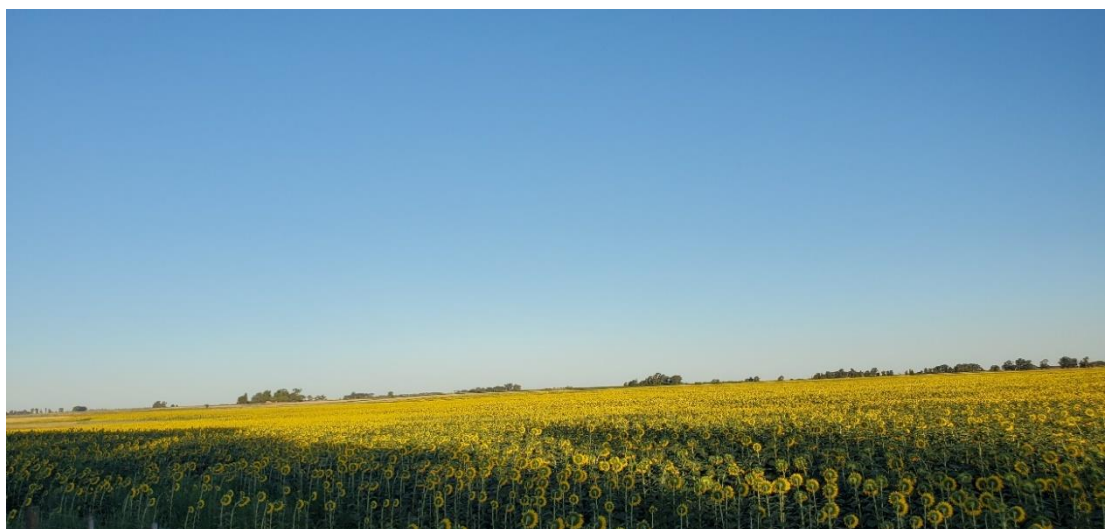




UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES, FACULTAD DE
CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES,
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS GEOLÓGICAS.



Geología y geomorfología de la localidad de
Trenque Lauquen y alrededores, una línea de base
ambiental para la gestión del riesgo ambiental e
hídrico (provincia de Buenos Aires).



TRABAJO FINAL DE LICENCIATURA EN CIENCIAS GEOLÓGICAS

AUTOR: Milagros Evelyn Ascaini

DIRECTOR : Dr. Pablo Tchilinguirian

CODIRECTOR: Dr. Agustín Quesada

Buenos Aires, Argentina.

2024

RESUMEN

El presente trabajo final de licenciatura se centra en la caracterización geológica y geomorfológica de Trenque Lauquen y sus alrededores, una ciudad situada al oeste de la provincia de Buenos Aires. La región se distingue por un relieve de planicies con baja pendiente, lo que explica su gran desarrollo agropecuario. Desde una perspectiva geomorfológica, predomina la acción de procesos eólicos sobre los hídricos, lo que se refleja en la formación de dunas parabólicas y longitudinales inactivas y vegetadas, que se extienden a lo largo de la zona con un desnivel máximo inferior a los 2°.

Se recopilaron datos sobre eventos históricos de inundaciones y sequías, revelando una tendencia cíclica de alternancia entre estos fenómenos, y se identificó el año con la máxima afectación por inundación en la región. Este estudio busca aportar información concreta que contribuya al manejo ambiental frente a las variabilidades climáticas, subrayando la importancia de abordar de manera integral el manejo de los sistemas hidrológicos de la llanura pampeana, especialmente en relación con los extremos de ciclos húmedos y secos.

El análisis realizado en este trabajo también abarca la expansión urbana de Trenque Lauquen y la construcción de infraestructuras diseñadas para mitigar los efectos negativos de las inundaciones. Se evalúa la efectividad de las medidas implementadas hasta la fecha, con el objetivo de identificar posibles mejoras y entender cómo la expansión urbana ha influido en la vulnerabilidad de la región frente a estos eventos extremos. En un esfuerzo por mejorar la gestión del territorio y reducir los riesgos asociados a las inundaciones, se hizo un mapa de susceptibilidad a inundaciones, una herramienta clave para la planificación urbana. El mapa proporciona una visualización rápida de las áreas más vulnerables, lo que facilita la adopción de medidas preventivas y correctivas adecuadas. Además, se identifican nuevas áreas potenciales para la expansión urbana, que contribuirán al ordenamiento territorial de Trenque Lauquen.

Finalmente, se dan recomendaciones orientadas a mitigar los efectos ambientales adversos y reducir el riesgo de inundaciones en la región, mejorando así la gestión del territorio frente a los desafíos climáticos.

INDICE

Resumen.....	2
Capítulo I. INTRODUCCIÓN	
1.1. Objetivos.....	5
1.2. Ubicación.....	6
1.3. Antecedentes.....	8
Capítulo II. MARCO GEOLÓGICO-GEOMORFOLÓGICO	
2.1. Geología regional.....	13
2.2. Suelos.....	19
2.3. Clima y sus variaciones.....	21
2.4. Hidrogeología.....	26
2.4.1. Inundaciones y sequías.....	29
2.5. Uso del suelo.....	33
Capítulo III. METODOLOGÍA	
3.1. Caracterización geomorfológica cualitativa y cuantitativa.....	35
3.2. Análisis de crecimiento y construcción de infraestructuras en Trenque Lauquen.....	42
3.3. Mapeo del riesgo hídrico de Trenque Lauquen.....	42
3.3.1. Labores de campo.....	44
3.3.2. Labores de gabinete.....	44
Capítulo IV. RESULTADOS	
4.1. Geomorfología.....	46
4.1.1. Geoformas eólicas.....	48
4.1.2. Bajos.	56
4.1.2.1. Bajos inundados.....	56
4.1.2.2. Bajos secos.....	62
4.1.3. Rasgos antrópicos.....	64
4.1.4. Perfiles sedimentarios y perfiles de suelos.....	66
4.1.5. Mapa geomorfológico.....	78
4.2. Crecimiento urbano y construcción de obras de infraestructuras en Trenque Lauquen.....	81
4.3. Mapa de susceptibilidad hídrica de Trenque Lauquen.....	87
Capítulo V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
5.1. Conclusiones.....	92
5.1.1. Geomorfología.....	92
5.1.2. Expansión urbana.....	95
5.1.3. Riesgo de inundaciones.....	95
5.2. Recomendaciones.....	96
Bibliografía.....	98
Agradecimientos.....	109
Anexos.....	110

CAPÍTULO I.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo aborda aspectos geológicos y geomorfológicos de Trenque Lauquen y sus alrededores. Un análisis detallado de estas características permitirá comprender los procesos que han modelado la región, proporcionando una base sólida para estudios subsecuentes. La región pampeana de Argentina, a la que pertenece el área en cuestión, se destaca en la producción agrícola y ganadera, pilares fundamentales de la economía nacional gracias a sus condiciones climáticas y de suelos favorables. En sus extensas zonas agrícolas se cultivan soja, maíz, trigo y girasol, entre otros. No obstante, la región enfrenta variaciones significativas en los patrones de temperatura y precipitación, tanto espaciales como temporales, que impactan considerablemente en la actividad económica. Las inundaciones y sequías son problemas recurrentes en esta área, provocados por diversos factores, incluyendo la escasa pendiente del terreno, la falta de un sistema de drenaje integrado y las mencionadas variaciones climáticas. Además, estas problemáticas dañan la infraestructura agrícola y rural incluyendo alambrados, caminos, ganado, pasturas, entre otros. Generando costos considerables en materiales y en la recuperación de los suelos, principalmente por la salinización.

Asimismo, se analiza la expansión urbana de la ciudad de Trenque Lauquen y la construcción de obras de infraestructura destinadas a mitigar las inundaciones y sequías. Este análisis permitirá evaluar la efectividad de las medidas adoptadas hasta el momento y comprender cómo el desarrollo urbano ha influido en el incremento de la vulnerabilidad de la zona ante eventos de inundación.

También se propone un enfoque de susceptibilidad de inundación basado en la geomorfología e imágenes satelitales. Su principal resultado es la elaboración de un mapa que será una nueva herramienta crucial para la planificación urbana y la gestión del riesgo de la localidad, proporcionando una visualización clara de las áreas más vulnerables y permitiendo la adopción de medidas preventivas y correctivas adecuadas.

1.1. Objetivos

Los interrogantes que se abordan en este estudio se centran en comprender el papel de las geoformas en el control de las inundaciones, así como evaluar la posibilidad de la existencia de futuros eventos de inundación que pueden afectar la zona urbana. Dado que la región ha experimentado al menos 9 episodios de anegamientos entre el año 1976 y 2024, se buscará identificar las ubicaciones óptimas para realizar una expansión urbana que minimice el riesgo de inundación.

De esta forma el objetivo general del presente trabajo consiste en caracterizar la geología y geomorfológica de la ciudad de Trenque Lauquen y alrededores. A su vez, en esta tesis final de licenciatura se propone los siguientes objetivos específicos:

- 1.Describir la geomorfología en el área de estudio de manera cualitativa y cuantitativa.
- 2.Analizar la expansión urbana y la construcción de obras de infraestructura para mitigar las inundaciones en 1951 y 2024.
- 3.Generar un mapa de susceptibilidad de inundación de la zona urbana y periurbana de Trenque Lauquen.

El documento concluye con una serie de recomendaciones y sugerencias de mitigación para minimizar los impactos de inundación y a evitar la repetición de situaciones semejantes en el porvenir.

1.2. Ubicación

El área de estudio de la presente tesis se encuentra ubicada en el centro-oeste de la provincia de Buenos Aires, en el partido de Trenque Lauquen (Figura 1). El partido de Trenque Lauquen abarca una extensión territorial de aproximadamente 5.500 km². Jurisdiccionalmente limita con el partido de Rivadavia al norte, mientras que, al oeste, lo hace con el partido de Pellegrini. En dirección suroeste, se encuentra el partido de Tres Lomas, y al sur, sus límites se extienden hasta Guamaní y Daireaux. Hacia el sureste, limita con Pehuajó, y al noreste, comparte fronteras territoriales con Carlos Tejedor.

La ciudad de Trenque Lauquen, cabecera del partido, se encuentra ubicada en el cruce de dos rutas nacionales, la Ruta Nacional N°5 y la Ruta Nacional N°33. Estas vías de comunicación desempeñan un papel fundamental en la conectividad regional, dado que la Ruta Nacional N°33 conecta el puerto de la ciudad de Bahía Blanca con el puerto de la ciudad de Rosario, siendo un importante corredor para el transporte de mercancías y personas. Además, la localidad es reconocida por sus lagunas, para la actividad pesquera y deportes náuticos.

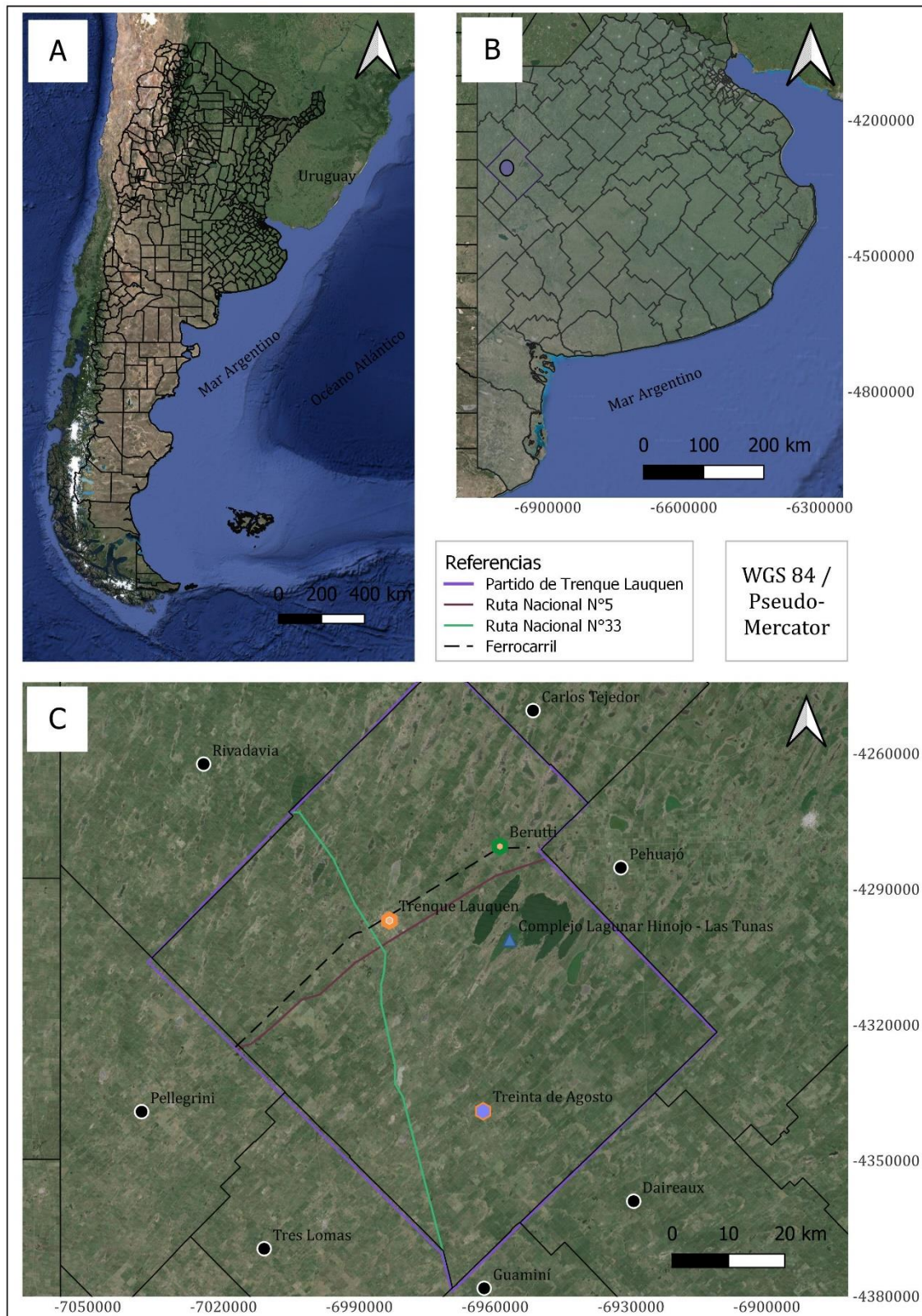


Figura 1. Mapa de ubicación. A. República Argentina. B. Provincia de Buenos Aires, con el partido de Trenque Lauquen destacado. C. Partido de Trenque Lauquen, mostrando las rutas nacionales N°33 y N°5, el ferrocarril, y el Complejo Lagunar Hinojo - Las Tunas. Fuente: elaboración propia.

1.3. Antecedentes

La geología de la región investigada en este trabajo ha sido objeto de múltiples estudios desde distintas áreas del conocimiento. En cuanto a la estructura, Kostadinoff *et al.* (2007) y Gregori *et al.* (2009) llevaron a cabo investigaciones geofísicas y sísmicas que evidenciaron la existencia del Cratón del Río de la Plata en el subsuelo del partido de Trenque Lauquen, identificado por valores anómalos positivos de gravedad. La estratigrafía regional fue delineada por De Salvo y colaboradores (1969), quienes destacaron los depósitos eólicos del Pleistoceno Superior de Junín. Posteriormente, Auge *et al.* (1988), Auge (2004) y Zárate (2005) se enfocaron en la estratigrafía del noroeste de la provincia de Buenos Aires. En el ámbito de la edafología, Moscatelli (1990) describió los suelos argentinos, mientras que Hurtado y colaboradores (2005) caracterizaron los de Buenos Aires. Taboada y colaboradores (2009) indicaron que los suelos de la Pampa Arenosa se han desarrollado a partir de materiales arenosos pleistocenos de espesor variable, asentados en sedimentos finos y poco permeables, los cuales sostienen la capa freática. Señalaron también las consecuencias de las inundaciones sobre estos suelos.

El análisis geomorfológico ha sido tratado por diferentes autores. Dillon *et al.* (1987) y Malagnino (1988) investigaron la geomorfología y evolución del sistema fluvial de la provincia de Buenos Aires, desde el Pleistoceno hasta la actualidad. Al año siguiente, Malagnino (1989) caracterizó las paleoformas de origen eólico, relacionándolas con los modelos de inundación. Además, la Comisión de Loess y la Comisión del Cuaternario de América del Sur, bajo la coordinación del Centro de Geología de Costas y Cuaternario y editadas por Zárate y Flegenheimer (1990), sentaron las bases para entender la configuración geomorfológica regional. Iriondo y Kröhling (1996) realizaron un aporte clave al identificar el Sistema Eólico Pampeano (SEP), compuesto por el Mar de Arena Pampeano (MAP) y la Faja Periférica de Loess (FPL). Estos depósitos eólicos, atribuidos a la última fase de la glaciación más reciente, configuran el entorno del estudio, ubicado específicamente en el MAP del SEP. Fidalgo (1999) profundizó en la descripción de los depósitos cuaternarios. A ello se le suma el Relatorio de Provincia de Buenos Aires (2005) que incluyó trabajos relevantes, como el análisis geomorfológico de Zárate y Rabassa (2005), así como el estudio

del Cenozoico Tardío de Zárate (2005). Tripaldi y Zárate (2016) añadieron una perspectiva enriquecedora sobre las dunas de América del Sur, incluidas las del centro-oeste pampeano. Paladino y colaboradores (2017) hicieron un análisis multivariado de los atributos edáficos vinculados a las dunas longitudinales. Luego Pereyra y Tobío (2018) ampliaron el estudio geomorfológico a toda la provincia, aportando una visión integral sobre los procesos geodinámicos. Contreras y colaboradores (2018) llevaron a cabo una caracterización detallada las dunas parabólicas del centro-oeste de Buenos Aires mediante modelos digitales y análisis de imágenes obtenidas del *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM).

Respecto al clima, Pérez y colaboradores (2003), investigaron el régimen de lluvias del centro-oeste de la provincia de Buenos Aires, mientras que Sierra y Pérez (2006) estudiaron la tendencia de las precipitaciones y el manejo sostenible de los ecosistemas. Más tarde, Fernández Long y colaboradores (2011) señalaron que el fenómeno El Niño - Oscilación del Sur (ENOS) influye en la variabilidad climática interanual de la región pampeana.

Según la hidrogeología, Sala y Benítez (1993) reconstruyeron la estratigrafía de la zona mediante pozos profundos, superiores a 600 m. Santa Cruz y Silva Busso (1999) estudiaron las características hidrogeológicas de la llanura pampeana. Angheben y colaboradores (2016) efectuaron estudios hidrológicos en Trenque Lauquen, mientras que Clemente *et al.* (1988) y Mugni (1998) examinaron la influencia del nivel freático en la evolución de los suelos arenosos y el comportamiento de geohidrológico de lentes de agua dulce. Investigaciones posteriores, como las de Dornes *et al.* (2011), Alconada *et al.* (2011) y Bocanegra *et al.* (2012) trabajaron en la gestión de aguas subterráneas. Scarpati *et al.* (2013), Jobbagy Gampel y Nosetto (2015) y, Kruse y Ainchil (2017) analizaron los movimientos verticales del agua subterránea y el comportamiento hidrológico en grandes llanuras. Alsina y colaboradores (2020) estudiaron las tendencia espacial y temporal del manto freático, destacando su importancia en los ecosistemas. Además, agregaron que la región pampeana se caracteriza por un sistema hidrológico subterráneo con flujos laterales muy lentos y niveles freáticos cercanos a la superficie. La baja pendiente regional ($<0,1\%$) dificulta la salida de excesos hídricos en forma líquida, debido a la ausencia de una red de drenaje definida, siendo la evapotranspiración la principal vía de evacuación. Por

lo tanto, todos los excedentes hídricos se traducen en aportes al nivel freático, frecuentemente conectada con cuerpos de agua superficial, que al expandirse generan inundaciones de larga duración. El Atlas Nacional Interactivo de Argentina sobre aguas subterráneas de Santa Cruz (2023) también aporta información sobre esta temática.

Con respecto al agua superficial, diversos estudios han abordado las problemáticas de sequías e inundaciones en la provincia de Buenos Aires. Entre los pioneros en este campo se encuentra Ringuelet (1962), quien caracterizó las lagunas pampeanas. Fertoni y Prende (1983) afirmaron que en zonas de bajo relieve el agua no sigue una única dirección de escurrimiento, desplazándose de manera desordenada, indefinida e imprevisible, resultando en escurrimientos areales o mantiformes. Ameghino (1984) abordó la problemática cíclica de las sequías y las inundaciones en la provincia de Buenos Aires. Critica la falta de infraestructura adecuada para gestionar estas condiciones climáticas extremas y propone soluciones basadas en la retención de aguas, en lugar de su simple desagüe. Observa que las inundaciones y las sequías son fenómenos interrelacionados. Por lo tanto, sugiere la construcción de obras de retención, tales como represas y reservorios, para mitigar los efectos negativos de ambos eventos. Según él, las estrategias de desagüe rápido pueden resolver el problema inmediato de las inundaciones, pero agravan las sequías al no conservar el agua necesaria para los períodos secos. También subraya la importancia de un enfoque integral en la gestión de recursos hídricos, que considere tanto la conservación del agua durante las épocas de lluvia como su distribución durante las sequías. Además, advierte sobre el impacto a largo plazo en la agricultura y la economía local si no se implementan estas medidas. Falasca (1995), Sallies (1999) examinaron las causas y vulnerabilidad de la llanura pampeana ante las inundaciones. Dillon y Castronovo (2003) destacan la coincidencia entre factores climáticos y el mercado. La intensificación de la agricultura y la utilización de herramientas inadecuadas rompen la estructura del suelo, contribuyendo fuertemente con la desertización. También remarcaban una tendencia de aumento de las precipitaciones a partir de la década de los '70. Resaltan que las inundaciones anteriores a 1979 no recibían agua extraprovinciales y a partir de ese año a las lluvias producidas en la zona se le suman los derrames del río quinto.

Una síntesis de la mencionada problemática se puede encontrar en el Relatorio de Provincia de Buenos Aires, editado en 2005 con motivo del XVI Congreso Geológico Argentino en La Plata, aborda diferentes trabajos relacionados con esta temática. Dangavs (2005) analizó los ambientes acuáticos de la provincia, examinando las aguas superficiales en relación con el régimen subterráneo y fenómenos de anegamientos, como se expone en la obra de Kruse y Laurencena (2005). Del mismo modo Hernández (2005) ofreció un panorama ambiental de los recursos hídricos subterráneos, mientras que González (2005) profundiza en los ambientes hidrogeológicos. Del Blanco y colaboradores (2005) se centran en los depósitos evaporíticos presentes en la provincia de Buenos Aires. Giraut (2006) habla sobre "sistemas hidrológicos no típicos" en zonas de llanura, analiza cómo se comporta el agua en estos terrenos, que lo hace de manera diferente a los sistemas hidrológicos convencionales. Enfatiza que, en las llanuras, el flujo de agua es más complejo debido a la falta de pendiente y la heterogeneidad del suelo, lo que conduce a patrones de escurrimiento difusos y multidireccionales. Estos sistemas requieren enfoques de modelización y gestión específicos que difieren de los aplicados en regiones montañosas o con mayor pendiente. Fernández Bussy (2010) aborda la dinámica geomorfológica y el riesgo de desastres. Al año siguiente Scioli y Villanueva (2011) abordaron el comportamiento del agua en terrenos de llanura. Neschuk y colaboradores (2016) numera las cuencas y regiones hídricas de la provincia de Buenos Aires. Villaló (2019) relaciona las precipitaciones con las inundaciones, mientras que Vercelli y colaboradores (2019) recopila información del agua en las llanuras. El reporte final de 2020 sobre la sequía en Argentina propuso estrategias nacionales de adaptación y mitigación ante esta problemática. Mientras que Borzi y colaboradores (2020) recalcan la importancia de monitorear diariamente el excedente hídrico acumulado, permite generar avisos tempranos de evacuación en áreas potencialmente anegables, y evitar posibles pérdidas económicas. Houspanossian y colaboradores (2023), este grupo de investigadores correlacionaron los cambios en el uso de del suelo y el surgimiento de nuevas áreas susceptibles a quedar cubiertas por el agua. Destacan la expansión de la agricultura de grano, por lo tanto, hay un corrimiento del frente de inundaciones que es paralelo a la frontera agrícola. Estas inundaciones no son veloces asociadas a un evento en particular, sino que

inundaciones que se desarrollan gradualmente y después se mantienen por mucho tiempo. Además, vinculan el cambio de uso del suelo y el aumento del nivel freático, que se desplazó de una profundidad de entre doce y seis metros, a una profundidad de entre cuatro metros y unos pocos centímetros. Antes necesitabas acumulación de muchas lluvias para que se produjera una inundación, ahora ya no se necesita que caiga tanta agua. Giraut (2023) describió el sistema del río Quinto, que nace en la sierra de San Luis y se pierde en una serie de esteros y pantanos en el sur de la provincia de Córdoba. En períodos húmedos, el río Quinto sobrepasa la región de los Bañados de la Amarga, una depresión con humedales y lagunas donde suele infiltrarse en períodos secos. Así, tras un sinuoso y prolongado recorrido, atraviesa el límite bonaerense y llega a desaguar en el río Salado, a través de diversas canalizaciones artificiales vinculándose con el sector pampeano.

El Ministerio de Desarrollo Agrario (2020) publicó el mapa sobre el cálculo del riesgo hídrico por anegamiento en la provincia de Buenos Aires, para gestionar y evaluar el riesgo de inundaciones en áreas vulnerables de la provincia. También se consultó la secretaria de recursos hídricos, de La Pampa.

Finalmente, algunos aspectos socioambientales relevantes han sido abordados por distintos investigadores, entre ellos Alva y colaboradores (2012), quienes exploraron la intersección del concepto de calidad de vida en Trenque Lauquen con el desarrollo sostenible. Su enfoque se centró en evaluar la factibilidad de este desarrollo mediante indicadores operativos, los cuales desempeñan un papel crucial al facilitar la formulación de iniciativas estratégicas que guíen acciones específicas con perspectiva territorialmente informada. En una línea similar, Duarte y colaboradores (2013) presentan una perspectiva innovadora al abordar la contribución de mejoras en municipios como Trenque Lauquen. Su propuesta se fundamenta en la recuperación de la valoración inmobiliaria generada por acciones urbanísticas específicas. Estas acciones incluyen modificaciones en el tipo y la intensidad de usos del suelo, así como inversiones en obra pública. Esta metodología no solo destaca la importancia de la planificación urbana, sino que también sugiere un enfoque económico sustentable al vincular la valoración inmobiliaria con las acciones de desarrollo y mejoras en la infraestructura urbana. El Plan Director (Municipalidad de Trenque

Lauquen y CIUT-FAU, 2011) proporcionó las pautas para el crecimiento urbano de la ciudad cabecera.

CAPÍTULO II.

MARCO GEOLÓGICO – GEOMORFOLÓGICO

2.1. Geología Regional

A nivel de la provincia de Buenos Aires hay estructuras geológicas positivas y negativas. La zona de estudio pertenece a una estructura negativa: la cuenca del Salado, cuya formación se vincula con esfuerzos extensionales, asociados a la fragmentación de Gondwana y la apertura del Océano Atlántico a partir del Cretácico. Esta cuenca ha experimentado su mayor subsidencia en el Cretácico y en el Paleógeno (Pereyra y Tobío, 2018).

El basamento geológico ha sido objeto de estudio mediante métodos gravimétricos, magnéticos y sísmicos por Gregori y colaboradores (2009). A partir de estos estudios, se confirmó la presencia de un umbral en el área de Trenque Lauquen. Este umbral o anomalía semipositiva de Bouguer, fue previamente analizada por Kostadinoff (2007), quien la identificó y la asocio a la división entre la Cuenca de Claromecó y la Cuenca Chacoparanense. El primer depocentro fue denominado así por Ramos (1984), quien la interpretó como una cuenca relacionada con la carga flexural producida por el apilamiento tectónico de los corrimientos del sistema de Ventania. Se estima que este umbral se ubicaría al norte de Trenque Lauquen, y se caracteriza por un máximo de gravedad que coincide con un mínimo magnético. Este resultado sugiere la posibilidad de que el basamento este compuesto por granitoides similares a las rocas expuestas en Tandilia. Lo diferencia del ciclo pampeano, porque este último posee anomalías de Bouguer considerablemente inferiores. Por lo tanto, se considera que el basamento del área de estudio corresponde al Cratón de Río de la Plata. (Gregori *et al*, 2009).

Algunas lagunas como el Complejo de lagunas Hinojo- Las Tunas, son mega depresiones, que estarían situadas entre dos anomalías positivas de 9 mGal y 18 mGal (Figura 2), que coincidirían con altos topográficos regionales o bien estar controlado por fallas que acompañan el movimiento del basamento hacia la superficie.

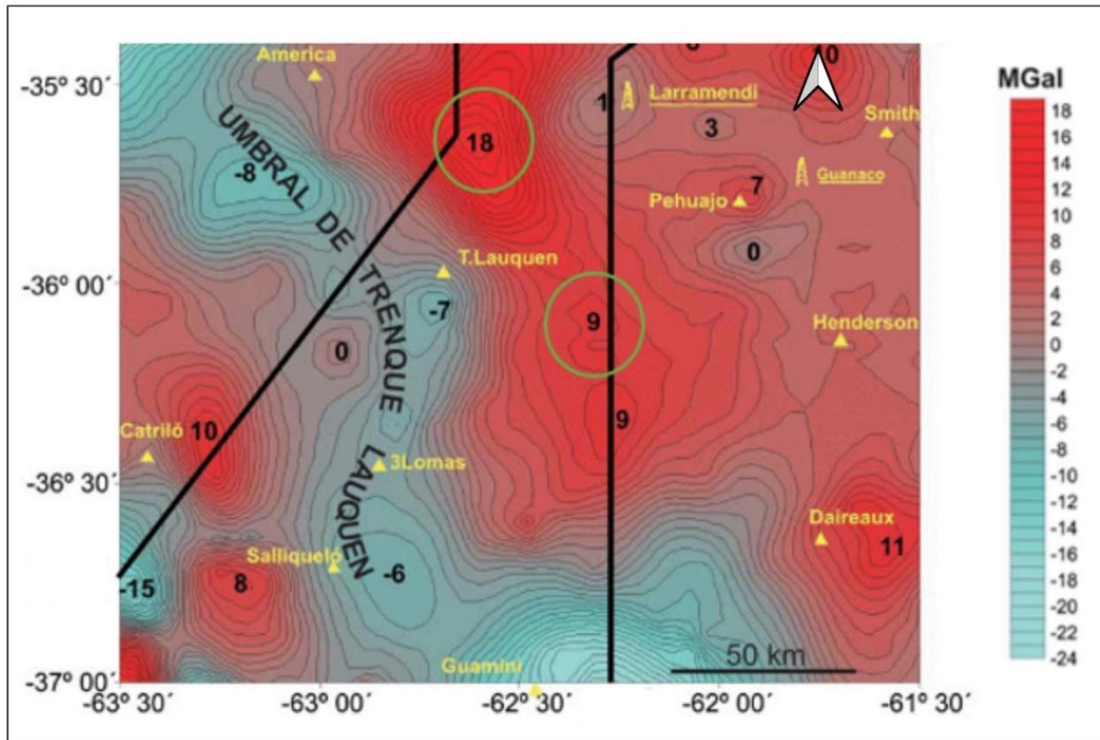


Figura 2. Valores de la anomalía gravimétrica de Bouguer. En color verde se destacan dos valores elevados de la anomalía, que rodean el Complejo Lagunar Hinojo - Las Tunas.

Imagen adaptada de Gregori *et al.* (2009) con modificaciones.

