos cambios en la hidrodinámica también modifican el transporte. Los periodos de mayor energía (hasta 83 cm/s) aumentan la capacidad de carga, transporte por saltación (32% arena), suspensión (32% fango) y tracción (36% gravas de hasta 4,75 mm). En los periodos secos predomina el transporte por suspensión y decantación de finos (89% fango).

Las secuencias entre los testigos del tramo natural y del meandro son muy diferentes: el tramo natural presenta una gran amplitud en los tamaños de grano, reflejando una alta variabilidad hidrodinámica, mientras que la secuencia sedimentaria del tramo del meandro es mas homogénea: predominan considerablemente los finos, reflejando condiciones de energía muy bajas a causa de la poca circulación de cauce en este sector.

En cuanto a la situación ambiental, la localidad de General Belgrano ha experimentado un crecimiento poblacional significativo en las últimas décadas. Durante el mismo se impulsó el desarrollo de diferentes industrias, de actividades agrícolas y del turismo (gracias a la pesca y a la presencia de aguas termales).

Las reiteradas inundaciones que afectaron la zona conllevaron a la necesidad de construir un sistema de compuertas para poder regular estos eventos.

En ocasiones, ocurre que los productos residuales de la localidad son vertidos hacia el río. En estos casos, se efectúa el tratamiento adecuado para realizar esta práctica sin ocasionar cambios importantes en el ecosistema natural del mismo, con la excepción de las aguas termales. Además, la descarga se realiza en un sector del tramo de libre circulación del río y aguas abajo de la localidad.

Sin embargo, la principal problemática ocurre en el tramo sin circulación del río Salado. Este sector sufre la pérdida de conexión con el tramo natural en los periodos secos, provocando

su estancamiento y una tendencia a la eutrofización. El arroyo que atraviesa la localidad realiza su descarga en el mismo, vertiendo los residuos que incorpora en su trayecto. Especialmente, se hace foco en la presencia de agroquímicos en el suelo y sedimentos ya que el aporte de los nutrientes que contienen en el río acelera significativamente el proceso de eutrofización del mismo.

La obra funcionó correctamente durante los períodos húmedos, ya que redujo el riesgo de inundación, pero durante el período seco el nivel del agua del río se encontró por debajo del nivel de regulación de la compuerta, produciendo la desconexión total del río Salado y el estancamiento del agua en este sector del canal, es decir, no se contemplaron las consecuencias de las recurrentes sequías pampeanas. La sequía del año 2023 provocó el endicamiento del tramo entre las presas con notables consecuencias ambientales como el estancamiento del agua, la falta de oxígeno, incremento de la temperatura y la eutrofización del sistema, provocando la mortandad de peces y moluscos. Todo ello produjo un alto impacto socioeconómico, como la pérdida de turismo para la localidad de General Belgrano.

Se recomienda realizar un tratamiento adecuado de las aguas residuales, implementar prácticas agrícolas que minimicen la dependencia de los agroquímicos y diseñar un manejo de regulación del nivel del agua en la presa antes de que ocurran posibles periodos de sequias extremas (verano) para asegurar el almacenamiento del agua. También evitar el vertido de efluentes domésticos a la zona represada para evitar la eutrofización.

## BIBLIOGRAFÍA

Asociación Civil Convocatoria Ambiental General Belgrano. 2022. Informe de resultados del primer muestreo de plaguicidas en el ambiente en el Partido de General Belgrano, Buenos Aires.

Atterberg, A. 1911. Über die physikalischen Eigenschaften der Tone. Internationale Zeitschrift für Bodenkunde 11(1): 121-134.

Amarilla, B., Conti, A. L., Molinari, G. A., Coletti, R., Mariñelarena, P. I. M., Mostrada, J., Bellesi, P. 2007. Municipio de General Belgrano. Estrategias para un desarrollo turístico sustentable. Laboratorio de Investigación del Territorio y el Ambiente (LINTA). 47 p.

Ameghino, F. 1884. Las secas y las inundaciones en la Provincia de Buenos Aires. Obras de retención y no de desagüe. Ministerio de Asuntos Agrarios de la Provincia de Buenos Aires.

Ameghino, F. 1886. Las secas y las inundaciones en la provincia de Buenos Aires. Obras de retención y no de desagüe. Ministerio de Asuntos Agrarios de la Provincia de Buenos Aires, 2ra edición, 66 p., La Plata.

Ameghino, F. 1889. Contribución al conocimiento de los mamíferos fósiles de la República Argentina. Actas de la Academia Nacional de Ciencias, 6: 1-1027, Córdoba.

Berbery, E. H., Doyle, M., & Barros, V. (2006). Tendencias regionales en la precipitación. El cambio climático en la Cuenca del Plata. CONICET, 67-92, Buenos Aires.

Blott, SJ, y Pye, K. 2012. Escalas de tamaño de partículas y clasificación de tipos de sedimentos según distribuciones de tamaño de partículas: revisión y procedimientos recomendados. *Sedimentology* 59 (7): 2071-2096.

Bowler, JM. 1973. Dunas de arcilla: su aparición, formación y significado ambiental. *Earth-Science Reviews* 9 (4): 315-338.

Burkart, S. E., Leon, R. J., & Movia, C. P. 1990. Inventario fitosociológico del pastizal de la Depresión del Salado (Prov. Bs. As.) en un área representativa de sus principales ambientes. *Darwiniana* 27-69.



Burke, K. 1976. Desarrollo de fosas tectónicas asociadas con las rupturas iniciales del océano Atlántico. En *Developments in Geotectonics* (Vol. 12, págs. 93-112). Elsevier.

Castañeda, M. E., & Barros, V. 1994. Las tendencias de la precipitación en el Cono Sur de América al este de los Andes. *Meteorológica* 19(1): 23-32.

Cingolani, C. A. 2005. Unidades morfoestructurales y estructuras menores de la provincia de Buenos Aires.

Contreras, S., Jobbágy, EG, Villagra, PE, Noretto, MD, & Puigdefábregas, J. 2011. Estimaciones mediante teledetección del consumo suplementario de agua en ecosistemas áridos de la Argentina central. *Journal of Hydrology* 397 (1-2): 10-22.

Dalla Salda, L. 1999. Basamento granítico-metamórfico de Tandilia y Martín García. Capítulo 4. Instituto de Geología y Recursos Minerales. SEGEMAR. Anales 29 (4): 97-106, Buenos Aires.

Dangavs, N. 1979. Presencia de dunas de arcilla fósiles en la Pampa Deprimida. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 34(1): 31-35.

Dangavs, N. 1998. Los ambientes lénticos de la pampasia bonaerense, República Argentina. *Agua: Problemática Regional*, 145-150.

Dangavs, N. 2005 b: Los ambientes acuáticos de la provincia de Buenos Aires. En De Barrio, R., Etcheverry, R., Caballé, M. y Llambías, E. (eds.) *Geología y Recursos naturales de la Provincia de Buenos Aires*, 16o Congreso Geológico Argentino, Relatorio 13: 219-236, La Plata.

Dangavs, N. 2018. Geología y paleolimnología del complejo lagunar “Santa Rosa del Monte”, Provincia de Buenos Aires, Argentina. *Revista del Museo de La Plata*, 3(1): 183- 221.

Dangavs, N., Reynaldi, J. 2008. Paleolimnología de la laguna Cerrillo del Medio, Monte, provincia de Buenos Aires. *Rev. la Asoc. Geol. Argent.* 64: 29-42.

Dangavs, N. V. 2019. El registro paleoambiental del Pleistoceno tardío al presente en la Laguna Lobos, Buenos Aires, Argentina. *Revista del Museo de La Plata*, 4: 1-40.

Dangavs, N. y Blasi, A. 1992. Formación Lobos, nueva unidad estratigráfica en la cuenca del río Salado, Provincia de Buenos Aires. III Jornadas Geológicas Bonaerenses, Actas: 17-23.

Dangavs, N.V. y Blasi, AM (2002). Los depósitos de yeso intrasedimentario del arroyo El Siasgo, partidos de Monte y General Paz, provincia de Buenos Aires. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 57 (3): 315-327.

Dangavs, N.V. y Blasi, A. 2003. El Miembro Lobos de la Formación Luján: cambio de rango de la Fm. Lobos, unidad estratigráfica del Pleistoceno superior de la cuenca del río Salado de la provincia de Buenos Aires. En: Segundo Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología, pp. 67-74, San Miguel de Tucumán.

Dangavs, N.V. y Pierrard, L. 2013. Paleolimnología de la Laguna del Monte, San Miguel del Monte, provincia de Buenos Aires". Revista de la Asociación Geológica Argentina, 70, pp. 128-143.

Darwin, C. 1889. Revista de investigaciones sobre la historia natural y la geología de los países visitados durante el viaje del *HMS "Beagle"* alrededor del mundo: bajo el mando del capitán Fitz Roy, RN (n.º 1). *Ward, Lock and Company*.

Daus, F. 1969. Fundamentos para una división regional de la Argentina. Buenos Aires: Instituto de Geografía UBA.

Deschamps, J. R., Otero, O., & Tonni, E. P. 2003. Cambio climático en la pampa bonaerense: las precipitaciones desde los siglos XVIII al XX.

Diaz Apella, B. L. 2023. Geología y geomorfología del tramo medio e inferior de la Cuenca del Río Salado: variabilidad hidroclimática y su aplicación al manejo ambiental (Tesis doctoral). Instituto de Geociencias Básicas, Aplicadas y Ambientales de Buenos Aires (IGEBA), Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina.

Dillon, A., Rabassa, J. 1985. Miembro La Chumbiada, Formación Luján (Pleistoceno, provincia de Buenos Aires); una nueva unidad estratigráfica del valle del río Salado, vol. 27. 1Jornadas Geológicas Bonaerenses, Tandil.

d'Orbigny, A. D. 1842. Voyage dans l'Amérique Méridionale: Géologie. Bertrand

Doering, A. (1882). Informe oficial de la Comisión Científica agregada al Estado Mayor

General de la Expedición al Río Negro (Patagonia). Entrega II Geología, Buenos Aires.

Doering, A. 1884. Estudio hidrográfico y perforaciones artesianas en la República Argentina. Boletín de la Academia Nacional de Ciencias, 6: 259-340, Córdoba.

Escosteguy, P., González, M. I. y Frère, M. M. 2015. Nuevos datos sobre fauna menor de la Depresión del Río Salado (Provincia de Buenos Aires, Argentina): el caso de San Ramón 7. *Archaeofauna. International Journal of Archaeozoology*, 24: 295-313.

Escosteguy, P., Salemme, M. C. y Isabel González, M. I. 2017. Tecnología ósea en la Depresión del río Salado (provincia de Buenos Aires). *Arqueología*, 23(3): 65-90.

Escosteguy, P., Salerno, V., González, M. I., & Frere, M. M. 2023. Usos de la fauna en el río Salado bonaerense: saberes locales actuales. *Mundo De Antes*, 17(1 (enero-julio)), 109-140.

Estimaciones agrícolas 2023. <https://datosestimaciones.magyp.gob.ar/>

Fidalgo, F. 1983. Algunas características de los sedimentos superficiales en la cuenca de río Salado y en la Pampa Ondulada. Coloquio Internacional sobre Hidrología de Grandes Llanuras. Comité Nacional Programa Hidrológico Internacional, 2. Olavarría, Argentina.

Fidalgo, F. 1992. Provincia de Buenos Aires continental. En Iriondo M. (ed.). El Holoceno en la Argentina. Cadinqua: pp. 23-38. Buenos Aires.

Fidalgo, F., Colado, U.R. y De Francesco, F.O. 1973a. Sobre ingresiones marinas cuaternarias en los partidos de Castelli, Chascomús y Magdalena (Provincia de Buenos Aires). V Congreso Geológico Argentino, Actas 4: 225-240, Carlos Paz.

Fidalgo, F., De Francesco, F. y Colado, U. 1973. Geología superficial en las Hojas Castelli, JM Cobo y Monasterio (Pcia de Buenos Aires). En V Congreso Argentino Geológico Argentino Resúmenes (Vol. 4, pp. 27-39).

Frenguelli, J. 1940. El ambiente geográfico. Relaciones de la Sociedad Argentina de Antropología, 2.

Frenguelli, J. 1950. Rasgos generales de la morfología y la geología de la provincia de Buenos Aires. LEMIT, Serie II, N°33, 72 p, La Plata.

Frenguelli, J. 1957. Neozoico. En Geografía de la República Argentina. GAEA 2 (3): 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. 239 pp.

Fucks, E., Huarte, R., Carbonari, J., y Figini, A. 2007. Geocronología, paleoambientes y paleosuelos holocenos en la región pampeana. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 62(3): 425-433.

Fucks, E., Huarte, R., Carbonari, J., Pisano, F. 2009. Cronología de los depósitos fluviales del Pleistoceno Tardío-Holoceno en la Cuenca Inferior y media del río Salado, provincia de Buenos Aires. In: IV Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología, *XII Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário*, II Reunión sobre el Cuaternario de América del Sur, p. 361, La Plata.

Fucks, E., Pisano, F., Carbonari, J. y Huarte, R. 2011. Correlación estratigráfica y cronológica en diferentes ambientes geomorfológicos de la cuenca del salado, provincia de Buenos Aires. In: XVIII Congreso Geológico Argentino, Neuquén, p. 201.

Fucks, Enrique & Pisano, Maria & Carbonari, J. & Huarte, R. 2012. Aspectos geomorfológicos del sector medio e inferior de la Pampa Deprimida, provincia de Buenos Aires. Rev. la Soc. Geol. 25: 107-118, España.

Fucks, E., Pisano, MF, Huarte, RA, Di Lello, CV, Mari, F., & Carbonari, JE. 2015. Estratigrafía de los depósitos fluviales de la cuenca del río Salado, provincia de Buenos Aires: litología, cronología y paleoclima. Revista de Ciencias de la Tierra Sudamericana, 60: 129-139.

García, P. E., Badano, N. D., Menéndez, A. N., Bert, F., García, G., Podestá, G., ... & Arora, P. 2018. Influencia de los cambios en el uso del suelo y la precipitación sobre la dinámica hídrica de una cuenca de llanura extensa. Caso de estudio: Cuenca del Río Salado, Buenos Aires, Argentina, 5(2): 92-106, Ribagua.

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 (1): 67-148.

González, M. I. 2005. Arqueología de alfareros, cazadores y pescadores pampeanos. En



Colección de Tesis Doctorales. Sociedad Argentina de Antropología

Herzer, H. 2003. Inundaciones en la región pampeana de Argentina: la cuenca del Salado. *Building Safer Cities*, 137.

Herzer, H., Caputo, M. y Celis, A. 2004. Gestión de desastre ENSO en América Latina: Propuesta de Consolidación de un Red Regional de Investigación Comparativa, 227 Información y Capacitación desde una Perspectiva Social. Informe Final Argentina, CENTRO estudios sociales y ambientales.

Hills, ES 1940. *Lunettes*, una nueva forma de terreno de origen eólico. *Australian Geographer*, 3 (7): 15-21.

Hjulström, F. 1935. Estudios de la actividad morfológica de los ríos, como se ilustra en el río Fyris (tesis doctoral, Instituto Geológico de la Universidad de Upsala).

Instituto Nacional de Estadística y Censos de la República Argentina <https://www.indec.gob.ar>

INTA, 2019. Los suelos de la Región pampeana. 288p.

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria <https://www.argentina.gob.ar/inta>

Introcaso, A., y Ramos, V. 1984. La cuenca del Salado: un modelo de evolución aulacogénica. IX Congreso Geológico Argentino (Vol. 3).

Iriondo, M. y Kröhling, D. 1995. El sistema eólico pampeano. Comunicaciones Museo Provincial de Ciencias Naturales, 5, pp.1-68, Santa Fe.

Jauregui, J. A. 2011. Evaluación de la producción de biomasa de *Setaria sphacelata* (Schumacher.) var. *anceps* (cv. *Narok*) en Cuenca del Salado.

Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., & Rubel, F. 2006. *World map of the Köppen-Geiger climate classification updated*.

Kruse, E. y Zimmermann, E. 2002. Hidrogeología de grandes llanuras. Particularidades en la llanura pampeana (Argentina). *Groundwater and Human Development*, 2025 2038.

Kuppel, S., Houspanossian, J., Noretto, MD, y Jobbágy, EG. 2015. ¿Qué se necesita para

inundar las llanuras aluviales? Lecciones de una década de fuertes fluctuaciones hidrológicas. *Water Resources Research*, 51 (4): 2937-2950.

Malagnino, E. C. 1988. Evolución del sistema fluvial de la provincia de Buenos Aires desde el Pleistoceno hasta la actualidad. Segundas Jornadas de Geología Bonaerense, 201-211.

Misseri, L., Salgado Ahumada, J., Maulen García, W., y Cugno, P. 2016. Síntesis de las secuencias marinas del Cuaternario tardío en el margen sur del Río de la Plata.

Moncaut, C. A. 2001. Inundaciones y sequías con raíces añejas en la pampa bonaerense, 1576-2001. Editorial El Aljibe.

Lemcoff. 1992. Río de la Plata *Grasslands. Climate. In Coupland, R.T. (ed.). Ecosystems of the World 8A: Natural Grasslands, Elsevier, Amsterdam. 376-377.*

Olivier, S. R. 1959. Sequías, inundaciones y aprovechamiento de las lagunas bonaerenses con especial referencia al desarrollo futuro de la piscicultura. *Agro*, 1.

Pereyra, F. X. 2018. Regiones geomorfológicas de Argentina. Undav Ediciones.

Pereyra, F. X., y Tobío, M. I. 2018. Geomorfología de la Provincia de Buenos Aires.

Pisano, M. F. 2015. Moluscos y paleoambientes del Pleistoceno tardío-Holoceno en la cuenca media e inferior del Río Salado, provincia de Buenos Aires (*Doctoral dissertation*, Universidad Nacional de La Plata).

PMI. 1999. Plan Maestro Integral Cuenca del río del Salado. Unidad Ejecutora Provincial. Ministerio de Economía de la Provincia de Buenos Aires-Halcrow-Banco Mundial, 1999, 1300 pp, La Plata, Buenos Aires, Argentina.

PMI. 2017. Evaluación de impacto Ambiental y social. Ampliación de capacidad del río Salado superior-tramo IV, etapa 2, del Plan de Manejo Integral de la Cuenca del Río Salado. Dirección Provincial de Obra Hidráulica, Buenos Aires.

Pommarés, N. N. 2020. Estudios estratigráficos y geomorfológicos en la cuenca media del Río Salado, pcia. de Buenos Aires (*Doctoral dissertation*, Facultad de Ciencias Naturales y Museo).

Pommarés, N. N., y Fucks, E. E. 2022. Uso de herramientas de teledetección y SIG para el mapeo de rasgos geomorfológicos en la cuenca del río Salado. 18° Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología, San Juan.

Prado, LF, Wainer, I., Chiessi, CM, Ledru, MP, & Turcq, B. 2013. Reconstrucción climática del Holoceno medio para el este de Sudamérica. *Climate of the Past*, 9 (5): 2117-2133.

Ramos, V. A., y Caminos, R. 1999. Geología Argentina Servicio Geológico Minero Argentino.

Riggi, J.C., Fidalgo, F., Martínez, O. y Porro, N. 1986. Geología de los "Sedimentos Pampeanos" en el partido de La Plata. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 41(3-4): 316-33.

Rolleri, E. O., 1975. Provincias Geológicas Bonaerenses. En: Geología de la Provincia de Buenos Aires. 6° Congreso Geológico Argentino, Relatorio: 29-54.

Rubio, G., Pereyra, FX, & Taboada, MA. 2019. Suelos de la región pampeana. Los suelos de Argentina, 81-100.

Sala, J. 1983. La problemática en las investigaciones geohidrológicas en grandes llanuras con escasa información. Coloquio internacional sobre hidrología de grandes llanuras, 11.

Scanferla C.A., Bonini, R., Pomi, L., Fucks, E. & Molinari, A. 2013. *New Late Pleistocene megafaunal assemblage with well-supported chronology from the Pampas of southern South America. Quaternary International 305 pp. 97- 103*

Scarpati, O.E. y Capriolo, A.D. 2013. Sequías e inundaciones en la provincia de Buenos Aires (Argentina) y su distribución espacio-temporal. Investigaciones geográficas, 82: 38-51.