Auge (2004) estudió la estratigrafía al noroeste de la Provincia de Buenos Aires, desde la superficie al subsuelo, identificando diversas unidades geológicas, entre ellas el Postpampeano, Pampeano, Araucano, Arenas Puelches, la Formación Paraná, Olivos, Las Chilcas, Abramo y el basamento. El Postpampeano, también llamado Sedimentos Postpampeanos, abarca una serie de unidades geológicas de diferentes extensión, origen y características, que se desarrollaron a partir del Holoceno. En la zona estudiada, la unidad con mayor continuidad espacial es el Médano Invasor (Tapia, 1937) o Formación Junín (De

Salvo *et al*, 1969), o Platense eólico (Frenguelli, 1950), formada por arenas finas y limos arenosos de color castaño y origen eólico. Además, estos depósitos incluyen limos y arcillas en depresiones, como cubetas de deflación en lagunas permanentes. El máximo espesor se encuentra en Salliqueló - Trenque Lauquen (20 m), disminuyendo al este, siendo de 5 m en Bragado - 25 de Mayo. El Pampeano subyace al Postpampeano en el sector de estudio, perdiendo continuidad hacia el este y quedando directamente cubierto por el suelo. Se divide en dos unidades según su litología: el Pampeano del Pleistoceno, compuesto por limos arenosos con carbonato de calcio en forma de tosca, y el Araucano, formado por areniscas arcillosas y arcillas yesíferas. El Pampeano tiene continuidad en toda el área estudiada, con variaciones de espesor mínimas. Las mayores potencias se observan en Gral. Pinto (155 m) y Lincoln (165 m). También hay espesores significativos en Junín (130 m) y Saladillo (110 m). En el oeste (Villa Sauze) y el este de la región (Micheo), así como en el centro (Moctezuma), el espesor disminuye a unos 80 m. El Araucano se encuentra debajo del Pampeano y por encima la Formación Paraná, con su piso y su techo, siendo superficies de discordancias erosivas. Esta unidad geológica es sincrónica a Arenas Puelches, ambas difieren en las características sedimentológicas. El Araucano se ubica en el subsuelo del área estudiada, al oeste de una línea que pasa entre Junín y Lincoln, Bragado y 9 de Julio, 25 de Mayo y Huetel, Saladillo y Micheo. Las Arenas Puelches o Formación Puelches, se localizan al este de esta línea, su orientación es subparalela al cauce del Río Salado. El espesor del Araucano aumenta hacia el suroeste, desde la línea donde interdigita con las Arenas Puelches, alcanzando un espesor de 140 m. Las formaciones Paraná, Olivos, Las Chilcas (Thomas 1958) son del Terciario y Abramo (Salso 1966) es del Cretácico. La Formación Paraná está constituida por arcillas, arenas arcillosas y arenas con niveles calcáreos y fósiles marinos, con potencias variables entre 100 m (Larramendy) y 40 m (Pehuajó). La Formación Olivos formada por areniscas y arcillas, con yeso y anhidrita; cuyo piso está afectado por fracturación, también con variaciones en su espesor. La Formación Las Chilcas, del Paleoceno, consiste en limonitas y arcillas marinas. Se ve afectada por la fracturación de piso a techo, tiene una potencia que va desde los 150 m en Va. Sauze hasta las 290 m en Larramendy. En la Provincia de Buenos Aires, el tectonismo se va disipando gradualmente hacia las unidades

más modernas hasta hacerse imperceptible a partir del Terciario superior. Mientras que la Formación Abramo, de origen continental, se compone por dos secciones. En la sección superior dominan las areniscas arcillosas hasta conglomeráticas, pardo rojizas, calcáreas y yesíferas, mientras que la inferior está formada por limolitas arenosas de grano fino. Tiene espesores de 130 y 345 m, en Guanaco y Larramendy este se apoya directamente sobre basamento de composición granítica. El basamento está compuesto por granitos, probablemente precámbricos, que se encuentra a 644m en Guanaco y a 1.022 m de profundidad en Larramendy, las cuarcitas paleozoicas de Huetel a 214 m y las calizas paleozoicas de Villa Sauze a 497 m de profundidad (ver Cuadro 1).

Por otro lado, Zárate (2005) describió el Cenozoico Tardío Continental de la provincia de Buenos Aires. Detalló que está representado por una sucesión sedimentaria homogénea, compuesto por depósitos volcanoclásticos finos, limos arenosos y limo arcilloso, de tonalidad castaña y aspecto macizo. Este material se interpreta como eólico y se depositó después que se retirara el mar paranense en el Mioceno. Los depósitos, comúnmente conocidos como sedimentos pampeanos son los pertenecientes al Cenozoico tardío. Se reconocen como facies de ambientes acuosos y en menor medida como facies eólicas primarias, incluyendo niveles de tefra. Un rasgo notable es la presencia de niveles con fragmentos sedimentarios fundidos, de aspecto vítreo y vesicular, correspondientes a cinco eventos volcánicos. Zárate también resalta que las acumulaciones calcáreas (tosca) son típicas y exhiben morfologías muy variadas; su génesis estaría vinculada a procesos superficiales (pedogénesis) como diagenéticos por circulación de aguas subterráneas. El ciclo sedimentario continental del Cenozoico tardío, según este autor, comienza en el Mioceno tardío. Estos depósitos junto con los del Plioceno, eran agrupados en el Araucanense (Doering 1882). Describe areniscas fosilíferas con espesores de 150 y 200 metros aproximadamente, este ciclo lo vincula con la prefase del tercer movimiento de la orogenia andina, cuyo comienzo empezó con la regresión del mar paranense. Los factores de control son desconocidos, aunque, podrían haber sido tectónicos o climáticos. En el caso del clima el proceso de sedimentación tuvo lugar en condiciones variables a lo largo del tiempo, con una tendencia progresiva hacia el enfriamiento y aridización, durante el cuaternario,

con alternancias de condiciones húmedas y cálidas. Con respecto a la naturaleza volcánica - piroclástica de procedencia andina ha sido relativamente importante y constante. A partir del mio-plioceno se inicia un período de estabilidad que continua hasta el cuaternario, esto se evidencia con las costras calcáreas, solo los valles fluviales habrían funcionado como áreas de almacenamientos de sedimentos en determinados lapsos.

Otro punto es que De Salvo y colaboradores (1969) definieron la Formación Junín, en el Partido de Junín, dentro de la provincia de Buenos Aires, a los sedimentos de tamaño arena fina, pertenecientes al Pleistoceno. Distinguiéndola de la Formación Ensenada por la ausencia de cuerpos epigenéticos toscos. La Formación Junín, aflora en el Área - Tipo con excepción de las zonas ocupadas por causes o médanos, formados por sedimentos modernos, estos se distinguen porque la fracción de limo-arcilla es menor. Es de forma tabular con relieve ligeramente ondulado, su potencia aumenta al norte y al sur del Río Salado, pero estos sedimentos se adelgazan y desaparecen en el partido de Chacabuco. Sin embargo, proponen su extensión areal al sudoeste de la Provincia de Buenos Aires (Laguna del Venado, Guamaní, Cochicó, Alsina) y en la Provincia de La Pampa, ya que encuentran coincidencias en la descripción de los sedimentos hecha por otros autores.

Unidades estratigráficas		Litología	Descripción	Edad
Postpampeano (Formación Médano Invasor o Formación Junín o Platense eólico)		Arenas finas y limos arenosos de origen eólico.	Depósitos origen eólico con alta permeabilidad e infiltración.	Holoceno
Pampeano		Limos arenosos finos, algo arcillosos, con concreciones calcáreas y niveles de tefra.	Depósitos de origen eólico. Tendencia climática árida.	Pleistoceno
Formación Araucano		Areniscas arcillosas, castañas claras con cemento calcáreo. Abundante yeso, con intercalaciones de arcillas rojizas.	Regresión del Mar Paranense.	Plioceno
Formación Paraná		Arcillas, arenas arcillosas y arenas con niveles calcáreos y fósiles marinos.	Depósitos de la transgresión del Mar Paranense.	Mioceno Superior
Formación Olivos		Areniscas y arcillas, con yeso y anhidrita.		Mioceno Inferior
Formación Chilca		Limonitas y arcillas marinas.		Paleocena
Formación Abramo	Sección Superior	Areniscas arcillosas hasta conglomeráticas, pardo rojizas, calcáreas y yesíferas.	De origen continental.	Cretácica
	Sección Inferior	Limolitas arenosas de grano fino		
Basamento		Granito		Precámbrico

Cuadro 1. Cuadro estratigráfico del área de estudio. Imagen de Auge (2004) con modificaciones.

2.2. Suelo

En los sectores de llanura, el suelo es el medio donde el hombre realiza sus actividades y el uso del mismo va a la par del desarrollo de las sociedades. A pesar de ser un recurso renovable, que se va modificando con el tiempo y clima del lugar, se lo considera un recurso no renovable ya que los procesos de formación son lentos, fuera de la escala humana y el mal uso o la pérdida del mismo es irreparable. La provincia de Buenos Aires está compuesta por cinco tipos de suelos: molisoles, vertisoles, entisoles, alfisoles y aridisoles (Hurtado *et al*/ 2005). De los cuales en el área de estudio se presentan los molisoles y alfisoles como se observa en la Figura 3 del Atlas Nacional Interactivo de Argentina (ANIDA).

Hurtado y colaboradores (2005) describen a los molisoles como suelos altamente productivos, prevalentes en zonas subhúmedas y semiáridas, desarrollándose generalmente bajo los pastizales. Presentan horizontes superficiales muy oscuros, compuestos por minerales oscuros, con variada fertilidad. La actividad biológica desempeña un papel fundamental en su génesis, relacionada a la adición de materia orgánica y descomposición de residuos subsuperficiales. También están los alfisoles, cuya formación depende de la traslocación de las arcillas desde la superficie al horizonte B, este movimiento de las arcillas con el agua percolante explica la formación de los cutanes. De igual modo otros compuestos pueden moverse al horizonte B como el sílice y aluminio en solución. Su desarrollo implica el lavado de carbonatos de la zona del solum y el proceso de braunificación o pardificación.

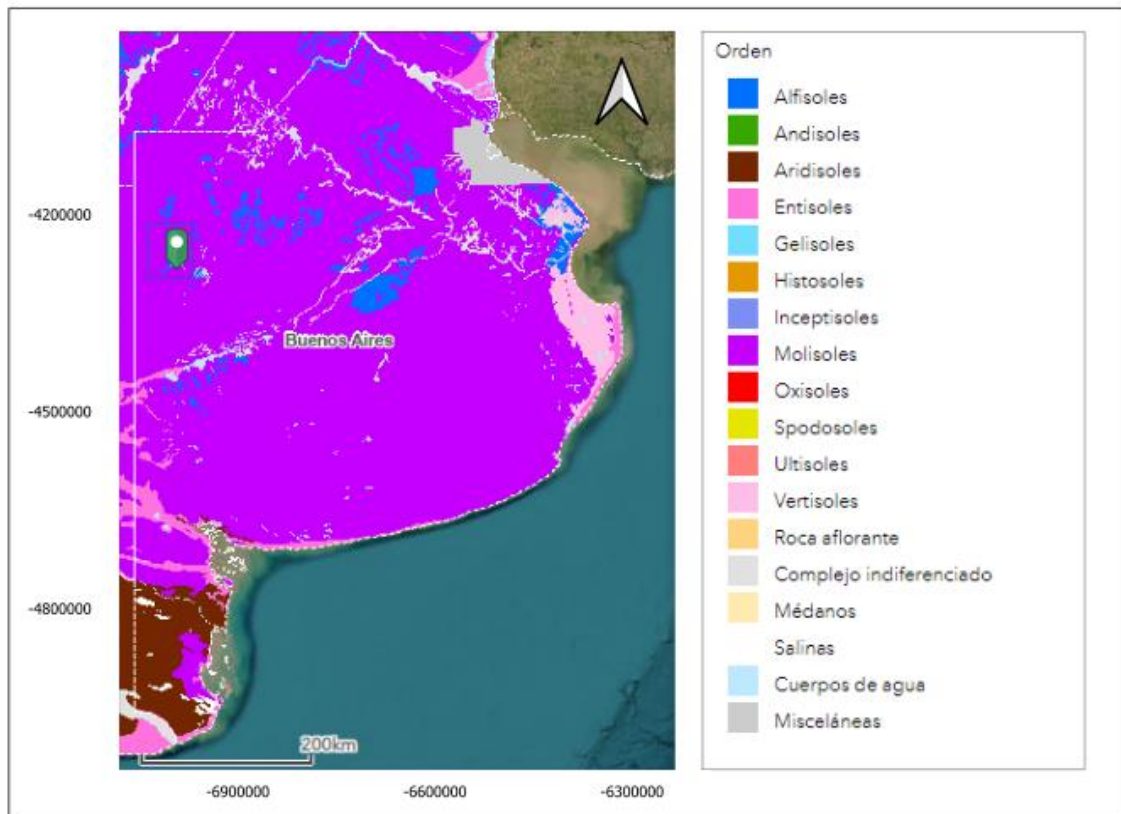


Figura 3. Imagen presenta los diferentes tipos de suelos que se pueden encontrar en la provincia de Buenos Aires. El área de estudio, delimitada por un rectángulo, está compuesta por molisoles y alfisoles. Imagen extraída del Atlas Nacional Interactivo de Argentina (ANIDA) con modificaciones.

Los suelos de la Pampa Arenosa se han desarrollado a partir de materiales arenosos recientes de espesor variable, asentados sobre sedimentos de textura fina y poco permeables que sustentan la capa freática. La profundidad de esta capa depende del espesor del manto arenoso, manteniéndose alejada de la superficie en suelos profundos con relieve ondulado, pero aflorando donde la cobertura arenosa es escasa. En los relieves bajos, los suelos inundables son comunes, con la capa freática cercana a la superficie y moviéndose libremente en el perfil. Esto frecuentemente provoca problemas de salinización y exceso de sodio intercambiable en los suelos, debido a los altos contenidos de sales en las aguas subterráneas y al ascenso capilar de sales seguido de su precipitación en la superficie por efecto de la evaporación. Asimismo, las consecuencias de las inundaciones sobre los suelos dependen de la calidad del agua inundante,

especialmente del contenido y el tipo de sales prevaleciente. El origen del agua inundable es crucial: si proviene de la lluvia, que no es salina, reduce la salinidad del suelo mediante un efecto de dilución. Sin embargo, esto puede ocasionar problemas de aireación para las plantas y dificultar el tránsito de vehículos y maquinarias. Si el agua proviene del ascenso de la capa freática, las consecuencias varían según la concentración salina y el tipo de sal del agua subterránea. Este proceso puede llevar a la salinización del suelo, regulada por el flujo ascendente de agua a través de los poros capilares del suelo, influenciado por la combinación de aniones y cationes presentes. El tipo de sal está determinado por la combinación de aniones (cloruros, sulfatos y bicarbonatos) y cationes (sodio, potasio, magnesio y calcio) (Taboada *et al*, 2009).

2.3. Clima y sus variantes

El clima de la provincia de Buenos Aires es mayormente templado a húmedo, volviéndose semiárido al oeste. Según el Servicio Meteorológico Nacional (SMN), los valores medios de las temperaturas máximas van desde los 15°C a 18°C y de las temperaturas mínimas son entre 5°C y 8°C en los meses de mayo y junio. Mientras que, desde septiembre hasta diciembre, las temperaturas máximas son entre 20°C y 29°C y las mínimas entre 8°C y 17°C.

El área de estudio se caracteriza por un clima seco, el nivel medio anual de lluvias es de 840 mm. Datos tomados por el SMN desde el año 1961 hasta el 2021 (Figura 4). Los meses más lluviosos van desde octubre a abril, con un mínimo de precipitaciones en el mes de julio y un máximo en el mes de marzo, con lluvias diarias que pueden alcanzar aproximadamente 150 mm, lo que representa un 17% de las precipitaciones anuales. Los meses de mayor intensidad de precipitaciones corresponden al periodo de enero, febrero y marzo, así como también octubre, noviembre y diciembre. Coincide con los meses del año donde ocurre un aumento de la evaporación debido al incremento de la temperatura.

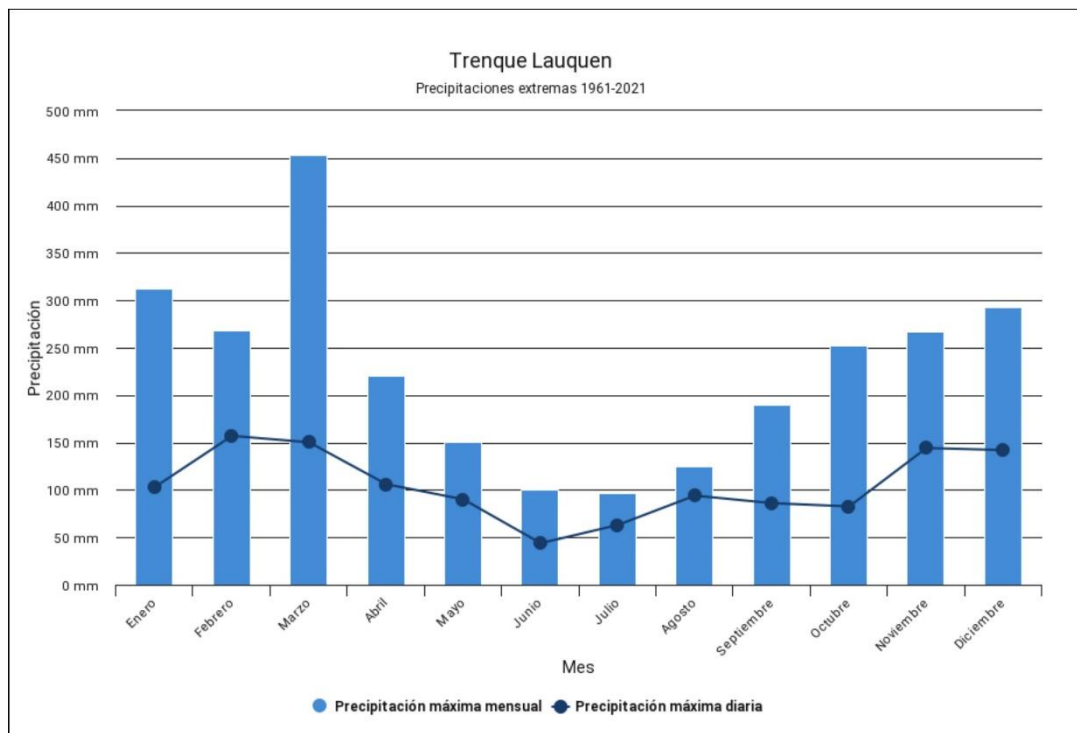


Figura 4. Precipitaciones extremas desde el año 1961 hasta el año 2021. Se muestran las lluvias máximas mensuales y diarias registradas durante este periodo. Imagen tomada del Servicio Meteorológico Nacional (2023)

Sierra y Pérez (2006) propusieron dos teorías para el noroeste de la provincia de Buenos Aires: una basada en la ciclicidad hídrica, caracterizada por la ocurrencia de largos períodos de inundación y sequías. Y la otra habla que de un incremento lineal del régimen de lluvias.

Con respecto al fenómeno conocido como El Niño - Oscilación del Sur (ENOS), se caracteriza por la variación de las temperaturas en la región central y oriental del Pacífico ecuatorial, concomitante a alteraciones atmosféricas. Se destaca como uno de los principales elementos de la variabilidad climática interanual, que engloba cambios en la circulación atmosférica con una duración variable, oscilando desde algunos meses hasta pocos años (Servicio Meteorológico Nacional, 2020). Este fenómeno exhibe una periodicidad irregular, manifestándose típicamente en intervalos de dos a siete años. Se identifica la fase de El Niño o La Niña cuando las temperaturas superficiales del mar en el Pacífico oriental tropical experimentan aumentos o disminución de $0,5^{\circ}\text{C}$

respecto al promedio durante múltiples meses consecutivos, abarcando un lapso de cinco trimestres.

El ENOS regula el régimen de lluvias de la región Centro Oeste de Buenos Aires. Durante los eventos cálidos (“El Niño”), se registran precipitaciones superiores de lo normal desde noviembre del año en que se inicia hasta febrero del año siguiente. Por el contrario, en los episodios fríos (“La Niña”), las lluvias son por debajo de lo normal desde julio hasta diciembre del año de inicio. Si examinamos la Figura 5 se puede ver cuáles son los años afectados por cada uno de estos fenómenos desde 1980 hasta el año 2000 (Pérez *et al*, 2003).

Década	Episodios Neutros	Episodios de Niño	Episodios de Niña
10	1919/20	1918/19	
20	1920/21, 1921/22, 1922/23, 1926/27, 1927/28, 1929/30	1923/24, 1925/26	1924/25, 1928/29
30	1931/32, 1933/34, 1934/35, 1935/36, 1936/37, 1937/38	1930/31, 1932/33, 1939/40	1938/39
40	1940/41, 1942/43, 1943/44, 1944/45, 1945/46, 1946/47, 1947/48, 1948/49, 1949/50	1941/42	
50	1952/53, 1954/55, 1956/57, 1958/59, 1959/60	1951/52, 1953/54, 1957/58	1950/51, 1955/56
60	1960/61, 1961/62, 1962/63, 1963/64, 1966/67, 1967/68, 1968/69	1965/66, 1969/70	1964/65
70	1971/72, 1974/75, 1977/78, 1978/79, 1979/80	1972/73, 1976/77	1970/71, 1973/74, 1975/76
80	1980/81, 1981/82, 1983/84, 1984/85, 1985/86, 1987/88, 1989/90	1982/83, 1986/87	1988/89
90	1990/91, 1992/93, 1993/94, 1996/97	1991/92, 1994/95, 1997/98	1995/96, 1998/99, 1999/2000
TOTALES	50	19	13

Figura 5. Cuadro de los años afectados por episodios de El Niño, La Niña y aquellos considerados neutros en relación al fenómeno ENOS. Cuadro extraído de Pérez y colaboradores (2003).

A partir de los datos correspondientes a los años afectados por el fenómeno de El Niño y las precipitaciones diarias registradas entre 1956 y 2022 en la estación meteorológica de Trenque Lauquen, proporcionados por el Centro de Información Meteorológica del Servicio Meteorológico Nacional, se han

procesado y representado los resultados en el Gráfico 1. Dichos datos permiten analizar la evolución de las precipitaciones en la región y su relación con el fenómeno El Niño-Oscilación del Sur (ENOS).

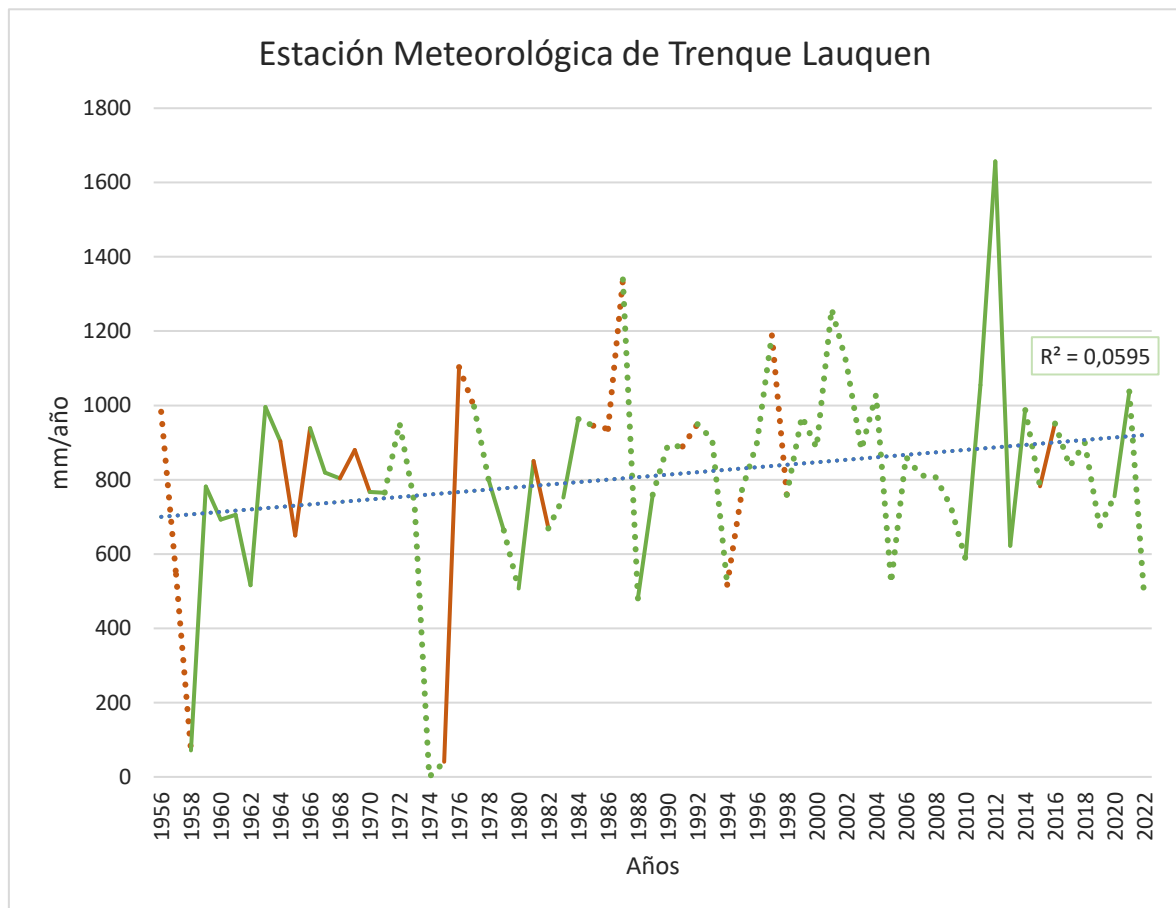


Gráfico 1. Evolución del promedio anual de lluvias desde el año 1956 hasta 2022 en Trenque Lauquen. Se resaltaron en color naranja aquellos años que se vieron afectados por el fenómeno de El Niño. Las líneas discontinuas corresponden a años con faltantes de datos en algunos meses. Fuente: elaboración propia.

El análisis de los datos revela una curva que refleja la variabilidad climática, con fluctuaciones cíclicas entre períodos de lluvias y sequías. Aunque el coeficiente de correlación lineal es bajo, lo que indica una tendencia general poco significativa, se observa un incremento en el promedio anual de precipitaciones. Además, en los últimos años, los valores de lluvias muestran una tendencia a estabilizarse, lo que ha provocado una escasez de agua y, en

consecuencia, sequías. No obstante, estas sequías son más húmedas en comparación con las de décadas anteriores. Asimismo, se destacaron en color naranja los años en los que el fenómeno de El Niño tuvo impacto. La ausencia de registros en ciertos meses de determinados años, como se detalla en la tabla (véase Anexo II), afectan en la precisión de la curva. Dado que dichos datos faltantes corresponden a meses con mayores índices de precipitación. No obstante, esta limitación, los años con datos incompletos siguen superando el promedio de precipitación anual, establecido en 840 mm (valor promedio de lluvias anuales para la zona de estudio). Entre los años que sobrepasaron la media, se destacan 1976, 1987, 1997, 2001, 2002, 2004, 2011, 2012 y 2021, donde las lluvias excedieron considerablemente los 1000 mm. En el gráfico se observan dos picos de máxima caída de agua, uno correspondiente al periodo 1986-1987 y otro al año 2012, con una diferencia de 318 mm entre ellos. Durante 1986-1987 las lluvias estuvieron por encima de la media, ambos años, esto favorece el ascenso del nivel freático. En cambio, el evento de 2012 es aislado, con un 2011 por debajo de la media. Aunque el pico de 2012 sea de mayor altura, el intervalo de máxima inundación corresponde al de 1986-1987.

Durante estos años de alta pluviosidad, los ciudadanos de Trenque Lauquen se vieron alcanzados por esta problemática, principalmente zonas rurales y algunas áreas urbanas periféricas. Generando un descontento social, debido a que sus bienes o producción quedo bajo agua o porque se vieron perjudicados indirectamente. La mayoría de los productores agropecuarios perdieron varias hectáreas destinadas a la producción agrícola, y los comerciantes que proveían insumos a esta producción también sufrieron daños colaterales. Como consecuencia de esta situación se produjo una crisis económica local, que impacto no sólo a nivel de los sectores afectados directa o indirectamente, sino también a la población en general (Anexo III). Sin embargo, un impacto positivo de las lluvias cuando no ocurren en exceso es que aumenta la producción agrícola y la recarga de lentes subterráneas que conforman la única fuente de abastecimiento de agua potable.

En relación con el pasado geológico del río Quinto, se postula que durante el Pleistoceno Superior el río seguía un curso diferente, el cual quedó sepultado bajo las arenas de las dunas lineales. Este antiguo cauce podría haber formado

parte de una red fluvial más extensa y con un caudal más constante, que fue modificado por los cambios climáticos y geológicos experimentados en la región durante ese período. La evolución del río Quinto a lo largo del tiempo ha sido influenciada tanto por intervenciones humanas recientes como por procesos naturales históricos que han alterado su curso y comportamiento. Es posible que el río haya contribuido, aunque en menor medida, al transporte de agua a la zona de estudio, donde durante episodios de precipitaciones abundantes se generan excesos hídricos.

Al analizar las afirmaciones de Sierra y Pérez (2006), de manera conjunta con el promedio de lluvias realizado, se puede ver que el régimen de lluvias sigue una tendencia lineal, el cual aumenta en los años más recientes. Este aumento está caracterizado por ciclos de lluvias, donde hay exceso de agua, y sequías, donde hay déficit.

2.4. Hidrogeología

Los rasgos geológicos desde el punto de vista del agua subterránea, se obtuvieron a partir de una serie de perforaciones realizadas en las localidades de Larramendy (1024 mbbp), Guanaco (683 mbbp) y Francisco Magnano (640 bbp), además de otros perfiles de zonas aledañas (Sala y Benítez 1993). La perforación de Francisco Magnano es la de mayor interés en este trabajo ya que es una antigua estación de tren, dentro del partido de Trenque Lauquen (Figura 6). Mientras que las otras localidades no están dentro del partido, pero se pueden tomar como referencia por su cercanía. Larramendy está ubicada a 27 Km proximadamente y Guanaco a 60 km aproximadamente, ambos al NE. A partir de estos pozos deducen la presencia de un basamento impermeable.

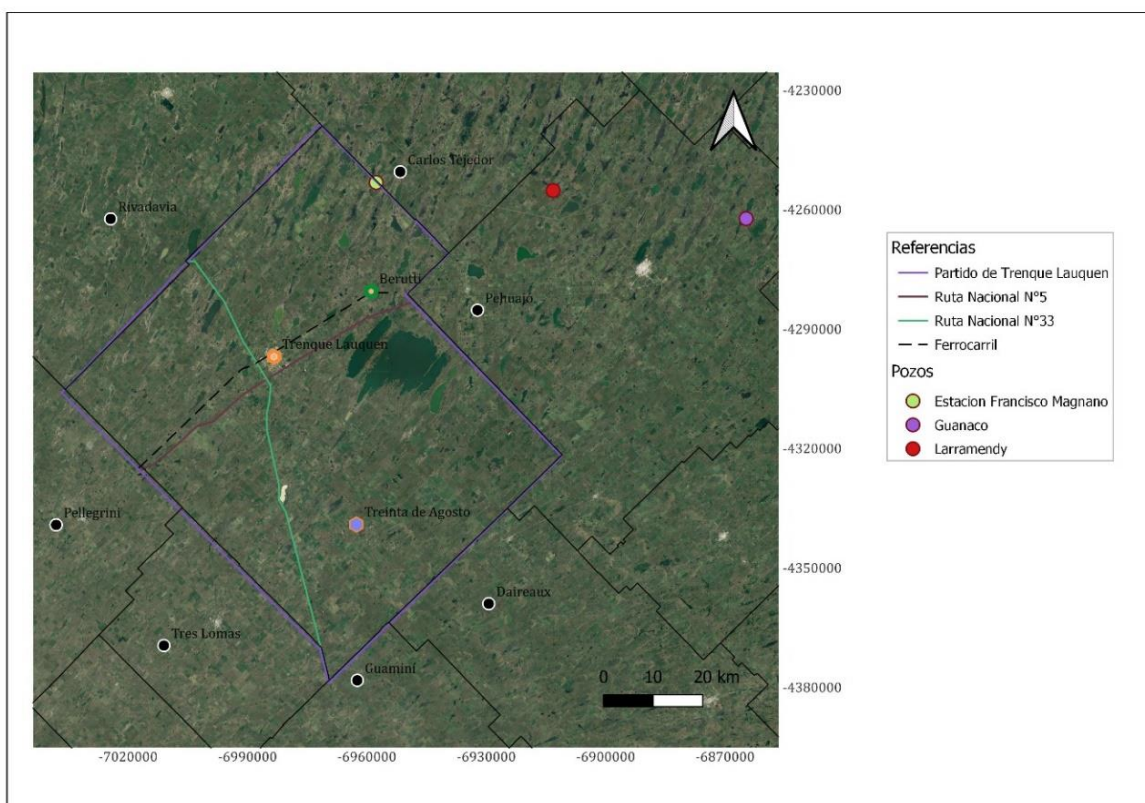


Figura 6. Distribución de los pozos: perforación de Francisco Magnano corresponde a una estación de tren, dentro del partido de Trenque Lauquen, mientras que Larramendy y Guanaco están en cercanía, pero afuera del distrito. Fuente: elaboración propia.