Seager, R., Naik, N., Baethgen, W., Robertson, A., Kushnir, Y., Nakamura, J., & Jurburg, S. 2010. *Tropical oceanic causes of interannual to multidecadal precipitation variability in southeast South America over the past century. Journal of Climate, 23(20): 5517-5539.*

Seguí, M. 2020. Evaluación de la respuesta a la fertilización otoñal en la Estepa de Halófitas de un pastizal de la Cuenca del Salado (*Doctoral dissertation*, Universidad Nacional de La Plata).

Servicio Meteorológico Nacional <https://www.argentina.gob.ar/smn>

Shimamoto, A. (1998). *Industria matarife/frigorífica*. Ecosignos virtual, 3(3). Vicerrectorado de Investigación y Desarrollo, Universidad del Salvador.

Sierra, E. M., Hurtado, R. H., y Spescha, L. I. L. I. A. N. A. 1994. Corrimiento de las isoyetas anuales medias decenales en la Región Pampeana 1941-1990. Rev. Fac. Agr, 14(2): 139-144.

Silva Busso, A. 2015. Informe Hidrogeológico del Pozo GB-01. Ciudad Gral. Belgrano, Partido de Gral. Belgrano, Provincia de Buenos Aires. CCDRILL - ABSA (Inédito). 39p

Skansi, M. D. L. M., Stella, J. L., Bontempi, M. E., y Flores, K. 2022. Informe especial de sequía severo: Noviembre 2022.

Skansi, M. D. L. M., Poggi, M. M., Stella, J. L., Flores, K., Garay, N., Córdoba Fradinger, C., ... y Condori, L. F. 2023. Estado del Clima en Argentina 2022: reporte final.

SSRH, I. 2002. Atlas Digital de los Recursos Hídricos Superficiales de la República Argentina. Ed. Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación, Argentina.

Staff, S. S. 1999. *Soil taxonomy: a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys*. Agriculture handbook, 436.

Stoakes, F. A., Campbell, C. V., Cass, R., & Ucha, N. 1991. *Seismic stratigraphic analysis of the Punta del Este basin, offshore Uruguay, South America*. AAPG bulletin, 75(2): 219-240.

Tricart, J. 1973. Geomorfología de la Pampa Deprimida. INTA, Colección Científica. 12: 202 p., Buenos Aires.

Urien, C.M. y Zambrano, J.J. 1996. Estructura del margen continental. Geología y recursos naturales de la plataforma continental Argentina. Asociación Geológica Argentina, 29-65, Buenos Aires, Argentina.

Vervoorst, F.B. 1967. Las comunidades vegetales de la Depresión del Salado. La Vegetación de la República Argentina, Serie Fitogeográfica N° 7. INTA. 259 p., Buenos Aires.



Viglizzo, E. F., Jobbágy, E. G., Carreño, L., Frank, F. C., Aragón, R., De Oro, L., & Salvador, V. 2009. *The dynamics of cultivation and floods in arable lands of Central Argentina*. *Hydrology and Earth System Sciences*, 13(4): 491-502.

Walter, H. 1967. *Das Pampaproblem in vergleichend ökologischer Betrachtung und seine Lösung (The Problem of the Pampa in Comparative Ecological Observation and Its Solution)*. *Erdkunde*, 181-203.

Yrigoyen, M. B. 1975. Geología del subsuelo y plataforma continental. 6° Congreso Geológico Argentino.

Zarate, M., & Blasi, A. 1991. *Late Pleistocene and Holocene loess deposits of the southeastern Buenos Aires province, Argentina*. *Geojournal*, 24: 211-220.

Zárate, M.A. y Rabassa, J. 2005. Geomorfología de la provincia de Buenos Aires. In Geología y Recursos Minerales de la Provincia de Buenos Aires. Relatorio del XVI Congreso Geológico Argentino (pp. 119-138). UNLP La Plata.

## Agradecimientos

A la Universidad de Buenos Aires, en particular al Departamento de Ciencias Geológicas de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales por permitirme formar en un entorno de educación pública, gratuita y de calidad. A todas las personas que lo conforman, por su vocación y calidez humana.

A mi directora, la Dra. Silvia Marcomini y a mi Co-director, el Dr. Rubén López, por guiarme en este proceso y por la oportunidad de realizar este trabajo en una zona que aprecio.

A los jurados, la Dra. Gisel Peri y el Dr. Pablo Tchilinguirian, por tomarse el tiempo de leer el trabajo con detenimiento y aportar correcciones para enriquecerlo.

Al Dr. Adrián Silva Busso por brindar ayuda e información para el trabajo.

Al Museo Histórico Municipal "Alfredo Enrique Múlgura", a la compañía de agua ABSA, al Basurero municipal de General Belgrano, al Complejo "Termas del Salado" y a la Asociación Civil Convocatoria Ambiental General Belgrano por brindar información. A mis familiares y habitantes de la localidad por aportes valiosos para este trabajo.

A mis jefes y compañeros del DODENAC, por el tiempo y el espacio otorgado para el estudio y por apoyar siempre nuestro crecimiento.

A mis amigos de toda la vida, por tantos años de compañía.

A mis amigos de la facultad, por convertirse en una pequeña familia y por llenar estos años de infinitas anécdotas, risas, felicidad y cariño.

En especial a Karen, por convertirse en mi hermana y por darme la inmensa fortuna de tenerla en mi vida.

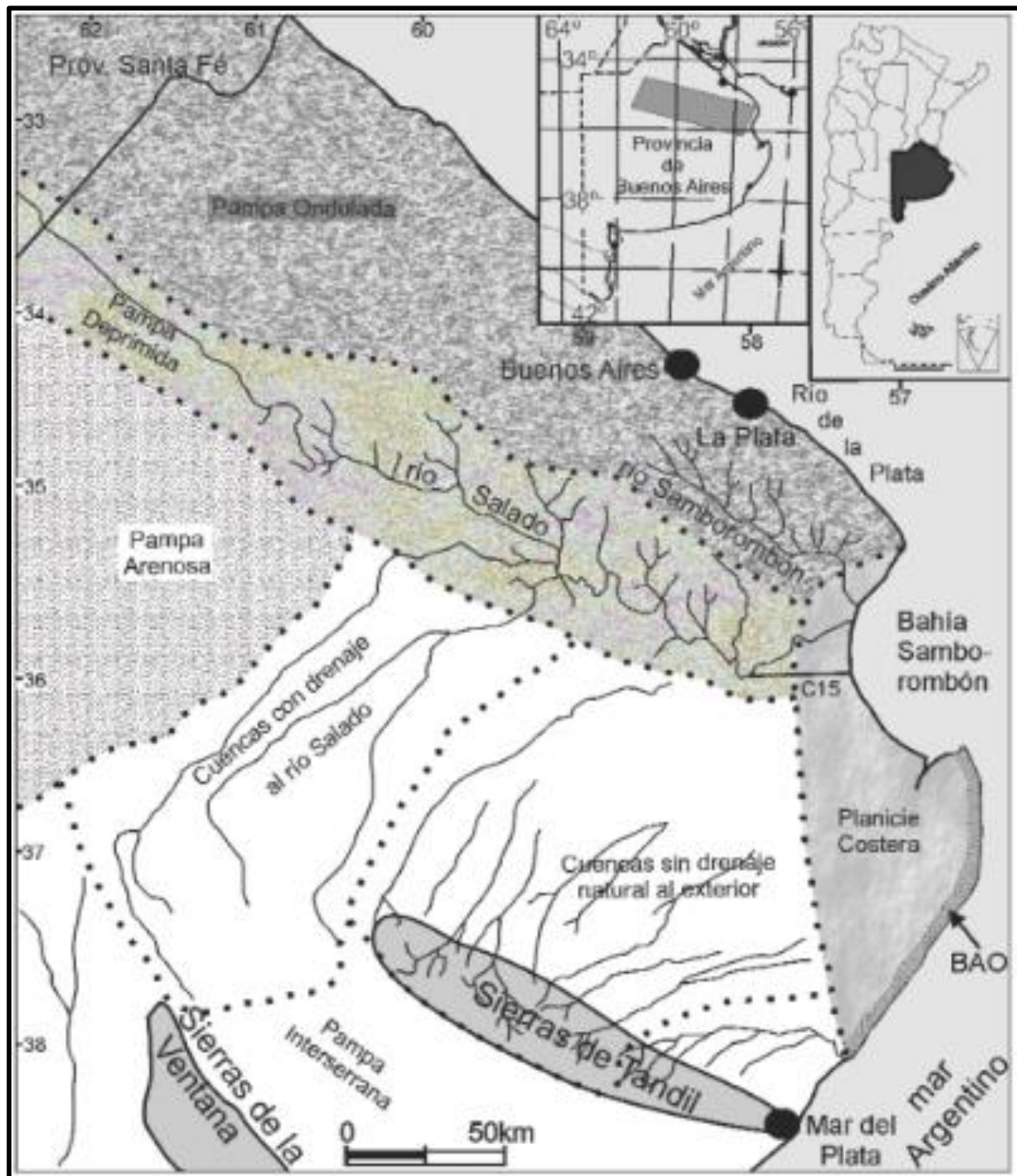
A Tomás, mi novio, por ser tan buen compañero y por transmitir siempre tanta alegría.

Y principalmente, a mi familia, por su incondicionalidad, por haberme dado la oportunidad de realizar esta carrera. Sin su apoyo hubiera sido imposible. Gracias por el acompañamiento y el amor diario e infinito.

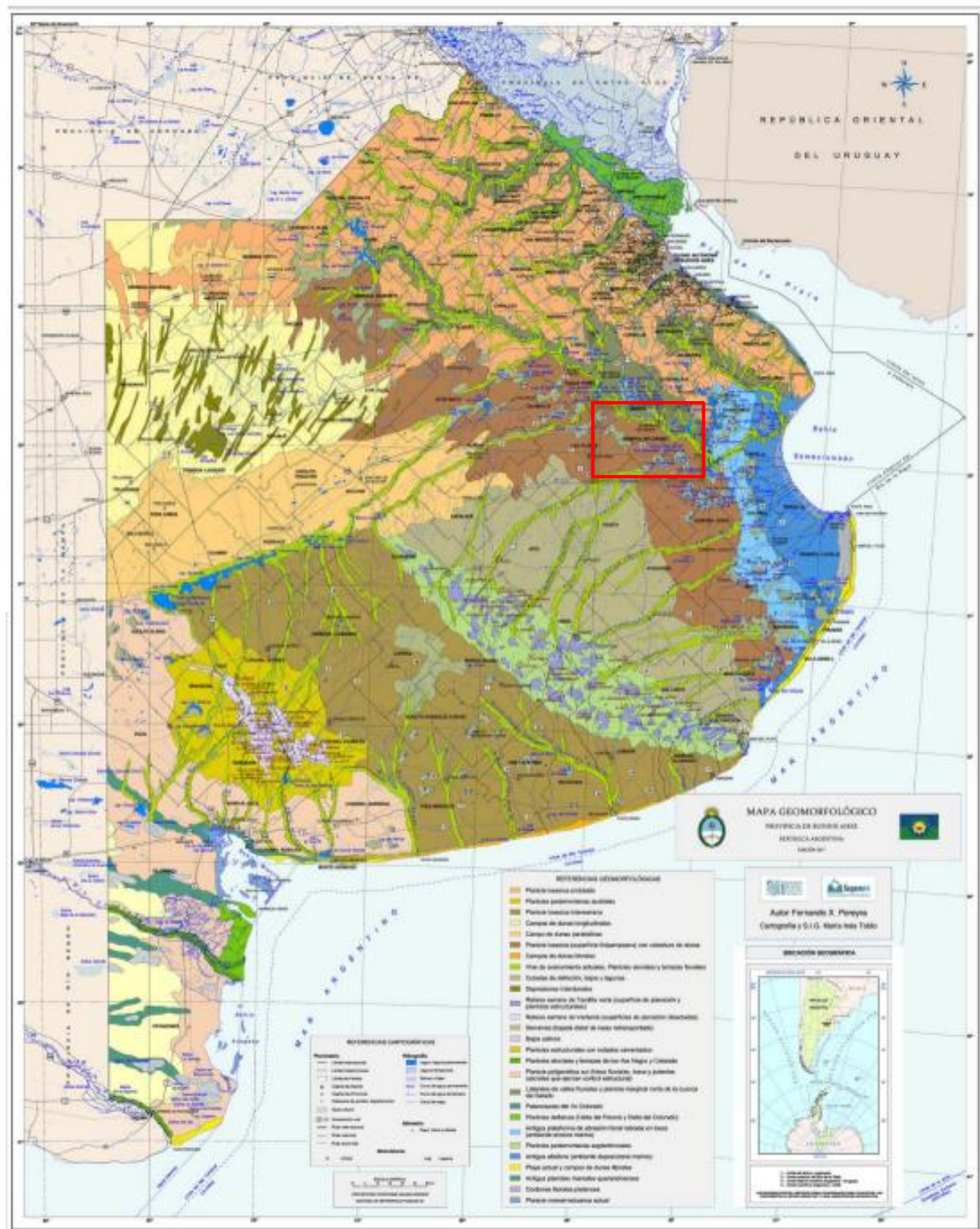
## ANEXO I

### Figuras complementarias

1. Regiones geomorfológicas de la provincia de Buenos Aires, tomado de Fucks et al. (2012).

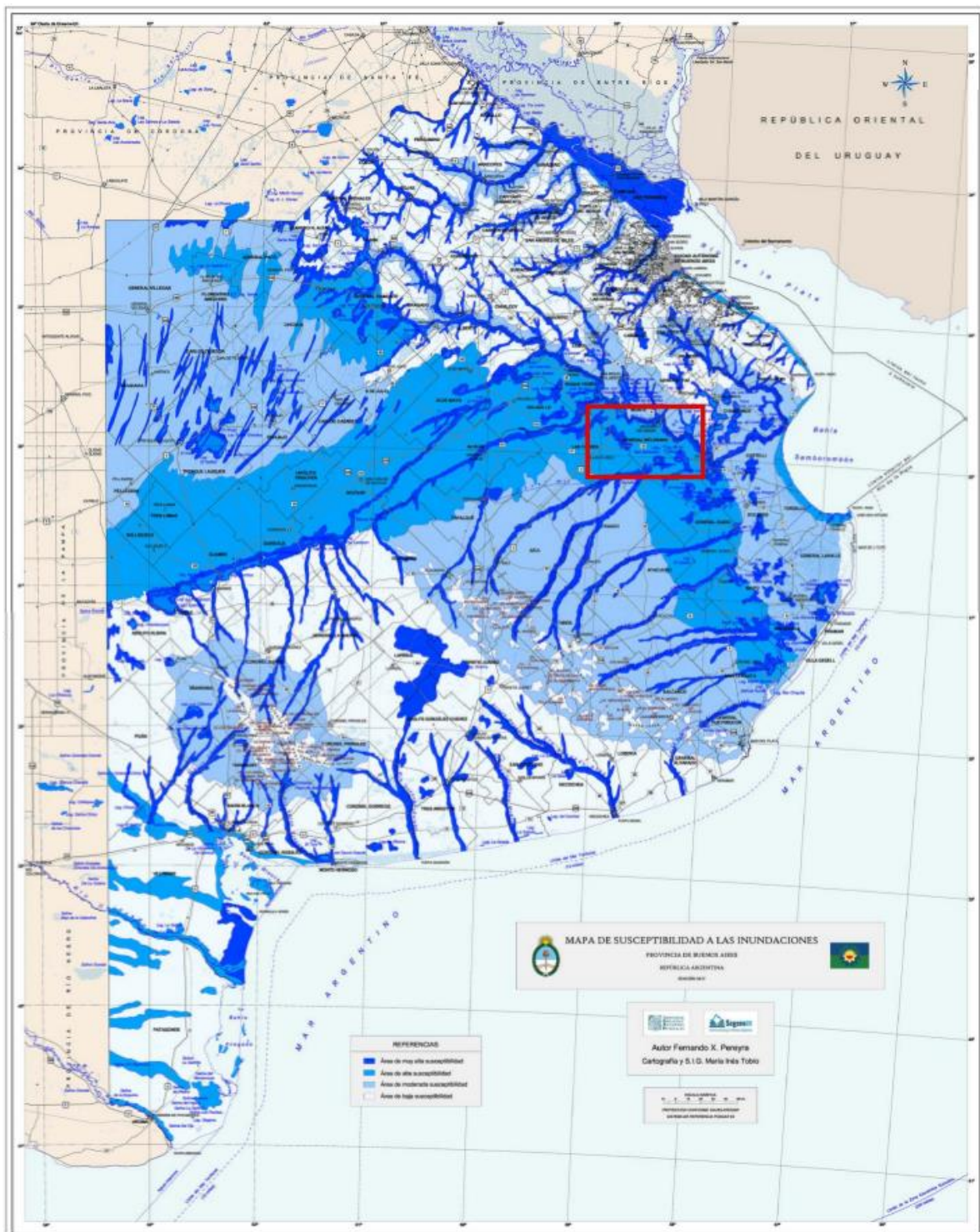


2. Mapa de geomorfológico de la provincia de Buenos Aires, modificado de Pereyra (2018).

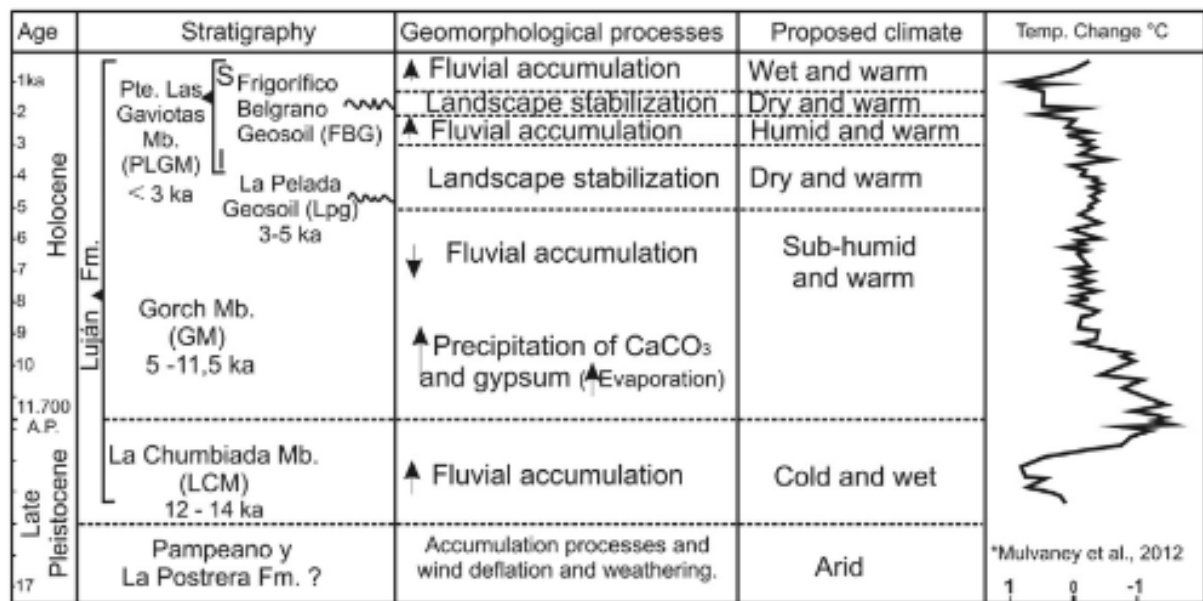




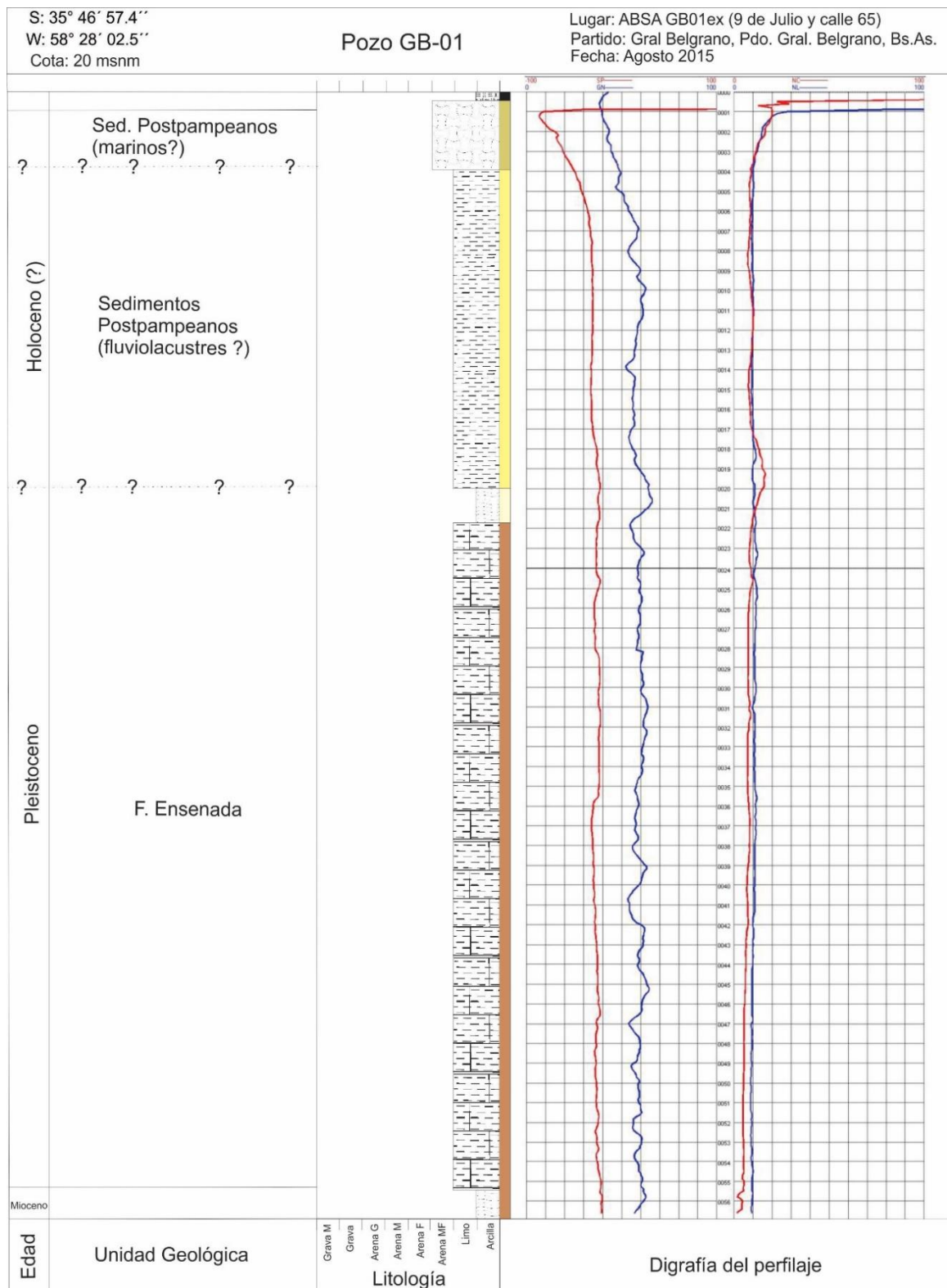
3. Mapa de susceptibilidad a las inundaciones de la provincia de Buenos Aires, modificado de Pereyra (2018).