El basamento en Larramendy se encuentra a 1.024 mbbp (metros bajo boca de pozo) mientras que en Guanaco se halla a 683 mbbp. Está compuesto por una sección cristalina formada por granitoides y por encima se encuentra el basamento impermeable de espesor variable. Este último fue alumbrado en el pozo de Larramendy e incluye areniscas, areniscas cuarzosas y probables cuarcitas de la Ventana del Paleozoico. Son rocas de características acuífugas estériles, aunque se menciona la posibilidad de existencia de permeabilidad secundaria debido a alteración o fisuración. Sobre el basamento se encuentra la Sección Hipoparaniana, que incluye una serie de areniscas rojizas con intercalaciones arcillosas de la misma coloración, pertenecerían al Mesozoico. En general, está formada por una sucesión sedimentaria de origen continental, aunque en algunas perforaciones se han encontrado horizontes con fósiles marinos intercalados. Su edad es muy discutida, pero generalmente se ubica

dentro del Mioceno. Este paquete sedimentario está compuesto por sucesiones de arcillas y areniscas rojo moradas, con alto porcentaje de yeso y anhidrita e intercalaciones de cenizas volcánicas. Su espesor varía entre 100 y 250 m, el techo se encuentra a profundidades de 400 y 500 m y se profundiza hacia el sudoeste. Estas capas sedimentarias contienen aguas salinizadas, inapropiadas para el consumo general, que podrían provenir de grandes distancias, ser aguas fósiles o resultado de la percolación de secciones superiores. Por encima está la Sección Paranaiana, constituida por arcillas grises, azuladas - verdosas, yeso, escasas arenas de la misma tonalidad y abundantes fósiles marinos. Esta secuencia se depositó como consecuencia de una ingresión marina del Atlántico, por el Mar Paranaiano durante el Mioceno superior. Esta transgresión cubrió una amplia zona desde el noroeste de la Patagonia hasta el sur de Paraguay, pasando por la Provincia de Buenos Aires, oeste de Uruguay, Entre Ríos, etc. La sección tiene un espesor que va desde los 10 hasta los 300 m y se profundiza en la misma dirección que la sección anterior. Tiene acuíferos de poca potencia y aguas fuertemente salinizadas. Suprayacente a la secuencia anterior se sitúa la Sección Epiparanaiana, con una potencia que varía entre 100 y 150 , subdividida en dos subsecciones una inferior y otra superior. La sección inferior se localiza en discordancia con la Sección Paranaiana y comprende niveles arenosos loessoides calcáreos, variados lentes de tosca, arcillas con tonalidades pardo - chocolate y margas arcillosas parduscas. Su edad se la atribuye al Terciario Superior (Plioceno), es representativa del Araucano. Cambiando lateralmente hacia el este con el Puelchense, este cambio de facies se daría entre las ciudades de Nueve de Julio y Bragado. En algunos lugares es portadora de agua de buena calidad mientras que en otros puede exceder los límites de salinidad para el consumo humano. La sección superior está representada por los sedimentos de la formación Pampiano del Cuaternario. Compuesta por arenas finas a muy finas en parte limosas, arenas loessicas, con intercalaciones de toscas arenosas y limosas, con diferentes grados de consolidación y potencias. La sucesión termina con arenas muy friables, porosas, de granulometría mediana, que forman los suelos de la región, variando en los relieves negativos donde se hacen limosos- arcillosos. En esta capa se hallan lentes de agua de buena calidad que se saliniza hacia abajo.

2.4.1. Inundaciones y sequías

La compresión de la dinámica del agua subterránea es fundamental para comprender el sistema hidrológico en las llanuras. En el área de estudio, los movimientos verticales del agua, tales como la infiltración, evaporación, transpiración e intercambios con la zona saturada y freática, predominan frente a los horizontales. Estos últimos se manifiestan tanto en las capas superficiales como en las subterráneas (Scarpati *et al*, 2013).

A pesar de la predominancia de los movimientos verticales, es fundamental tener en cuenta el desplazamiento horizontal del agua subterránea, dada su significativa influencia en la capacidad de infiltración. Los flujos subterráneos abarcan el movimiento del agua a través de sedimentos geológicos, vegetación y suelos, lo que genera recorridos diferenciados en el subsuelo. La influencia del agua subterránea en el paisaje no solo depende de la profundidad a la que fluye, sino también de su calidad, el punto de origen del flujo, la zona de recarga y descarga, así como la distancia recorrida. Las propiedades únicas de las moléculas de agua permiten rastrear su trayectoria. Según la profundidad y distancia recorrida, se distinguen tres tipos de flujos: de recarga (descendentes), de tránsito (horizontales) y de descarga (ascendentes). La Figura 7 ilustra esquemáticamente estos flujos (Alconada *et al.*, 2011).

El modelo hidrológico propuesto por Alconada y colaboradores (2011) para la Pampa Arenosa señala que la localidad de Beruti actúa como un punto de descarga de lugares de recarga fuera del partido. En cambio, las zonas de Vidaña y Mari Lauquen, diferentes geomorfológicamente, funcionan como áreas de recarga de un flujo local.

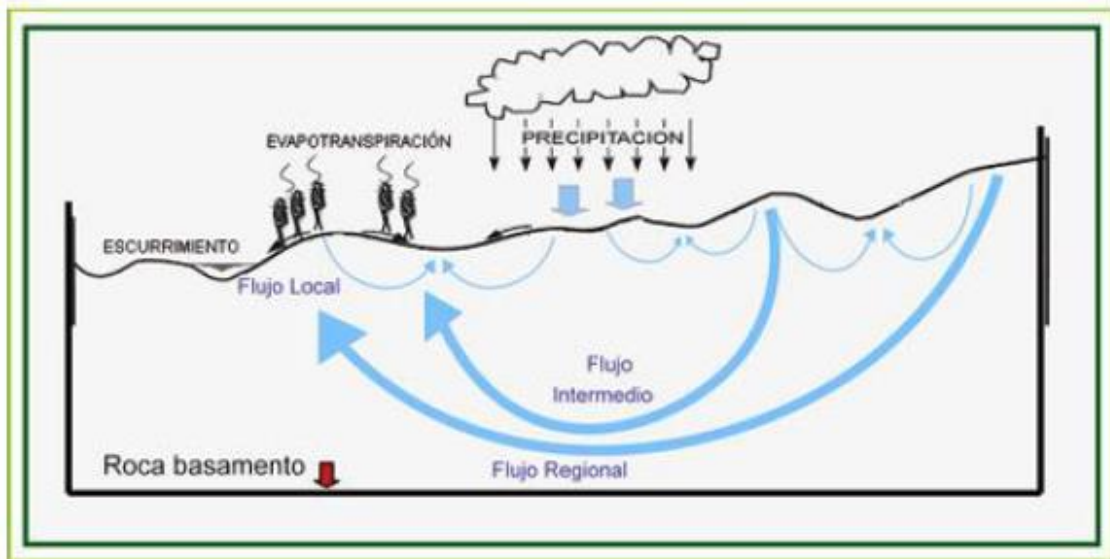


Figura 7. Flujos subterráneos locales, intermedios y regionales. Imagen extraída del trabajo de Alconada *et al.* 2011.

En la zona de estudio, el relieve exhibe una escasa prominencia, lo que conlleva a que los flujos laterales de aguas subterránea transcurran de manera pausada y se ubiquen en proximidad a la superficie. En periodos de intensas lluvias, el nivel freático experimenta saturación, ascendiendo y dando lugar a posibles anegamientos en partes bajas. Estas aguas superficiales, presentes en lagunas, están fuertemente relacionadas al nivel freático. Las fluctuaciones en las lagunas son indicadores hidrológicos (Kruse y Ainchin, 2017). De este modo, la baja pendiente regional, en combinación con un clima húmedo, dictamina la profundidad del nivel freático. La cercanía de esta última a la superficie facilita los flujos ascendentes; no obstante, si rebasa ciertos umbrales, puede ocasionar problemáticas en los suelos, tales como la salinización (si se sitúa por debajo del umbral) o anegamientos (si se encuentra por encima de cierto umbral), con consecuencias perjudiciales para la productividad agropecuaria.

Alsina y colaboradores (2020) estudiaron la tendencia espacial y temporal del nivel freático, clasificando el área en distintas zonas, entre ellas la Pampa Interior, donde se ubica la zona de estudio. Según la Figura 8, en esta región el nivel freático se ha mantenido estable durante las últimas dos décadas. Los autores destacan que las napas freáticas desempeñan un papel fundamental en los ecosistemas cuando se encuentran cerca de la superficie (a menos de 10

metros de profundidad), ya que facilitan el intercambio de agua y solutos con los suelos y la vegetación. Comprender la variación en la profundidad de las napas freáticas a lo largo del tiempo y del espacio es clave para entender el funcionamiento de los ecosistemas y los sistemas hidrológicos, especialmente en las llanuras, donde estas pueden estar conectadas con la superficie en una amplia porción del territorio.

Asimismo, los autores señalan que la Pampa se caracteriza por un sistema hidrológico subterráneo de flujos laterales muy lentos y niveles freáticos cercanos a la superficie. La baja pendiente regional, inferior al 0,1%, dificulta la evacuación de los excesos hídricos en forma líquida, debido a la ausencia de una red de drenaje definida. En consecuencia, la evapotranspiración se convierte en la principal vía de eliminación de agua. Esto implica que los excedentes hídricos se incorporan a las napas freáticas, las cuales, en ocasiones, se conectan con cuerpos de agua superficiales, lo que provoca inundaciones prolongadas.

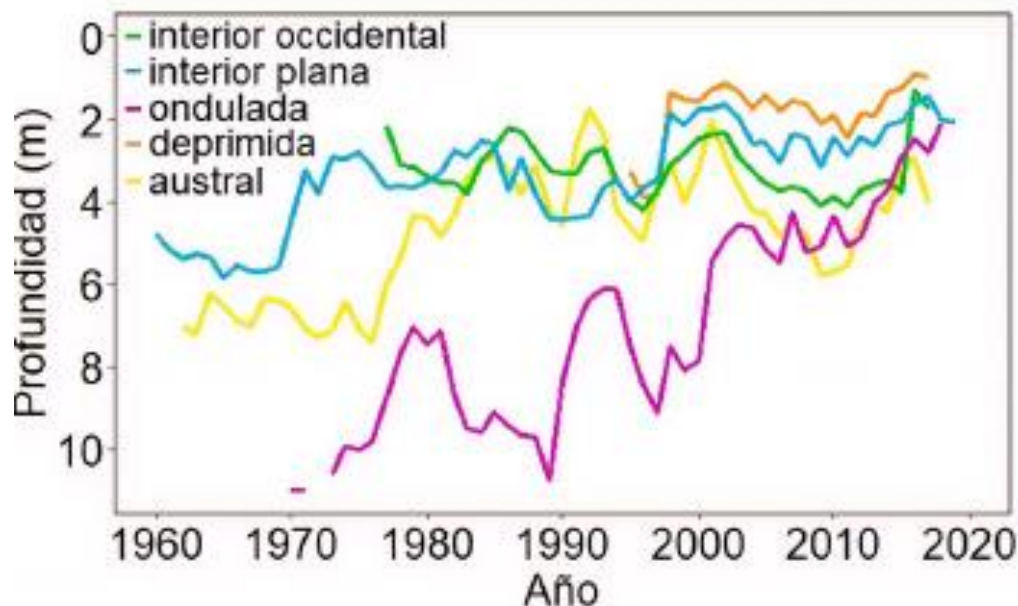


Figura 8. Tendencia espacial y temporal de la NAPA. Imagen extraída de Alsina *et al*, (2020).

En Trenque Lauquen, se ha constatado una relación directa entre la morfología del terreno y las características hidroquímicas subterránea (Mugni, 1998). Las áreas topográficamente elevadas están asociadas a zonas de recarga y presentan menor salinidad, mientras que las áreas de menor altitud se relacionan con zonas de descarga y exhiben mayor salinidad. Además, se ha explicitado que el escurrimiento subterráneo sigue un patrón radial y que la superficie freática refleja la topografía, aunque con un gradiente más atenuado. En este contexto, se infiere que el área de estudio manifiesta un flujo subterráneo en dirección al NNO, siguiendo el gradiente topográfico regional (Figura 9).

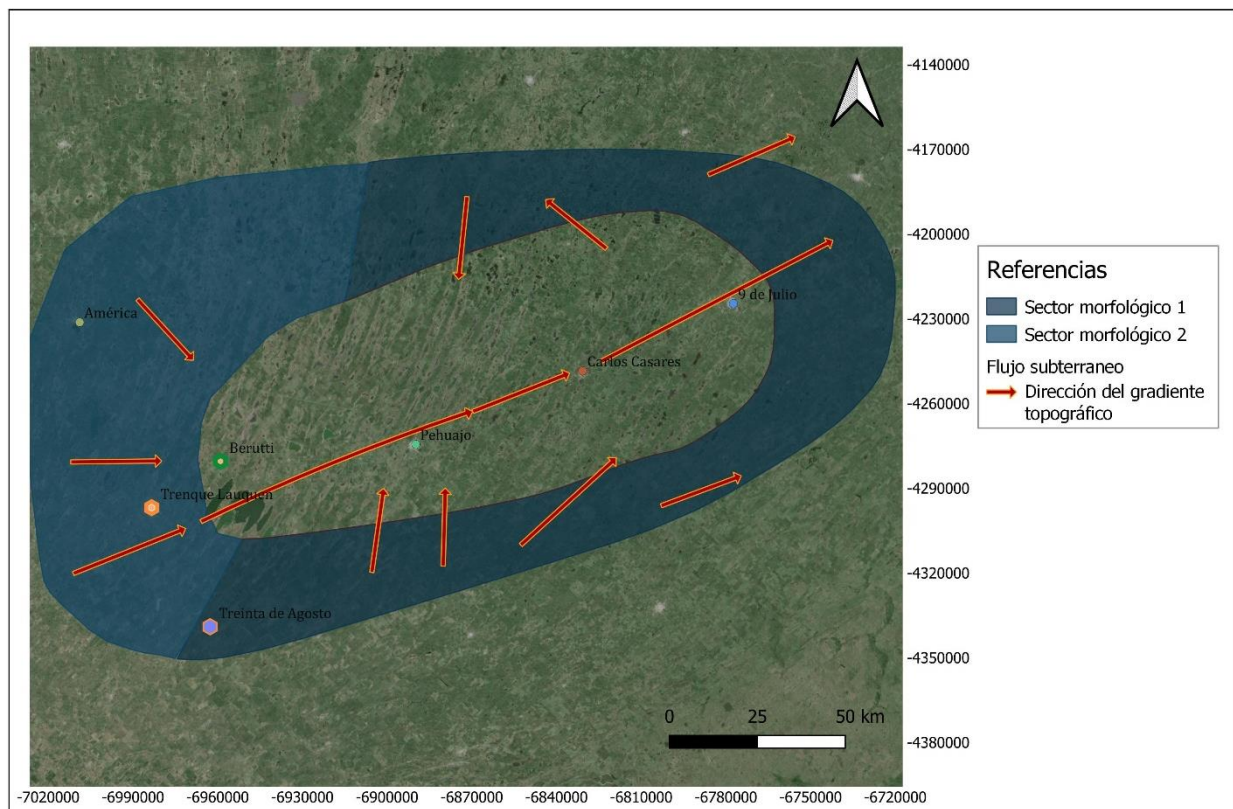


Figura 9. Esquema regional del flujo subterráneo. Imagen de elaboración propia basada a partir de un gráfico realizado por Mugni (1998)

2.5. Uso del suelo

Las tierras del área de estudio son utilizadas principalmente para la actividad agropecuaria, siendo la siembra la principal ocupación, seguida en menor medida por la ganadería y lechería. La actividad agropecuaria emerge como el principal generador de ingresos y movimiento económico para las ciudades del distrito, dado que gran parte de los comercios e industrias están estrechamente vinculados a las labores agrícolas. Sin embargo, los productores se enfrentan a desafíos significativos, como el exceso de precipitaciones, sequías, y posibles amenazas de inundaciones causadas por el aumento del caudal de los canales pluviales. Estas condiciones climáticas adversas generan inquietud entre los productores, quienes sufren directamente las consecuencias, así como también los comerciantes que dependen de las actividades agropecuarias.

Por otro lado, en las ciudades del partido, la industria de la construcción ha cobrado un rol destacado debido al crecimiento poblacional experimentado. Este crecimiento ha impulsado la expansión de los límites urbanos a través del loteo de terrenos, lo que implica un desarrollo urbanístico tanto de carácter público como privado. Este fenómeno refleja una dinámica urbana en constante evolución, con importantes implicaciones para el paisaje y la planificación del territorio en la región. La localidad de Trenque Lauquen ha experimentado un crecimiento poblacional sostenido en las últimas décadas, con una tasa del 12.55% desde el censo de 2010 hasta 2022 (aproximadamente 450 habitantes por año), estimación realizada a partir del análisis de procesamiento de datos. Según el Instituto Nacional de Estadística y Censo (INDEC, 2023) para 2022, la ciudad cuenta con 48,423 habitantes, ubicándose entre los cinco distritos de mayor crecimiento en la región. La ciudad cabecera del partido concentra el 80% de la población y presenta una organización urbana particular, diferenciándose de otras localidades vecinas.

Según el Plan Director de la Ciudad de Trenque Lauquen, elaborado en 2011 por la Facultad Nacional de la Plata, junto con el Centro de Investigaciones Urbanas y Territoriales y la Municipalidad de Trenque Lauquen, se propuso una ampliación urbana basada en ciertos criterios (Figura 10). Los objetivos de este plan incluyen promover el completamiento del tejido de vacantes urbanos para

integrar los sectores a habilitar, el ordenamiento de actividades periurbanas y servicios, contemplando el paisaje y el ambiente. Además de establecer un área de crecimiento que neutralice la expansión hacia las rutas N°33 y N°5, y programación del ensanche urbano mediante etapas de habilitación y criterios de consolidación.

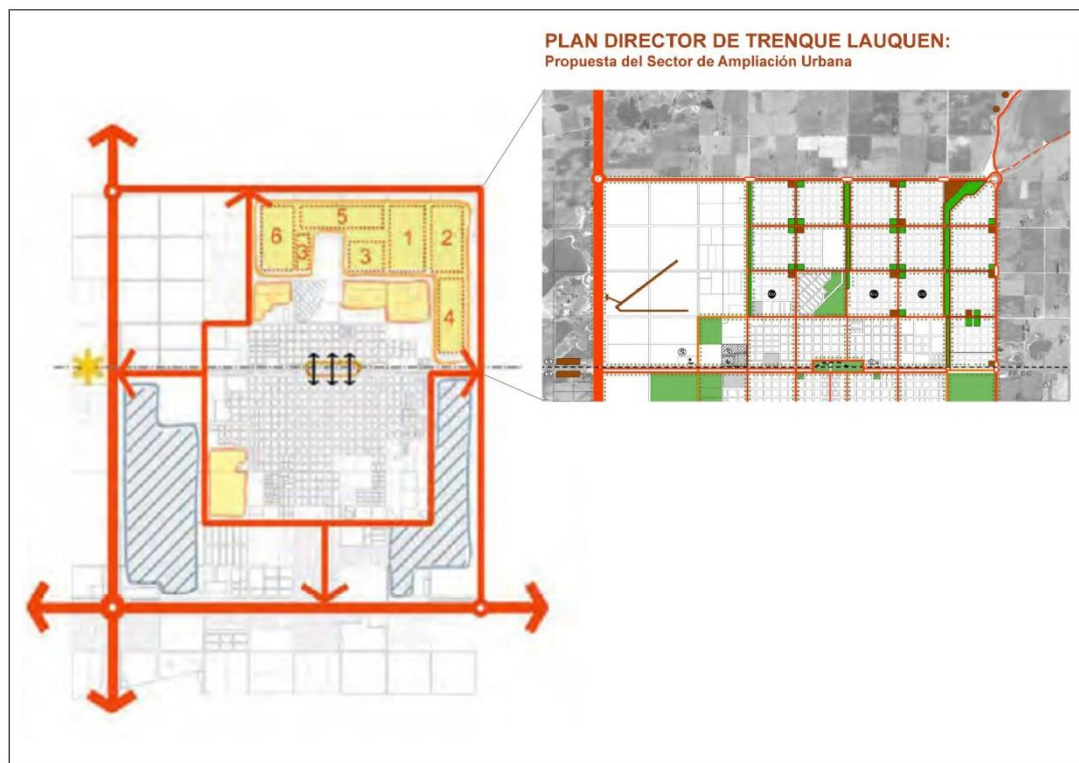


Figura 10. Organización territorial y propuesta de ampliación urbana, del Plan Director (2011). Donde las zonas rojas son reservas de equipamiento comunitario, las zonas en verde son espacios verdes, mientras que las flechas naranjas son vías de circulación, las de mayor grosor representan las rutas N°33 y N°5, mientras que las demás líneas son accesos. Imagen modificada del Plan Director (2011).

CAPÍTULO III.

Metodología

Este capítulo detalla el marco conceptual y las técnicas empleadas en el desarrollo de esta investigación. Para llevar a cabo el estudio correspondiente, se recopiló y unificó la información de los antecedentes bibliográficos relevantes. A partir del análisis de estos datos, se procedió a efectuar una reinterpretación de los mismo a fin de incorporar una nueva perspectiva.

Si bien la ciudad de Trenque Lauquen en los antecedentes es mencionada de manera conjunta a otras ciudades aledañas, en este trabajo se realizó un enfoque específico. Dado los objetivos de la tesis y su carácter multidisciplinario fueron implementadas diferentes metodologías dirigidas a dar respuestas a los interrogantes planteados en este estudio. Para la descripción de la geología y la geomorfología, se ha tomado al partido de Trenque Lauquen como objeto de análisis. Por otro lado, para abordar el segundo y tercer objetivo de este estudio, la atención se centra exclusivamente en la localidad cabecera, considerando distintos aspectos como la hidrología, la evolución de la infraestructura en el tiempo, entre otros.

3.1. Caracterización geomorfológica cualitativa y cuantitativa

Se procedió a realizar un mapeo de escala regional del partido de Trenque Lauquen, mediante el empleo del programa QGIS Desktop, usando diferentes complementos que ofrece esta herramienta. Este mapa fue interpretado sobre imágenes satelitales 2024 del complemento "Google Satélite", el cual es una combinación de imágenes de varios proveedores de satélite incluyendo, pero no limitado a Digital Globe, Landsat y Sentinel.

En el mapa se identificaron los partidos limítrofes, ferrocarriles, rutas, así como también las diferentes geoformas eólicas, cuerpos lacustres y rasgos antrópicas tanto de la ciudad como a sus alrededores. Además, se analizó la relación de estas geoformas con la hidrología.

Con el propósito de garantizar la coherencia y fiabilidad de la información, se procedió a recopilar y unificar diversas fuentes tanto primarias como secundarias, dado que los datos se encontraban dispersos. Se consultaron y

consideraron la bibliografía proporcionada por el INTA, el material suministrado por autoridades de los diferentes sectores del Palacio Municipal, el Atlas Nacional Interactivo de Argentina (ANIDA) sobre suelos (Cruzate *et al.* 2023), el INTA Digital Geo (INTA, 2024), entre otros.

Adicionalmente se tomaron fotografías del paisaje en áreas rurales y de las lagunas, en las cuales se puede apreciar la pendiente regional y la morfología circundante. Cabe destacar que las geoformas eólicas suelen ser de difícil observación directa en el terreno; no obstante, mediante el empleo de un Modelo de Elevación Digital (DEM) fue posible identificar dunas inactivas. Se descargaron cuatro DEM correspondientes al año 2010, que cubrían el área de estudio. Estos DEM fueron obtenidos del Centro de Instalación Satelital de Alaska (ASF), como parte de la misión ALOS de la Agencia de Exploración Aeroespacial de Japón, utilizando el radar de banda L de PALSAR (Modelo Digital de Elevación, Centro de Instalación Satelital de Alaska [ASF]).

En complemento, se llevó a cabo un análisis cuantitativo mediante la medición de las dimensiones de las dunas en el programa QGIS. Estos valores se obtuvieron al medir la longitud de las dunas a lo largo su eje dentro del partido, promediando dicho el valor y posteriormente calculando la desviación estándar. En cuanto al ancho, se realizó la medición de manera perpendicular al eje de la duna en dos o tres sectores a lo largo de una misma, obteniéndose un promedio de cada una de las mediciones y finalmente calculando el desvío (ver Figura 11). Todo el procesamiento de los datos se realizó en el programa Microsoft Excel.

Para completar la caracterización geomorfológica se realizaron perfiles de elevación regional, se empleó el programa Google Earth Pro, utilizando imágenes de Landsat/Copernicus (Figura 12). En cuanto a los perfiles específicos del partido, estos se generaron a través del programa QGIS, empleando como base el Modelo Digital de Elevación (DEM). La transecta noreste-suroeste (NE-SO) tiene una longitud aproximada de 76,7 km, mientras que la transecta noroeste-sureste (NO-SE) mide alrededor de 85,3 km (Figura 13). En ambos casos, las transectas abarcan tanto el eje longitudinal como el transversal del Complejo de lagunas Hinojo-La Tunas, orientadas en las direcciones NE-SO y NO-SE respectivamente.

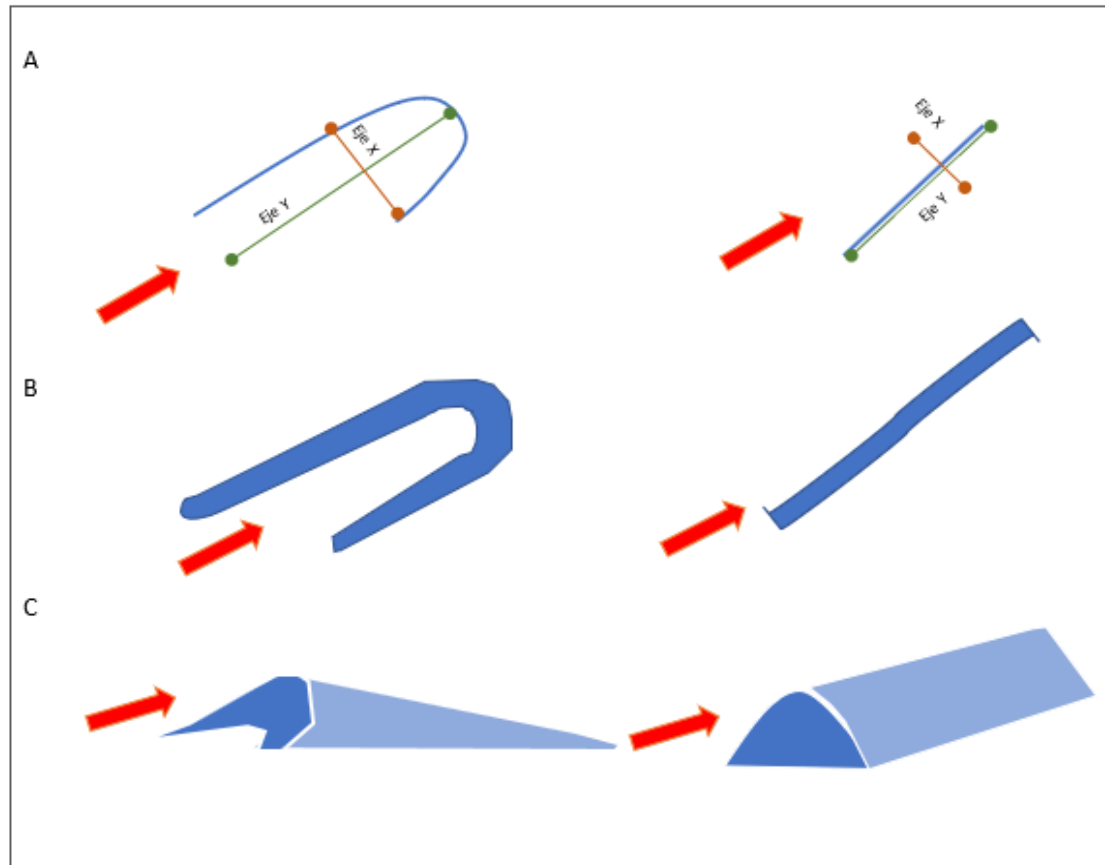


Figura 11. Método de medición de diagramas geomorfológicos de las dunas parabólicas a la izquierda y longitudinales a la derecha, con la dirección del viento representada con una flecha roja. A: Parámetros medidos. B: Vista en planta. C: Vista de frente. Fuente: elaboración propia.

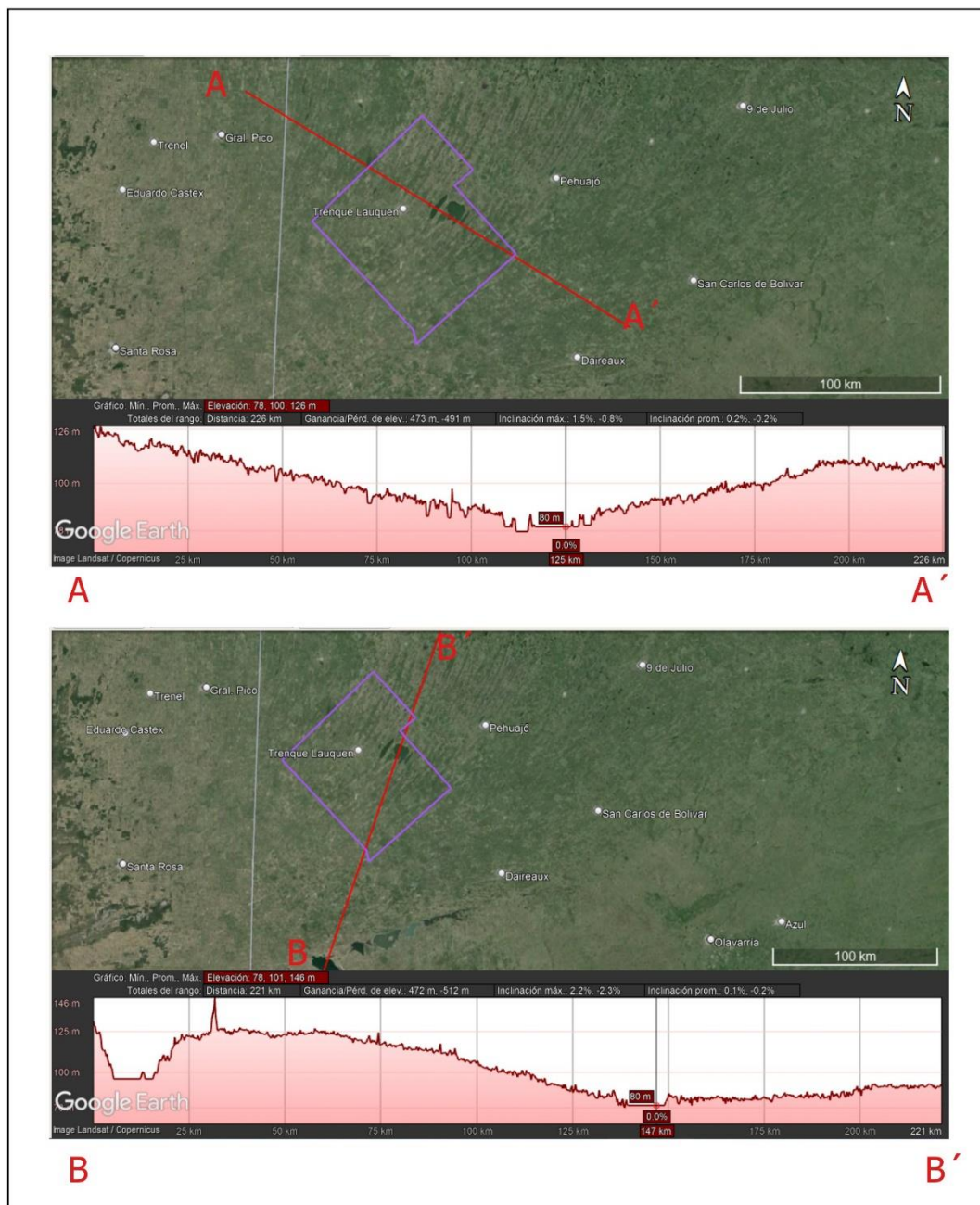


Figura 12. A - A': Transecto regional del Complejo, que muestra su carácter de bajo topográfico. B - B': Transecto regional que representa las lagunas encadenadas del oeste, evidenciando que estas se encuentran a una elevación superior en comparación con el Complejo Hinojo-Las Tunas.