4. Esquema estratigráfico, geomorfológico y paleoclimático propuesto para el tramo medio e inferior de la cuenca del Salado por Fucks *et al.* (2015).



5. Estudio de pozo en General Belgrano, tomado de Silva Busso (2015).



## ANEXO II

### Metodología



### 1. Relevamiento del perfil topográfico

Se relevó un perfil transversal al río Salado en el sector de muestreo 1 (Figura 1) utilizando una estación total (Figura 2) con el fin de conocer las características morfosedimentarias, topográficas y ecológicas del sistema fluvial en condiciones naturales.



Figura 1: Imagen satelital Landsat/Copernicus del año 2023 (tomada de Google Earth) en la cual se identifica la ubicación del perfil topográfico realizado.





Figura 2: Fotografías sobre la metodología empleada para la confección del perfil topográfico transversal al río.

A) Toma de datos en el sector de la barranca este del río Salado. B) Toma de datos en el cauce del río Salado.

C) Toma de datos en la planicie rocosa del río Salado.

## 2. Relevamiento del perfil sedimentario

Para caracterizar la dinámica sedimentaria holocena del río Salado se relevó un perfil sedimentario de 7,20 metros de espesor en la escarpa de erosión ubicada al noreste del canal

(35°44'24" S; 58°29'37,22" O) donde se reconocieron claramente las unidades aflorantes. (Figura 3).

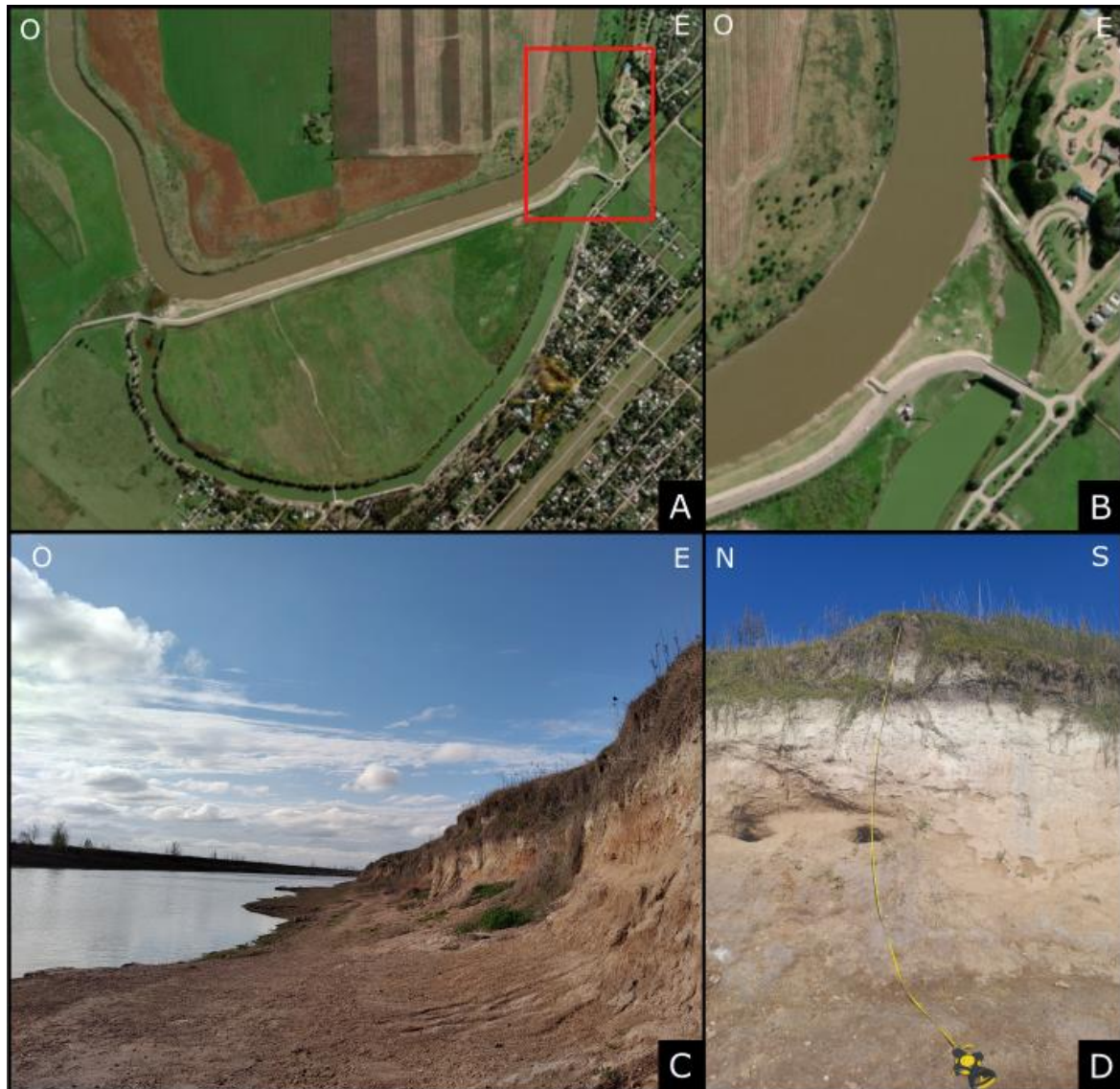


Figura 3: A) Imagen satelital Landsat/Copernicus del año 2023 (tomada de Google Earth) en donde se muestra la ubicación del perfil sedimentario realizado. B) Detalle de la imagen A. C) Fotografía de la escarpa de erosión Este del río Salado sobre la cual afloran las unidades incluidas en el perfil sedimentario. D) Fotografía de la escarpa de erosión vista de frente.

### 3. Muestreo de sedimentos superficiales y extracción de testigos.

Las variaciones en la dinámica sedimentaria reciente de los sedimentos del río Salado se analizaron mediante el muestreo de sedimentos superficiales de fondo de canal y mediante la extracción de muestras testigo de 70 cm de profundidad. Es importante destacar que el espesor natural de estas muestras podría estar reducido por procesos de compactación post-



depositacional, por lo tanto, se considera que las muestras extraídas representan el espesor mínimo original.

Los testigos se extrajeron hincando un tubo de PVC en el sustrato de aproximadamente 10 cm de diámetro, y se les introdujo espuma de poliuretano expandido para generar vacío y no disturbar la muestra (Figura 4). Posteriormente, se almacenaron los testigos en el laboratorio dentro de la heladera para que los sedimentos conserven sus propiedades. Finalmente, se procedió a abrirlos y cortarlos para poder analizar la muestra (Figura 5).

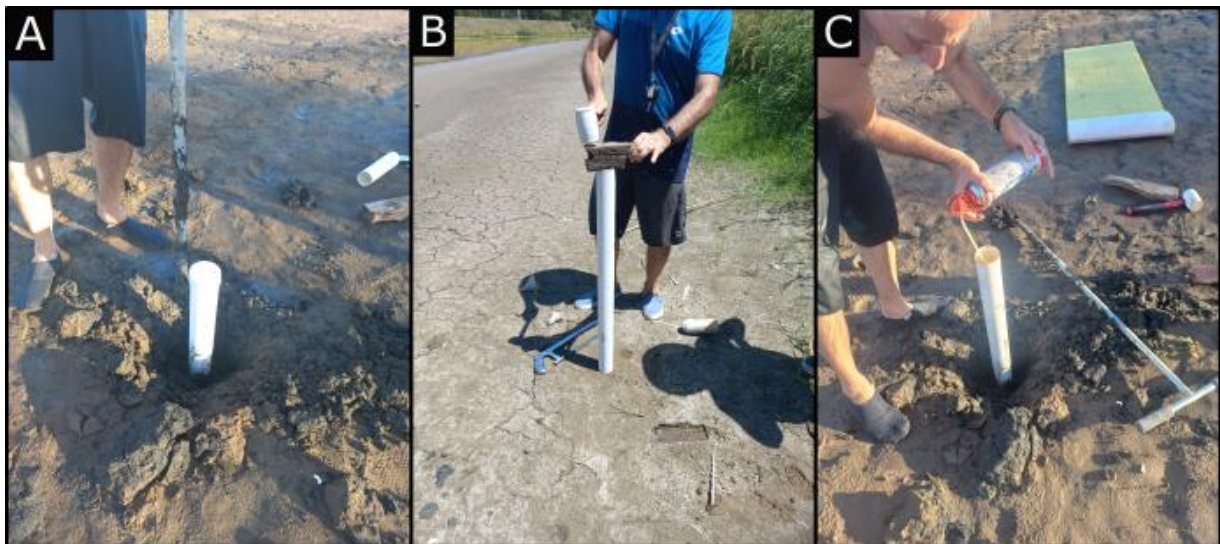


Figura 4: Extracción de testigos en la planicie aluvial del río Salado. A) Sector 1. B) Sector 2. C) Colocación de espuma de poliuretano expandido en la muestra testigo antes de la extracción.



Figura 5: A) Apertura del testigo. B) Procedimiento de corte del testigo.

#### 4. Medición de parámetros físico-químicos.

Se realizaron mediciones de parámetros físico-químicos del agua *in-situ* con un analizador multiparamétrico de la marca HANNA como potencial de hidrógeno (pH), potencial de óxido reducción (ORP), salinidad, total de sólidos disueltos (TSD) y temperatura para conocer las diferencias entre ambos sectores (Figura 6).



Figura 6: Medición de parámetros físicoquímicos. A) Sector 1. B) Sector 2. Notar la diferencia en la coloración del agua entre un sector y el otro.

#### 5. Ensayos de laboratorio.

##### a) Granulometría

El análisis granulométrico se realizó empleando los tamices de 4,75 mm, 2 mm, 0,85 mm, 0,425 mm, 0,3 mm, 0,15 mm, 0,075 mm y 0,063 mm (Anexo III, 1) correspondientes a las siguientes fracciones: gravas (mayores a 2mm), arenas (entre 2mm y 0,063mm) y fango (menores a 0,063mm), según la escala granulométrica de Udden-Wentworth. Posteriormente, se las clasificó según Blott y Pye (2012).

*Procedimiento*

1. Se secan las muestras durante 24 hs en un horno a 60°C.
2. Se registra el peso de las muestras antes y después del secado, con el fin de obtener la humedad natural de las mismas.
3. Se desagregan las muestras con un mortero de madera, con cuidado de no romper material y cambiar la granulometría (Figura 7 A).
4. Se humedecen las muestras con agua para desagregar mejor las partículas y se les agrega una solución antifloculante compuesta de 20 ml de agua + 1 gramo de sodio hexametáfosfato (se coloca 1 gramo cada 20 ml) y se lo deja actuar durante 24 hs (Figura 7 B).
5. Se apilan los siguientes tamices: 4.75 mm, 2 mm, 0.85 mm, 0.425 mm, 0.3 mm, 0.15 mm, 0.075 mm, 0.063 mm (Figura 7 C). Se registra el peso de cada uno vacío. Se coloca la muestra y con la ayuda de agua se lava cada tamiz logrando que los sedimentos de tamaño menor al tamiz pasen por los mismos, y los de tamaño mayor queden retenidos en cada uno de ellos. Debajo de la pila de tamices se coloca una bandeja para coleccionar las partículas menores al tamiz de 0.063 mm, correspondientes a los limos y arcillas que, como no pueden ser separados mecánicamente, se los reserva para realizarles el ensayo de límites de Atterberg y así poder determinar la predominancia de uno u otro en dicha porción.
6. Se pone a secar cada tamiz y una vez secos se registra el peso del tamiz + muestra retenida en cada uno.
7. Con los datos obtenidos se realiza la curva granulométrica y se obtienen los porcentajes de la muestra que corresponden a tamaños de gravas, arenas, o finos (limo y arcillas).





Figura 7: Metodología utilizada para el ensayo de granulometría. A) Proceso de desagregación de muestras con mortero de madera. B) Solución antifloculante sodio hexametáfosfato. C) Tamices utilizados para la separación mecánica de las partículas según su tamaño.

#### b) Límites de Atterberg

Se realizaron los ensayos de límites de Atterberg, para conocer el índice de plasticidad y determinar el contenido de limo o arcilla de la fracción fangosa.

La plasticidad es una propiedad única de los sedimentos cohesivos (limos y arcillas). El índice de plasticidad se define como el rango de contenido de agua en el que un suelo se comporta plásticamente, es decir, es el intervalo de humedades desde el estado semisólido a semilíquido (Albert Atterberg, 1911) (Figura 8), y se utiliza para estimar si la porción fina de una muestra se compone mayormente por partículas de tamaño limo o arcilla, donde:

- Limoso: material de grano fino que tiene un índice de plasticidad de 10 o menos.
- Arcilloso: material de grano fino que tiene un índice de plasticidad de 11 o más.

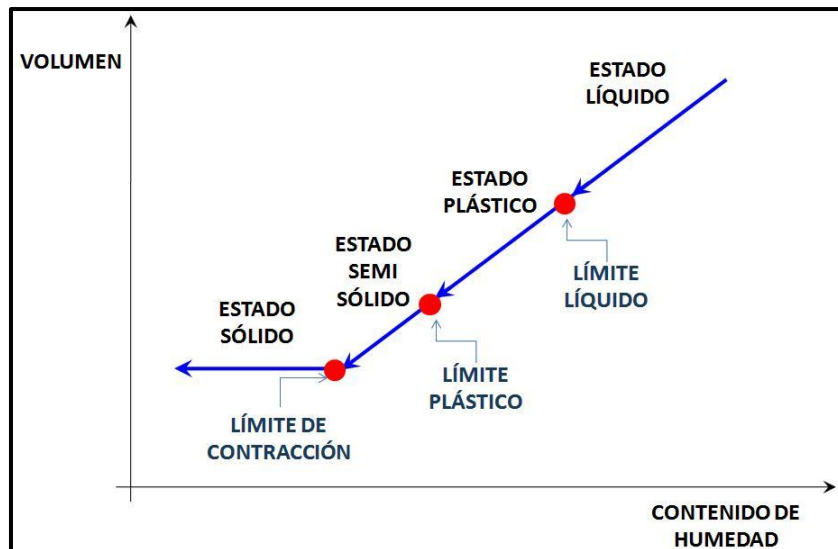


Figura 8: Estados del suelo según el contenido de humedad y los límites de Atterberg que existen entre cada uno.

Este índice se calcula mediante la resta del límite líquido y el límite plástico, para lo cual se deben realizar los correspondientes ensayos según la norma ASTM D4318-00 (2000). Estos se realizaron únicamente para las muestras del sector 1, ya que las del sector 2 presentaban un mayor contenido de materia orgánica, la cual le quita las propiedades plásticas a los sedimentos. Para la realización de los mismos se utilizan materiales específicos (Figura 9):

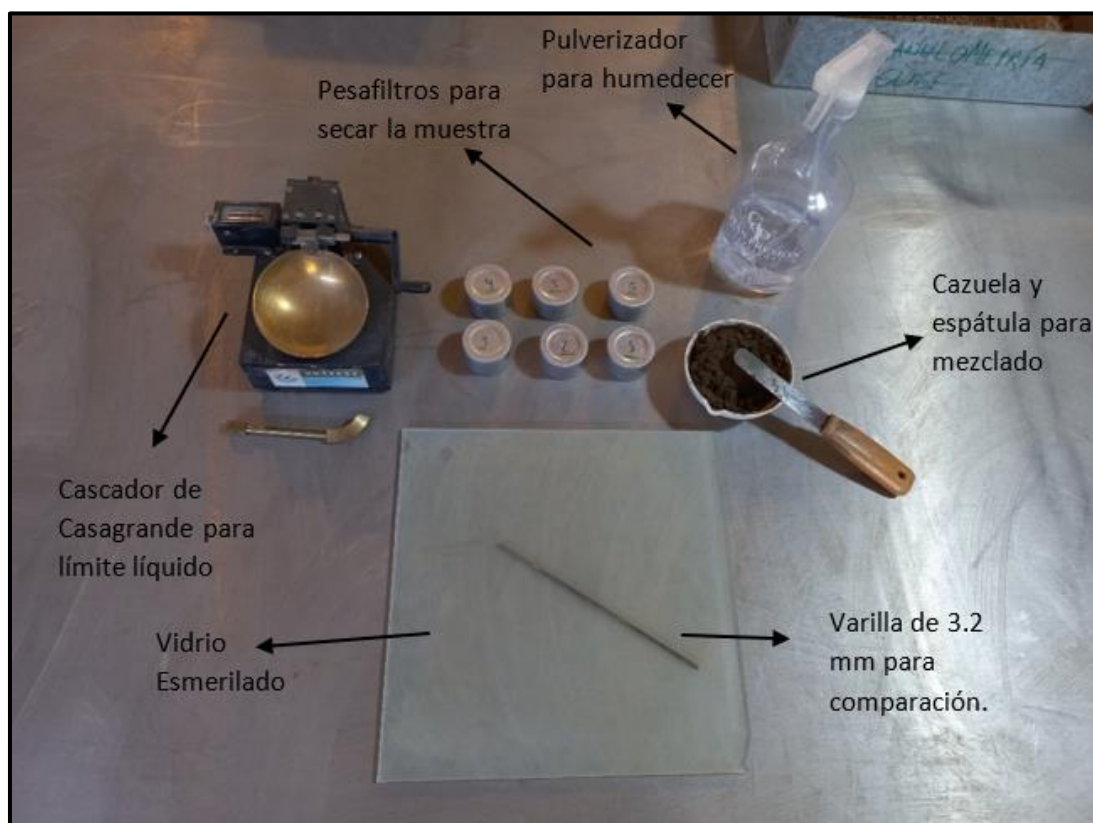


Figura 9: Elementos de laboratorio para los ensayos de límite plástico y límite líquido.

### Límite plástico

Los suelos finos, ante cierto porcentaje de humedad adquieren propiedades plásticas. Para conocer el contenido de humedad tal que un suelo pierde dichas propiedades, es decir, que pase del estado plástico a semisólido, lo que se debe hacer es humedecer una muestra hasta su estado plástico y luego secarla hasta que comience a resquebrajarse (estado semisólido). Luego, se calcula el porcentaje de humedad que presentaba en ese momento (Anexo III, 2).

### *Procedimiento*

1. Se seca la muestra en el horno a 60°C y se la pulveriza con un mortero. Luego, se utiliza la porción de muestra que pasa por el tamiz de 0,425 mm y se seleccionan aproximadamente 100 gramos.
2. Se coloca la muestra en una cazuela, se la humedece con un pulverizador y se la mezcla con una espátula metálica hasta que adquirió una propiedad tal que pueda enrollarse sin pegarse a las manos (propiedades plásticas).
3. Se selecciona una porción de aproximadamente 2 gramos y se la hace rodar sobre un vidrio esmerilado con propiedades secantes con la palma de la mano o los dedos, hasta que se forme un hilo de 3,2 mm de diámetro en toda su longitud (Figura 10). El enrollado debe hacerse a una velocidad de 90 golpes por minuto, y no se debe tardar más de 2 minutos.
4. Cuando se logra el diámetro mencionado, se juntan las porciones en una masa y se repite en procedimiento hasta que el hilo se resquebraje.
5. En esa instancia, se juntan las porciones y se las coloca en un recipiente denominado pesafiltro.
6. Para conocer la humedad de la muestra en ese punto, se la pesa junto con el recipiente denominado pesafiltro (masa húmeda + recipiente) y se la pone a secar. Una vez seca, se registra la masa del recipiente + la muestra seca y se realiza la siguiente ecuación (ec. 1):

Humedad:

$$H\% = \frac{(Ph - Ps) * 100}{Ps - Pv} \quad (\text{ec. 1})$$

Donde:

- Ph= Peso del pesafiltro más la porción pasta de suelo húmedo.
- Ps= Peso del pesafiltro más el suelo seco.

- $P_v$  = Peso del pesafiltro vacío.

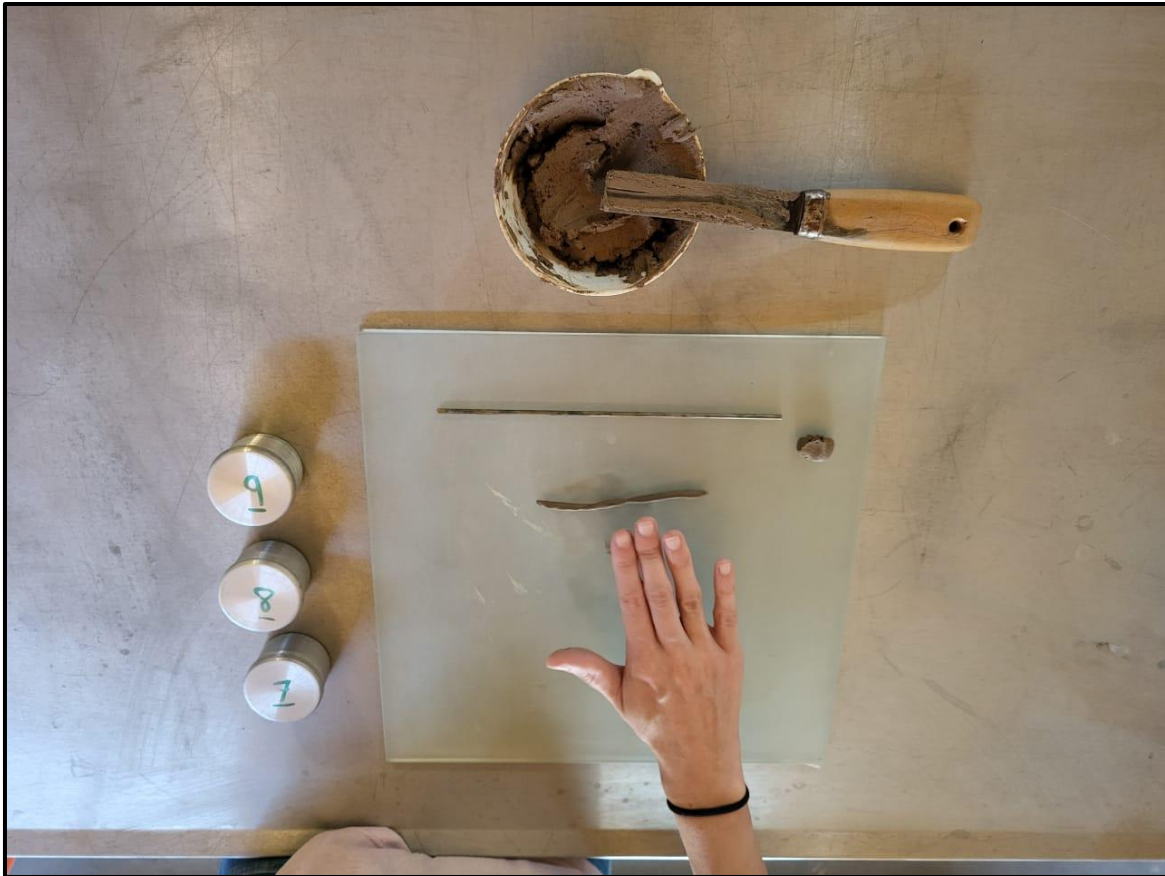


Figura 10: Fotografía del proceso de realización del ensayo límite plástico.

El procedimiento mencionado se repite una cantidad de tres veces. El límite plástico de la muestra finalmente corresponde al promedio de las humedades de las tres porciones de muestra ensayadas.

### Límite Líquido

Para conocer el contenido de humedad en el cual una muestra pasa del estado plástico al líquido se realiza el ensayo de límite líquido. Para ello, se colca muestra en el dispositivo denominado cascador de Casagrande, en donde se le hace una ranura en el centro. El dispositivo cuenta con una manivela que hará que se eleve 1 cm y caiga, es decir, que la muestra sufrirá golpes que la harán fluir. Cuánto más líquida esté la muestra, más rápido fluirá, es decir, que necesitará menos cantidad de golpes. En cambio, una muestra con poco contenido de agua será más viscosa, y necesitará una gran cantidad de golpes para poder fluir una cierta distancia. Por definición, el límite líquido es la humedad necesaria para que la ranura se cierre a los 25 golpes (Anexo III, 2).



*Procedimiento*

1. Se seca la muestra en el horno a 60°C y se la pulveriza con un mortero. Luego, se utiliza la porción de muestra que pasa por el tamiz de 0,425 mm y se seleccionan aproximadamente 100 gramos.
2. Se humedece la muestra con una cantidad de agua moderadamente mayor a la que se empleó para el ensayo de límite plástico.
3. Se coloca una porción de muestra en la taza del dispositivo de Casagrande y se esparce de manera tal que la superficie quede horizontal. Luego, se realiza una ranura en el centro (Figura 11).
4. Se gira la manivela del cascador de Casagrande a una velocidad de 1,9 a 2,1 golpes por segundo, lo cual hará elevar la taza 1 cm y dejarla caer, produciendo golpes que harán que se cierre progresivamente la ranura realizada anteriormente. Se debe girar hasta que la ranura se cierra 13 mm (Figura 12).
5. En este punto, se registra la cantidad de golpes que fueron necesarios para lograr que la ranura se cierre 13 mm y con una espátula se recoge la parte central de la muestra.
6. Se coloca esa porción de muestra en un pesafiltro y se registra su masa.
7. Se recoge la muestra que quedó en el cascador y se le agrega agua destilada para repetir el ensayo, buscando que cada vez se necesite una menor cantidad de golpes para que la ranura se cierre 13 mm (inicialmente, la ranura debe cerrarse entre 25 a 35 golpes. Posteriormente, se debe agregar un poco más de agua, y repetir el procedimiento, hasta que la ranura se cierre entre 20 y 30 golpes. A continuación, se debe agregar más agua hasta que la ranura se cierre entre 15 a 25 golpes).
8. Una vez obtenidas las 3 muestras correspondientes cada una a la cantidad de golpes mencionada en el punto anterior, se las pone a secar en un horno a 60°C y una vez secas, se registra su masa. Una vez secas, se calcula la humedad al igual que en el ensayo de límite plástico.



Figura 11: Ensayo de límite líquido donde se puede ver la muestra colocada en la taza del cascador de Casagrande y la ranura realizada.



Figura 12: Ensayo para determinar el límite líquido donde se ve el cierre de 13 mm de la ranura.

Como se mencionó anteriormente, el límite líquido corresponde a la humedad necesaria para que la ranura de la muestra se cierre una distancia de 13 mm luego de sufrir 25 golpes. Como es experimentalmente costoso lograr humedecer esa cantidad justa, se hacen distintos puntos de humedad en función del número de golpes y se resuelve gráficamente considerando que existe una relación lineal entre ambas variables. Con la interpolación entonces se obtiene el punto de humedad que corresponde a los 25 golpes.

c) Humedad natural

Con el fin de conocer la humedad natural de las muestras se calculó el porcentaje en peso de agua que contenían las mismas. En este caso, se analizaron únicamente las muestras tomadas en el lecho del río ya que son las que se encuentran sumergidas. Para ello, se guardaron herméticamente y luego en laboratorio se midió su masa en una balanza antes y después de secarlas en un horno y se calculó la diferencia (Anexo III, 3).

d) *Loss of Ignition*

El ensayo denominado *Loss of Ignition* tiene como finalidad conocer el porcentaje en peso de materia orgánica que contiene una muestra de sedimento. En primer lugar, se retira la humedad que contiene la muestra y, una vez seca, se retira la materia orgánica de la misma. Esto se hace en dos partes ya que de otra manera no se podría conocer cuál porcentaje corresponde al de humedad y cuál al de materia orgánica. Para llevarlo a cabo se utiliza una balanza de precisión de tres decimales, crisoles de porcelana, guantes térmicos, estufa de secado, mufla, pinzas y bandejas (Anexo III, 4).

*Procedimiento*

1. Se pesan los crisoles limpios, vacíos y secos en una estufa a 100°C durante 10 minutos, luego se quitan con pinzas y guantes térmicos, y luego de un minuto se colocan en la balanza de precisión para registrar su masa.
2. Se colocan aproximadamente entre 2 a 3 gramos de muestra húmeda en cada crisol y se registra su masa junto con el horario en el que se tomó la medición.
3. Se secan las muestras en estufa a 70°C (usualmente hasta 6 horas dependiendo de la humedad de la muestra), hasta que cada crisol alcance un peso constante (Figura 13A). Es decir, que se debe dejar en estufa por 3 horas, retirar y pesar (registrar en la planilla), colocar nuevamente en la estufa por 1 hora, retirar y pesar. Si ambos pesos son diferentes volver a dejar en estufa por 1 hora, retirar y pesar.

Se continúa con este procedimiento hasta que cada crisol alcance un peso constante. Se registran los pesos (Figura 13 B) y tiempos en la planilla.

4. Una vez finalizado el paso anterior, se colocan los crisoles en el desecador (Figura 13 C) durante toda una noche. Al día siguiente, se colocan los crisoles en la mufla a 550°C durante 6 horas (Figura 13 D).
5. Se reduce la temperatura de la mufla a 100°C y cuando logre esa temperatura se retiran los crisoles, y se los ubica con pinzas y guantes térmicos en el desecador hasta que se puedan manipular con las manos. Luego se registra su masa.
6. Se colocan los crisoles dentro de la estufa de secado a 100°C durante una hora y se registra su masa. En caso de que las mediciones hayan dado iguales, se concluye el ensayo. Si las mediciones dieron valores diferentes, se colocan nuevamente los crisoles en la estufa y se los deja una hora más en la estufa.
7. Se repite este procedimiento hasta que dos mediciones consecutivas den el mismo valor.
8. Una vez que se logró el peso constante, se registra ese valor obtenido como el peso de la muestra sin materia orgánica (Figura 13 E) y se procede a calcular el porcentaje en peso de materia orgánica que contenía la muestra original.





Figura 13: Procedimiento para realizar el ensayo *Loss of Ignition*. A) Estufa de secado. B) Balanza de precisión. C) Crisoles colocados en el desecador. D) Mufla. E) Muestra sin materia orgánica luego de finalizar el ensayo.

## ANEXO III

### Resultados de los ensayos de laboratorio

1. Granulometría

Muestra: 1

M1	
Peso inicial (g)	172,6

Tamiz mm	N° de Tamiz	Peso Tamiz gr	Muestra 1		Retenido	Pasante acumulado	Retenido acumulado
			Muestra + Tamiz gr	Muestra gr			
4,75	4	507,29	515,80	8,51	5,01%	94,99%	5,01%
2	10	440,05	442,11	2,06	1,21%	93,78%	6,22%
0,85	20	420,18	421,54	1,36	0,80%	92,98%	7,02%
0,425	40	404,99	409,97	4,98	2,93%	90,05%	9,95%
0,3	50	387,02	388,42	1,40	0,82%	89,23%	10,77%
0,15	100	368,30	368,81	0,51	0,30%	88,93%	11,07%
0,075	200	349,72	364,91	15,19	8,94%	79,99%	20,01%
0,063	230	231,23	239,33	8,10	4,77%	75,23%	24,77%
0,001	B29	4198,00	4325,87	127,87	75,23%	0,00%	100,00%
Peso total de la muestra (gr)				169,98			
				Diferencia	2,62		

Tabla 1: Detalle de las anotaciones correspondientes para en análisis granulométrico de la muestra 1.

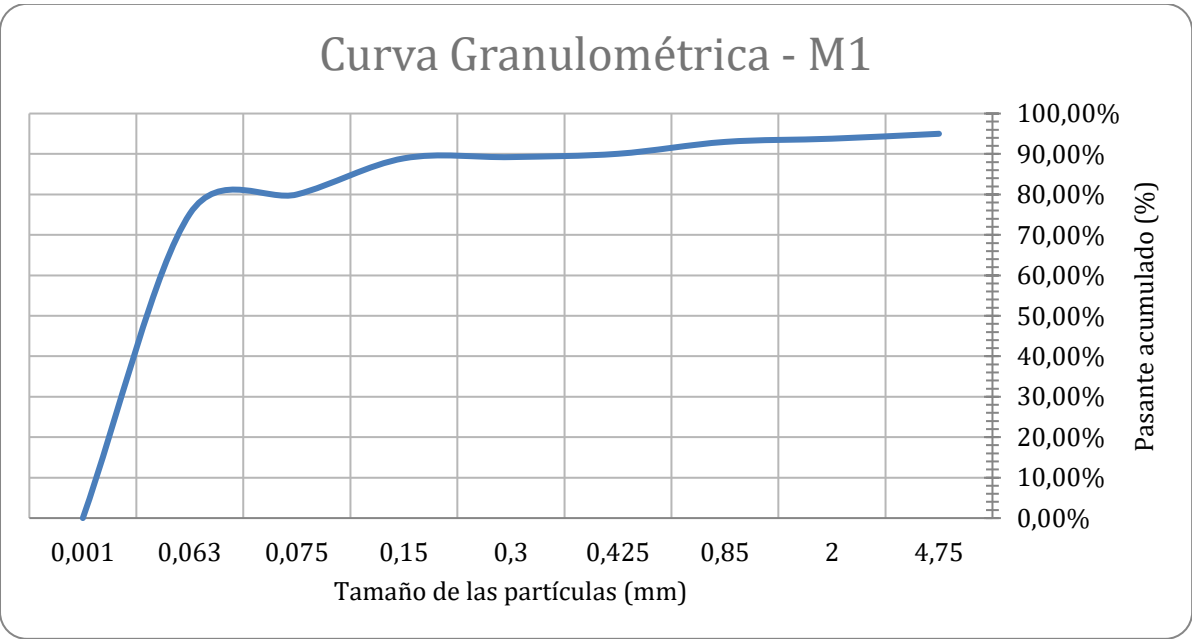


Figura 1: Curva granulométrica para la muestra 1.

Muestra: 2

M2	
Peso inicial (g)	169,5

Tamiz	N° de Tamiz	Peso Tamiz gr	Muestra 2		Retenido	Pasante acumulado	Retenido acumulado
			Muestra + Tamiz gr	Muestra gr			
4,75	4	504,20	533,85	29,65	17,59%	82,41%	17,59%
2	10	437,40	443,25	5,85	3,47%	78,93%	21,07%
0,85	20	418,10	420,93	2,83	1,68%	77,25%	22,75%
0,425	40	404,74	405,06	0,32	0,19%	77,07%	22,93%
0,3	50	387,09	387,78	0,69	0,41%	76,66%	23,34%
0,15	100	367,41	370,41	3,00	1,78%	74,88%	25,12%
0,075	200	348,99	357,56	8,57	5,09%	69,79%	30,21%
0,063	230	231,41	239,02	7,61	4,52%	65,27%	34,73%
0,001	B29			110,00	65,27%	0,00%	100,00%
Peso total de la muestra (gr)				168,52			
Diferencia				0,98			

Tabla 2: Detalle de las anotaciones correspondientes para en análisis granulométrico de la muestra 2.

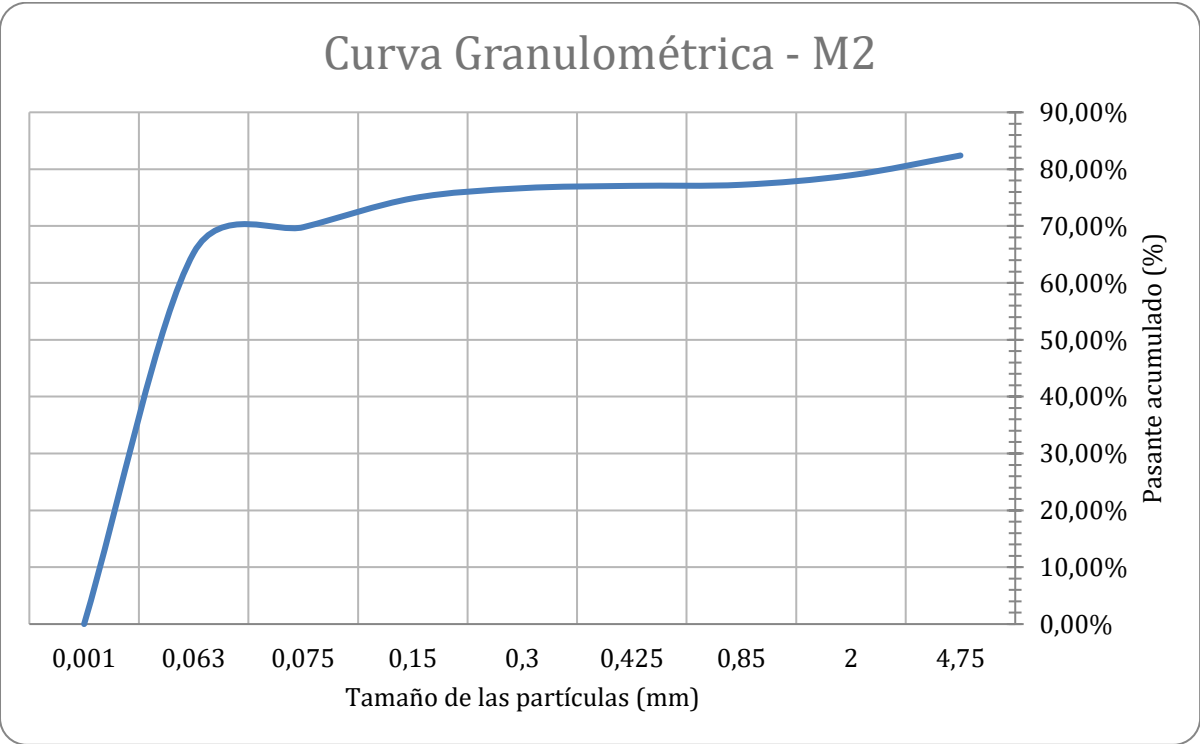


Figura 2: Curva granulométrica para la muestra 2.