Fuente: Elaboración propia utilizando el programa Google Earth Pro.

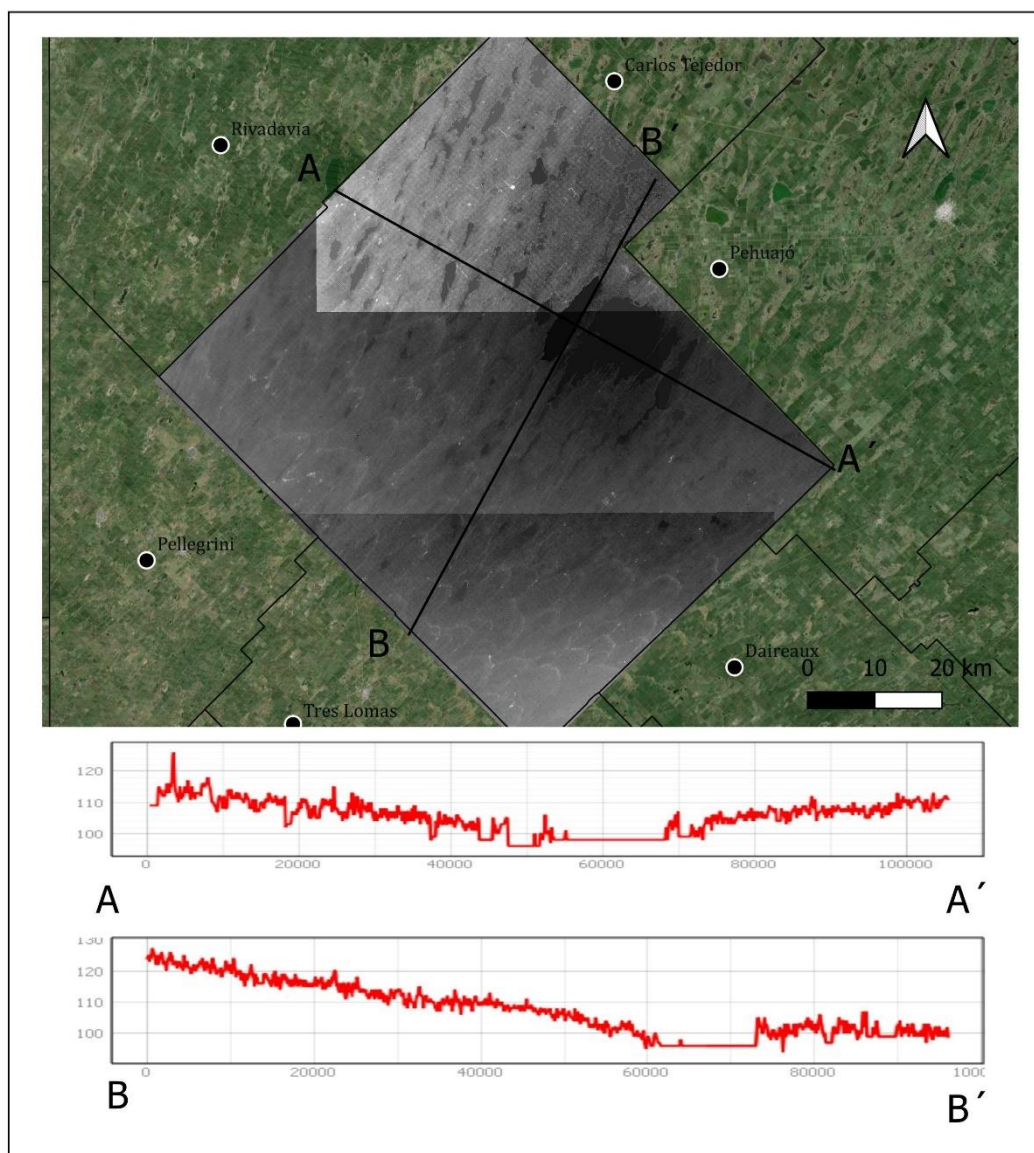


Figura 13. Secciones topográficas regionales del Complejo Hinojo-Las Tunas, representadas de forma transversal y longitudinal en relación con la geoforma lagunar.

Fuente: Elaboración propia con el programa QGIS en base a DEM.

Seguidamente, para concluir la caracterización geomorfológica se realizaron calicatas en diferentes sectores de la ciudad. En particular se aprovecharon las excavaciones de obras municipales que aportaban mayores profundidades.

En primer lugar, se hizo una búsqueda de perfiles del suelo utilizando como herramienta de trabajo un mapa de la ciudad que permitió la geolocalización de perfiles, priorizando aquéllos más vírgenes o menos

removidos. De las obras municipales, sólo se tuvieron en cuenta las correspondientes a canales o barrancas en zonas de quintas, hechas con máquinas de mayor jerarquía, como retroexcavadoras, ninguna superó los 2,5 cm de profundidad.

Una vez que se identificaron los perfiles (Cuadro 2), se tomó la ubicación GPS con la aplicación Fieldmove y se procedió con la limpieza de los mismos utilizando como instrumento una cuchara de albañil con el fin de observar correctamente los colores y tamaño del grano. Asimismo, se midió la profundidad de la calicata con un metro y se describió el perfil en la libreta de campo, detallando tamaño de grano, color, irregularidades, presencia de materia orgánica y alguna particularidad que arrojó la observación. Finalmente, se tomaron imágenes de los perfiles y de las zonas en la que se encontraban.

Además, se visitó el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), para obtener información complementaria. Esta institución proporcionó registros de lluvias de diversos campos del partido. También se efectuó una visita al Palacio Municipal, específicamente a la Secretaría de Obras y Servicios Públicos. A su vez, se coordinó una reunión con los responsables cargo de Espacios Verdes y Servicios Sanitarios. Durante estas interacciones, todas las personas a cargo colaboraron facilitando el acceso a trabajos previos sobre los suelos y agua de la ciudad y pusieron a disposición material relevante.

NOMBRE DEL SITIO	UBICACIÓN	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD
Perfil 1: Fin de canal Carabelli	Carabelli y Combatientes de Malvinas	36° 00' 19.10'' S	062° 44' 41.63'' W	105 m
Perfil 2: Canal Barro Cicoria	Cicoria, entre Belgrano y Dorrego	35° 42' 56.31'' S	062° 42' 56.31'' W	111 m
Perfil 3: Canal Bajo Belgrano	Belgrano y Cicoria (sobre Belgrano)	35° 59' 29.17'' S	062° 42' 58.17'' W	118 m
Perfil 4: Atrás de los médanos	Batallón 2 de infantería y Combatientes de Malvinas	36° 00' 00.02'' S	062° 44' 55.46'' W	103 m
Perfil 5: Parque industrial	Sobre Juan Carlos Pérez Zabala, (ultima calle)	35° 58' 53.99'' S	062° 41' 14.68'' W	110 m

Cuadro 2. Ubicación de los sitios en los que se realizaron los perfiles de suelo.

A partir de las fotografías tomadas y las descripciones registradas en la libreta de campo, se realizó la representación gráfica de los perfiles de suelo relevados utilizando el programa Inkscape. En dichos perfiles, se representó, el tamaño de grano y se identificaron las estructuras presentes. Asimismo, se procedió a correlacionar los mismos con el propósito de analizar la naturaleza de dunas, determinando si son masivas o laminadas. Este enfoque se hizo con el fin de corroborar las observaciones previamente reportadas por otros autores en el área de estudio.

3.2. Análisis de crecimiento y construcción de infraestructuras en trenque lauquen

Para analizar la evolución especial de la localidad de Trenque Lauquen desde mediados del año 1951 hasta el actual año 2024, se recopilaron imágenes históricas de la ciudad. Para ello, se solicitaron fotografías al Instituto Geográfico Nacional (IGN) mediante un correo electrónico, con el objetivo de observar las obras de infraestructura destinadas a mitigar inundaciones. Las fotografías proporcionadas por IGN corresponden a relevamientos aéreos realizados en 1951. Estas fueron comparadas con imágenes actuales de la ciudad.

Asimismo, la oficina de Obras Públicas de la Municipalidad, brindó información relevante como un mapa impreso de los desagües pluviales. Un recorrido por la ciudad permitió verificar la existencia de los canales de desagüe a cielo abierto y revestidos, entre otras infraestructuras.

3.3. Mapeo del riesgo hídrico de trenque lauquen.

Los estudios de riesgo se fundamentan en los siguiente conceptos claves que serán empleados en el desarrollo de este trabajo:

Peligrosidad Geológica(P) se refiere a la probabilidad de ocurrencia un fenómeno o proceso geológico de una determinada magnitud, con una recurrencia, en área específica. Se asume la presencia de una sociedad en el área en cuestión. La peligrosidad se distingue del peligro, dado que el peligro se refiere al proceso, mientras que la peligrosidad abarca no solo el proceso, sino también la magnitud del evento, su frecuencia de ocurrencia y lugar.

La Vulnerabilidad (V) se define como la expectativa de daño o pérdida de elementos en riesgo resultantes de la ocurrencia de un fenómeno natural. Responde a la pregunta ¿Qué se resultar dañado? Y se cuantifica en una escala de 0 a 1, donde 0 sin daño y 1 máximo posible de daño. En el caso de estudio, se centra en cómo está preparado cada barrio o cada zona para responder a la inundación dada de magnitud determinada (cantidad de canales, si tienen terraplenes, si funcionan, etc.)

La Susceptibilidad suele entenderse como la “fragilidad natural” de un espacio determinado en relación con el fenómeno de referencia. Para evaluar la susceptibilidad, es necesario considerar diversos aspectos de la geología, la geomorfología, la litología, entre otros. Estos factores definirán el comportamiento del espacio frente al proceso en cuestión. En el caso de estudio, por ejemplo, las depresiones son lugares susceptibles a inundarse. Esas zonas bajas pueden identificarse mediante imágenes satelitales durante eventos de inundación o a partir de mapas topográficos.

El Riesgo Geológico (R) es la posibilidad de que un territorio y la sociedad que lo habita pueda verse afectado por un fenómeno natural de rango extraordinario (Ayala-Carcedoy Olcina, 2002) como pueden ser las inundaciones en el caso de estudio. También son los daños a causa de un peligro geológico durante un periodo de tiempo específico en el futuro. Incluye daños a personas o bienes (muertes, lesiones, propiedad, medios de subsistencia, interrupción de actividad económica o deterioro ambiente). Estos daños pueden ser directos o indirectos.

La fórmula para calcular el Riesgo (R) es el producto de la Peligrosidad (P) por la Vulnerabilidad (V).

$$R = P.V$$

El caso de estudio la gestión del riesgo, se aborda desde un enfoque de la susceptibilidad de inundación, determinada por la geomorfología, el análisis de imágenes satelitales de máximas inundaciones, el estudio de datos climáticos, entre otros. A partir del mapa de susceptibilidad de máxima inundación, este se superpone con la infraestructura urbana actual de la ciudad de Trenque Lauquen y se obtiene un mapa de afectación o de potenciales daños provocados o a causa de las inundaciones.

3.3.1.Labores de campo

Se realizó una visita al diario local La Opinión, donde se comunicó que los registros antiguos se habían extraviado a causa de la última inundación máxima. Los documentos que aún estaban disponibles se encontraban resguardados en la Biblioteca Nacional. Posteriormente, en la biblioteca, fue facilitada una carpeta con alrededor de 20 diarios y recortes periodísticos de la época de inundación. En estas noticias se podía notar la preocupación de la gente por este tema, se tomó nota de algunos detalles y situaciones. Además, se buscaron noticias en sitios de internet, diarios digitales, sobre esta problemática y se observaron imágenes relacionadas. Asimismo, se visitó la Dirección de Hidráulica y se acudió a la Defensa Civil, donde el director, compartió un mapa y el Plan de emergencia Municipal. Se consultaron también el Plan Hidráulico de la Dirección Provincial de Saneamiento y Obras Hidráulicas de la provincia de Buenos Aires, el Instituto Nacional del Agua (INA, 2024), que brinda información climática e hidrológica útil y actualizada en distintos puntos de medición. También se tuvieron en cuenta las clases teóricas de riesgo de sequía e inundación del Departamento de Geología (UBA).

3.1.2.Labores de gabinete

Se buscaron imágenes en el repositorio de imágenes satelitales Landviewer. En este repositorio se pudieron visualizar las imágenes históricas de alta resolución correspondientes a los años con precipitaciones anuales superiores a la media, donde la nubosidad fuera del 0%, que cubrieran toda la superficie del rectángulo dibujado. Las que se pudieron visualizar fueron los siguientes años y meses:

- 1987: marzo, mayo, junio, octubre, noviembre y diciembre.
- 1997: junio y septiembre.
- 2001: enero, febrero, abril, mayo, agosto y septiembre.
- 2002: enero, febrero, abril, mayo, agosto, noviembre y diciembre.
- 2004: enero, febrero, abril, junio, julio, noviembre y diciembre.
- 2011: enero, febrero, marzo, septiembre, octubre y diciembre.
- 2012: enero, marzo, junio y julio.

- 2021: enero, febrero, marzo, abril, mayo, junio, julio, agosto, septiembre, octubre, noviembre y diciembre.

En este conjunto de imágenes, se identificó el año y mes de la máxima inundación, que coincide con los datos de precipitación previamente analizados. Esta identificación se realizó observando el tamaño de las lagunas. A partir de dicha imagen, se efectuó un análisis en el programa QGIS, donde se georreferenciaron y marcaron las áreas afectadas por el agua tanto en las zonas urbanas como en las rurales circundantes. Finalmente, para la elaboración de un mapa de susceptibilidad a inundaciones basado en la geomorfología y el análisis de imágenes satelitales, se trazó un polígono en la imagen correspondiente a la máxima inundación (Figura 14), el cual fue superpuesto sobre una imagen del año 2024.

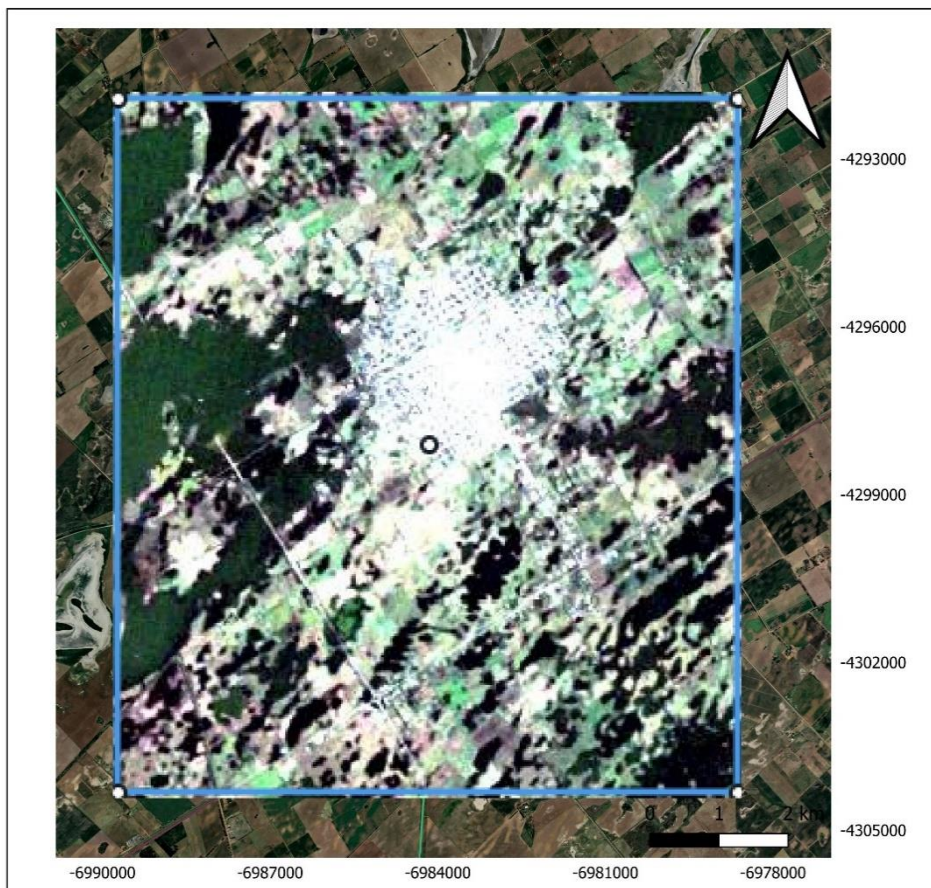


Figura 14. Rectángulo que marca el área de interés para el estudio de la susceptibilidad a la inundación. Dentro del rectángulo se encuentra la imagen satelital del 26 de marzo del año 1987, las zonas oscuras- verdosas corresponden a áreas inundadas. Imagen de 1987 extraída del programa Landviewer. Fuente: elaboración propia.

CAPÍTULO IV

Resultados

4.1.Geomorfología

El partido de Trenque Lauquen presenta un relieve de planicies con suaves pendientes que alcanzan, en general, valores de hasta 0,1 m por km. Las pendientes máximas en esta región no suelen superar los 2°. La altitud en el partido varía ligeramente, con diferencias mínimas entre los puntos más altos, de 130 m s.n.m. aproximadamente, y más bajos, 85 m s.n.m. aproximadamente (Figura 15). Carece de cuencas de drenaje integral relevantes, presenta pequeños cursos fluviales que desembocan en lagunas. Únicamente uno de estos cursos, de carácter artificial, se conecta con el sistema hidrográfico del río Salado. La cobertura superficial del área está constituida por material arenoso de origen eólico, el cual ha sido designado con diversos términos según las fuentes consultadas o la ubicación geográfica considerada. Los procesos eólicos han dominado totalmente a los procesos fluviales. Este territorio abarca la porción occidental de la provincia de Buenos Aires, caracterizándose por la presencia de predominantes dunas y depresiones. Por ello la geomorfología se dividió en tres sectores: las geoformas eólicas, bajos y los rasgos antrópicos.

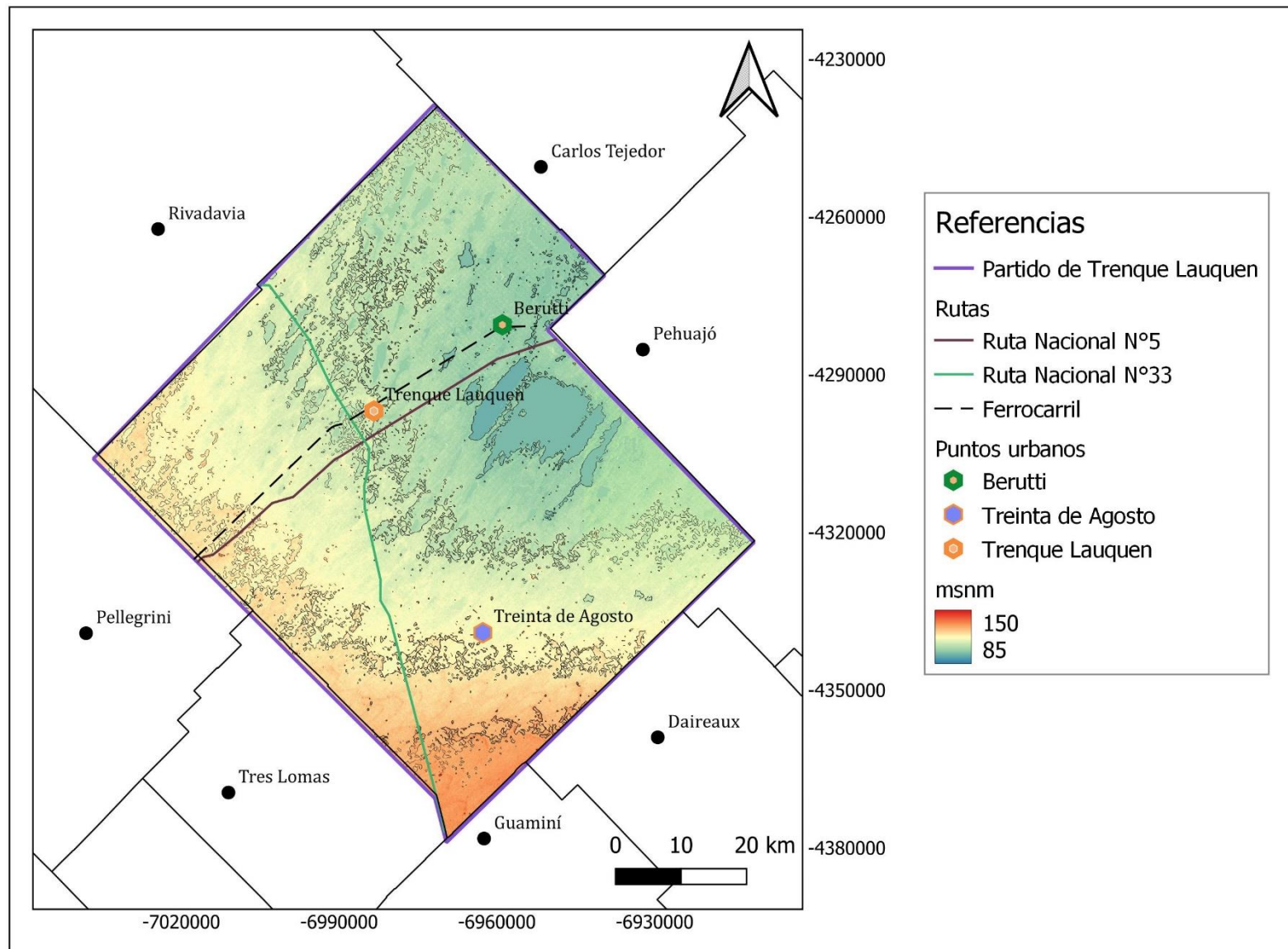


Figura 15. Mapa topográfico partido de Trenque Lauquen, donde se puede observar la variación de altitud dentro del partido. Fuente: elaboración propia en base al DEM (pseudocolor monobanda).

4.1.1. Geoformas eólicas

El paisaje ha sido modelado por la acción del viento, cuya dirección predominante provino del suroeste, lo que ha generado depósitos arenosos pertenecientes al Postpampeano, compuestos principalmente por arenas y limos con alta permeabilidad. En este contexto, se identifican diversas geoformas asociadas con cordones de dunas inactivas, que se clasifican en dos grupos, A y B, como se muestra en la Figura 16, predominado por dunas parabólicas y longitudinales. La observación directa de estas geoformas en el terreno es difícil debido a la extensa superficie de la región y a la escasa topografía de las geoformas. En las últimas décadas la zona se encuentra en una fase de mayor humedad, lo que ha llevado a la estabilización de estos sistemas eólicos, actualmente recubiertos por vegetación. Este fenómeno, influenciado por condiciones climáticas específicas, es crucial para entender la dinámica ambiental y la interacción entre los procesos eólicos y la vegetación en este entorno geográfico.

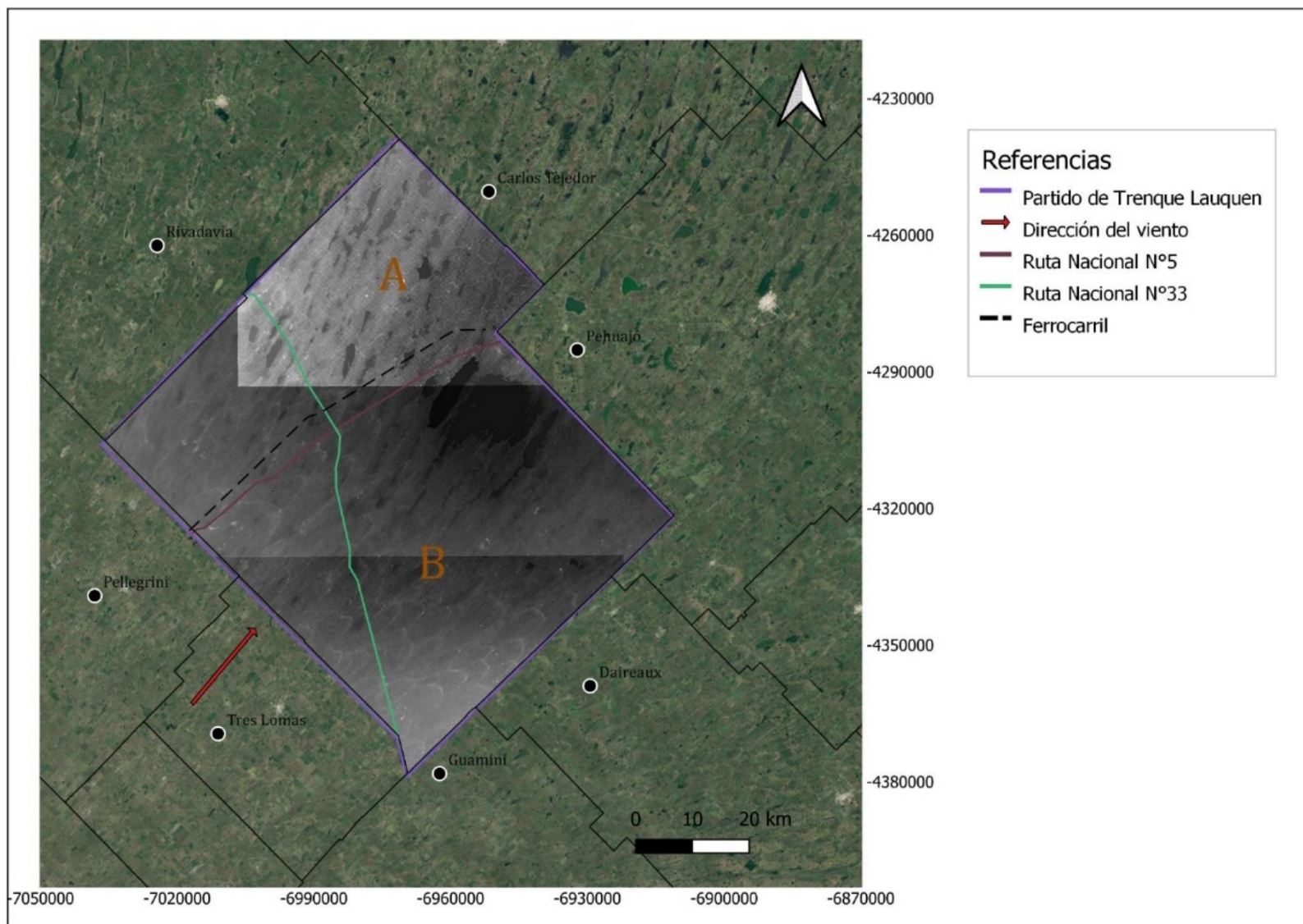


Figura 16. En el sector A de la figura, se aprecian las dunas longitudinales mientras que en el grupo B se presentan las dunas parabólicas. Estas últimas exhiben sus alas opuestos a la dirección del viento, señalada con la flecha en color rojo. Fuente: elaboración propia.

En el sector A, situado al norte del partido de Trenque Lauquen, se identifican dunas longitudinales fijas que se extienden hacia el norte y noreste de la provincia. Estas dunas presentan un rumbo NNE-SSO y se disponen perpendicular a la pendiente regional. Como resultado, el agua fluye y se acumula en las interdunas, dando origen a lagunas temporales alargadas en la misma dirección que las dunas. Sin embargo, al noreste del partido se observan lagunas de considerable extensión que, en sus fases iniciales, eran lagunas interdunales. Con el tiempo, estas lagunas se conectaron, configurando cuerpos de agua permanentes de gran dimensión. Las dunas de este sector se caracterizan por poseer largas crestas separadas por depresiones, dispuestas en paralelo a la dirección del viento.

En contraste, en el grupo B se distinguen dunas parabólicas inactivas que ocupan una mayor extensión dentro del partido que las del grupo A. Estas formaciones se encuentran principalmente en la porción central y sur-suroeste del distrito. Las dunas parabólicas tienen una forma de U, con la cabecera orientada al noreste y las extremidades o alas dirigidas hacia el suroeste, lo que indica una orientación contraria al flujo del viento. Este tipo de dunas también se extiende hacia el sureste de la provincia de Buenos Aires. Este tipo de dunas son comunes en zonas costeras o, como en este caso, en áreas con mayor humedad, donde la vegetación ha colonizado gran parte de la superficie arenosa. En la mayoría de las áreas interdunales del grupo B se observan pequeñas lagunas, que, a diferencia de las del grupo A, presentan una forma subredondeada.

Las crestas, es decir, los sectores de mayor elevación de las dunas, muestran superficies suavizadas debido a la edafización y a la presencia de vegetación. Esta característica dificulta su identificación en el terreno, dada la escasa variación de desnivel y muchas de ellas aparecen desdibujadas o segmentadas debido a procesos naturales de desintegración y a la erosión del suelo derivada de la actividad agrícola.

Entre los sectores A y B, las dunas se encuentran superpuestas, lo que ha dado lugar a la denominación de sector AB, donde las dunas parabólicas se sitúan en las áreas interdunales de las dunas longitudinales.

La representación gráfica de estas geoformas en la Figura 17 muestra que las dunas parabólicas se localizan predominantemente al suroeste del partido, abarcando la ciudad de Trenque Lauquen y los alrededores de Treinta de Agosto. Por otro lado, las dunas longitudinales se ubican sobre la ciudad de Berutti y al noreste del distrito. En la parte central, al norte de la localidad Trenque Lauquen, se evidencia la superposición de ambos tipos de dunas, donde las parabólicas predominan sobre las longitudinales.

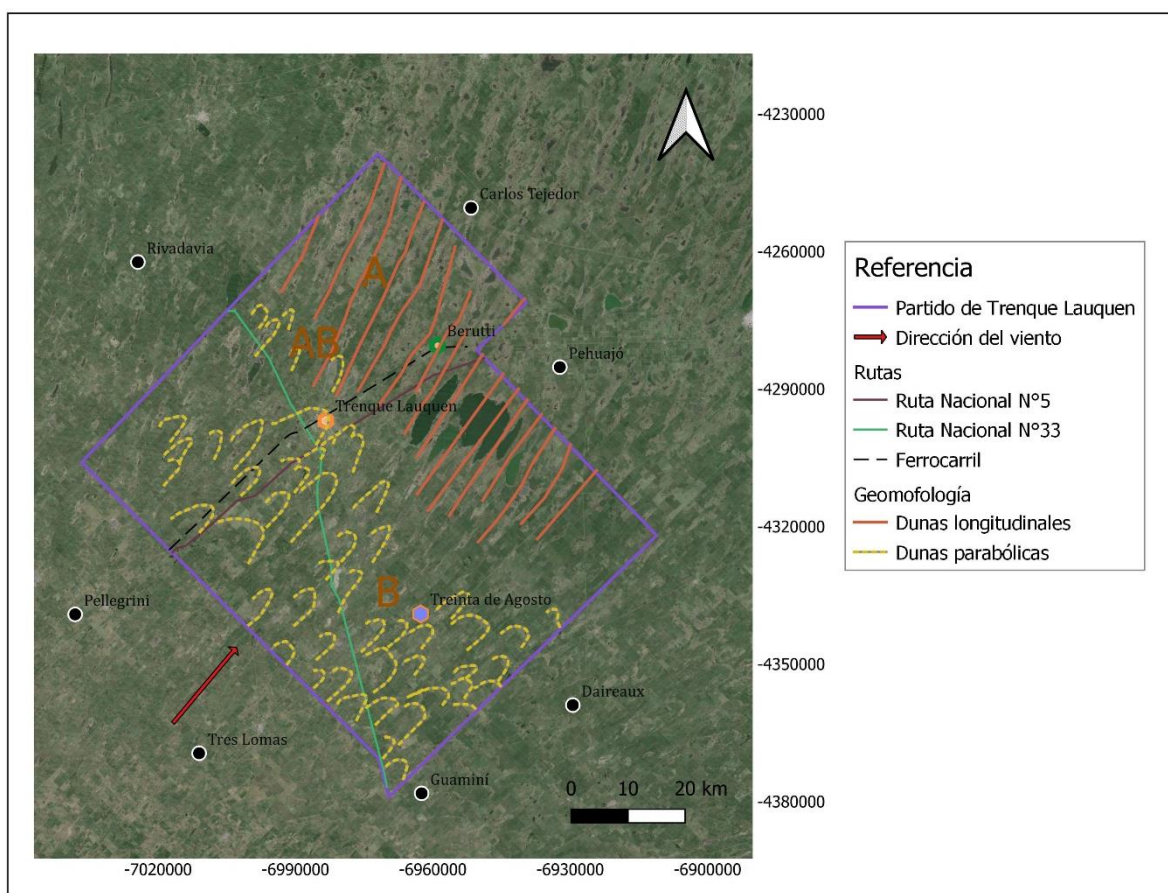


Figura 17. Diferenciación entre las crestas las dunas longitudinales (A) y las crestas de las dunas parabólicas(B) y en el sector AB donde hay superposición de ambos tipos entre A y B.