Muestra: 3

M3	
Peso inicial (g)	190,7

Tamiz mm	N° de Tamiz	Peso Tamiz gr	Muestra 3		Retenido	Pasante acumulado	Retenido acumulado
			Muestra + Tamiz gr	Muestra gr			
4,75	4	504,17	509,02	4,85	2,55%	97,45%	2,55%
2	10	437,19	440,71	3,52	1,85%	95,60%	4,40%
0,85	20	418,03	419,70	1,67	0,88%	94,73%	5,27%
0,425	40	404,21	404,67	0,46	0,24%	94,49%	5,51%
0,3	50	387,08	389,62	2,54	1,33%	93,15%	6,85%
0,15	100	367,38	370,96	3,58	1,88%	91,27%	8,73%
0,075	200	348,47	376,99	28,52	14,98%	76,29%	23,71%
0,063	230	232,31	245,05	12,74	6,69%	69,60%	30,40%
0,001	B29		132,52	132,52	69,60%	0,00%	100,00%
Peso total de la muestra (gr)				190,40			
				Diferencia	0,30		

Tabla 3: Detalle de las anotaciones correspondientes para en análisis granulométrico de la muestra 3.

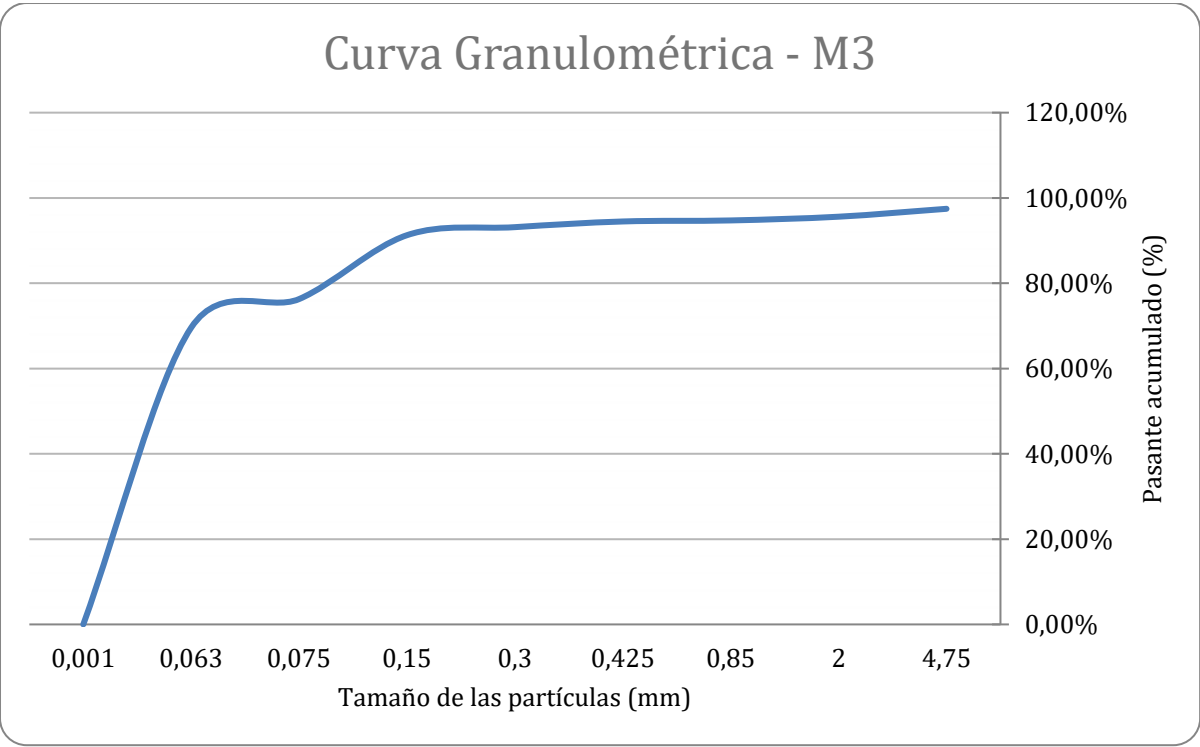


Figura 3: Curva granulométrica para la muestra 3.



Muestra: 4

M4	
Peso inicial (g)	188,38

Tamiz	N° de Tamiz	Peso Tamiz gr	Muestra 4		Retenido	Pasante acumulado	Retenido acumulado
			Muestra + Tamiz gr	Muestra gr			
4,75	4	504,16	504,16	0,00	0,00%	100,00%	0,00%
2	10	437,17	437,17	0,00	0,00%	100,00%	0,00%
0,85	20	418,01	418,07	0,06	0,03%	99,97%	0,03%
0,425	40	404,17	404,42	0,25	0,13%	99,84%	0,16%
0,3	50	387,11	390,15	3,04	1,61%	98,22%	1,78%
0,15	100	367,35	388,41	21,06	11,18%	87,04%	12,96%
0,075	200	348,41	409,55	61,14	32,47%	54,57%	45,43%
0,063	230	231,99	238,42	6,43	3,41%	51,16%	48,84%
0,001	B29		96,34	96,34	51,16%	0,00%	100,00%
Peso total de la muestra (gr)				188,32			
				Diferencia	0,06		

Tabla 4: Detalle de las anotaciones correspondientes para en análisis granulométrico de la muestra M4.

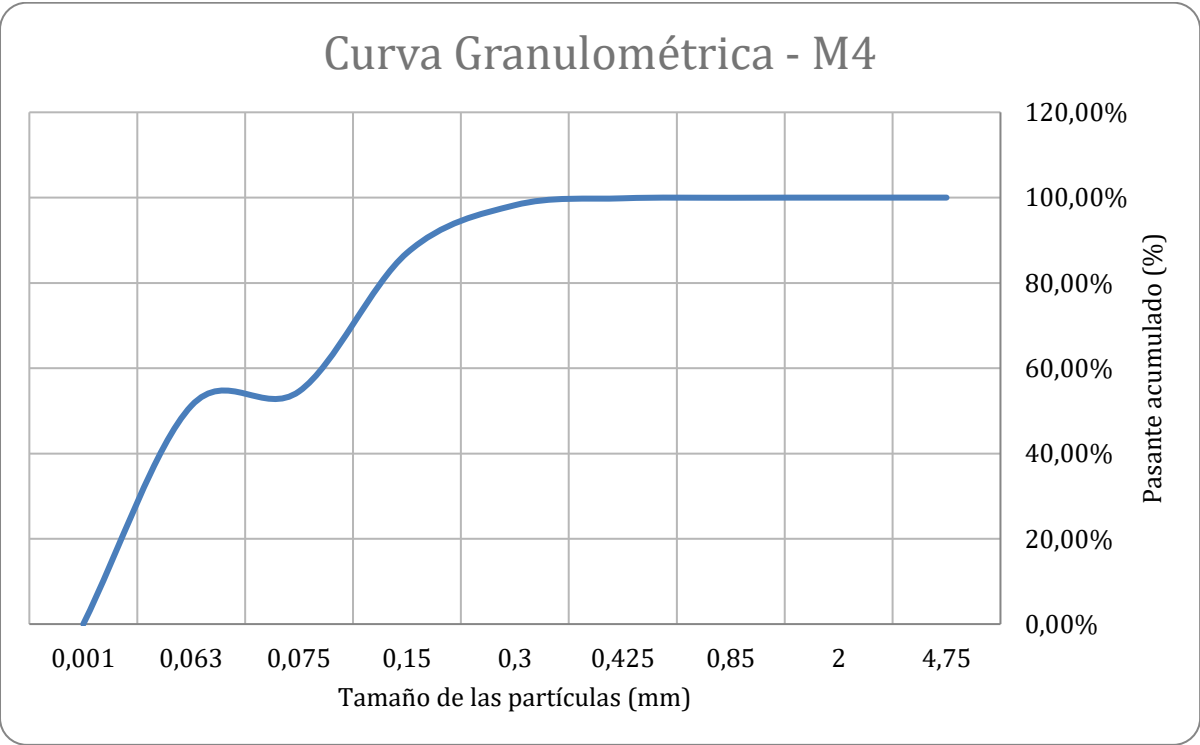


Figura 4: Curva granulométrica para la muestra 4.

Muestra: T1a

MT1a	
Peso inicial (g)	191,58

Tamiz	N° de Tamiz	Peso Tamiz gr	Muestra T1a		Retenido	Pasante acumulado	Retenido acumulado
			Muestra + Tamiz gr	Muestra gr			
4,75	4	504,09	504,09	0,00	0,00%	100,00%	0,00%
2	10	436,65	436,65	0,00	0,00%	100,00%	0,00%
0,85	20	417,80	417,97	0,17	0,09%	99,91%	0,09%
0,425	40	404,92	405,31	0,39	0,21%	99,70%	0,30%
0,3	50	387,83	390,86	3,03	1,60%	98,10%	1,90%
0,15	100	368,23	391,16	22,93	12,14%	85,96%	14,04%
0,075	200	349,16	432,35	83,19	44,03%	41,93%	58,07%
0,063	230	231,73	236,64	4,91	2,60%	39,34%	60,66%
0,001	B29		74,32	74,32	39,34%	0,00%	100,00%
Peso total de la muestra (gr)				188,94			
Diferencia				2,64			

Tabla 5: Detalle de las anotaciones correspondientes para en análisis granulométrico de la muestra T1a.

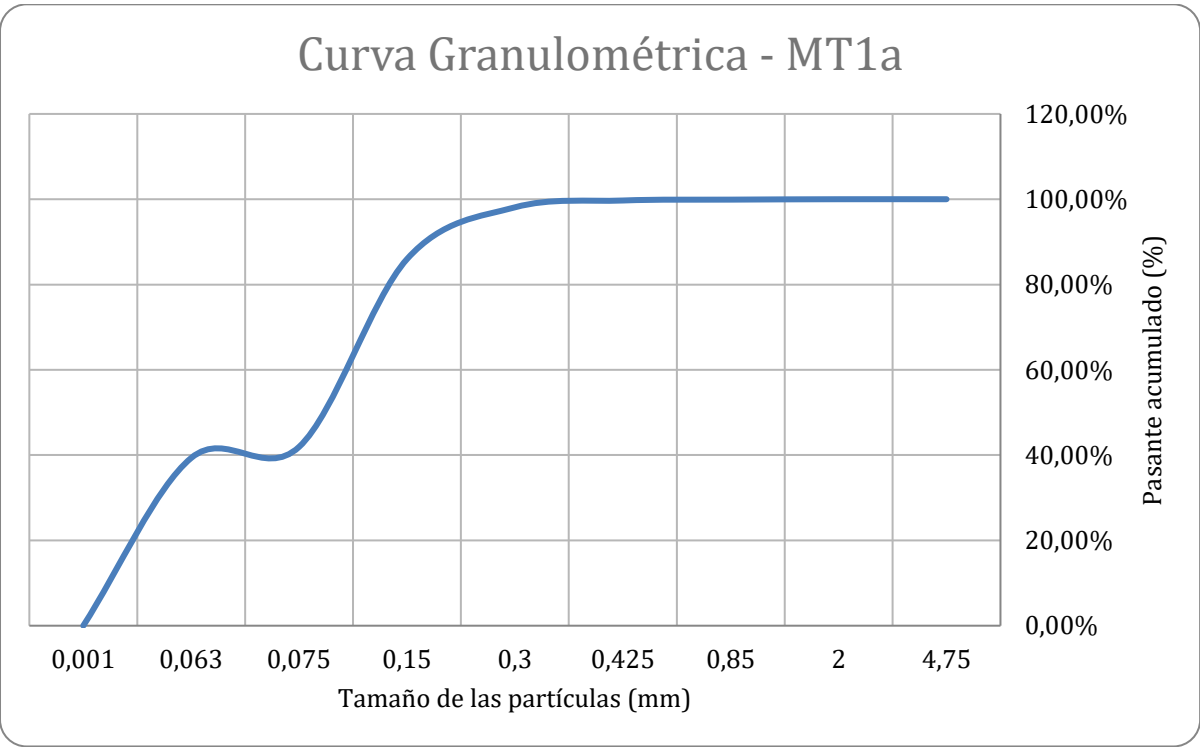


Figura 5: Curva granulométrica para la muestra T1a.

Muestra: T1b

MT1b	
Peso inicial (g)	196,53

Tamiz	N° de Tamiz	Peso Tamiz	Muestra T1b		Retenido	Pasante acumulado	Retenido acumulado
			Muestra + Tamiz	Muestra			
mm		gr	gr	gr			
4,75	4	504,08	504,09	0,01	0,01%	99,99%	0,01%
2	10	436,64	437,37	0,73	0,37%	99,62%	0,38%
0,85	20	417,78	420,60	2,82	1,44%	98,18%	1,82%
0,425	40	404,05	408,84	4,79	2,44%	95,74%	4,26%
0,3	50	389,82	393,24	3,42	1,74%	93,99%	6,01%
0,15	100	370,33	430,75	60,42	30,83%	63,17%	36,83%
0,075	200	349,72	383,51	33,79	17,24%	45,93%	54,07%
0,063	230	232,04	239,02	6,98	3,56%	42,36%	57,64%
0,001	B29		83,03	83,03	42,36%	0,00%	100,00%
Peso total de la muestra (gr)				195,99			
				Diferencia	0,54		

Tabla 6: Detalle de las anotaciones correspondientes para en análisis granulométrico de la muestra T1b.

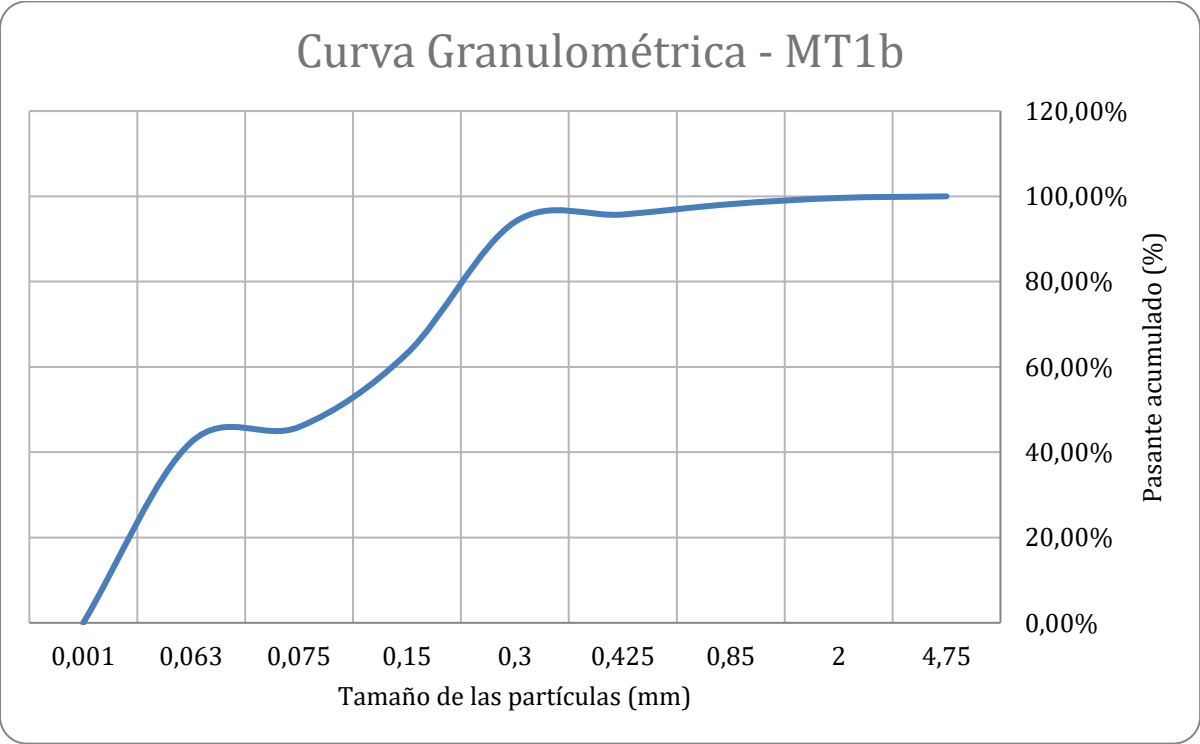


Figura 6: Curva granulométrica para la muestra T1b.

Muestra: T1c

MT1c	
Peso inicial (g)	186,83

Tamiz	N° de Tamiz	Peso Tamiz	Muestra T1c		Retenido	Pasante acumulado	Retenido acumulado
			Muestra + Tamiz	Muestra			
mm		gr	gr	gr			
4,75	4	503,94	530,40	26,46	14,22%	85,78%	14,22%
2	10	436,62	466,68	30,06	16,16%	69,62%	30,38%
0,85	20	417,79	434,83	17,04	9,16%	60,47%	39,53%
0,425	40	403,94	409,86	5,92	3,18%	57,28%	42,72%
0,3	50	391,24	393,11	1,87	1,00%	56,28%	43,72%
0,15	100	371,14	388,59	17,45	9,38%	46,90%	53,10%
0,075	200	351,32	370,87	19,55	10,51%	36,39%	63,61%
0,063	230	232,00	237,03	5,03	2,70%	33,69%	66,31%
0,001	B29		62,69	62,69	33,69%	0,00%	100,00%
Peso total de la muestra (gr)				186,07			
				Diferencia	0,76		

Tabla 7: Detalle de las anotaciones correspondientes para en análisis granulométrico de la muestra T1c.

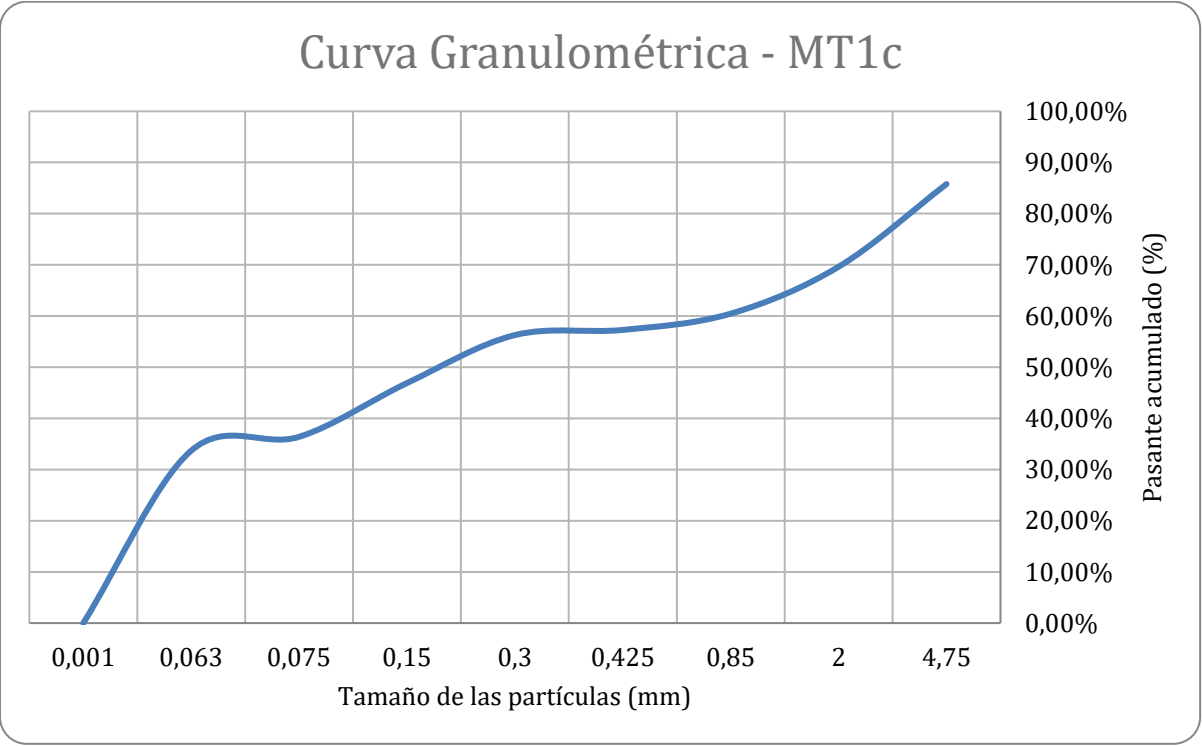


Figura 7: Curva granulométrica para la muestra T1c.