Fuente: elaboración propia.

Para el grupo A, se reconocieron un total de 16 dunas longitudinales (Figura 18). Se midió tanto la longitud como el ancho de estas dunas, los valores se encuentran detallados están en el Anexo I, Tabla 1. Mostrando que la longitud promedio es de $25,20 \pm 7,83$ km dentro del partido, mientras que el ancho, medido de depresión a depresión, es de $3,03 \pm 1,31$ km (Tabla 1). Los datos recopilados fueron representados en el gráfico 2, se muestran 13 dunas, ya que no fue posible medir el ancho de tres de ellas debido a su ubicación en una zona lagunar. Sin embargo, al analizar las dunas representadas, se observa que la mayoría presenta un ancho similar.

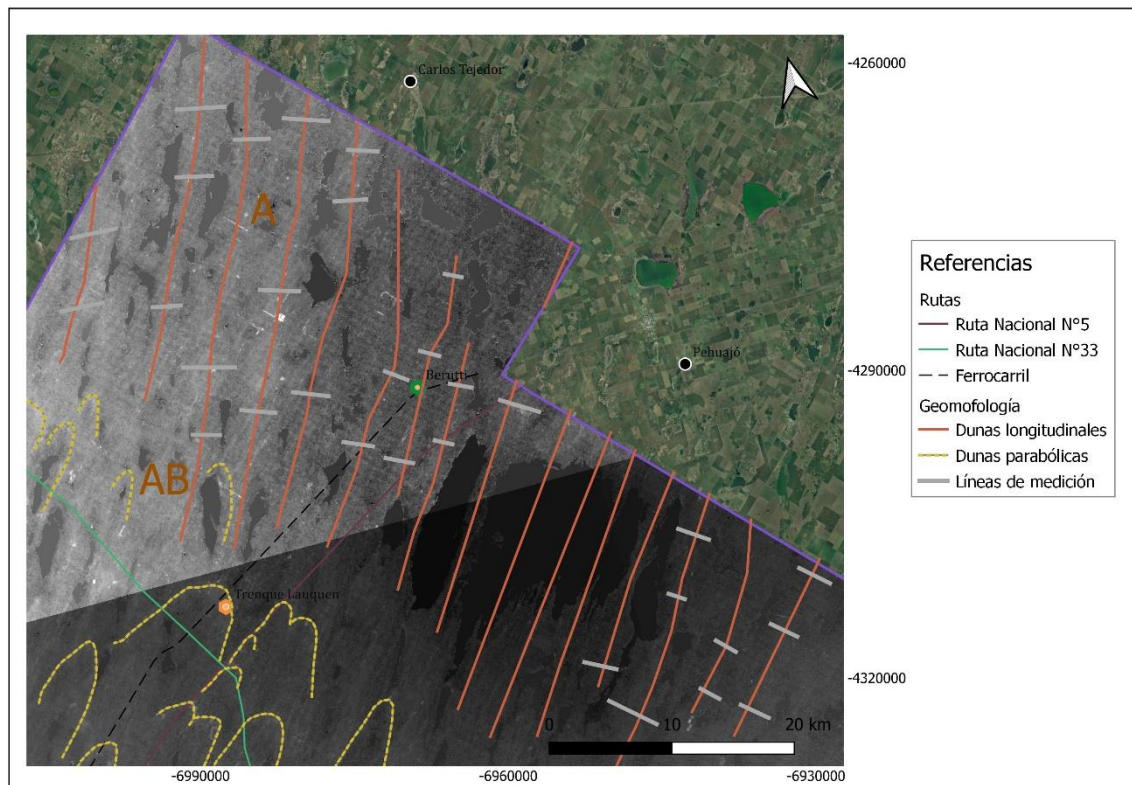


Figura 18. Lamina del grupo A, se puede observar las dunas longitudinales, y en color blanco se destacado cada una de las mediciones transversales al eje de la duna. Fuente: elaboración propia.

MEDIA	3,032	25,200
DESVIO ESTANDAR	1,316	7,831
MÁXIMO	6,919	39,968
MINIMO	1,7035	14,418

Tabla 1. Tabla resumen de algunos parámetros como el promedio, la desviación estándar o dispersión, los valores máximos y mínimos de las dunas longitudinales.

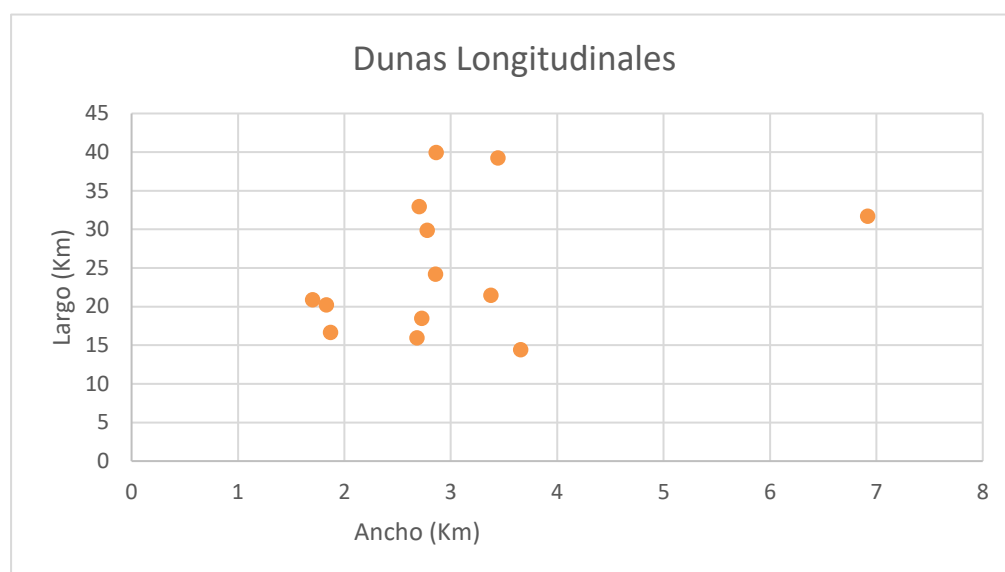


Gráfico 2 . Representación de los datos de las dunas longitudinales. En el gráfico, se muestran 13 dunas, ya que no fue posible medir el ancho de tres de ellas debido a su ubicación en una zona lagunar. Sin embargo, al analizar las dunas representadas, se observa que la mayoría presenta un ancho similar, mientras que la longitud varía.

En el área B, se han identificado 53 dunas parabólicas, caracterizadas por un largo de $5,21 \pm 2,17$ km y un ancho de $3,19 \pm 1,24$ km aproximadamente (Tabla 2). Al igual que las medidas anteriores, son obtenidas promediando los valores (Anexo I, Tabla 2). Al representar los valores medidos, se observa que la mayoría de ellos caen entre un ancho de 1,5 km y 4 km, y una longitud entre 2 km y 9 km (Gráfico 3). Es importante destacar que estas cifras son aproximadas debido a la influencia de la erosión y vegetación. Estas dunas muestran diferentes morfologías (Figura 19), algunas son simétricas, con ambos brazos de igual longitud, mientras que otras son asimétricas, presentando un brazo más largo que otro. En este último caso, el brazo más corto se encuentra en la

dirección noroeste, lo cual podría atribuirse a la bidireccionalidad del viento desde el oeste. Por otra parte, hay dunas coalescentes en la zona de la cabecera, que tienden a ser más anchas que largas, indicando que el eje x es mayor que el eje y.

	Ancho de la duna	Longitud (largo de la duna)
MEDIA	3,192	5,211
DESVIÓ ESTÁNDAR	1,248	2,177
MÁXIMO	7,475	13,804
MÍNIMO	1,488	1,122

Tabla 2 . Tabla resumen de algunos parámetros como el promedio, la desviación estándar o dispersión, los valores máximos y mínimos de las dunas parabólicas.

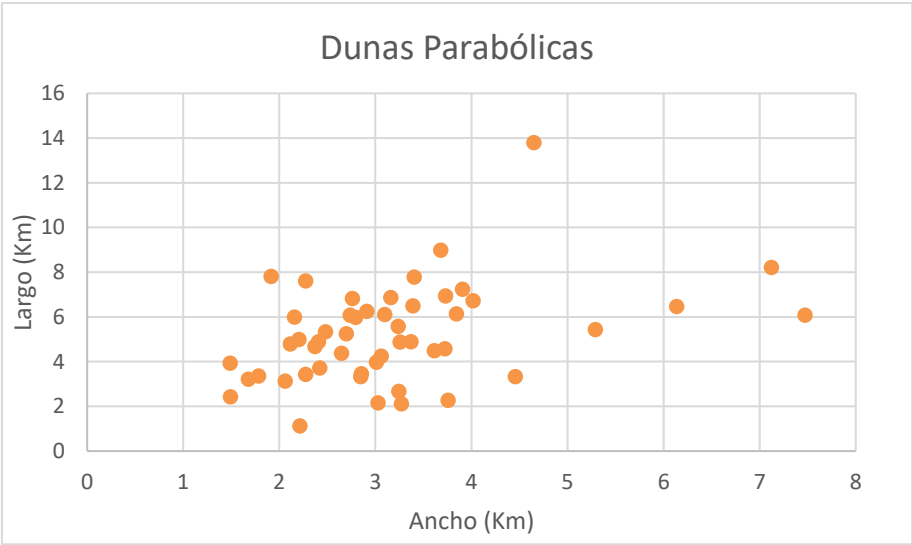


Gráfico 3. Representación de los datos de las dunas parabólicas. Lo que se observa que la concentración de puntos se encuentra en un ancho similar, entre 1,5 km y 4 km, y una longitud entre 2 km y 9 km.

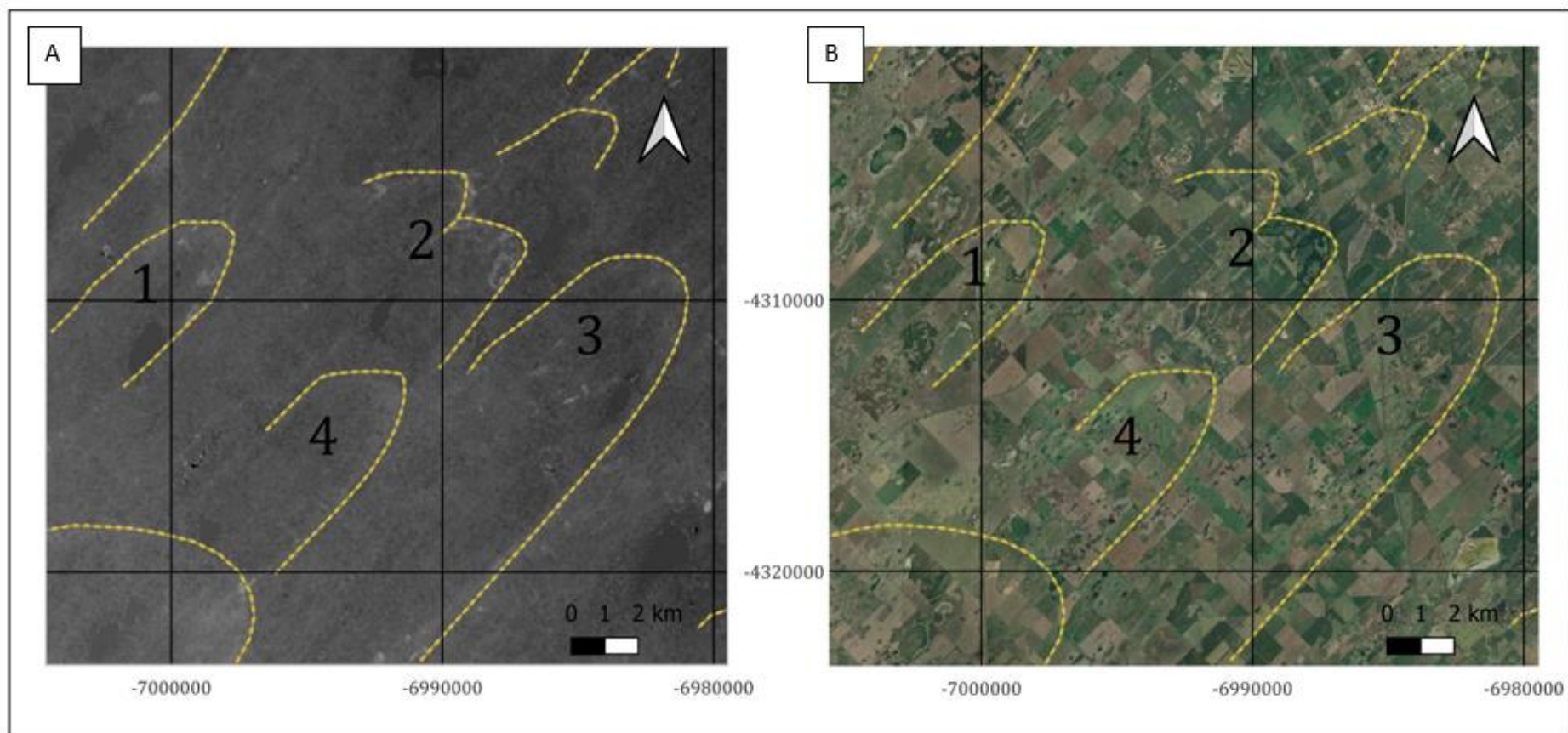


Figura 19. Diferentes morfologías de dunas parabólicas. A. Modelo digital de elevación (2010), el cual facilita la identificación de las dunas. B. En la imagen del 2024, se evidencia la dificultad de visualizar las dunas por la actividad agraria y la presencia de bajos o pequeñas lagunas que lavan el paisaje. En el caso 1: dunas parabólicas simétricas, con ambos brazos de igual longitud. 2: Coalescencia de dos dunas parabólicas. 3 y 4: son dunas parabólicas asimétricas, siendo el brazo noroeste de menos largo. Fuente: elaboración propia.

Existe una estrecha relación entre las condiciones ambientales, la configuración de las dunas y la presencia de cuerpos lacustres. El presente análisis aporta de manera significativa a una comprensión más profunda de la geomorfología del área, enfatizando en la importancia de considerar las interrelaciones entre los distintos elementos del paisaje para una interpretación integral.

A pesar de pertenecer a la cuenca del Salado, el área en cuestión constituye un sistema arreico, ya que no cuenta con un sistema natural de descarga de agua. Sin embargo, mediante obras realizadas en las últimas décadas, los excedentes hídricos pueden ser conducidos hacia el río Salado a través del sistema de canales Jaureche, Tramo Italia y Mercante.

La red de drenaje exhibe una naturaleza anárquica, dado que el modelado fluvial no se desarrolló debido a que el paisaje hereda formas eólicas de relativa juventud. Estas geoformas, formadas principalmente por arenas, facilitan una rápida infiltración del excedente hídrico. Por lo tanto, la falta de escurrimiento no fomenta los procesos erosivos. Además, las bajas pendientes, contribuyen a una deficiente capacidad de escurrimiento y erosión.

4.1.2. Bajos

4.1.2.1. Bajos inundados

Dentro del partido, se pueden discernir geoformas que resultan de procesos de anegamientos en las zonas bajas o cubetas de deflación, generadas por la topografía subsuelo, el viento o por la actividad agropecuaria. En esta región, predominan lagunas pluviales, las cuales se clasifican así por la tipología propuesta por Dangavs (2005). Estas son lagunas que se ubican en áreas interdunales son alimentadas por el nivel freático y responden a ciclos prolongados de inundación. Algunas de ellas han evolucionado hacia un estado permanente, manteniendo la presencia de agua todo el año. Se caracterizan por ser cubetas profundas que obtienen su suministro hídrico de cursos de agua y del subsuelo. Estas lagunas pueden tener playas de arena, sedimentos finos, o

una mezcla de ambos, que quedan expuestas cuando el nivel de agua disminuye.

En la zona septentrional del partido, las lagunas interdunales tienen morfologías alargadas, influenciadas por las geoformas eólicas del grupo A. En contraste los cuerpos lacustres situados de la parte central y sur del partido tienden a ser de menor tamaño, de forma redondeadas y aisladas, con un eje ligeramente mayor orientado al noreste - suroeste, su forma se ve determinada por las dunas del grupo B. Ambas morfologías tienen una dirección dominante al NE-SO, dado que las dunas están perpendiculares a la pendiente regional, lo que permiten que las lagunas actúen como desaguaderos naturales (Figura 20). Cerca de la ciudad de Trenque Lauquen se observan lagunas de importante magnitud como la representada en la Figura 21. Las dimensiones de estas lagunas varían según las condiciones climáticas, y dichas fluctuaciones alteran su salinidad.

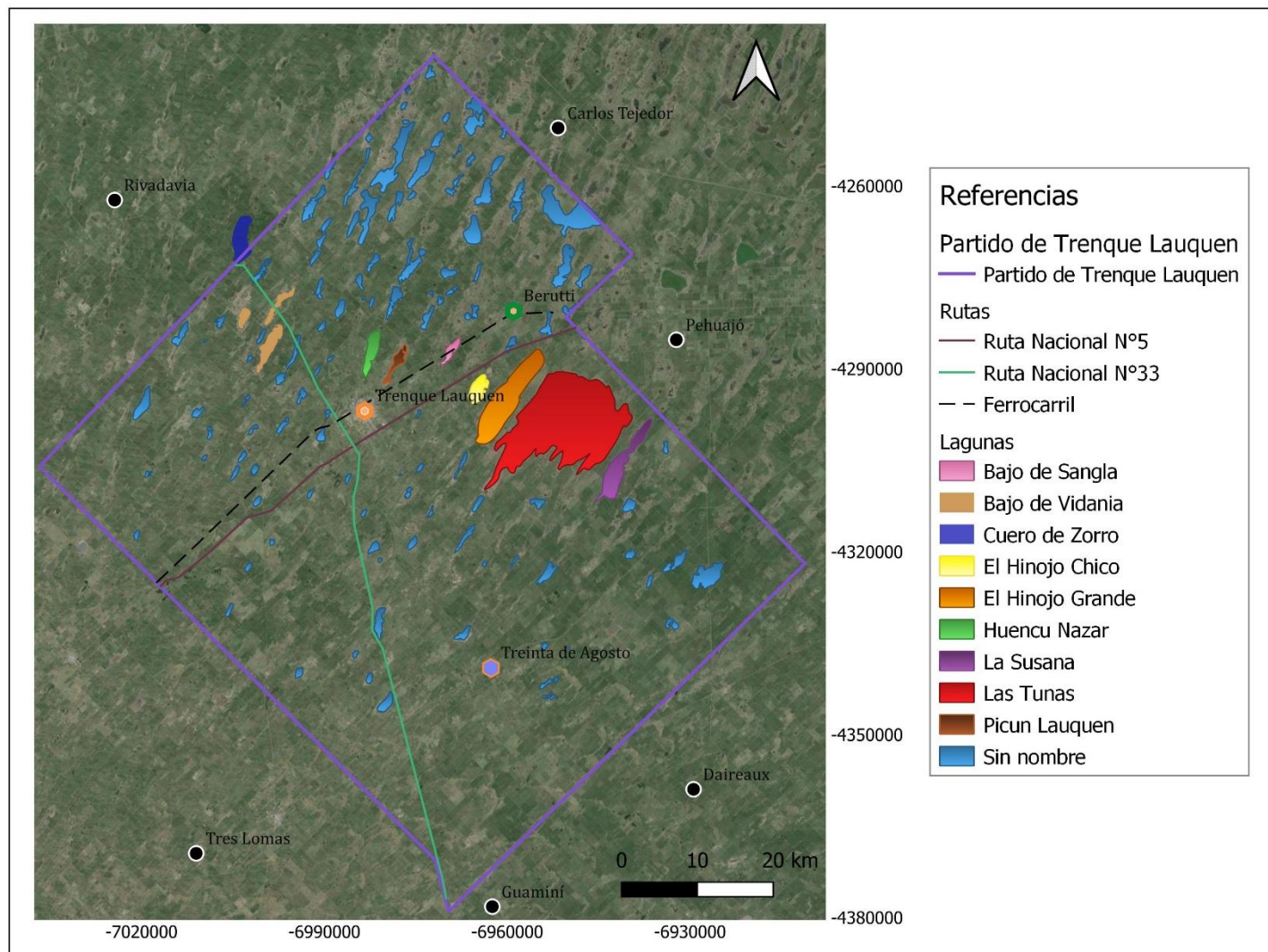


Figura 20. Geoformas lagunares dentro del partido de Trenque Lauquen. Fuente: elaboración propia.

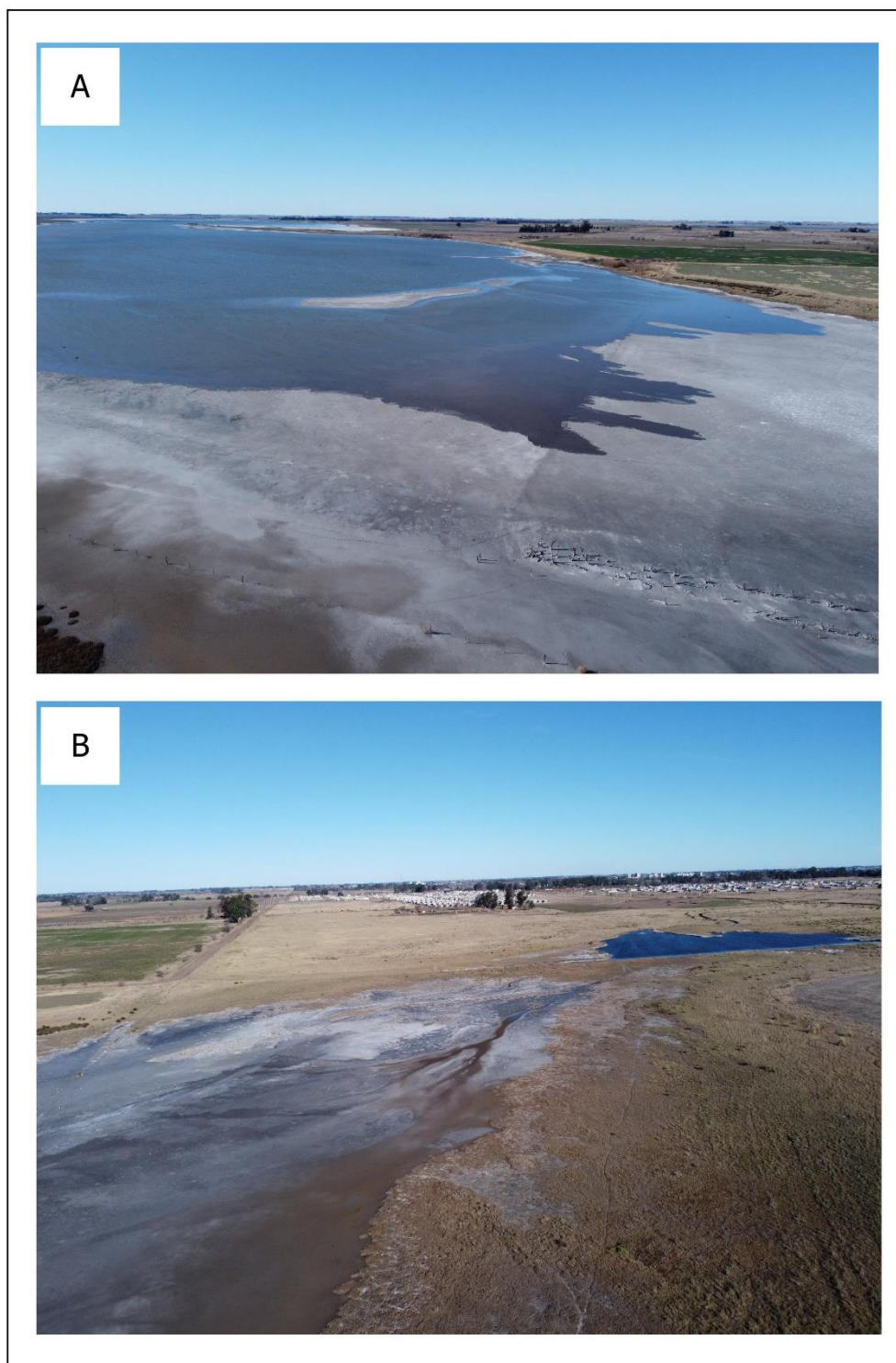


Figura 21. Fotografía de la laguna Huencu Nazar tomada en 2024. A. Se observa la fluctuación del nivel de la laguna, lo que ha dejado depósitos material fino salitroso. B. Se aprecia la proximidad de la laguna a la ciudad.

Entre las lagunas más reconocidas del partido, se encuentran la de Vidania, la de Cuero de Zorro y el complejo lagunar El Hinojo- Las Tunas. La laguna de Vidania está ubicada en la estancia con el mismo nombre, a 22 km al NO de la ciudad de Trenque Lauquen, se accede por la Ruta Nacional N°33 y se alimenta de agua de lluvias.

Por otro lado, la laguna Cuero de Zorro, ubicada también al NO, a 29 km de la localidad, en el límite entre el partido de Trenque Lauquen y de Rivadavia, se puede acceder por la Ruta Nacional N°33 desde ambos partidos. Abarca alrededor de 2.000 hectáreas, con una profundidad media de 4 m y una máxima de 7 m. En el lugar hay un área camping, donde se llevan a cabo diversas actividades como deportes náuticos, avistaje de aves y pesca, siendo esta última una actividad destacada. A diferencia de la laguna de Vidania, esta es alimentada por agua de lluvias y también por el río Quinto, tiene un canal aliviador que desagua al complejo lagunar de El Hinojo–Las Tunas. Este complejo está conformado por las lagunas El Hinojo Chico, El Hinojo Grande, Las Tunas Chicas, Las Tunas del Medio, Las Tunas Grandes y Las Gaviotas. Con una cota de 79 metros sobre el nivel del mar, actualmente estas las lagunas se hayan unificadas. Consta de 50.000 ha, de 5,5 m de profundidad. El complejo de lagunas recibe agua del río Quinto, de canales aliviadores de los campos y de los desagües de las ciudades del partido. Es reconocida regionalmente por la práctica de pesca deportiva, el pejerrey es la especie predominante. La alta concentración de sales en estas lagunas, que antiguamente se explotaba salmuera de la salina “El Milagro”, es indicativa de la mala calidad del agua, estas condiciones de salinidad descienden con el ingreso de agua dulce. Estas áreas, que en el pasado estuvieron dedicadas a la actividad agropecuaria y que posteriormente fueron afectadas por inundaciones, plantean un desafío significativo en términos de recuperación para la actividad a la que estaban destinadas. Tras la disminución del nivel del agua, el proceso de recuperación puede extenderse varios años, debido a la persistencia de elevados niveles de salinidad. Este factor representa un impedimento para la restauración de las áreas afectadas a su función agrícola inicial.

El complejo lagunar Hinojo-Las Tunas se presenta como una mega depresión en la que se acumula el escurrimiento regional. El agua no fluye hacia

las lagunas encadenadas del oeste, ya que estas se encuentran a una altitud superior en comparación con el complejo. Esta situación se puede observar de manera más clara al realizar transectos regionales longitudinales y transversales a la geoforma.

La formación de esta mega depresión podría estar vinculada a la estructura del subsuelo. Al analizar la pendiente regional (Figura 22), se aprecia un patrón similar al diagrama de gradiente de gravedad propuesto por Gregori et al. (2009), donde las ondulaciones son de una escala significativamente mayor que las ondulaciones de los depósitos eólicos. Según los estudios de Kostadinoff (2007) y Gregori et al. (2009), la presencia de un umbral o anomalía positiva de Bouguer en las cercanías de Trenque Lauquen sugiere la existencia o el levantamiento de una porción del basamento de mayor densidad en comparación con su entorno. Dicho basamento, por a diversas razones, ascendió, generando depresiones y elevaciones, esas depresiones posiblemente dieron lugar a la mega depresión Hinojo- Las Tunas.

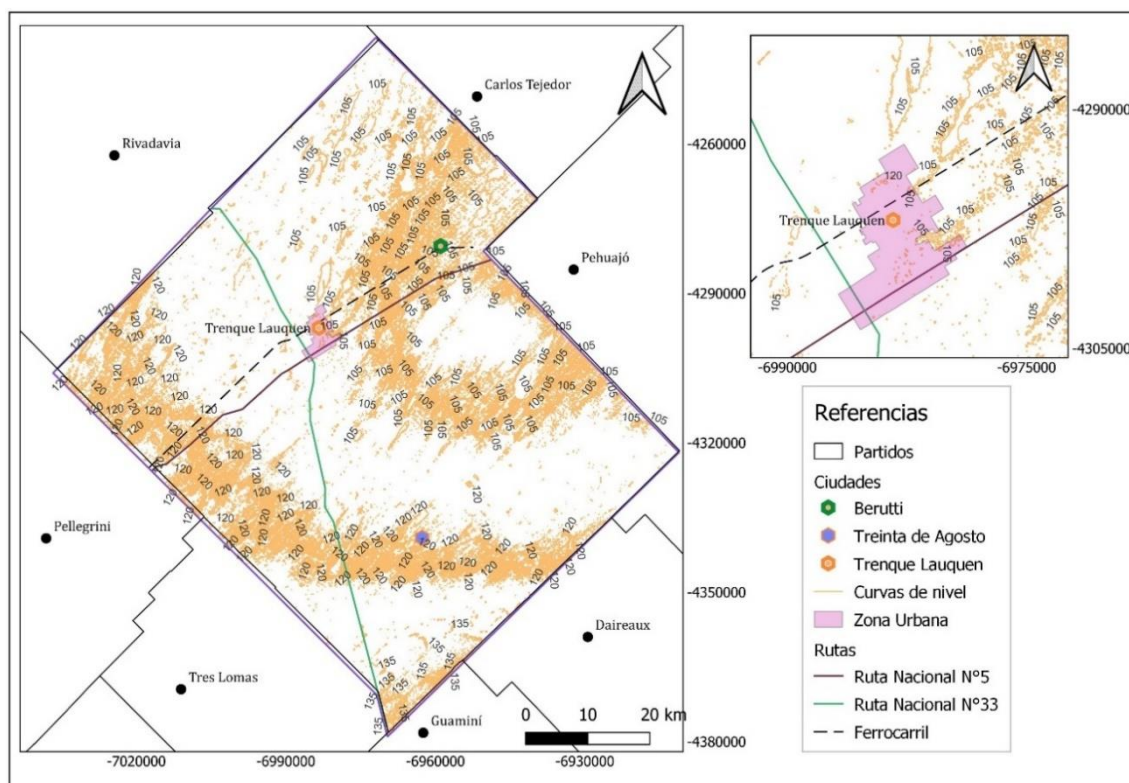


Figura 22. Curvas de nivel con intervalos de 15 metros, evidenciando la pendiente regional.

Fuente: Elaboración propia en base a datos DEM con contornos.

4.1.2.2. Bajos secos

Los bajos secos tienen interés ya que son una fuente de aporte de material particulado al aire. De esta forma aquellas zonas deprimidas que estuvieron cubiertas de agua y actualmente están secas o han experimentado una reducción de la superficie afectada por el agua, quedan “desnudas” de vegetación, presentado mantos blanquecinos de sal y arcillas que pueden ser erosionados y transportados por el viento (Figura 23). Como lo comentaron Taboada y colaboradores (2009), este fenómeno de salinización superficial es el resultado de inundaciones originadas por el aumento del nivel freático. Las sales que se encontraban en el agua subterránea asciendan a través de los capilares junto con el agua. Estos depósitos ocasionan un riesgo considerable durante períodos de sequía, ya que los vientos pueden transportarlos, generando extensas nubes de polvo que tienen impactos ambientales visuales y provocar la erosión del suelo, además del estrés hídrico en los vegetales. La recuperación de estos suelos es muy costosa y laboriosa.