Muestra: T1d

MT1d	
Peso inicial (g)	153,76

Tamiz	N° de Tamiz	Peso Tamiz	Muestra T1d		Retenido	Pasante acumulado	Retenido acumulado
			Muestra + Tamiz	Muestra			
mm		gr	gr	gr			
4,75	4	503,94	530,03	26,09	17,15%	82,85%	17,15%
2	10	436,69	466,06	29,37	19,30%	63,55%	36,45%
0,85	20	417,81	433,71	15,90	10,45%	53,11%	46,89%
0,425	40	403,73	408,32	4,59	3,02%	50,09%	49,91%
0,3	50	387,26	389,07	1,81	1,19%	48,90%	51,10%
0,15	100	367,77	377,79	10,02	6,58%	42,31%	57,69%
0,075	200	348,50	360,57	12,07	7,93%	34,38%	65,62%
0,063	230	231,67	235,99	4,32	2,84%	31,54%	68,46%
0,001	B29		48,00	48,00	31,54%	0,00%	100,00%
Peso total de la muestra (gr)				152,17			
				Diferencia	1,59		

Tabla 8: Detalle de las anotaciones correspondientes para en análisis granulométrico de la muestra T1d.

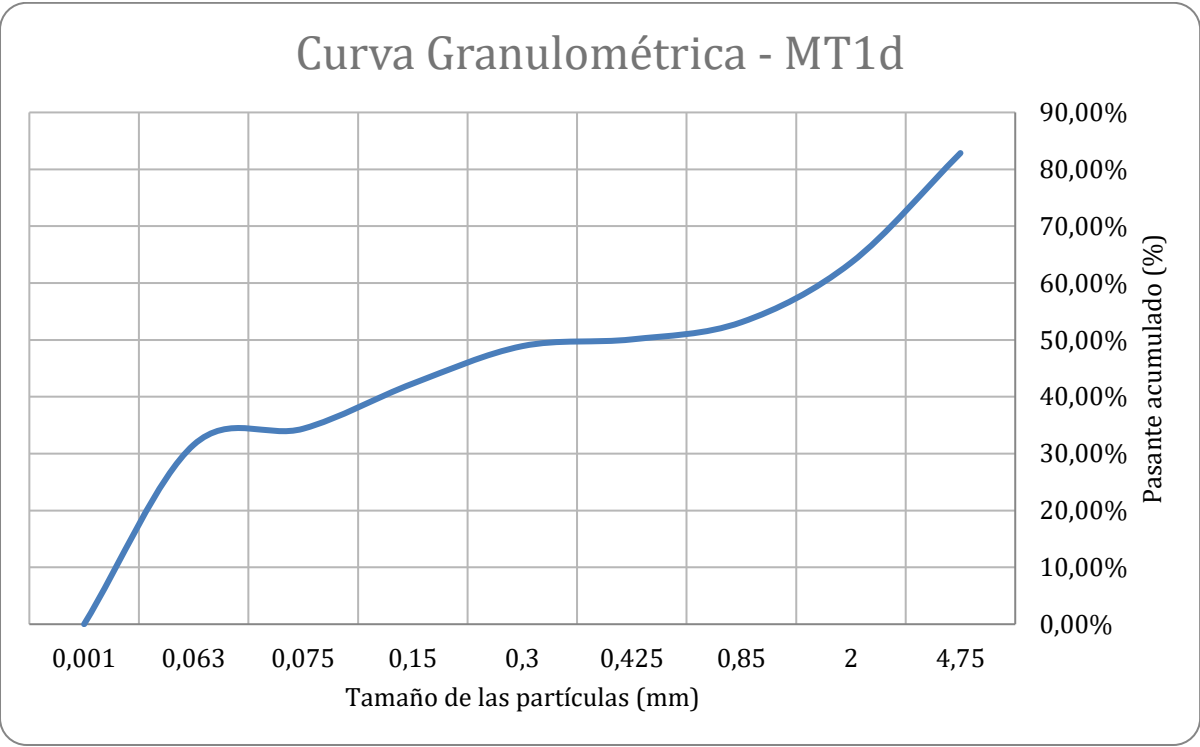


Figura 8: Curva granulométrica para la muestra T1d.



Muestra: T1e

MT1e	
Peso inicial (g)	210,84

Tamiz	N° de Tamiz	Peso Tamiz	Muestra T1e		Retenido	Pasante acumulado	Retenido acumulado
			Muestra + Tamiz	Muestra			
mm		gr	gr	gr			
4,75	4	503,95	518,25	14,30	6,88%	93,12%	6,88%
2	10	436,71	446,48	9,77	4,70%	88,42%	11,58%
0,85	20	417,84	422,99	5,15	2,48%	85,94%	14,06%
0,425	40	403,72	403,84	0,12	0,06%	85,89%	14,11%
0,3	50	391,90	394,05	2,15	1,03%	84,85%	15,15%
0,15	100	371,48	378,08	6,60	3,17%	81,68%	18,32%
0,075	200	352,53	376,20	23,67	11,39%	70,29%	29,71%
0,063	230	231,92	239,98	8,06	3,88%	66,41%	33,59%
0,001	B29			138,07	66,41%	0,00%	100,00%
Peso total de la muestra (gr)				207,89			
				Diferencia	2,95		

Tabla 9: Detalle de las anotaciones correspondientes para en análisis granulométrico de la muestra T1e.

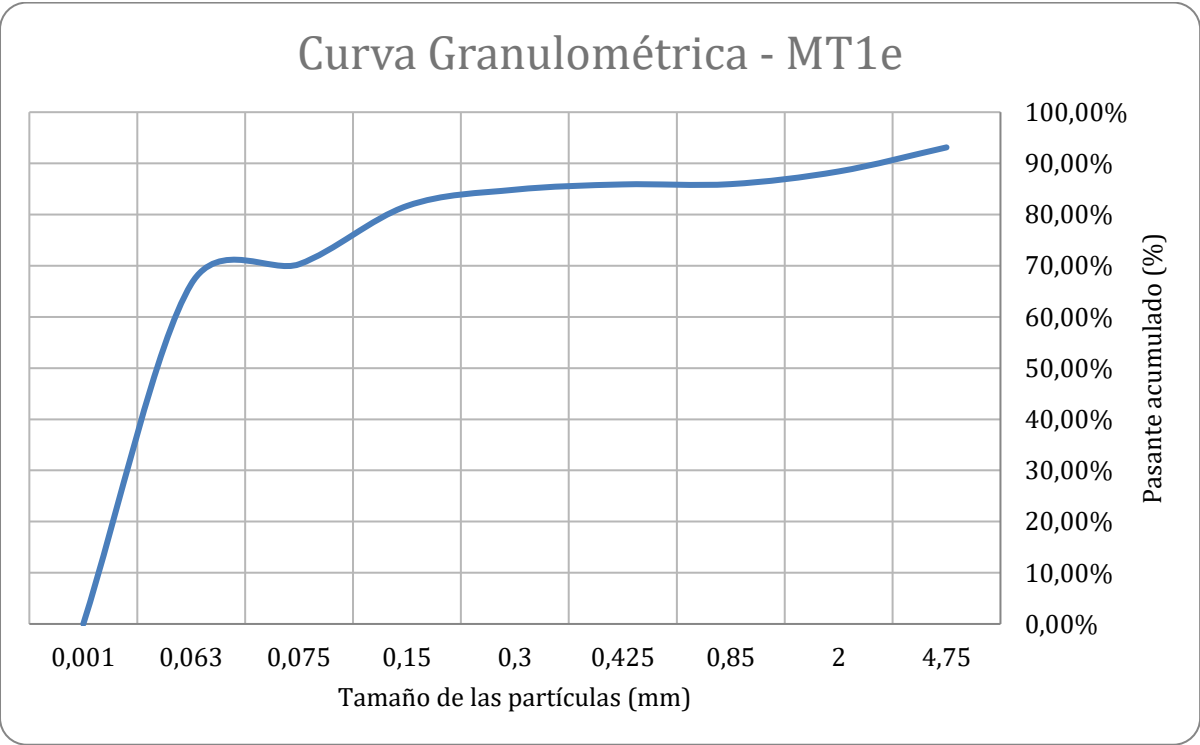


Figura 9: Curva granulométrica para la muestra T1e.

Muestra: 5

M5	
Peso inicial (g)	61,09

Tamiz	N° de Tamiz	Peso Tamiz gr	Muestra 5		Retenido	Pasante acumulado	Retenido acumulado
			Muestra + Tamiz gr	Muestra gr			
4,75	4	503,95	503,95	0,00	0,00%	100,00%	0,00%
2	10	436,68	436,68	0,00	0,00%	100,00%	0,00%
0,85	20	417,81	417,81	0,00	0,00%	100,00%	0,00%
0,425	40	408,31	408,31	0,00	0,00%	100,00%	0,00%
0,3	50	392,66	393,02	0,36	0,60%	99,40%	0,60%
0,15	100	372,48	372,79	0,31	0,51%	98,89%	1,11%
0,075	200	354,69	356,66	1,97	3,26%	95,63%	4,37%
0,063	230	231,87	233,55	1,68	2,78%	92,84%	7,16%
0,001	B29			56,05	92,84%	0,00%	100,00%
Peso total de la muestra (gr)				60,37			
				Diferencia	0,72		

Tabla 10: Detalle de las anotaciones correspondientes para en análisis granulométrico de la muestra 5.

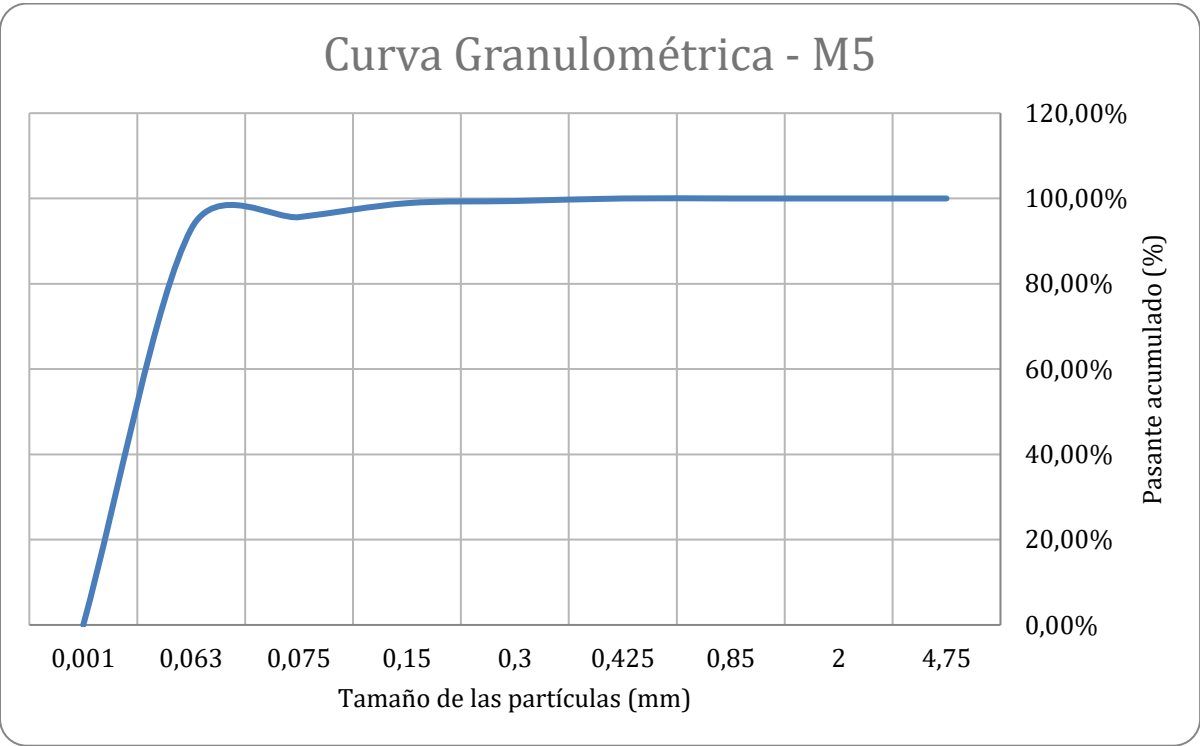


Figura 10: Curva granulométrica para la muestra 5.

Muestra: T2a

MT2a	
Peso inicial (g)	56,75

Tamiz	N° de Tamiz	Peso Tamiz gr	Muestra T2a		Retenido	Pasante acumulado	Retenido acumulado
			Muestra + Tamiz gr	Muestra gr			
2	10	251,87	252,83	0,96	1,69%	98,31%	1,69%
0,063	230	217,29	225,70	8,41	14,82%	83,49%	16,51%
0,001				47,38	83,49%	0,00%	100,00%
Peso total de la muestra (gr)				56,75			

Tabla 11: Detalle de las anotaciones correspondientes para en análisis granulométrico de la muestra T2a.

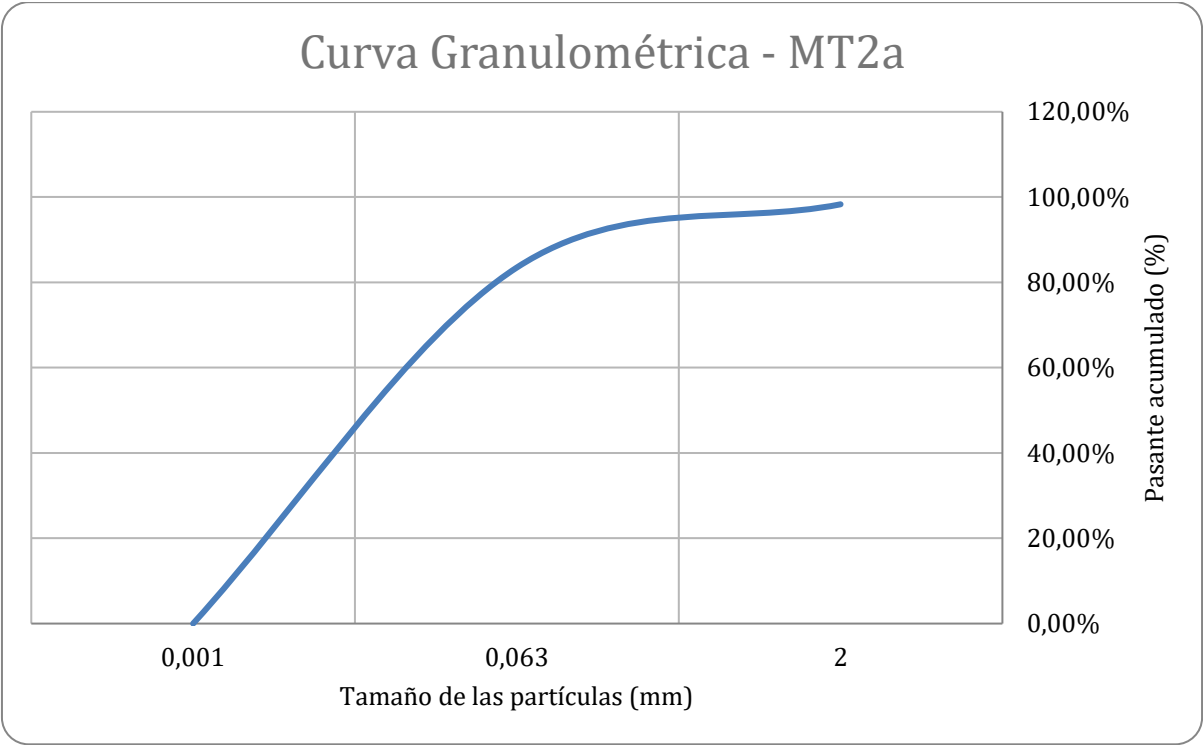


Figura 11: Curva granulométrica para la muestra T2a.

Muestra: T2b

MT2b	
Peso inicial (g)	29,99

Tamiz	N° de Tamiz	Peso Tamiz gr	Muestra T2b		Retenido	Pasante acumulado	Retenido acumulado
			Muestra + Tamiz gr	Muestra gr			
2	10	251,53	251,53	0,00	0,00%	100,00%	0,00%
0,063	230	217,23	220,50	3,27	10,90%	89,10%	10,90%
0,001				26,72	89,10%	0,00%	100,00%
Peso total de la muestra (gr)				29,99			

Tabla 12: Detalle de las anotaciones correspondientes para en análisis granulométrico de la muestra T2b.

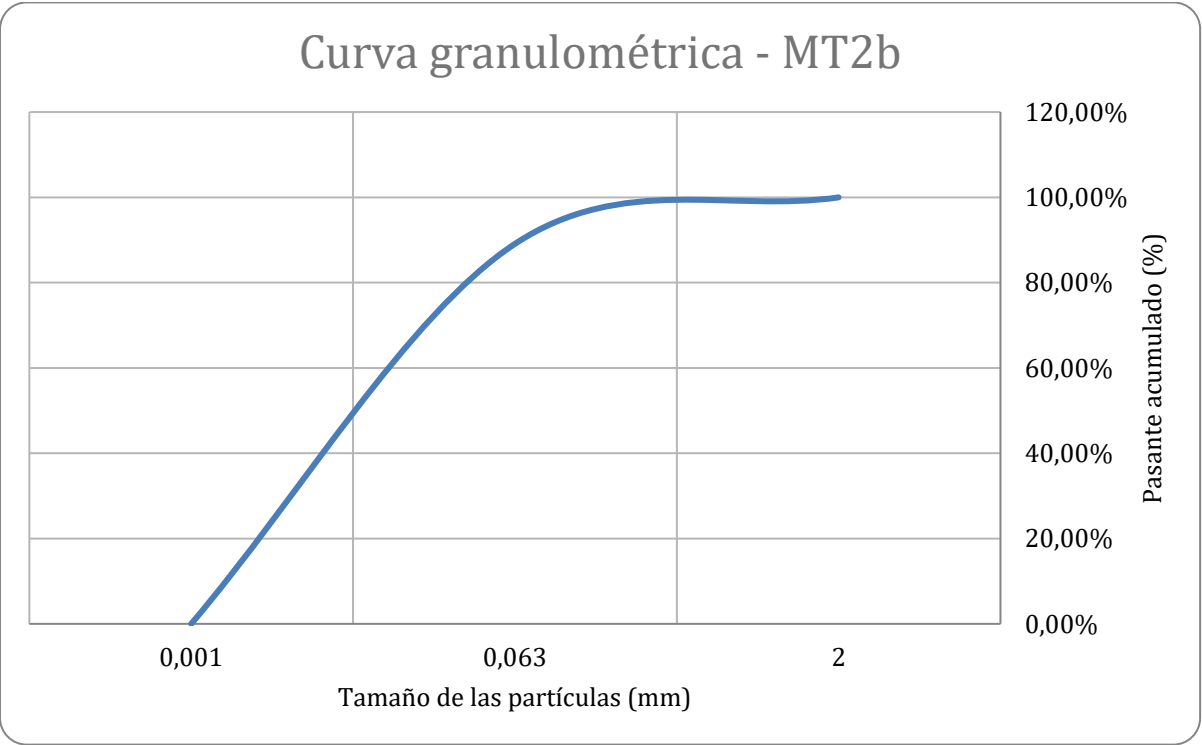


Figura 12: Curva granulométrica para la muestra T2b.

Muestra: T2c

MT2c	
Peso inicial (g)	23,6

Tamiz	N° de Tamiz	Peso Tamiz gr	Muestra T2c		Retenido	Pasante acumulado	Retenido acumulado
			Muestra + Tamiz gr	Muestra gr			
2	10	251,40	252,75	1,35	5,72%	94,28%	5,72%
0,063	230	216,94	222,84	5,90	25,00%	69,28%	30,72%
0,001				16,35	69,28%	0,00%	100,00%
Peso total de la muestra (gr)				23,60			

Tabla 13: Detalle de las anotaciones correspondientes para en análisis granulométrico de la muestra T2c.