A



B



Figura 23. A. Imagen satelital de una laguna seca.
 B. Fotografía capturada en el mismo sitio que el punto A, mostrando un manto blanco compuesto de sales y arcillas, las cuales se depositaron tras la evaporación de la laguna.
 Fuente: Elaboración propia.

4.1.3.Rasgos antrópicos

Los rasgos geomórficos, de la región de estudio, están ligados a la construcción de infraestructura urbana, vial y a los sistemas artificiales de escurrimiento de agua. En este contexto predominan los canales, terraplenes, rellenos, rutas, ferrocarriles, canalizaciones privadas o clandestinas, entre otros. En referencia a todo aquello que el hombre altera del relieve y/o de los procesos naturales, estas modificaciones son de gran trascendencia en áreas de baja pendiente. Las obras, como los rellenos de terrenos, terraplenes y la construcción de rutas y ferrocarriles, tienen como objetivo proporcionar conectividad a los ciudadanos y establecer entornos propicios para la vida, sin embargo, impactan en el escurrimiento e infiltración del agua.

En particular, las canalizaciones no solo transforman el relieve, sino que también alteran el transporte de agua entre distintas zonas. Su función principal es facilitar el drenaje de las aguas provenientes de los sistemas de desagüe urbanos y, en casos extremos, contribuir a la evacuación y mitigación de inundaciones. En situaciones de lluvias intensas, los residentes suelen crear canales clandestinos para acelerar la evacuación del agua y evitar la pérdida o deterioro de sus bienes.

En las ciudades de Trenque Lauquen y Berutti, los desagües se dirigen hacia la laguna El Hinojo, mientras que en 30 de Agosto, las aguas se vierten en una laguna cercana a la ciudad (Figura 24). En situaciones de exceso hídrico, la ciudad cabecera del partido utiliza las lagunas de los parques locales como depósitos temporales de agua.

Además, existe un canal que prolonga y canaliza el curso del río Quinto, permitiendo que este, tradicionalmente de carácter endorreico, continúe su trayecto hasta unirse con el río Salado (Secretaría de Recursos Hídricos, La Pampa, 2024). Esta intervención humana ha facilitado la extensión del flujo del río, permitiendo que sus aguas lleguen más lejos que en su estado natural. Sin embargo, también plantea problemas en períodos de lluvias intensas, al transportar agua desde otras zonas, lo que puede agravar situaciones de inundación. En una parte de su recorrido, el río Quinto ingresa por el noreste del

partido. Desde su salida de la laguna Cuero de Zorro, este canal se extiende a lo largo de 42,6 km hasta el sistema lagunar El Hinojo-Las Tunas, atravesando diversas lagunas de menor tamaño, como el bajo de Sangla, entre otras. Durante lluvias intensas, el sistema Hinojo-Las Tunas alcanza su capacidad máxima y sus aguas son desviadas a través del canal aliviador Jauretche, que recorre 22 km dentro del partido. Finalmente, el agua continúa su trayecto por el tramo Italia y culmina en el canal Mercante, situado en la ciudad de Bragado, donde se une con el río Salado.

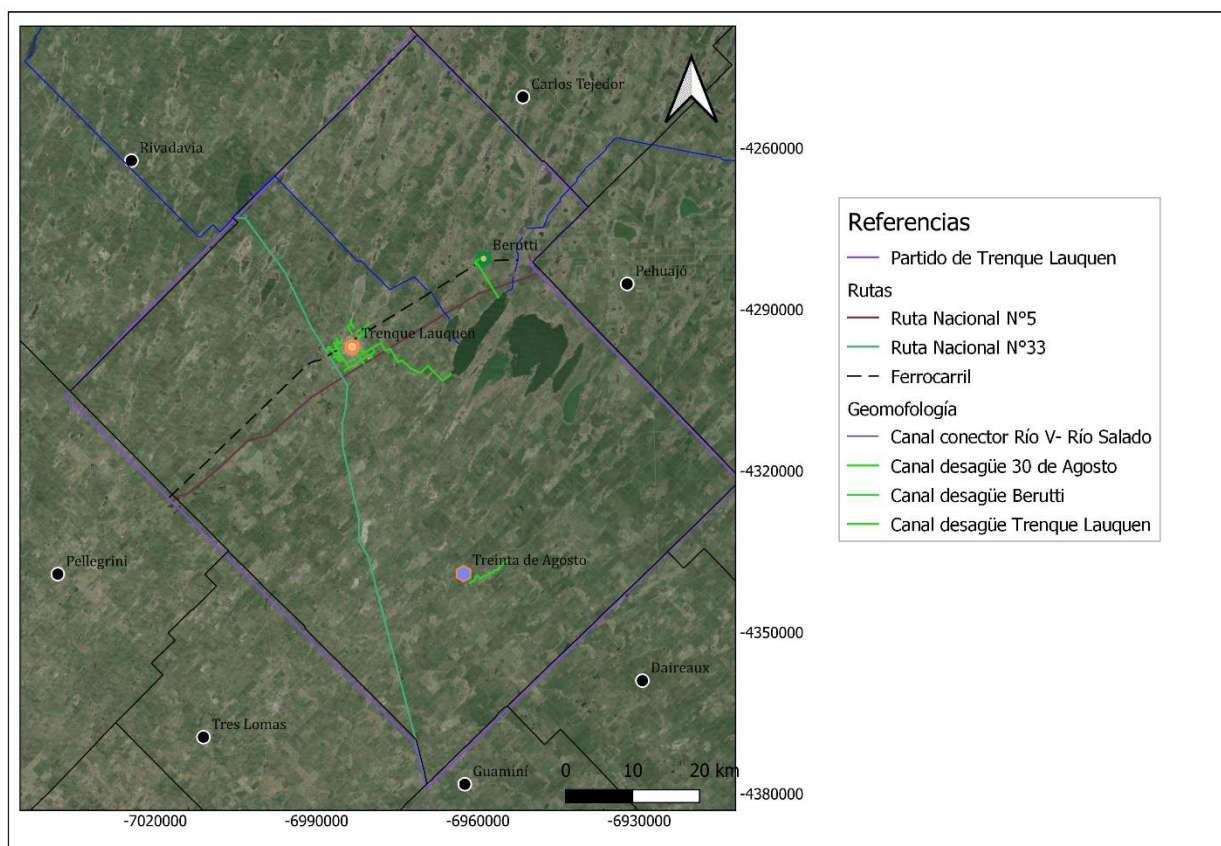


Figura 24. Los rasgos antrópicos, como los desagües urbanos, están representados en color verde, con un enfoque detallado en los desagües de la ciudad de Trenque que terminan en lagunas de parques. Asimismo, en color azul se identifica el canal que sigue el curso del Río V.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.4. Perfiles de depósitos cuaternarios

El primer perfil, identificado como "Fin de canal Carabelli", tiene una profundidad de 0,85 cm y se realizó en la parte final de un futuro canal. No presenta vegetación en la superficie, ya que la capa superficial de tierra había sido removida. El suelo tiene una textura areno-limosa y un color castaño oscuro grisáceo, con una estructura que varía de granular a prismática (Figura 25).

El segundo perfil, denominado "Canal Barro Cicoria", se realizó en la parte central de una obra de un futuro canal y tiene una profundidad de 250 cm. En la superficie hay de leve a escasa vegetación herbácea. En la parte central del canal, a simple vista, el suelo tenía un aspecto húmedo y firme, pero al pisarlo se comprobó que estaba saturado en agua, lo cual sugiere la presencia del nivel freático cercano a la superficie. Además, a lo largo del canal se observa una línea que podría marcar el comienzo de la zona húmeda. El suelo tiene una textura arenosa, color castaño oscuro, estructura granular fina. Presenta restos de raíces finas a lo largo de todo el perfil (Figura 26).

El tercer perfil, conocido como "Canal Bajo Belgrano", tiene una profundidad de 140 cm y presenta vegetación en la superficie. Al igual que en el perfil anterior, se puede observar a lo largo del canal una línea que podría marcar el comienzo de la zona húmeda. El suelo tiene una textura areno-limosa, color castaño oscuro-grisáceo y estructura granular (Figura 27).

El cuarto perfil, llamado "atrás de los médanos", tiene una profundidad de 100 cm. El suelo tiene una textura arenosa, color castaño claro-grisáceo, presenta restos de materia orgánica (MO) y tiene una estructura granular (Figura 28).

Por último, el quinto perfil, ubicado en el "Parque industrial", tiene una profundidad de 150 cm. El suelo es de color castaño claro-oscuro, con textura granular y contiene restos de raíces (Figura 29).



Perfil 1: Perfil de 0,85 cm de profundidad, el suelo tiene una textura areno-limosa y un color castaño oscuro - grisáceo. con una estructura que varía de granular a prismatica. No presenta vagatación en la parte superior

Figura 25.A. Perfil del final del canal Carabelli, mostrando los horizontes.
B. Otra perspectiva del perfil.



Perfil 2: Tiene una profundidad de 250 cm. En la superficie hay de leve a escasa vegetación herbácea. El suelo tiene una textura arenosa, color castaño oscuro, estructura granular fina. Presenta restos de raíces finas.

Figura 26.

A. Imagen del perfil

del canal Barro

Cicoria.

B. Ubicación del

perfil, se observa

línea freática.

C. Otra perspectiva

del canal.



Perfil 3: Tiene una profundidad de 1,40 cm y presenta vegetación en la superficie. El suelo tiene una textura areno-limosa, color castaño oscuro-grisáceo y estructura granular.

Figura 27. Canal Bajo Belgrano. A. perfil completo. B. estratificación. C. suelo con tonalidades en grisáceo.



Figura 28. A. Vista del perfil "Atrás de los Médanos".

B. Detalle del tamaño de grano observado en el perfil.

Perfil 4: Tiene una profundidad de 100 cm. El suelo tiene una textura arenosa, color castaño claro-grisáceo, presenta restos de materia orgánica (MO) y tiene una estructura granular.



Perfil 5: Tiene una profundidad de 150 cm. El suelo es de color castaño claro-oscuro, con textura granular y contiene restos de raíces

Figura 29. A. Perfil del parque industrial.
B. Vista del tamaño de grano en el perfil.
C. Sección superior del perfil.

Además, se llevó a cabo la correlación de perfiles analizados (Figura 30), estableciendo una relación entre los perfiles 1 y el 4 por un lado, y entre los perfiles 2 y 3 por otro. El perfil que no mostró correlación con ninguno de los mencionados anteriores fue el perfil 5, debido a su ubicación distante y correspondiente a una duna distinta a las anteriores.

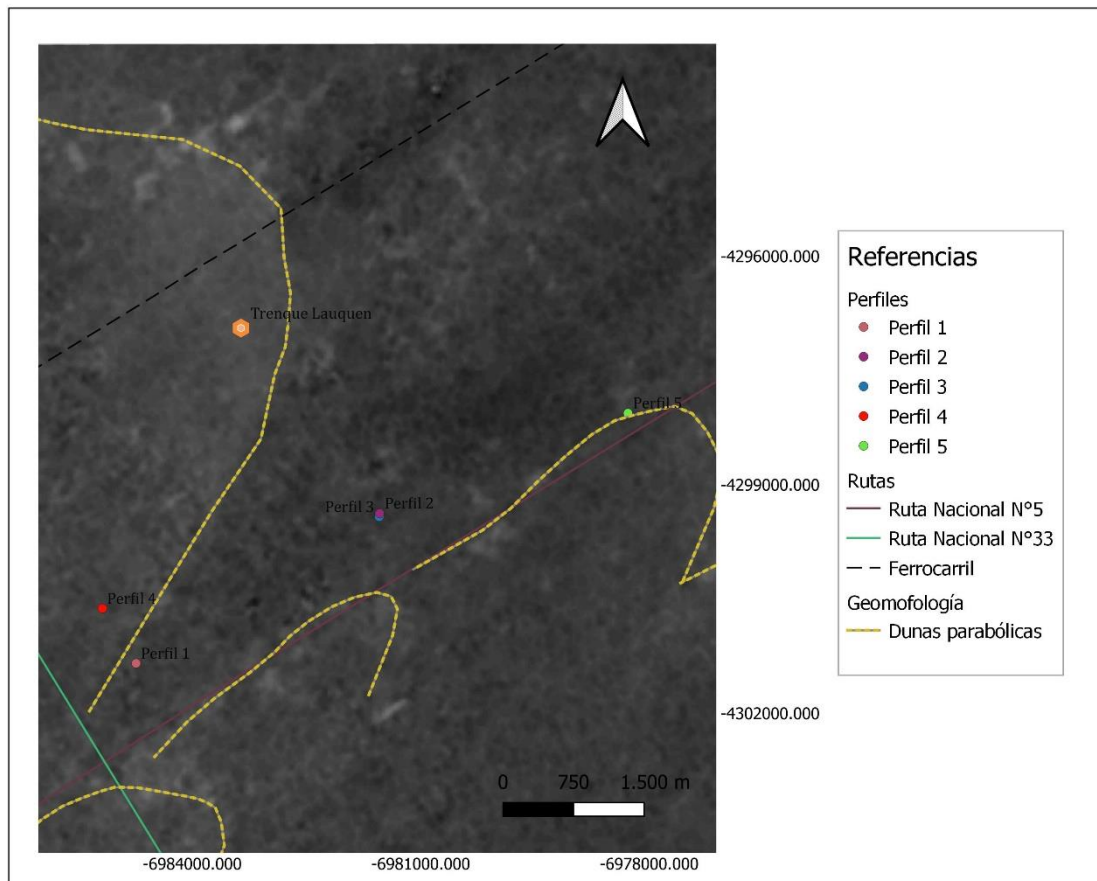


Figura 30. Ubicación de los perfiles analizados. Fuente: elaboración propia.

El perfil 1 comienza con arena de tamaño medio, presenta una intercalación de arena fina y, en su parte superior, exhibe una capa de arena fina grisácea seguida por una capa de arena gruesa del mismo color. Por otro lado, el perfil 4 inicia con arena gruesa y hacia la superficie experimenta una disminución gradual en el tamaño de grano, alcanzando una textura intermedia entre arena mediana y gruesa. Ambos perfiles presentan el desarrollo de suelos, con un horizonte A, identificado por su color más oscuro debido a la presencia

de materia orgánica (MO) y vegetación. El horizonte AC es de transición, mientras que el horizonte C corresponde al material parental.

Ambos perfiles, el 1 y el 4, se vinculan con la misma geoforma eólica. El perfil 1 se localiza en el extremo de uno de los brazos de la duna, lo cual propicia la alternancia entre depósitos de finos y depósitos arenosos medianos en esta ubicación. Por otro lado, el perfil 4 se ubica en la porción central de dicho brazo. Si analizamos la imagen satelital de esta región, se observa que el brazo de la duna en ese sector presenta sectores con vegetación y otros sin ella. Este fenómeno posibilita un desplazamiento de la arena superficial en dicha zona, producto de esto se puede ver la estratificación entrecruzada en el perfil 1 y laminación paralela en el perfil 4, debido al movimiento de ondulitas por acción del viento (Figura 31 y 32).

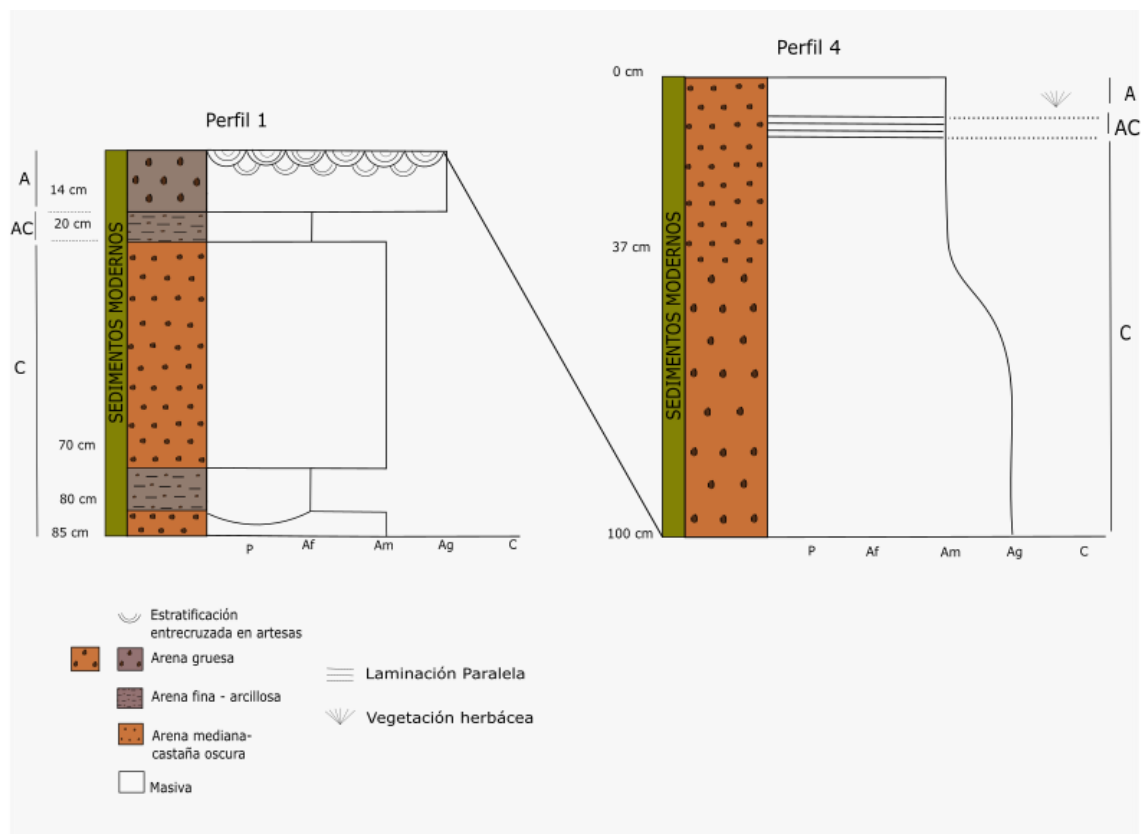


Figura 31. Esquemas de los perfiles 1 y 4. Fuente: elaboración propia.



Figura 32. A. Imagen satelital que muestra los perfiles 1 y 4.
 B. Vista en planta del área marcada con el punto amarillo.
 C. Dunas situadas en el área del punto amarillo.
 D. Estratificación en un sector del área del punto amarillo.

Fuente: Elaboración propia.

El perfil 3 se caracteriza por presentar una sección inferior compuesta de arena media con una lámina fina e irregular de arenas finas - arcillosas, culminando en su sección superior con arena de tamaño medio a grande. La presencia de la intercalación irregular se interpreta como un momento de estabilidad de la duna o una zona baja de la duna, atribuible a la naturaleza inundable de estos suelos, mientras que los demás depósitos son eólicos. Por otra parte, el perfil 2 la sección inferior es de arena mediana a gruesa y en la sección superior del perfil, se observa una disminución progresiva en el tamaño de grano, alcanzando finalmente un tamaño de arena mediana a fina. Siendo estos depósitos eólicos como la parte superior del perfil 3. Ambos perfiles tienen desarrollo de suelo con desarrollo de horizonte A,AC,C.

La asociación entre ambos perfiles se establece por su proximidad geográfica, evidenciando una conexión con la misma secuencia de sedimentos. A pesar de que las imágenes satelitales junto con el Modelo Digital de Elevación (DEM) no revelan la presencia de la cresta de una duna en esta área, los depósitos eólicos identificados sugieren la posible existencia de una duna. Esta presunción se fundamenta en la disposición característica de los tamaños de grano, o bien, podría deberse a depósitos de mantos arenosos. Estos últimos, cubren el paisaje sin una estructura definida, típicamente se forman cuando la arena queda atrapada entre los pastizales y sin migrar por reptación o saltación (Figura 33).

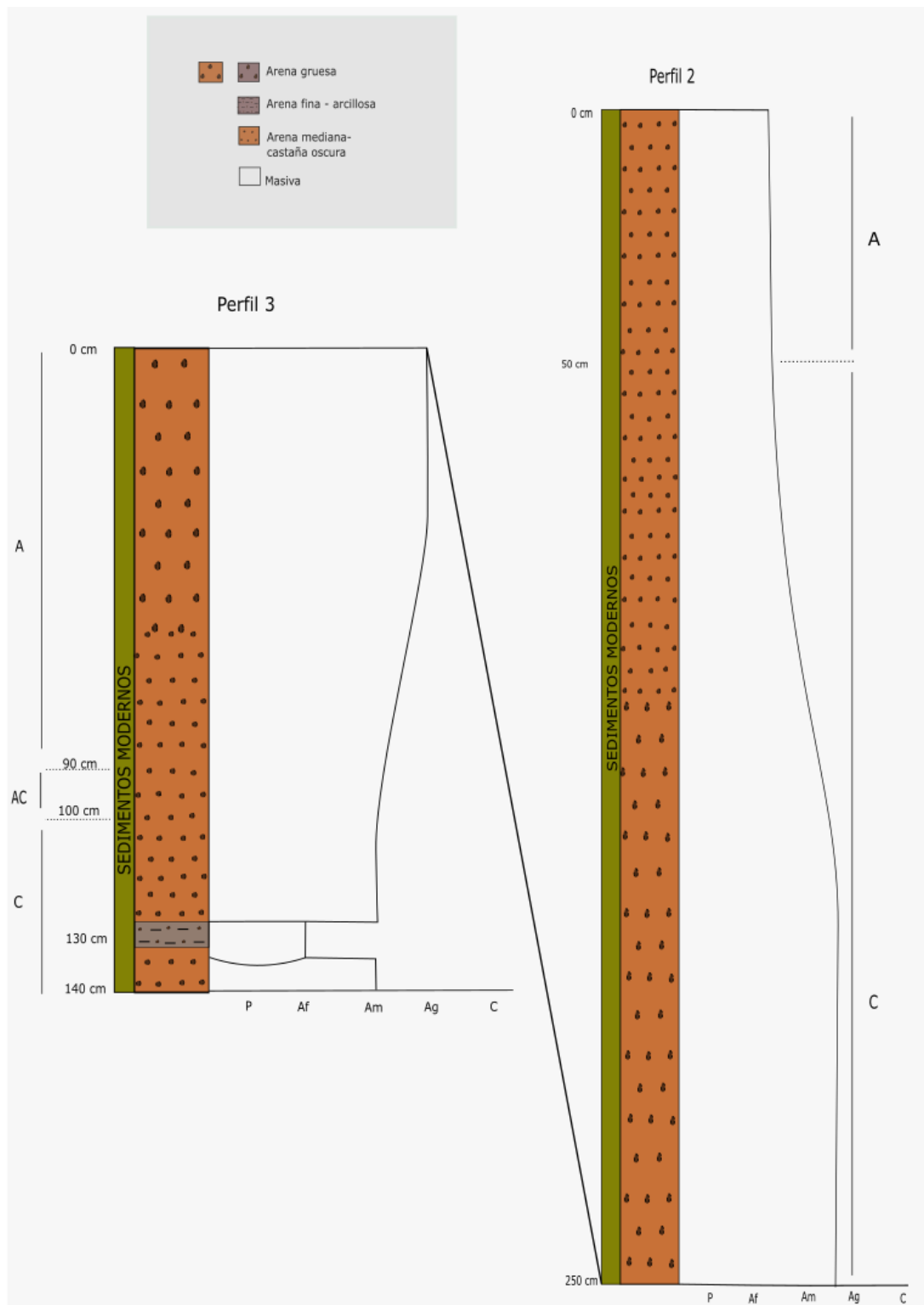


Figura 33. Esquemas de los perfiles 2 y 3. Fuente: elaboración propia.

El perfil 5 comienza con arena fina - mediana y hacia la superficie presenta un cambio gradual a arena mediana – gruesa, con presencia de vegetación. Esta área pertenece a una duna, el aumento de tamaño de grano podría marcar un leve avance de la duna. Tiene desarrollo de horizontes de suelo (Figura 34).

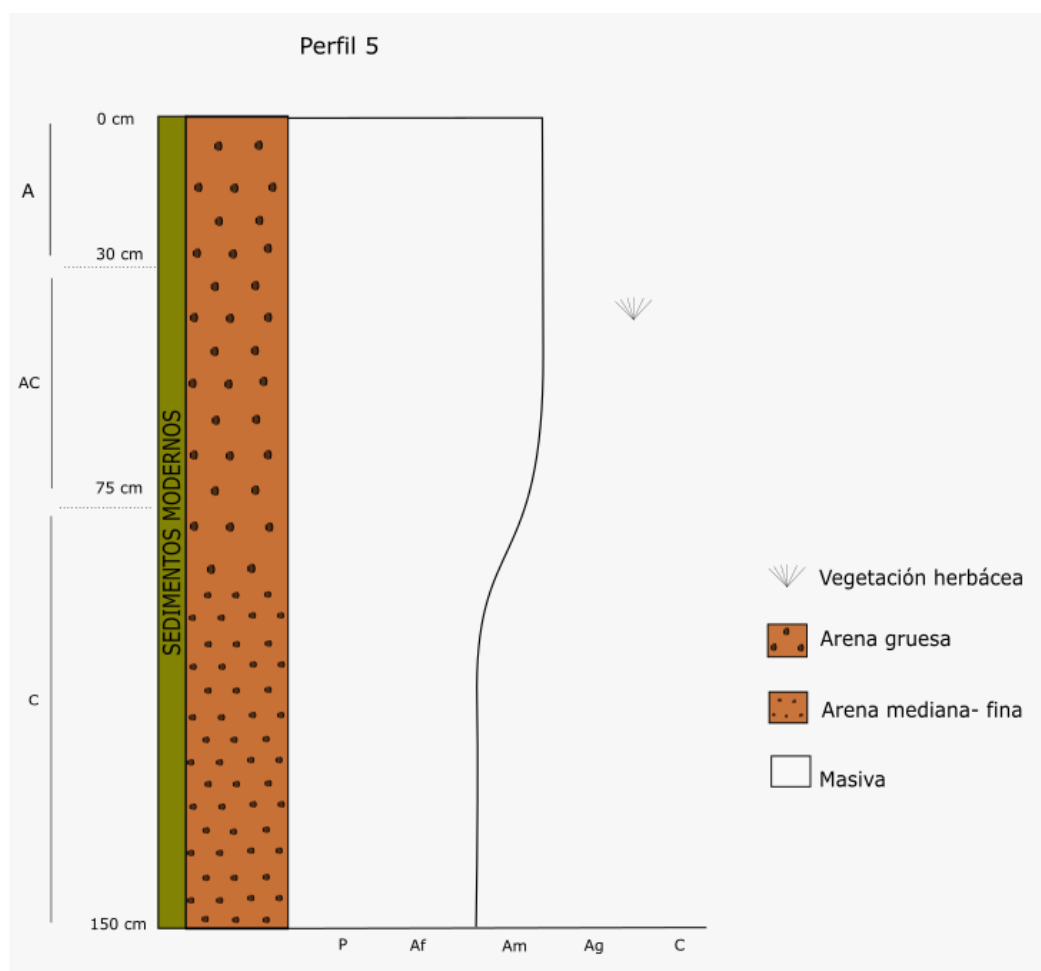


Figura 34. Esquema del perfil 5. Fuente: elaboración propia.

Estas descripciones detalladas de los perfiles superficiales someros permiten una mejor comprensión de las características y variaciones de los suelos en las diferentes ubicaciones estudiadas. Se constató que todos los perfiles analizados exhiben características de suelos de tipo molisoles, con composiciones sedimentarias que incluyen partículas de arena fina, mediana y gruesa, así como texturas granulares y prismáticas. Además, el desarrollo de suelos indica que las dunas son antiguas, están inactivas y que se formaron en un clima más árido que el actual.

4.1.5. Mapa geomorfológico

Si representamos todos los rasgos y geoformas relevantes que se encuentran dentro del ámbito territorial del partido en cuestión, obtenemos como resultado la Figura 35. Este mapa constituye una herramienta para la comprensión y análisis del relieve, la hidrografía y otros elementos geográficos que caracterizan dicha área. Además, proporciona una base cartográfica para la planificación territorial, la gestión ambiental y otros fines científicos y aplicados.

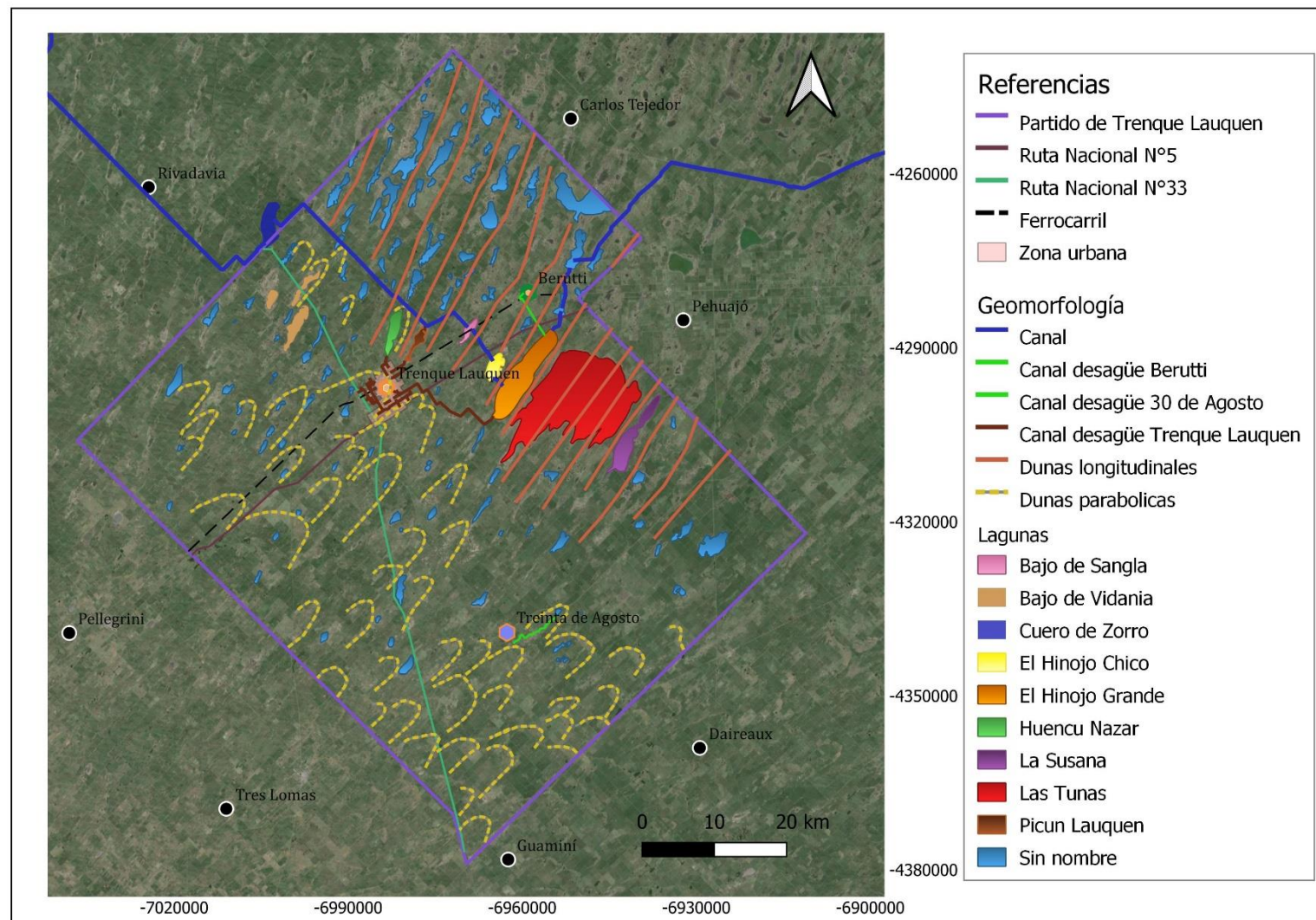


Figura 35. Mapa geomorfológico del área estudiada.

Fuente: elaboración propia.