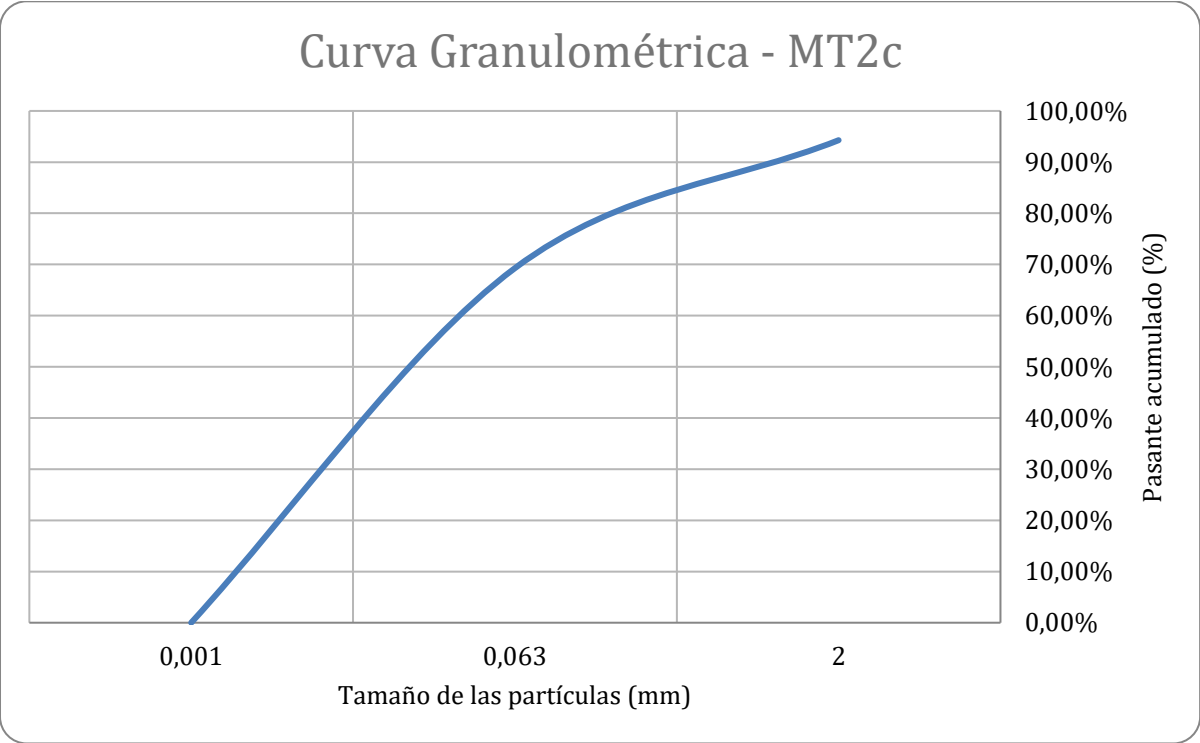


Figura 13: Curva granulométrica para la muestra T2c.



2. Límites de Atterberg

Muestra: 1

MUESTRA:		M1					
		LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO		
PESAFILTRO N°		10	11	12	7	8	9
PESOS	Unidad						
PESAFILTRO	[g]	13,57	14,28	13,89	13,84	14,24	13,71
MUESTRA HÚMEDA + PF	[g]	17,63	17,56	16,91	16,03	16,45	16,42
MUESTRA SECA + PF	[g]	16,45	16,6	16	15,64	16,06	15,93
MUESTRA HÚMEDA	[g]	4,06	3,28	3,02	2,19	2,21	2,71
MUESTRA SECA	[g]	2,88	2,32	2,11	1,8	1,82	2,22
N° DE GOLPES		30	26	22			
HUMEDAD	[%]	40,97%	41,38%	43,13%	21,67%	21,43%	22,07%
LÍMITE LÍQUIDO		[%]					
LÍMITE PLÁSTICO		[%]					
ÍNDICE DE PLASTICIDAD		20,33%					

Tabla 14: Detalle de las anotaciones correspondientes para en el ensayo de límites de Atterberg de la muestra 1.

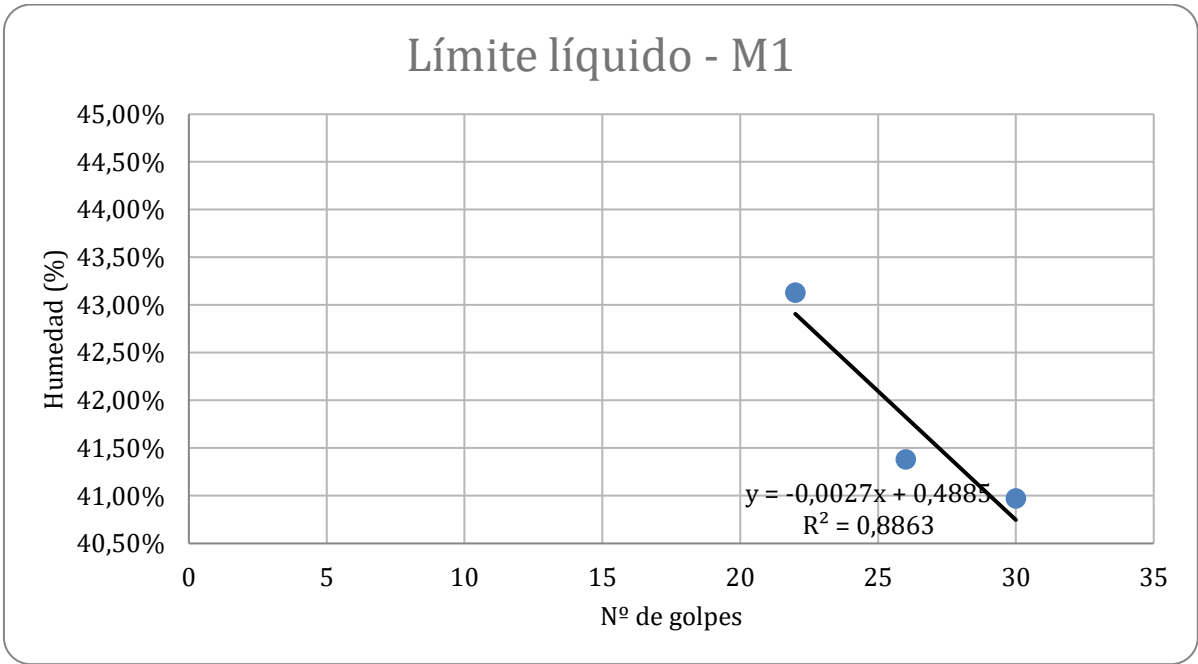


Figura 14: Obtención gráfica del límite líquido para la muestra 1.

Muestra: 2

MUESTRA:		M2					
PESAFILTRO N°		LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO		
		16	17	18	13	14	15
PESOS	Unidad						
PESAFILTRO	[g]	13,45	14,4	12,63	13,89	13,69	13,68
MUESTRA HÚMEDA + PF	[g]	18,58	18,05	16,71	16,46	16,04	15,73
MUESTRA SECA + PF	[g]	17,06	16,95	15,46	15,97	15,64	15,39
MUESTRA HÚMEDA	[g]	5,13	3,65	4,08	2,57	2,35	2,05
MUESTRA SECA	[g]	3,61	2,55	2,83	2,08	1,95	1,71
N° DE GOLPES		37	27	17			
HUMEDAD	[%]	42,11%	43,14%	44,17%	23,56%	20,51%	19,88%
LÍMITE LÍQUIDO	[%]	43,33%					
LÍMITE PLÁSTICO	[%]	21,32%					
ÍNDICE DE PLASTICIDAD		22,01%					

Tabla 15: Detalle de las anotaciones correspondientes para en el ensayo de límites de Atterberg de la muestra 2.

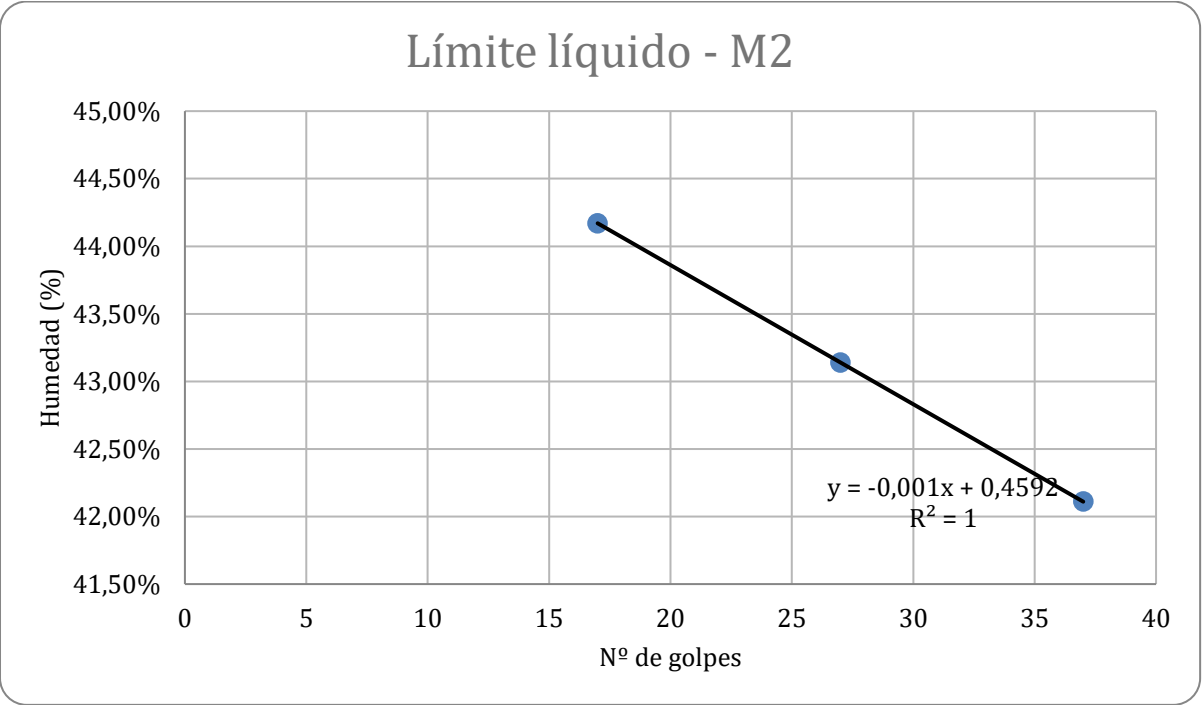


Figura 15: Obtención gráfica del límite líquido para la muestra 2.

Muestra: 3

MUESTRA:		M3					
PESAFILTRO N°		LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO		
		22	23	24	19	20	21
PESOS	Unidad						
PESAFILTRO	[g]	15,51	14,04	13,21	13,66	13,99	13,96
MUESTRA HÚMEDA + PF	[g]	18,77	17,5	18,71	17,43	17,36	17,03
MUESTRA SECA + PF	[g]	17,99	16,66	17,37	16,79	16,79	16,5
MUESTRA HÚMEDA	[g]	3,26	3,46	5,5	3,77	3,37	3,07
MUESTRA SECA	[g]	2,48	2,62	4,16	3,13	2,8	2,54
N° DE GOLPES		37	26	18			
HUMEDAD	[%]	31,45%	32,06%	32,21%	20,45%	20,36%	20,87%
LÍMITE LÍQUIDO		[%]	31,98%				
LÍMITE PLÁSTICO		[%]	20,56%				
ÍNDICE DE PLASTICIDAD			11,42%				

Tabla 16: Detalle de las anotaciones correspondientes para en el ensayo de límites de Atterberg de la muestra 3.

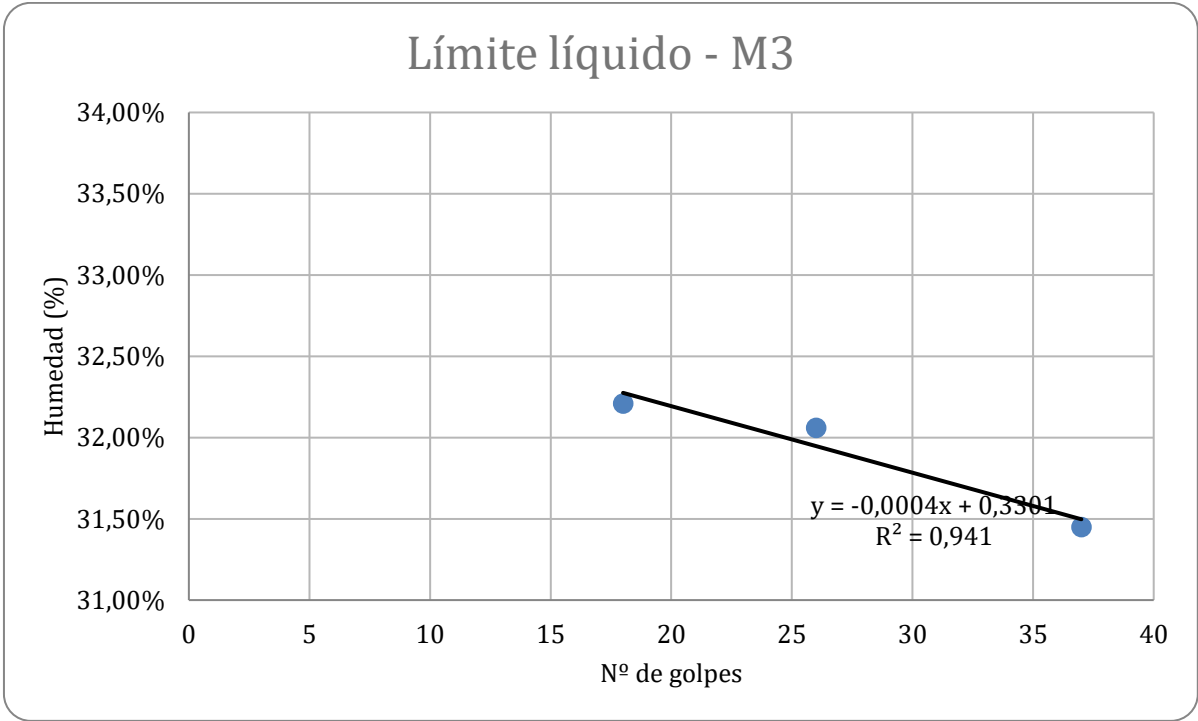


Figura 16: Obtención gráfica del límite líquido para la muestra 3.

Muestra: 4

MUESTRA:		M4					
PESAFILTRO N°		LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO		
		28	29	30	25	26	27
	Unidad						
PESOS							
PESAFILTRO	[g]	13,71	15,15	14,87	13,32	14,1	13,32
MUESTRA HÚMEDA + PF	[g]	17,77	18,33	18,54	17,23	18,63	17,81
MUESTRA SECA + PF	[g]	16,91	17,63	17,75	16,61	17,94	17,14
MUESTRA HÚMEDA	[g]	4,06	3,18	3,67	3,91	4,53	4,49
MUESTRA SECA	[g]	3,2	2,48	2,88	3,29	3,84	3,82
N° DE GOLPES		28	14	20			
HUMEDAD	[%]	26,88%	28,23%	27,43%	18,84%	17,97%	17,54%
LÍMITE LÍQUIDO		[%]	29,50%				
LÍMITE PLÁSTICO		[%]	18,12%				
ÍNDICE DE PLASTICIDAD			11,38%				

Tabla 17: Detalle de las anotaciones correspondientes para en el ensayo de límites de Atterberg de la muestra 4.

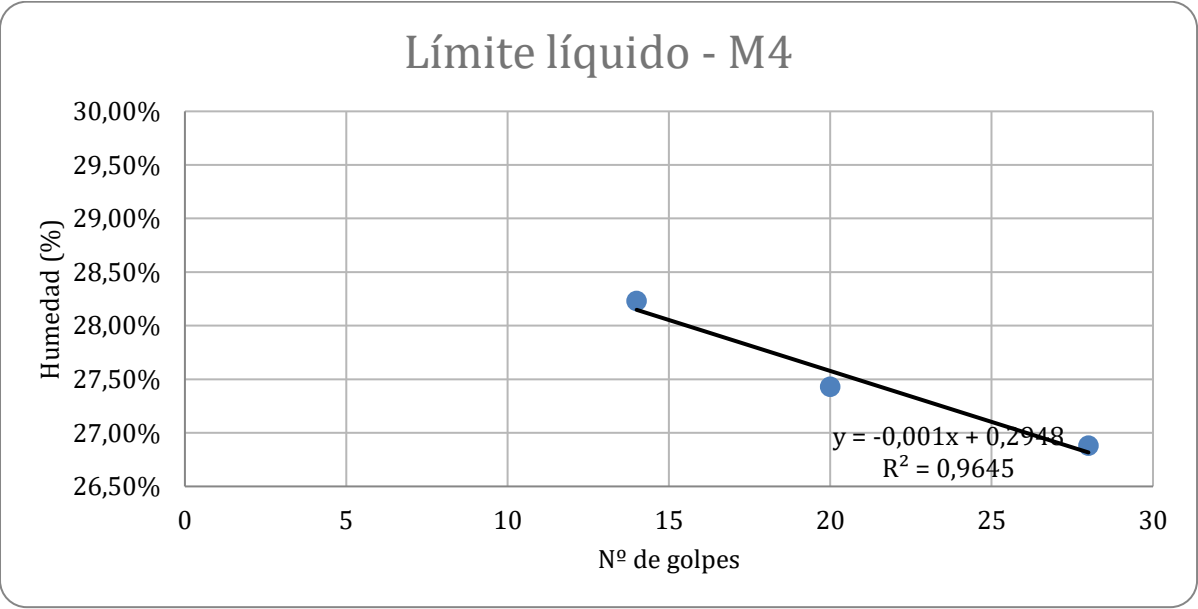


Figura 17: Obtención gráfica del límite líquido para la muestra 4.

Muestra: T1a

MUESTRA:		MT1a					
PESAFILTRO N°		LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO		
		10	11	12	7	8	9
PESOS	Unidad						
PESAFILTRO	[g]	13,56	14,26	13,88	13,85	14,27	13,71
MUESTRA HÚMEDA + PF	[g]	16,63	18,3	17,9	17,85	17,25	17,16
MUESTRA SECA + PF	[g]	16,01	17,47	17,03	17,11	16,7	16,55
MUESTRA HÚMEDA	[g]	3,07	4,04	4,02	4	2,98	3,45
MUESTRA SECA	[g]	2,45	3,21	3,15	3,26	2,43	2,84
N° DE GOLPES		35	24	18			
HUMEDAD	[%]	25,31%	25,86%	27,62%	22,70%	22,63%	21,48%
LÍMITE LÍQUIDO		[%]	26,38%				
LÍMITE PLÁSTICO		[%]	22,27%				
ÍNDICE DE PLASTICIDAD			4,10%				

Tabla 18: Detalle de las anotaciones correspondientes para en el ensayo de límites de Atterberg de la muestra T1a.

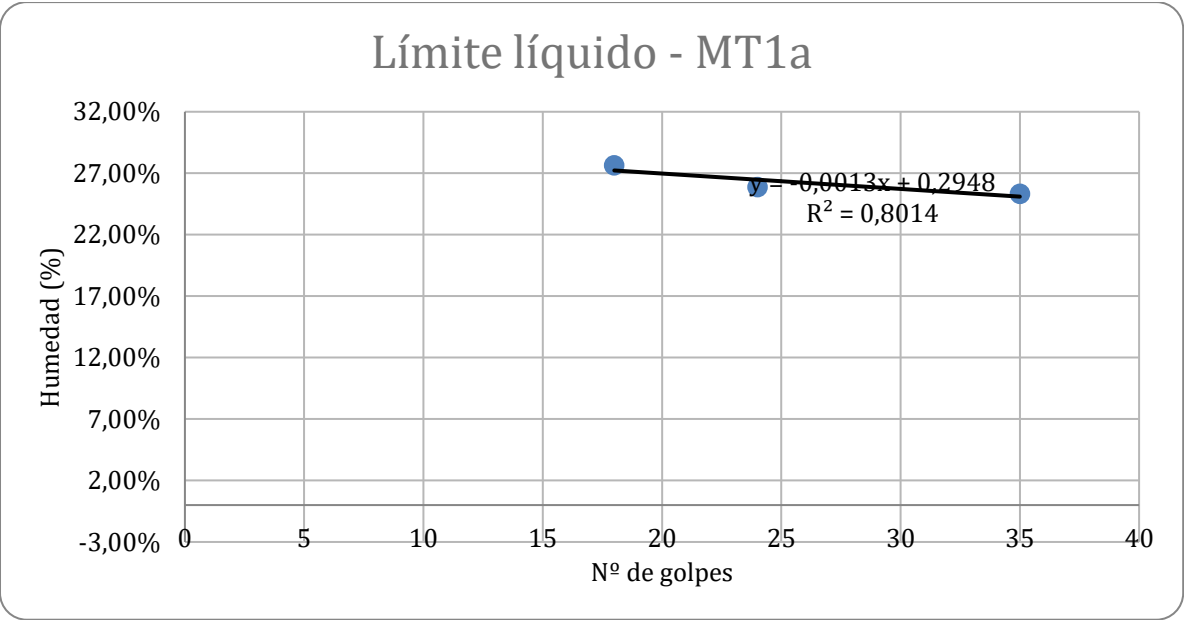


Figura 18: Obtención gráfica del límite líquido para la muestra T1a.