En síntesis, de los datos presentados en este capítulo, el partido de Trenque Lauquen exhibe una composición sedimentaria conformada por depósitos arenosos del Pleistoceno – Holoceno. Estos fueron desplazados por el viento desde el oeste, después de la última glaciación. Este material primeramente formó un gran mar de arena como lo mencionaron Iriondo y Kröhling (1996). En zona de estudio, los procesos eólicos prevalecieron sobre los fluviales, por eso no hay una red de drenaje integrada. Dentro de los límites del partido se identificaron dos sectores, uno caracterizado por la presencia de dunas longitudinales(A) y otro con dunas parabólicas (B). Las segundas son mayoritarias comparadas con las primeras. Ambos tipos de dunas son difíciles de reconocer en el campo debido a la gran dimensión que tienen y su escaso desnivel. En consecuencia, la observación e identificación de las mismas se facilita mediante el análisis de imágenes satelitales, permitiendo su seguimiento a lo largo del tiempo, particularmente en momentos de sequía y anegamientos. Un aspecto notable es que las dunas del sector B se sobreponen sobre las del grupo A, llamando a este sector AB. Esto sugiere que las dunas parabólicas son más recientes que las dunas longitudinales, fundamentado por su mejor morfología y superposición. Por encima de estos materiales arenosos se han desarrollado suelos de tipo molisoles. En lugares con gran espesor de arenas, los suelos tienden a formarse allí, mientras que, en las zonas bajas, con menor espesor de arenas, los suelos van a ser más arcillosos. Las inundaciones sobre estos suelos, se presentan como sistemas atípicos en el sentido de Fertonani y Prendes (1983), donde asciende el nivel freático en las partes más bajas. Un riesgo asociado es la salinización de los suelos debido al ascenso de aguas freáticas salinas, lo cual genera una pérdida temporal del suelo para la actividad agrícola y requiere un esfuerzo considerable para su recuperación.

La red de drenaje en la región es deficiente, consta en canales artificiales que conectan lagunas, las cuales actúan como receptoras y contenedoras de aguas pluviales. Algunos bajos solo cubren unos pocos metros cuadrados mientras que otros, varias hectáreas de campo. Además, algunos de estos bajos tienen agua todo el año mientras que otros se secan en ciertas estaciones del año. Por otro lado, se pudo observar que el sistema de lagunas Hinojo- Las Tunas, constituye una gran depresión topográfica que recoge el escurrimiento

regional. Esta mega depresión se formó como resultado de los movimientos del subsuelo. Investigaciones sugieren la existencia de un umbral gravimétrico cerca Trenque Lauquen, cuya magnitud indicaría la presencia de un basamento similar al del sistema de Tandilia. Dicho basamento, por a diversas razones, ascendió, generando depresiones y elevaciones, esas depresiones posiblemente dieron lugar a la mega depresión Hinojo- Las Tunas.

4.2.Crecimiento urbano y construcciones de obras de infraestructura en Trenque Lauquen

El análisis comparativo entre la fotografía de 1951 brindada por el Instituto Geográfico Nacional (IGN), y la imagen satelital del actual año 2024 revela un notable crecimiento urbano en todas las orientaciones, destacándose una expansión significativa hacia el sur (Figura 36). En 1951 la ciudad abarcaba aproximadamente 4,76 km², desarrollándose a ambos lados del ferrocarril, sin alcanzar las rutas nacionales 5 y 33, y contaba con un único parque que incluía una laguna destinada a la contención de agua.

Para 2024, la superficie ocupada por la ciudad ha aumentado a 27,3 km², lo que representa una expansión de 22,5 km² en un lapso de 73 años. Este crecimiento se ha concentrado principalmente al sur, superando las rutas mencionadas. La expansión urbana ha propiciado la ocupación de áreas previamente ocupadas por dunas parabólicas, incluidas las cretas de la dunas y zonas más bajas interdunales, lo que ha requerido la construcción de infraestructuras adecuadas para estos asentamientos. En este sentido, se han ejecutado obras destinadas a la prestación de servicios públicos básicos, así como la implementación de sistemas de drenaje pluvial. Entre estas obras se incluye la construcción de canales, asfaltado de calles, relleno de terrenos, cordones cunetas, bocas de tormenta, y lagunas artificiales para el manejo de aguas pluviales. Estas intervenciones no solo responden a la demanda derivada del crecimiento demográfico y la expansión territorial, sino que también buscan garantizar condiciones habitacionales seguras y sostenibles para los habitantes de la urbe en cuestión. Sin embargo, presentan desventajas como aumento de

la superficie de impermeabilidad y disminución de la capacidad de infiltración del agua.

Dentro de las infraestructuras de drenaje construidas en la ciudad, se distinguen tres tipos de canales (Figura 37). En el centro urbano, existen canales entubados subterráneos, con una longitud de al menos 18.855 m lineales en total. Estos reciben el agua de las bocas de tormenta y la conducen hacia canales revestidos. Los canales revestidos, que suman una longitud aproximada de 2.291 m en línea, presentan una menor extensión comparados con los entubados. En algunos tramos, estos canales muestran vegetación en las entradas de agua provenientes de las calles circundantes. Además, en ciertos sectores, las paredes laterales, de no más de 50 cm de altura, permiten un mayor caudal en episodios de lluvias intensas (Figura 38). La densidad combinada de canales entubados y revestidos, en el área céntrica de la ciudad es de 2.114 m por km², una cifra elevada debido a la impermeabilidad del suelo, lo que exige una infraestructura de drenaje más robusta para manejar el volumen de agua durante eventos de precipitación intensa.

Por otro lado, en las zonas periféricas se encuentran los canales a cielo abierto sin revestir. En la zona norte de la ciudad, estos canales desembocan en las lagunas Picun Lauquen y Huencu Nazar, mientras que en la región oeste - sur se extienden hasta el Complejo Hinojo - Las Tunas a través de un recorrido más largo. Algunos de estos canales están bien mantenidos mientras que otros presentan vegetación en su interior (Figura 39). A parte, se han hecho lagunas artificiales en los parques urbanos, que actúan como depósitos de agua pluvial, también se han construido cordones cunetas y se han pavimentado la mayoría de las calles. Estas obras han reducido la infiltración del agua en el suelo y aceleran su escurrimiento en momentos de precipitaciones intensas.

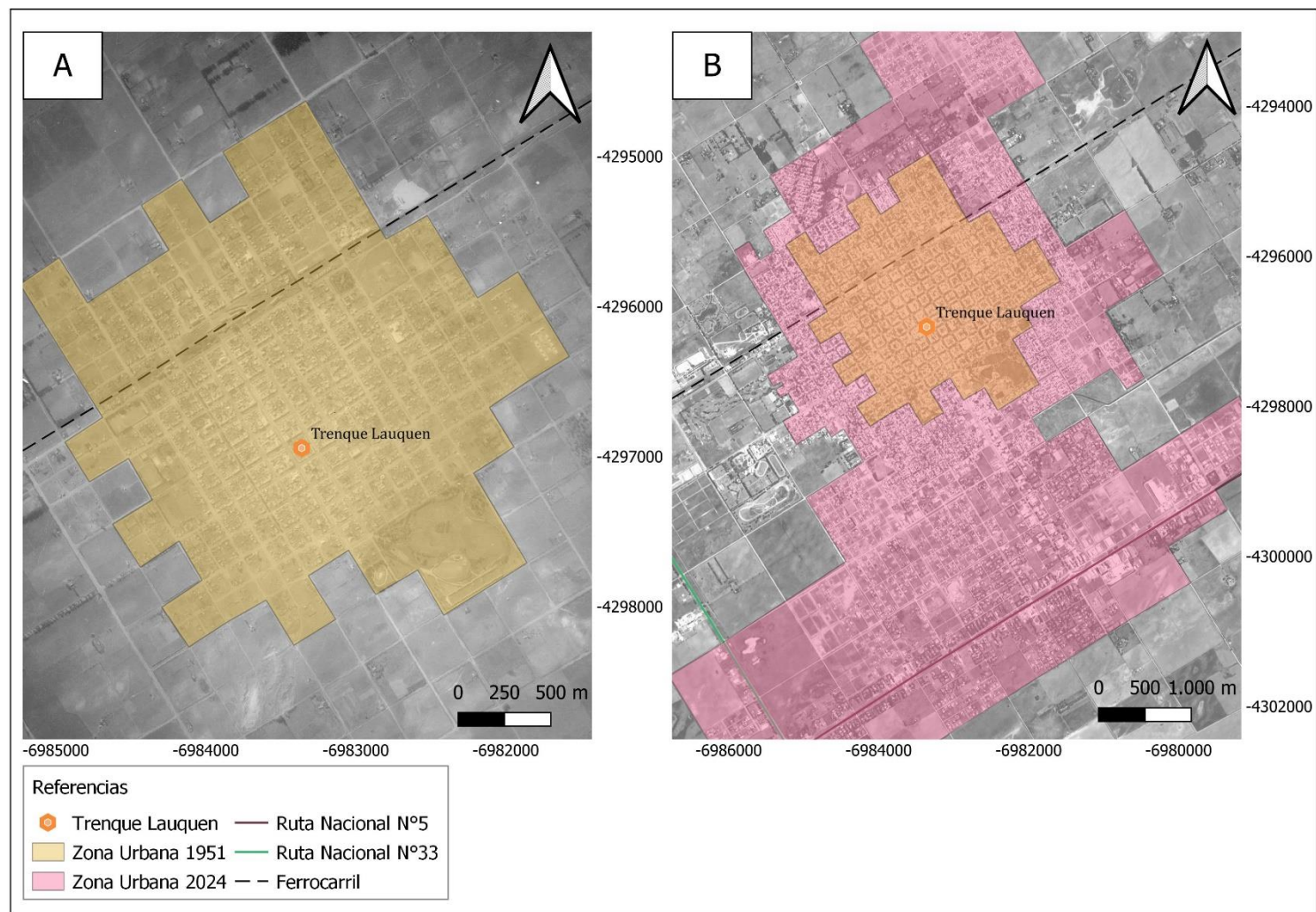


Figura 36. Expansión urbana A. Fotografía aérea del año 1951, en amarillo se identifica la zona urbana. B. Imagen satelital del año 2024, en color rosa se observa la zona urbana.

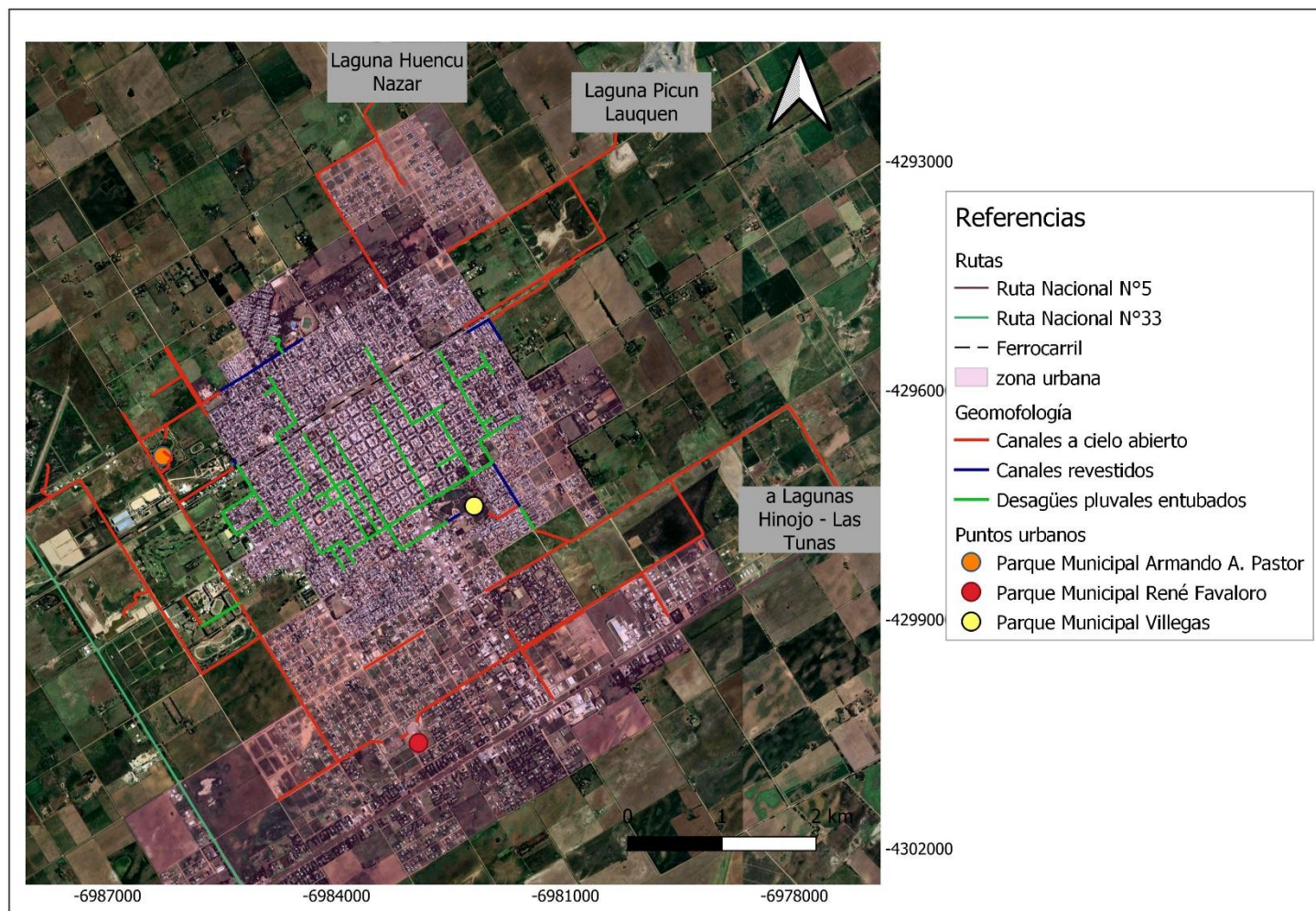


Figura 37. Infraestructura realizada por la expansión de la ciudad de Trenque Lauquen 2024, se señalan parque con lagunas de contención, y canales de desagüe.



Figura 38. Canales a cielo abierto trapezoidales revestidos con hormigón. A. Se puede observar vegetación obstruyendo parcialmente la entrada de agua de un canal tributario. B. Muros verticales por sobre el nivel del revestimiento del canal. C. Canal en buen estado de mantenimiento.

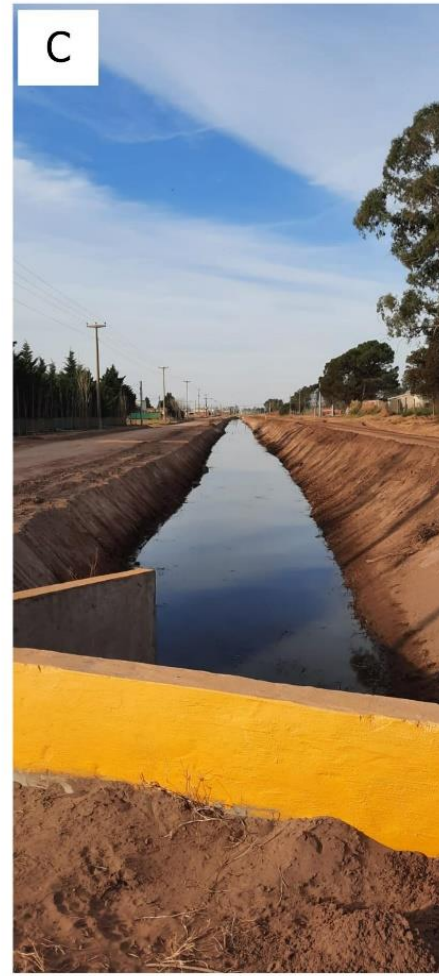


Figura 39. Canales a cielo abierto no revestidos. A. Canal mantenido. B. Canal con falta de mantenimiento. C. Canal recientemente sometido a mantenimiento, incluyendo la profundidad y los taludes.

4.3. Mapa de susceptibilidad hídrica de Trenque Lauquen

A partir de la observación de las imágenes satelitales proporcionadas por el programa Landviewer, se identificó que 1987 fue el año más afectado del período comprendido entre 1985 y 2024 (Figura 14), en comparación con otros años en donde las lluvias superaron el promedio anual. Este año estuvo particularmente influenciado por el fenómeno El Niño y se registró como máxima inundación con gran afectación, según lo validan noticias del diario local (Anexo III) y testimonios de residentes de Trenque Lauquen. La inundación no fue causada únicamente por el ascenso del nivel freático, sino también, aunque en menor medida, por los derrames del canal que continua la trayectoria del río Quinto, como señalaron Dillon y Castronovo (2003).

Las intensas lluvias en la cuenca alta del río Quinto generan un flujo aguas hacia las zonas más bajas, que se regula mediante compuertas, permitiendo la transferencia de agua de una región a otra. Este tipo de manejo hídrico puede desencadenar conflictos entre distintas jurisdicciones, ya que el problema del exceso de agua no se resuelve, sino que se traslada a áreas situadas más abajo en el recorrido del río o canal que continua con la trayectoria.

Al examinar las geoformas lagunares en momentos de intensas precipitaciones, se evidencia que estas presentan modificaciones y fluctuaciones en tamaño y forma, según la condición climática del momento. Durante momentos de sequía, la evaporación prevalece, lo que ocasiona una disminución del tamaño de las mismas. En cambio, en periodos de abundantes precipitaciones, las lagunas se expanden, asciende su nivel y, si están próximas entre sí, se pueden unificar. Este fenómeno se refleja en el paisaje, el cual varía de acuerdo con los ciclos climáticos. En la Figura 40 A, ilustra la distribución de las lagunas en los años 1984, 1985 y 1986, donde el complejo Lagunar Hinojo - Las Tunas no se encontraba unificado y las lagunas predominantes en la parte norte y centro del partido, orientadas hacia el NNO. Mientras que, en la Figura 41 B, correspondiente al año 1987, refleja un cambio en las condiciones meteorológicas, evidenciando un aumento en el nivel del agua y la unificación

del complejo lagunar Las Tunas, junto con un incremento en el número de lagunas al sur del distrito.

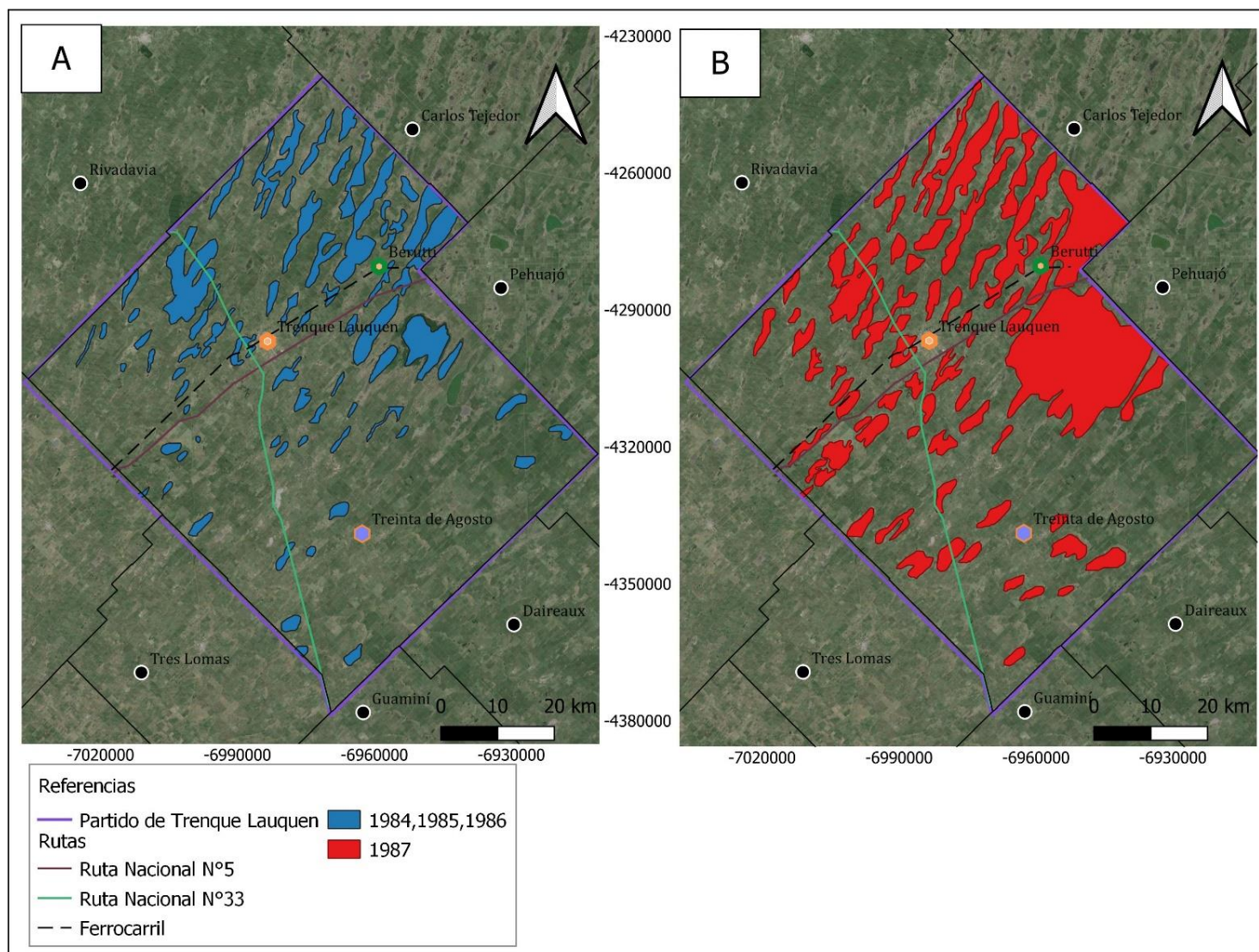


Figura 40. A: Imagen satelital que muestra la distribución de lagunas en los años 1984, 1985 y 1986.

El Complejo de Lagunas Hinojo-Las Tunas, indicado con una estrella, estaba compuesto por diversas lagunas de menor tamaño.

B: Distribución de las lagunas en 1987, cuando se alcanzó el máximo nivel de inundación en la región del período 19xx-2024. En esta imagen, se observa la unificación de las lagunas que conforman el Complejo Hinojo - Las Tunas.

Desde una perspectiva de susceptibilidad a la inundación basada en la geomorfología y la observación de imágenes satelitales, se ha confeccionado un mapa que identifica las áreas con distintos niveles de riesgo de afectación o daño. En dicho mapa, las zonas de alto riesgo se representan en color rojo, mientras que las de bajo riesgo se indican en color verde, abarcando tanto la zona urbana como las zonas rurales circundantes. Esta representación permite señalar las regiones que podrían verse afectadas en caso de una inundación de magnitud similar o superior a la ocurrida en 1987.

El análisis del mapa de la zona urbana revela que la expansión de la ciudad ha tenido lugar sobre algunas áreas propensas a inundaciones, principalmente al norte y al sur de la ciudad, mientras que las zonas rurales adyacentes son predominantemente vulnerables a las inundaciones. Si se consideran las obras de drenaje realizadas en estas zonas (Figura 41), se observa que en partes se ha logrado mitigar el problema a través de desagües, aunque persisten áreas que continúan siendo vulnerables a la problemática.

Asimismo, a partir del análisis geomorfológico y de desastres históricos se indican posibles áreas de ampliación urbana conforme a la propuesta de organización urbana, del Plan Director (2011). En este caso se priorizaron lugares que tengan baja probabilidad de ocurrencia de inundación. Dichas áreas ocupan aproximadamente 7266 km², se representaron en color amarillo y están destinadas a fines urbanísticos. Aledañas a estas áreas hay terrenos inundables, donde se podrían desarrollar centros recreativos, como parques, polideportivos, reservas naturales, entre otros.



Figura 41. Mapa de susceptibilidad de riesgo hídrico urbano y rural en base a la imagen satelital del 26 de marzo del año 1987. Con posible áreas de ampliación urbana en color amarillo.

Capítulo V.

Conclusiones y recomendaciones

En este capítulo final se sintetizan las principales conclusiones de cada uno de los objetivos específicos abordados. Seguidamente se brindará sugerencias y recomendaciones para mejorar la gestión territorial de la ciudad de Trenque Lauquen.

5.1.Conclusiones

5.1.1. Geomorfología

En cuanto a la caracterización geomorfológica de Trenque Lauquen, está predominantemente definida por geoformas eólicas y lagunares. Diversos autores han documentado estos rasgos, los cuales han sido corroborados, mapeado y analizado en el presente estudio mediante la observación de imágenes satelitales. El área de estudio presenta una pendiente regional media de 0,1 m por kilómetro, mientras que las pendientes máximas no suelen superar los 2°. La altitud en el partido varía ligeramente, con diferencias mínimas entre los puntos más altos, aproximadamente 130 m s.n.m., y los más bajos, cerca de 85 m s.n.m. Este bajo relieve relativo limita la energía necesaria para el desarrollo un sistema de drenaje integrado, lo cual es indicativo de la historia geomorfológica de la región, donde los procesos eólicos han dominado totalmente a los procesos fluviales.

En relación a los procesos eólicos que modelaron la región, hay presencia de dunas parabólicas y longitudinales inactivas. Estas dunas son masivas, formadas por arenas y limos del Postpampeano. Las dunas parabólicas, predominantes dentro del partido, tienen una longitud de $5,21 \pm 2,17$ km y un ancho de $3,19 \pm 1,24$ km aproximadamente. Las dunas longitudinales, por otra parte, alcanzan una longitud promedio de $25,20 \pm 7,83$ km dentro del partido, con un ancho, medido de depresión a depresión, de aproximadamente $3,03 \pm 1,31$ km. Originalmente ambos tipos de dunas eran pandas, poco expresivas y, en la actualidad, muestran un grado moderado de

erosión debido a la interacción con el agro sistema sobreimpuesto, el retrabajo del viento y presencia de vegetación, por lo cual se dificulta la identificación en el campo.

Las dunas longitudinales se disponen de manera perpendicular a la pendiente regional, favoreciendo la acumulación de agua en las zonas interdunales. Esta disposición geomorfológica influye en la morfología de las lagunas, que tienden a ser redondeadas en el área con dunas parabólicas y alargadas en regiones dominadas por dunas longitudinales.

Como resultado del dominio de sistemas eólicos, el drenaje es anárquico. En lugar de seguir un patrón de escurrimiento horizontal típico, el exceso de agua se desplaza verticalmente como lo describen Fertoni y Prende (1983) o Giraut (2006). En este sistema el agua no fluye en una única dirección de escurrimiento, sino que se desplaza de manera desordenada, infiltrándose, acumulándose, saturando el suelo y provocando el ascenso del nivel freático. Este nivel aflora en las zonas más deprimidas, desde donde comienza a extenderse, conectando bajos y desplazándose de forma mantiforme hacia otros bajos más altos, generando eventualmente inundaciones. La pérdida de agua en el sistema se da por evapotranspiración e infiltración profunda.

El nivel freático (vulgarmente conocido como napa) varía su proximidad a la superficie dependiendo de las condiciones climáticas. Durante períodos de húmedos, este nivel se encuentra cerca de la superficie, mientras que en épocas de sequía se ubica a mayor profundidad. En momentos de lluvias intensas, el nivel freático se conecta con las lagunas, influyendo en sus fluctuaciones. Por esta razón, es tan importante controlar el nivel freático y medir el nivel hidrométrico de los sistemas lagunares permanentes, que están conectadas a la freática.

El comportamiento del agua subterránea sigue el modelo de flujos, con sectores que presentan flujos locales y otros con flujos más profundos de carácter regional. Estos flujos se alimentan en áreas de recarga, que suelen coinciden con altos topográficos, y descargan en partes bajas. A diferencia de

lo que ocurre con el agua superficial, donde los cauces pueden profundizarse, ensancharse o incluso rectificarse para aumentar su capacidad de transporte o redirigir el flujo. El agua subterránea no permite este tipo modificaciones, por ello, la única opción viable es conocer cómo evoluciona la profundidad del agua, lo que permite tomar medidas preventivas antes que aflore a la superficie, momento en el que se hace evidente un fenómeno que lleva tiempo desarrollándose. Aunque la lluvia es el desencadenante del problema y su consecuencia más visible es la inundación, la verdadera raíz del conflicto radica en la disminución de la capacidad de almacenamiento subterráneo. Para analizar adecuadamente el sistema hidrológico en áreas de llanura, es crucial considerar tanto la dinámica de las aguas subterráneas como la de las aguas superficiales. Estas últimas se acumulan en lagunas temporales y permanentes, además de ser canalizadas hacia sistemas que conectan el Río V con el Río Salado.

Los suelos de las áreas son predominantemente arenosos, lo que le confiere una ventaja de buen drenaje interno cuando el nivel freático es profundo. Sin embargo, cuando el nivel freático es más superficial, el agua tarda en infiltrarse, generando escurrimiento y acumulándose en bajos, donde se forman depósitos finos. En la región los suelos son de tipo molisoles y entisoles. Los primeros se forman en áreas semiáridas a semihúmedas, típicamente bajo una cobertura de pasturas. Se desarrollan generalmente a partir de materiales franco limosos de origen eólico (loess) y poseen un horizonte superficial oscuro y rico en nutrientes. Los entisoles se encuentran en áreas continentales donde aparecen cordones medanosos y generalmente están compuestos por materiales de textura gruesa (arenas). En la zona de estudio, se ha observado que las dunas tienen un desarrollo de suelos, lo que sugiere que son antiguas e inactivas, habiéndose formado en un clima más árido que el actual.

5.1.2.Expasión urbana

Al comparar la fotografía de 1951 proporcionada por el Instituto Geográfico Nacional (IGN) con una imagen satelital de 2024, se evidencia un notable crecimiento urbano en todas las direcciones, con una expansión especialmente significativa hacia el sur. En 1951, la ciudad ocupaba aproximadamente 4,76 km², concentrada a ambos lados del ferrocarril, sin alcanzar las rutas nacionales 5 y 33, contando con un único parque que incluía una laguna destinada a la contención de agua.

Para 2024, la superficie urbana aumentó a un total de 27,3 km², lo que representa una expansión de 22,5 km² en un período de 73 años. Este crecimiento se ha focalizado principalmente en el sur, extendiéndose más allá de las rutas mencionadas. La expansión urbana ha implicado la ocupación de áreas previamente dominadas por dunas parabólicas, abarcando tanto las crestas de las dunas como las zonas interdunares más bajas. Como resultado, ha sido necesario desarrollar infraestructuras específicas para soportar estos nuevos asentamientos.

Entre las obras ejecutadas para adaptarse a este crecimiento destacan la construcción de canales, cordones cuneta, bocas de tormenta y lagunas artificiales, diseñadas para gestionar el agua pluvial y mitigar el riesgo de inundaciones. Estas infraestructuras no solo responden a la demanda creada por el aumento demográfico y la expansión territorial, sino que también buscan garantizar condiciones de vida seguras y sostenibles para los habitantes de la ciudad.

5.1.3.Riesgo de inundaciones

A partir del análisis de datos climáticos de precipitaciones revela una tendencia al aumento de lluvias, caracterizadas por ciclos alternados de lluvias y sequías. Se observa que los años con mayor cantidad de precipitaciones coinciden con la ocurrencia del fenómeno de El Niño, siendo el periodo 1986-1987 el más afectado, con lluvias que superaron el valor promedio durante dos años consecutivos. La particularidad de este periodo de máxima inundación

radica en que, al tratarse de dos años consecutivos con precipitaciones por encima de la media, el nivel freático no tuvo oportunidad de profundizarse, manteniéndose cercano a la superficie y provocando inundaciones significativas. En contraste, en otros años donde las lluvias superaron el promedio, estos eventos fueron aislados, lo que permitió una recuperación del manto freático, reduciendo la magnitud de la inundación.

Desde una perspectiva de la susceptibilidad basada en geomorfológica y la observación de imágenes satelitales, particularmente la correspondiente a 1987, que muestra la máxima extensión de área inundada en la serie histórica. Se ha elaborado un mapa que identifica zonas con diferentes niveles de riesgo de inundación en la zona urbana y sus alrededores. Este mapeo permitió identificar las áreas susceptibles de verse afectadas por inundaciones de igual o mayor magnitud que la ocurrida en 1987, pese a las obras de infraestructura realizadas. También se han propuesto áreas de expansión urbana priorizando aquellas zonas con baja probabilidad de inundación. Esas áreas coinciden con los objetivos del Plan Director (2011), que busca promover el desarrollo de vacantes urbanas para integrar sectores urbanos sin sobrepasar las rutas nacionales 5 y 33. Las zonas propuestas ocupan aproximadamente 7266 km².