Muestra: T1b

MUESTRA:		MT1b					
PESAFILTRO N°		LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO		
		16	17	18	13	14	15
	Unidad						
PESOS							
PESAFILTRO	[g]	13,45	14,4	12,63	13,87	13,68	13,68
MUESTRA HÚMEDA + PF	[g]	17,91	18,99	17,3	18,77	17,34	18,28
MUESTRA SECA + PF	[g]	17,05	18,1	16,29	18	16,75	17,59
MUESTRA HÚMEDA	[g]	4,46	4,59	4,67	4,9	3,66	4,6
MUESTRA SECA	[g]	3,6	3,7	3,66	4,13	3,07	3,91
N° DE GOLPES		35	26	19			
HUMEDAD	[%]	23,89%	24,05%	27,60%	18,64%	19,22%	17,65%
LÍMITE LÍQUIDO		[%]	25,55%				
LÍMITE PLÁSTICO		[%]	18,50%				
ÍNDICE DE PLASTICIDAD			7,05%				

Tabla 19: Detalle de las anotaciones correspondientes para en el ensayo de límites de Atterberg de la muestra T1b.

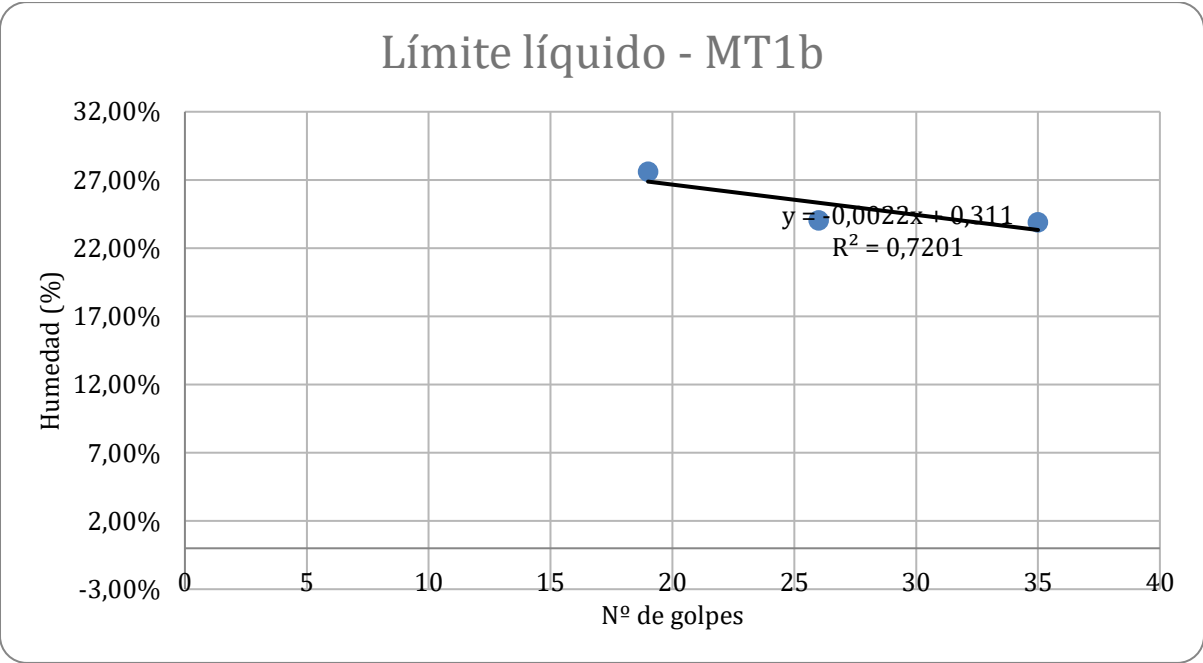


Figura 19: Obtención gráfica del límite líquido para la muestra T1b.

Muestra: T1c

MUESTRA:		MT1c				
		LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
PESAFILTRO N°		22	23	24	19	20
PESOS	Unidad					
PESAFILTRO	[g]	15,49	13,99	13,21	13,64	13,98
MUESTRA HÚMEDA + PF	[g]	19,75	19,25	18,87	17,76	17,56
MUESTRA SECA + PF	[g]	18,8	18,01	17,48	17,08	16,98
MUESTRA HÚMEDA	[g]	4,26	5,26	5,66	4,12	3,58
MUESTRA SECA	[g]	3,31	4,02	4,27	3,44	3
N° DE GOLPES		37	24	19		
HUMEDAD	[%]	28,70%	30,85%	32,55%	19,77%	19,33%
LÍMITE LÍQUIDO		31,00%				
LÍMITE PLÁSTICO		19,39%				
ÍNDICE DE PLASTICIDAD		11,61%				

Tabla 20: Detalle de las anotaciones correspondientes para en el ensayo de límites de Atterberg de la muestra T1c.

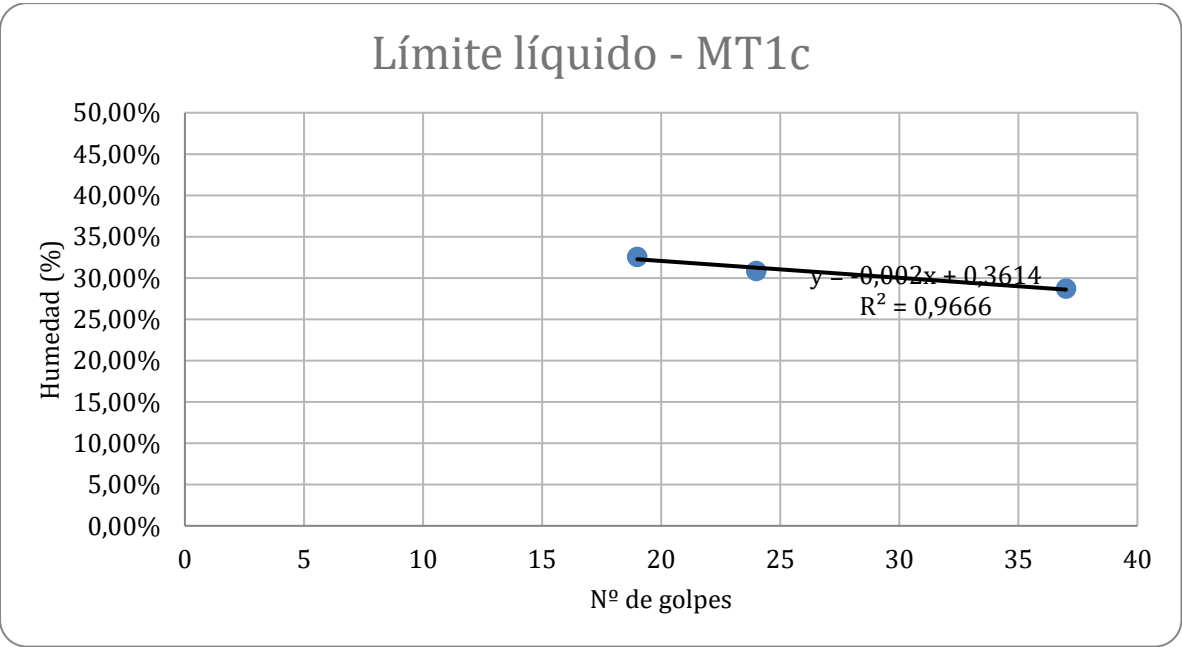


Figura 20: Obtención gráfica del límite líquido para la muestra T1c.

Muestra: T1d

MUESTRA:		MT1d					
PESAFILTRO N°		LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO		
		28	29	30	25	26	27
Unidad							
PESOS							
PESAFILTRO	[g]	13,69	15,14	14,85	13,32	14,08	13,3
MUESTRA HÚMEDA + PF	[g]	16,83	19,06	18,98	17,34	17,39	16,62
MUESTRA SECA + PF	[g]	16,06	18,09	17,95	16,65	16,84	15,99
MUESTRA HÚMEDA	[g]	3,14	3,92	4,13	4,02	3,31	3,32
MUESTRA SECA	[g]	2,37	2,95	3,1	3,33	2,76	2,69
N° DE GOLPES		30	26	20			
HUMEDAD	[%]	32,49%	32,88%	33,23%	20,72%	19,93%	23,42%
LÍMITE LÍQUIDO		[%]	32,88%				
LÍMITE PLÁSTICO		[%]	21,36%				
ÍNDICE DE PLASTICIDAD			11,52%				

Tabla 21: Detalle de las anotaciones correspondientes para en el ensayo de límites de Atterberg de la muestra T1d.

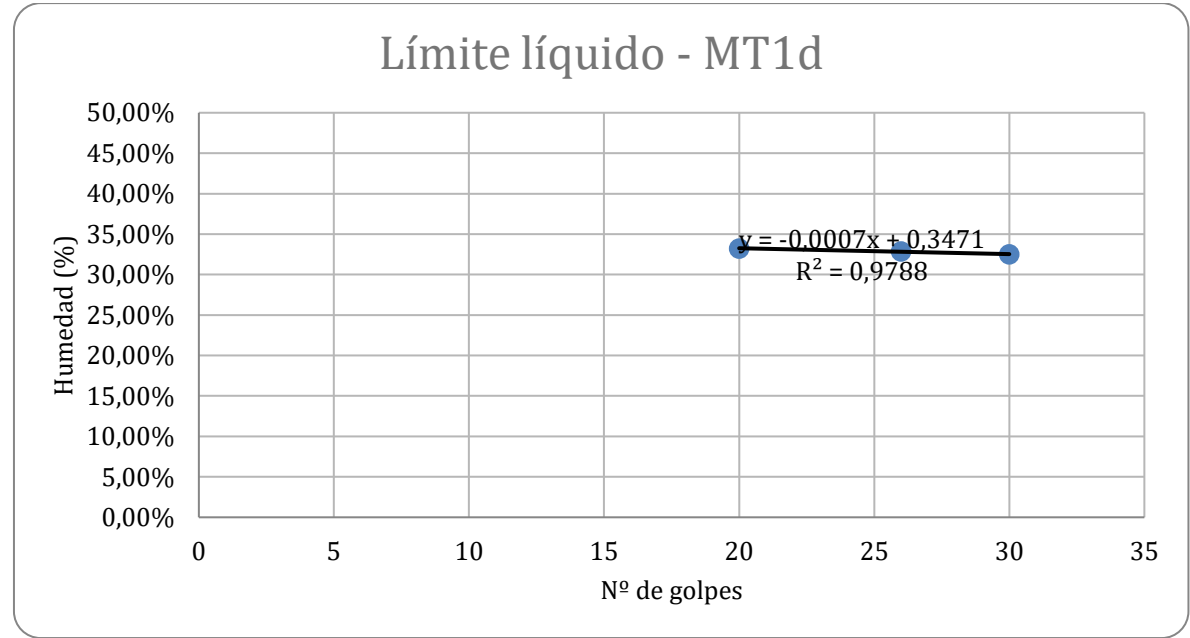


Figura 21: Obtención gráfica del límite líquido para la muestra T1d.

Muestra: T1e

MUESTRA:		MT1e					
PESAFILTRO N°		LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO		
		34	35	36	31	32	33
Unidad							
PESOS							
PESAFILTRO	[g]	12,64	14,7	14	14,11	14,48	13,81
MUESTRA HÚMEDA + PF	[g]	16,07	17,45	16,95	17,41	17,71	16,71
MUESTRA SECA + PF	[g]	15,1	16,62	16,04	16,83	17,14	16,18
MUESTRA HÚMEDA	[g]	3,43	2,75	2,95	3,3	3,23	2,9
MUESTRA SECA	[g]	2,46	1,92	2,04	2,72	2,66	2,37
N° DE GOLPES		35	27	20			
HUMEDAD	[%]	39,43%	43,23%	44,61%	21,32%	21,43%	22,36%
LÍMITE LÍQUIDO		[%]	43,20%				
LÍMITE PLÁSTICO		[%]	21,70%				
ÍNDICE DE PLASTICIDAD			21,50%				

Tabla 22: Detalle de las anotaciones correspondientes para en el ensayo de límites de Atterberg de la muestra T1e.

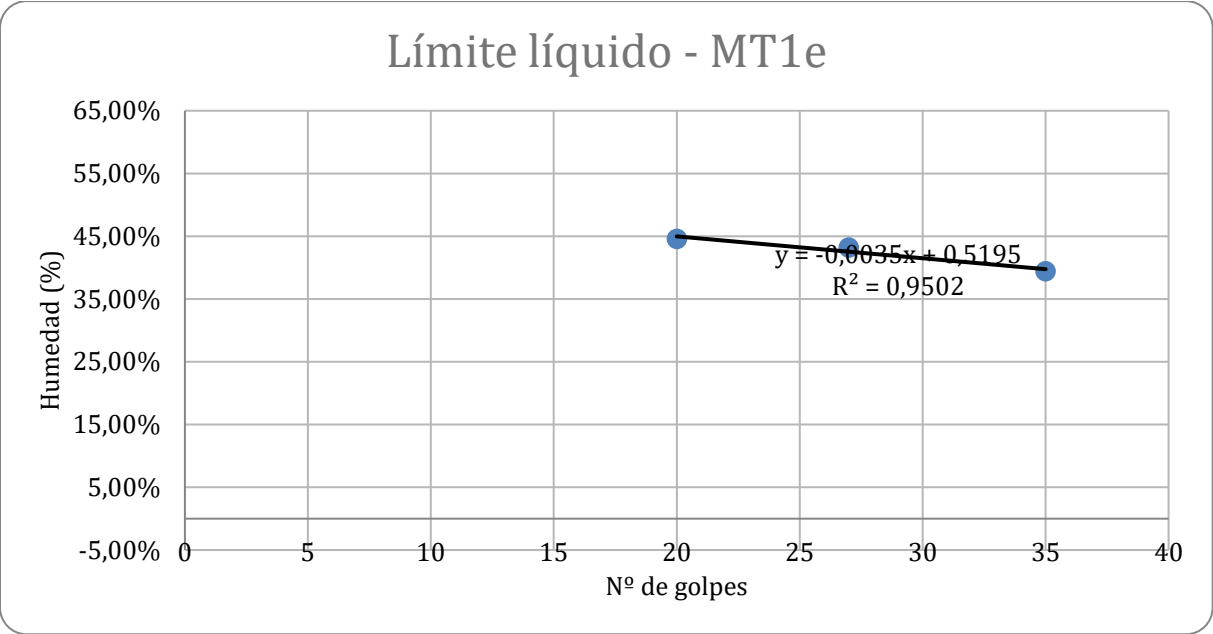


Figura 22: Obtención gráfica del límite líquido para la muestra T1e.

## 3. Humedad natural

<b>MUESTRA 1</b>	
B1v	536,39
B1 + M1h	769,49
M1h	233,1
B1 + M1s	708,99
M1s	172,6
Humedad (g)	60,5
<b>Humedad (%)</b>	<b>35,05%</b>

<b>MUESTRA 2</b>	
B2v	381,62
B2 + M2h	606,89
M2h	225,27
B2 + M2s	551,12
M2s	169,5
Humedad (g)	55,77
<b>Humedad (%)</b>	<b>32,90%</b>

<b>MUESTRA 3</b>	
B3v	526,76
B3 + M3h	781,04
M3h	254,28
B3 + M3s	717,46
M3s	190,7
Humedad (g)	63,58
<b>Humedad (%)</b>	<b>33,34%</b>

<b>MUESTRA 4</b>	
B4v	525,56
B4 + M4h	775,5
M4h	249,94
B4 + M4s	713,94
M4s	188,38
Humedad (g)	61,56
<b>Humedad (%)</b>	<b>32,68%</b>

<b>MUESTRA 5</b>	
B5v	345,56
B5 + M5 h	479,51
M5 h	133,95
B5 + M5 s	406,65
M5 s	61,09
Humedad (g)	72,86
<b>Humedad (%)</b>	<b>119,27%</b>

Tabla 23: Anotaciones para el cálculo de la humedad de las muestras.



## 4. Loss of Ignition

-Registro de la masa de los crisoles vacíos y secados en estufa a 100°C

HORA:	12:50 hs
Crisol VACÍO	Peso crisol v
L1	26,790
L3	24,829
L5	26,288
L7	26,594
G423	15,151
L9	26,132

Tabla 24: Detalle de las anotaciones correspondientes para en el ensayo de LOI.

-Registro del peso de las muestras húmedas. Luego, se colocan en la estufa a 70°C durante 3 horas.

HORA:	13:02 hs	
Crisol + mh	Peso crisol + mh	Peso mh
L1 + M1h	29,69	2,900
L3 + M2h	27,604	2,775
L5 + MT1ah	29,351	3,063
L7 + MT1eh	29,217	2,623
G423 + M5h	17,845	2,694
L9 + MT2c	29,03	2,898

Tabla 25: Detalle de las anotaciones correspondientes para en el ensayo de LOI.

Dónde:

Mh= muestra húmeda

-Registro del peso de las muestras luego de ser secadas en la estufa a 70°C. Se registra su masa cada 1 hora hasta obtener dos mediciones seguidas.

HORA:	16:00 hs	17:00 hs	18:00 hs	19:00 hs	20:00 hs	
Crisol + m	Peso crisol + m	Peso crisol + m	Peso crisol + m	Peso crisol + m	Peso crisol + m	Peso ms con MO
L1 + M1	29,051	29,028	29,014	29,014	29,010	2,22
L3 + M2	26,979	26,940	26,937	26,924	26,924	2,095
L5 + MT1a	28,553	28,527	28,513	28,508	28,508	2,22
L7 + MT1e	28,721	28,686	28,681	28,681	28,681	2,087
G423 + M5	16,530	16,330	16,307	16,307	16,307	1,156
L9 + MT2c	28,140	28,075	28,023	28,023	28,023	1,891

Tabla 26: Detalle de las anotaciones correspondientes para en el ensayo de LOI.

Dónde:

Ms: muestra seca.

MO: materia orgánica.

-Registro de la masa de las muestras en los crisoles luego de ser colocados en la mufla a 500°C durante 6 horas.

HORA:	14:30
Crisol + Ms + MO	Peso crisol + ms + MO
L1 + M1	28,939
L3 + M2	26,848
L5 + MT1a	28,414
L7 + MT1e	28,573
G423 + M5	16,176
L9 + MT2c	27,89

Tabla 27: Detalle de las anotaciones correspondientes para en el ensayo de LOI.

-Registro del peso de las muestras luego de ser secadas en la estufa a 100°C. Se registra su masa cada 1 hora hasta obtener dos mediciones seguidas.

HORA:	15:30	16:30	17:30	
Crisol + ms	Peso crisol + ms	Peso crisol + ms	Peso crisol + ms	Peso ms sin MO
L1 + M1	28,930	28,927	28,926	2,136
L3 + M2	26,836	26,84	26,840	2,011
L5 + MT1a	28,405	28,411	28,411	2,123
L7 + MT1e	28,570	28,571	28,571	1,977
G423 + M5	16,169	16,175	16,175	1,024
L9 + MT2c	27,82	27,81	27,81	1,678

Tabla 28: Detalle de las anotaciones correspondientes para en el ensayo de LOI.

-Registro resumen de los valores necesarios para determinar el porcentaje en peso de materia orgánica presente en cada muestra.

Muestra	Peso mh	Peso ms con MO	Peso ms sin MO	MO (g)	MO (% en peso)
M1	2,9	2,22	2,136	0,084	3,78%
M2	2,775	2,095	2,011	0,084	4,01%
MT1a	3,063	2,22	2,123	0,097	4,37%
M4T1e	2,623	2,087	1,977	0,11	5,27%
M5	2,694	1,156	1,024	0,132	11,42%
MT2c	2,898	1,891	1,678	0,213	11,26%

Tabla 29: Detalle de las anotaciones correspondientes para en el ensayo de LOI.