La información generada en este estudio es valiosa para el desarrollo de estrategias de mitigación y la toma de decisiones en el ordenamiento territorial, planificación urbana y gestión de los espacios urbanos. El mapeo de zonas anegadas proporciona datos esenciales sobre las áreas del paisaje más vulnerables a las anomalías hídricas.

5.2.Recomendaciones

Por un lado, como resultado de este trabajo final de licenciatura se identificaron zonas para una posible expansión de la urbanización en zonas donde el riesgo hídrico de inundación es mínimo. Por otro lado, se sugiere utilizar las zonas anegables como centros recreativos, deportivos o reservas naturales. Estas áreas resultan del mapa de susceptibilidad y riesgo elaborado.

Como medidas preventivas ante la construcción de nuevos barrios residenciales, se sugiere en primer lugar, prever con anterioridad obras de drenaje como desagües pluviales. En segundo lugar, continuar con el diseño peculiar de la ciudad, manteniendo la traza de ramblas arboladas que actúan como un mecanismo de compensación a la impermeabilización de las calles asfaltadas. Como tercera medida, se recomienda la planificación de parques con lagunas artificiales o sistemas de lagunas, que actúen como lugares de retención, que permitan que el agua escurra lentamente. En cuarto lugar, se aconseja la regulación del desarrollo urbanístico con el fin de controlar el avance de la construcción y edificación en zonas anegadizas. Otras medidas de índole menor son mantener limpias las rejillas y accesos de agua. Promover las construcciones con techos colectores de precipitaciones, así como establecer redes de monitoreo de lluvias y un plan de evacuación para las zonas con riesgo potencial de anegamiento, especialmente durante los años de El Niño.

Finalmente se recomienda monitorear del nivel freático, acompañado de datos meteorológicos, medición de nivel hidrométrico del Complejo lagunar Hinojo- Las Tunas, así como de otras lagunas cercanas a la ciudad de Trenque Lauquen. Además, se sugiere la utilización de observaciones satelitales de las lagunas permanentes en distintos meses del año. Con el fin de comprender el sistema clima-freática, hidrología y poder contar con sistemas de alerta temprano del riesgo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alconada, M., Castillo, J. R. F. y Rivera, J. J. C. (2011) La definición de flujos de agua subterránea en la elección de prácticas de manejo del suelo. **URL:** http://www.redciencia.cu/geobiblio/paper/2011_Alconada_GEO12-O11.pdf
- Alsina, S., Nosetto, M. D. y Jobbágy, E. G. (2020). Base de datos "NAPA": Primera síntesis de la dinámica freática pampeana desde 1950 al presente. Ciencia del suelo, 38(2); 262-273. **URL:** http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1850-20672020000200262
- Alva M.V. y Gurman L. (2012). Identidad cultural y calidad de vida en Trenque Lauquen, una mirada desde la inteligencia territorial. 11th Annual International Conference of Territorial intelligence of INTI, "Territorial intelligence and globalization tensions, transition and transformation", Argentina, (pp. 1-8). **URL:** <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00941178/document>
- Ameghino, F. (1884). Las secas y las inundaciones en la provincia de Buenos Aires. Boletín del Instituto Geográfico Argentino, 5, 113. **URL:** <http://naturalis.fcnym.unlp.edu.ar/repositorio/documentos/sipcyt/bfa000991.pdf>
- Angheben, E., Carner, J. L., Romanazzi, P. G., Calvetty Ramos, M. G., Bonardo, L., y Spadari, G. (2016). Estudio hidrológico-hidráulico para la localidad de 30 de Agosto, Partido de Trenque Lauquen (Provincia de Buenos Aires), (pp. 1-64).
- Argentina. (s.f.). Cuenca del Río Quinto y arroyos menores de San Luis (Cuenca N° 95). Informe Técnico (pp. 1-4). **URL:** https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/95_nueva.pdf.
- Auge, M. (2004). Regiones Hidrogeológicas: República Argentina y provincias de Buenos Aires, Mendoza y Santa Fe, (pp. 1-112). **URL:** <http://delriolujan.com.ar/Reg-Hidrogeo.pdf>

Auge, M. P., Escobar, R. M. y Nagy, M. I. (1988). Hidrogeología del partido de Salliqueló, provincia de Buenos Aires, República Argentina. *Aguas Subterráneas*, 12(1). **URL:**

<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/11285/78>
66

Bocanegra, E. M., Moschione, E., Zamora, A., Picco, P. y Leiva, S. (2012). Herramientas hidrogeoquímicas aplicadas a la evaluación del acuífero de Trenque Lauquen, provincia de Buenos Aires, Argentina. In 11° Congreso Latinoamericano de Hidrogeología y 4° Congreso Colombiano de Hidrogeología. **URL:**

<https://host170.sedici.unlp.edu.ar/server/api/core/bitstreams/16095eb4-b99d-4f29-9881-407d38d373db/content>

Borzi, G., Cellone, F., Tanjal, C., Melendi, E., y Carol, E. (2020). Methodological proposal for the study of floods in plains areas with a lack of information. *Dyna*, 87(215), 221-228. **URL:**

<https://www.redalyc.org/journal/496/49668129026/html/>

Clemente, L., Siljeström, P. y García, L. V. (1988). Influencia del nivel freático en la evolución de los suelos arenosos.

Contreras, F. I., Mavo Manstretta, G. M., Perillo, G. M. y Cintia Piccolo, M. (2018). Caracterización de médanos parabólicos de la región pampeana oriental, centro oeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina). *Latin American journal of sedimentology and basin analysis*, 25(1), 3-17. **URL:**

<http://www.scielo.org.ar/pdf/lajsba/v25n1/v25n1a02.pdf>

Cruzate, G. A., Morras, H. J. M., Pizarro, M. J. y Gómez, L. A. (2023). Argentina físico-natural: Suelos. ANIDA. Atlas Nacional Interactivo de Argentina. Instituto Geográfico Nacional. **URL:** https://static.ign.gob.ar/anida/fasciculos/fasc_suelos.pdf

Dangavs, N. (2005). Los ambientes acuáticos de la provincia de Buenos Aires. En: De Barrio, R. E., Etcheverry, R. O., Caballé, M. F. y Llambías, E. (editores): *Geología y Recursos Minerales de la Provincia de Buenos*

Aires. Relatorio XVI Congreso Geológico Argentino, La Plata. (pp. 219-236).

De Recursos Hídricos, Subsecretaría. (2010). Atlas de Cuencas y Regiones Hídricas Superficiales de la República Argentina. **URL:** https://www.ada.gba.gov.ar/web_doc/gis/Atlas%20Cuencas%20-%20Etapa%20I.pdf

De Salvo, O. E., Ceci, J. H. y Dillon, A. (1969). Caracteres geológicos de los depósitos eólicos del Pleistoceno superior de Junín (Provincia de Buenos Aires). Actas de las Cuartas Jornadas Geológicas Argentinas I, 269-292.

Del Blanco, M., Marchionni, D., Romero, S., y Cávana, C. (2005). Depósitos evaporíticos de la provincia de Buenos Aires. En: De Barrio, R. E., Etcheverry, R. O., Caballé, M. F. y Llambías, E. (editores): Geología y Recursos Minerales de la Provincia de Buenos Aires. Relatorio XVI Congreso Geológico Argentino, La Plata. (pp. 417-434).

Dillon, A. A., Hurtado, M. A. y Gimenez, J. E. (1987). Influencia de la geomorfología y estratigrafía en los anegamientos de la «Pampa Arenosa», Provincia de Buenos Aires, República Argentina. En Congreso geológico argentino. 10 (pp. 301-304).

Dillon, A., Castronovo, R., Centro de Estudios Ambientales. UNICEN. Inundaciones en zonas de llanura pampeana de la provincia de buenos aires, República Argentina. **URL:** <http://observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal4/Procesosambientales/Hidrologia/04.pdf>

Dornes, P. F., Schulz, C. J., y Balestri, L. A. (2011). Planificación y gestión de las aguas subterráneas para consumo humano en el este de la Pampa, República Argentina. *Aqua-LAC*, 3(1), 55-59.

Duarte, J. y Baer, L. (2013). Recuperación de plusvalías a través de la contribución por mejoras en Trenque Lauquen, Provincia de Buenos Aires–Argentina. Documento de Trabajo del Lincoln Institute of Land Policy, Cambridge, Massachusetts. **URL:**

https://www.lincolninst.edu/sites/default/files/pubfiles/duarte-wp14id1sp-full_0.pdf

Falasca, S., Zabala, S. M., Bernabé, M. A., Ulberich, A. y López, R. (1995). Estudios de las Causas Naturales Determinantes de las Inundaciones en el Centro Oeste de la Provincia de Buenos Aires, República Argentina. *Revista Geográfica*, 122, 83–103. **URL:** <http://www.jstor.org/stable/40993146>

Fernández Bussy, J. (2010). El riesgo de desastres en la planificación del territorio. Programa Naciones Unidas para el Desarrollo. 392 p. **URL:** <https://www.undp.org/es/argentina/publicaciones/el-riesgo-de-desastres-en-la-planificacion-del-territorio>

Fernández Long, M. E., Spescha, L., Hurtado, R., y Murphy, G. M. (2011). Impacto del ENOS sobre los rendimientos de maíz en la región pampeana argentina. *Agriscientia*, 28(1), 31-38. **URL:** http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1668-298X2011000100004&lng=es&tlng=es.

Fertonani, M. y Prendes, H. (1983). “Hidrología en áreas de llanura. Aspectos teóricos y metodológicos”. Actas del Coloquio de Olavarría de Hidrología de las grandes conceptuales llanuras. Vol. I, pp. 118-156. Buenos Aires, Argentina.

Fidalgo, F. (1999). Cuaternario de la provincia de Buenos Aires. Anales del Instituto de Geología y Recursos Minerales. **URL:** <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/142117>

Giraut, M. A. (2006). Dinámica geomorfológica del humedal fluvial del Río Paraná en la Provincia del Chaco. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Naturales y Museo – UNLP. **URL:** <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/4515>

Giraut, M. A. (2023), Argentina físico-natural: Aguas superficiales. ANIDA. Atlas Nacional Interactivo de Argentina. Instituto Geográfico Nacional. **URL:** https://static.ign.gob.ar/anida/fasciculos/fasc_aguas_sup_sub.pdf

Gobierno de la Provincia de Buenos Aires, Desarrollo Agrario- Dirección de Sustentabilidad y Medio Ambiente. Mapa de Riesgo Hídrico.
URL:https://www.gba.gob.ar/desarrollo_agrario/direccion_de_sustentabilidad_y_medio_ambiente/mapa_de_riesgo_hidrico

Gobierno de San Luis. Río Quinto. **URL:**
<https://geo.ulp.edu.ar/Articulo/391/Recursos-H%C3%ADricos>

González, N. (2005). Los ambientes hidrogeológicos de la Provincia de Buenos Aires. En: De Barrio, R. E., Etcheverry, R. O., Caballé, M. F. y Llambías, E. (editores): Geología y Recursos Minerales de la Provincia de Buenos Aires. Relatorio XVI Congreso Geológico Argentino, La Plata. (pp. 359-474).

Gregori, D., Robles, D. E., Kostadinoff, J., Alvarez, G., Raniolo, A., Barros, M. y Strazzere, L. (2009). Las cuencas del extremo noroeste de la Provincia de Buenos Aires. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 64(4), 586-593. **URL:**
<http://www.scielo.org.ar/img/revistas/raga/v64n4/html/v64n4a03.htm#fig2>

Hernández, M. (2005). Panorama ambiental de los recursos hídricos subterráneos en la provincia de Buenos Aires. En: De Barrio, R. E., Etcheverry, R. O., Caballé, M. F. y Llambías, E. (editores): Geología y Recursos Minerales de la Provincia de Buenos Aires. Relatorio XVI Congreso Geológico Argentino, La Plata. (pp. 347-358).

Houspanossian, J., Giménez, R., Whitworth-Hulse, J. I., Nosetto, M. D., Tych, W., Atkinson, P. M., Rufino, M.C., Jobbágy, E. G. (2023). Agricultural expansion raises groundwater and increases flooding in the South American plains. Science, 380(6652), 1344-1348.

Hurtado, M. A., Moscatelli, G. N., Godagnone, R. E., De Barrio, R., Etcheverry, R. O., Caballé, M. F., y Llambías, E. (2005). Los suelos de la provincia de Buenos Aires. Geología y Recursos Minerales de la provincia de Buenos Aires, Relatorio del XVI Congreso Geológico Argentino (pp. 201-218).

INDEC (2023), Instituto Nacional de Estadística y Censo. Datos censales del periodo 1991-2022 [Versión digital]. Ministerio de Economía. **URL:** <https://www.indec.gob.ar/indec/web/Nivel4-Tema-2-41-165>.

INTA (2024). Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Cartografía de Suelo (INTA). INTA Digital Geo. **URL:** <https://geo.inta.gob.ar/es#3/-41.3/-64.58>

INA (2024). Instituto Nacional del Agua. Observatorio del Agua. Informes climáticos e hidrológicos. **URL:** <https://www.ina.gov.ar/observatorio/index.php>.

Iriondo, M. y Kröhling, D. M. (1996). Los sedimentos eólicos del noreste de la llanura pampeana (Cuaternario superior). In XIII Congreso Geológico Argentino (Vol. 4, pp. 27-48). **URL:** https://www.researchgate.net/publication/285326744_Los_sedimentos_eolicos_del_noreste_de_la_llanura_pampeana_Cuaternario_superior

Kostadinoff, J. (2007). Evidencia geofísica del umbral de Trenque Lauquen en la extensión norte de la cuenca de Claromecó, provincia de Buenos Aires. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 62(1), 69-75. **URL:** <http://www.scielo.org.ar/img/revistas/raga/v62n1/html/v62n1a08.htm>

Kruse, E. E. y Ainchil, J. E. (2017). Comportamiento hidrológico en grandes llanuras: caso de estudio Noroeste de la Provincia de Buenos Aires, Argentina. **URL:** <https://revistas.unlp.edu.ar/domus/article/view/2482>

Kruse, E., y Laurencena, P. (2005). Aguas superficiales. Relación con el régimen subterráneo y fenómenos de anegamiento. En: De Barrio, R. E., Etcheverry, R. O., Caballé, M. F. y Llambías, E. (editores): Geología y Recursos Minerales de la Provincia de Buenos Aires. Relatorio XVI Congreso Geológico Argentino, La Plata. (pp. 313-326).

Malagnino, E. C. (1988). Evolución del sistema fluvial de la provincia de Buenos Aires desde el Pleistoceno hasta la actualidad. II Jornadas Geológicas Bonaerenses, (201-212).

Malagnino, E. C. (1989). Paleoformas de origen eólico y sus relaciones con los modelos de inundación de la provincia de Buenos Aires. En IV Simposio de Percepción Remota, IX Reunión Plenaria SELPER. Bariloche, Argentina (Vol. 2, p. 611).

Ministerio de Desarrollo Agrario. (2020). Cálculo del Riesgo Hídrico por Anegamiento. Gobierno de la Provincia de Buenos Aires. **URL:** https://www.gba.gob.ar/desarrollo_agrario/direccion_de_sustentabilidad_y_medio_ambiente/mapa_de_riesgo_hidrico

Ministerio de económica Argentina, Secretaria de Agricultura, Ganadería y Pesca. Oficina de Riesgo Agropecuario. **URL:** http://www.ora.gob.ar/enso_precipitacion.php

Modelo Digital de Elevación, Centro de Instalación Satelital de Alaska (ASF). Misión ALOS. Agencia de Exploración Aeroespacial de Japón. **URL:** <https://doi.org/10.5067/JBYK3J6HFSVF>

Moscattelli, G. (1990). Atlas de suelos de la República Argentina (Vol. I, 731 p.; Vol. II, 677 p.). Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca; Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. [Informe técnico, inédito]. Buenos Aires, Argentina.

Mugni, J. R. (1998). Comportamientos geohidrológicos de lentes de agua dulce en el noroeste de la Provincia de Buenos Aires. Tesis doctoral, Universidad Nacional de La Plata, (pp. 1-137). **URL:** <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/4543>

Municipalidad de Trenque Lauquen, y CIUT-FAU. (2011). Plan Director. Universidad Nacional de La Plata. **URL:** <https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/plan-nacional-ciudad-de-trenquelauquen.pdf>

Neschuk, N. C., Guerrero Borges, V., Agabios, E., Cristina, I., Raggio, M., Giner, P., y Alarcón, M. (2016). Atlas de cuencas y regiones hídricas-ambientales de la provincia de Buenos Aires. En V Congreso Internacional sobre Cambio Climático y Desarrollo Sustentable, La Plata.

- Paladino, I. R., Irigoín, J., Moretti, L. M. y Civeira, G. (2017). Relaciones geopedológicas y análisis multivariado de los atributos edáficos asociados a las dunas longitudinales del noroeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 74(3):373-383.
- Pereyra, F. X. y Tobío, M. I. (2018). Geomorfología de la Provincia de Buenos Aires. **URL:** <http://repositorio.segemar.gov.ar/308849217/2776>
- Pérez, S. P., Sierra, E. M. y Montané, L. M. (2003). Efectos del ENOS sobre el régimen de lluvias en el centro oeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina). *Revista de la Facultad de Agronomía*, 23(2-3), 181-187. **URL:** <https://core.ac.uk/download/pdf/144234231.pdf>
- Plan Hidráulico. Dirección Provincial de Saneamiento y Obras Hidráulicas de la provincia de Buenos Aires. **URL:** <http://www.mosp.gba.gov.ar/sitios/hidraulica/informacion/Plan%20Hidraulico%202009.pdf>
- Ramos, V. A. (1984). Patagonia: un continente paleozoico a la deriva?. En el 9° Congreso Geológico Argentino, SC Bariloche, Buenos Aires, (pp. 311-325).
- Reporte final sobre las bases para una estrategia nacional de adaptación y mitigación de los efectos de la sequía en la República Argentina (2020). **URL:** https://www.unccd.int/sites/default/files/country_profile_documents/Informe%20Sequia%202021_Argentina.pdf
- Ringuelet, R. A. (1962). Rasgos principales de las lagunas pampeanas con criterio bioecológico. *Anales CIC*, 3.
- Sala, J. M. y Benítez, A. F. (1993). Contribución al mapa geohidrológico de la provincia de Buenos Aires: Zona Noroeste. **URL:** http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/65651/Zona_Noroe ste.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Sallies, A.R. (1999). Clima e Inundaciones en la Pampa Deprimida. Floodplain Management Association – 17th Semiannual Conference, Sept-Oct 1999. Sacramento, California, U.S.A.
- Santa Cruz J. N. (2023), Argentina físico-natural: Aguas subterráneas. ANIDA. Atlas Nacional Interactivo de Argentina. Instituto Geográfico Nacional. **URL:** https://static.ign.gob.ar/anida/fasciculos/fasc_aguas_sup_sub.pdf
- Scarpati, O. E. y Capriolo, A. D. (2013). Sequias e inundaciones en la provincia de Buenos Aires (Argentina) y su distribución espacio-temporal. Investigaciones Geográficas, (82),38. **URL:** <https://www.elsevier.es/es-revista-investigaciones-geograficas-boletin-del-instituto-118-articulo-sequias-e-inundaciones-provincia-buenos-S0188461113727857>
- Scioli, C. C. y Villanueva, A. (2011). Modelación Hidrológica de Grilla en zonas de Llanura: Movimiento Multidireccional del Agua. Aqua-Lac, 3(1), 1-8.
- Secretaria de recursos hídricos, La Pampa (2024). Cuenca del Río V. **URL:**<https://recursoshidricos.lapampa.gob.ar/cuencas-de-rios.html#:~:text=Cuenca%20del%20R%C3%ADo%20Quinto&text=Al%20Este%20de%20la%20localidad,que%20separa%20a%20ambas%20provincias>.
- Servicio Meteorológico Nacional (2020). El Niño - Oscilación del Sur (ENOS). **URL:** https://www.smn.gob.ar/enos_que_es
- Sierra, E. M. y Pérez, S. P. (2006). Tendencias del régimen de precipitación y el manejo sustentable de los agroecosistemas: estudio de un caso en el noroeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina. Revista de Climatología, Vol 6. **URL:** <https://climatol.eu/reclim/reclim06a.pdf>
- Taboada, M. A., Damiano, F., y Lavado, R. S. (2009). Inundaciones en la región pampeana. Consecuencias sobre los suelos. Alteraciones de la fertilidad de los suelos: el halomorfismo, la acidez, el hidro-morfismo y las inundaciones, 103-127. **URL:**https://www.researchgate.net/profile/Francisco-Damiano/publication/285197770_Inundaciones_en_la_Region_Pampean

[a Consecuencias sobre los suelos/links/5ecc2c88299bf1c09adf52b5/Inundaciones-en-la-Region-Pampeana-Consecuencias-sobre-los-suelos.pdf](https://www.unlpam.edu.ar/Consecuencias-sobre-los-suelos/links/5ecc2c88299bf1c09adf52b5/Inundaciones-en-la-Region-Pampeana-Consecuencias-sobre-los-suelos.pdf)

Teórica de Riesgo Geológico, Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Naturales y Exactas de la Universidad de Buenos Aires. (2020)

Tripaldi, A. y Zárate, M. A. (2016). A review of Late Quaternary inland dune systems of South America east of the Andes. *Quaternary International*, 410, 96-110.

URL:[https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/37136442/Tripaldi_Zarate_2014_QInt_Review_inland_dunes_South_America_east_of_the_Andes-libre.pdf?1427493254=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DA_review_of_Late_Quaternary_inland_dune.pdf&Expires=1679924973&Signature=TNfEtxFKf84pgN9R2sNIuv8-aOZ67A2h~jl1d1DHv1DZFMAvPWotPKYUtS5VTqxxR3dC0RIjfm89CShyKClvmUR1I2DDzuKpceMHjI5Zil-4udGCIVW0eDiGslCoWIJaTpgmVFAIBEgl5esyqliqZ1Tk7-eWSvAE2o76gUs0IPzD6~Oj5IIWxTxYa1lpyiK~Q~QwvlizR97551o37uUgQPVRMp~4qHhbCNGIjnIG-xWECKDwhqk1P7q~TaV8I1K185U6k0sHX4ULzn5ym5pZEAZre5eEJdvIIyPO0KqN2xrncM-INrK00wseRczskzgLQ1iUOuEraX~79iy~G2CINA &Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/37136442/Tripaldi_Zarate_2014_QInt_Review_inland_dunes_South_America_east_of_the_Andes-libre.pdf?1427493254=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DA_review_of_Late_Quaternary_inland_dune.pdf&Expires=1679924973&Signature=TNfEtxFKf84pgN9R2sNIuv8-aOZ67A2h~jl1d1DHv1DZFMAvPWotPKYUtS5VTqxxR3dC0RIjfm89CShyKClvmUR1I2DDzuKpceMHjI5Zil-4udGCIVW0eDiGslCoWIJaTpgmVFAIBEgl5esyqliqZ1Tk7-eWSvAE2o76gUs0IPzD6~Oj5IIWxTxYa1lpyiK~Q~QwvlizR97551o37uUgQPVRMp~4qHhbCNGIjnIG-xWECKDwhqk1P7q~TaV8I1K185U6k0sHX4ULzn5ym5pZEAZre5eEJdvIIyPO0KqN2xrncM-INrK00wseRczskzgLQ1iUOuEraX~79iy~G2CINA&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA)

Vercelli, N., Cazenave, G., Holzman, M., Pelizardi, F., Ares, M. G., González Catelain, J., Dubny, S., Dietrich, S. y Zabala, M. E. (2019). Libro digital de divulgación científica “El agua en la llanura”. **URL:** <http://cursosihlla.bdh.org.ar/Libro%20El%20Agua%20en%20la%20Llanura/LIBRO%20digital.pdf>

Villaló, M. (2019). Relación entre ciclos de precipitación e inundaciones en la región nordeste de la provincia de La Pampa y oeste de Buenos Aires. **URL:** <https://repo.unlpam.edu.ar/handle/unlpam/1645>

Zárate, M. A. (2005). El Cenozoico tardío continental de la provincia de Buenos Aires. En: De Barrio, R. E., Etcheverry, R. O., Caballé, M. F. y Llambías, E. (editores): Geología y Recursos Minerales de la Provincia de Buenos Aires. Relatorio XVI Congreso Geológico Argentino, La Plata. (pp. 139-158).

Zárate, M., y Rabassa, J. (2005). Geomorfología de la provincia de Buenos Aires. En: De Barrio, R. E., Etcheverry, R. O., Caballé, M. F. y Llambías, E. (editores): Geología y Recursos Minerales de la Provincia de Buenos Aires. Relatorio XVI Congreso Geológico Argentino, La Plata. (pp. 119-138).

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido posible gracias al apoyo y la colaboración de diversas personas e instituciones, a quienes quiero expresar mi más profundo agradecimiento.

En primer lugar, agradezco a la Municipalidad de Trenque Lauquen, a Defensa Civil, al INTA y a la Biblioteca Municipal por proporcionarme material e información necesaria para llevar a cabo esta investigación.

Extiendo un agradecimiento especial a mi director de tesis, el Dr. Pablo Tchilinguirian, y a mi codirector, el Dr. Agustín Quesada, por sus valiosas correcciones, su paciencia y su constante apoyo durante todo el proceso de investigación.

A mi familia, en especial a mis padres Adriana y Raúl, les doy las gracias por su apoyo incondicional, siempre presentes en cada paso del camino.

También quiero agradecer a Iñaki Zubillaga y a mis amigos, quienes siempre estuvieron dispuestos a escucharme y brindarme palabras de ánimo cuando más las necesitaba.

Finalmente, quiero agradecer a mi compañera de estudio, Agustina Alonso, con quien compartí la carrera, viajes de campo. Le agradezco profundamente por su colaboración y por compartir ideas. Su aliento en los momentos más desafiantes, así como su compañerismo y amistad, fueron un sostén invaluable.

A todos, simplemente, gracias.

ANEXOS

Anexo I: Análisis de las dunas longitudinales y parabólicas.

Dunas Longitudinales				
X (ancho) en Km			Promedios de X Km	Y (largo) en Km
3,588	3,73		3,659	14,418
2,267	2,083	3,991	2,780	29,905
2,349	3,891	2,348	2,863	39,968
3,494	3,171	3,667	3,444	39,237
3,036	2,63	2,45	2,705	32,959
11,407	2,431		6,919	31,694
2,346	1,689	1,458	1,831	20,238
1,578	1,829		1,704	20,895
3,378			3,378	21,475
				26,101
				26,405
				24,582
2,728			2,728	18,494
4,421	1,487	2,667	2,858	24,208
1,807	1,933		1,870	16,667
2,585	2,582	2,879	2,682	15,950

Tabla 1. Medidas de dunas longitudinales.

Dunas Parabólicas			
X (ancho) en Km	Y (longitud) en Km	X (ancho) en Km	Y (longitud) en Km
2,423	3,723	2,277	7,619
1,917	7,810	3,098	6,109
1,679	3,222	2,698	5,246
1,488	3,929	2,062	3,126
2,158	5,991	2,913	6,249
3,260	4,877	3,393	6,503
2,114	4,795	2,207	4,991
2,409	4,894	6,136	6,473
2,649	4,384	3,724	4,572
3,683	8,984	3,062	4,253
4,017	6,721	2,850	3,335
2,737	6,084	3,239	5,584
7,125	8,221	1,785	3,362
7,475	6,078	3,909	7,237
3,162	6,874	3,846	6,141
1,491	2,435	3,245	2,670
2,373	4,684	2,274	3,436
4,652	13,804	3,615	4,497
2,481	5,344	3,011	3,970
2,762	6,828	3,027	2,152
3,406	7,787	4,459	3,335
3,732	6,945	5,290	5,440
2,855	3,464	2,796	5,980
3,372	4,891	2,214	1,122
3,758	2,275	3,271	2,119

Tabla 2. Medidas de dunas parabólicas

Anexo II: Datos procesados de lluvias.

Años	Total de lluvias (mm)	Observación	Años	Total de lluvias (mm)	Observación
1956	983,1		1990	891,8	Sin datos de mayo, parte de septiembre y diciembre
1957	545,1	Sin datos desde julio a diciembre	1991	889,3	Sin datos en parte de julio,y septiembre y faltan todos los datos de octubre
1958	71,3	Solo datos de diciembre	1992	949,5	Sin datos de abril
1959	781,7		1993	907,9	Sin datos en febrero y parte de agosto
1960	692,6		1994	517,2	Sin datos en marzo
1961	705,6		1995	772	Sin datos de enero,julio y parte de agosto
1962	515,9		1996	899,4	Sin datos en febrero,parte de marzo y agosto
1963	995,7		1997	1188,5	Sin datos de marzo,parte de abril y agosto
1964	903,6		1998	759,5	Sin datos de enero,gran parte de agosto
1965	649,8		1999	970,3	Sin datos de febrero,y parte de agosto
1966	938,8		2000	886,1	Sin datos de marzo
1967	819,2		2001	1259,6	Sin datos de febrero
1968	803,5		2002	1116	Sin datos de febrero
1969	880		2003	881	Sin datos de marzo
1970	767,1		2004	1029	Sin datos de enero
1971	764,8		2005	522,1	Sin datos de febrero, y parte marzo y noviembre
1972	952,9		2006	862	Sin datos en marzo, y parte de julio
1973	737,2	Sin datos en marzo,mayo,junio,junio,agosto,noviembre y diciembre	2007	812	Sin datos de enero,
1974	0	Sin datos	2008	807	Sin datos de febrero
1975	40,7	Solo datos de diciembre	2009	729	Sin datos parte de agosto
1976	1103,2		2010	588	Sin datos en parte de enero y diciembre
1977	997,2	Sin datos de abril	2011	1054,9	
1978	797,6		2012	1657	
1979	663,7		2013	622,2	
1980	507,1	Sin datos de enero,febrero y diciembre	2014	987,8	
1981	850,4		2015	782,3	
1982	669,1		2016	951,6	
1983	752		2017	835,7	Sin datos en parte de febrero
1984	963,6		2018	899,3	
1985	945,4	Sin datos de febrero	2019	674	Sin datos parte de marzo
1986	936,7	Sin datos de marzo,abril,julio	2020	755,5	Sin datos en febrero
1987	1339	Sin datos de abril	2021	1037,3	
1988	479,6		2022	480,6	Datos de febrero y datos hasta el mes de julio.
1989	759,2				

Tabla 3. Datos promediados de precipitación de la estación meteorológica de Trenque Lauquen. La tabla incluye valores de diferentes años, abarcando el período desde 1956 hasta 2022. Los años en los que la precipitación anual supera el promedio de 840 mm para Trenque Lauquen se destacan en color rosado.

Anexo III: Imágenes complementarias de titulares y fotografías periodísticas que ilustran el descontento social y las problemáticas vividas durante períodos de intensas lluvias o sequías.



Figura 1. Fotografía publicada en el diario local La Opinión el 28 de mayo de 2000, que evidencia la tensión social provocada por el cierre de compuertas, lo que impidió la circulación del agua y provocó su acumulación.



Figura 3. Titulado "...Como en el 87", un artículo del diario local La Opinión del 26 de junio de 1999, describe el descontento causado por el avance del agua. La laguna de Cuero de Zorro alcanzaba el mismo nivel que las inundaciones de 1987. El artículo también detalla la situación de los caminos, algunos de los cuales estaban cortados, mientras que otros estaban bajo amenaza.



Figura 4. Artículo publicado en el diario La Opinión el 27 de octubre de 2001, analiza el impacto de la inundación sobre el comercio. En el artículo, también se solicita la exención de impuestos para los sectores comerciales de los distritos afectados por las inundaciones.



Figura 5. Un artículo del diario La Opinión del 25 de mayo de 2000, informa que el 60% del distrito enfrenta problemas hídricos debido a inundaciones y otros impactos relacionados. Los productores se vieron obligados a construir sus propios caminos a través de terrenos altos y mediante acuerdos con vecinos para acceder a sus propiedades, hasta que las maquinarias pudieran llegar para mejorar los caminos. Además, se menciona que los caminos son las primeras en sufrir las consecuencias de las condiciones climáticas, dejando a algunas delegaciones al borde del aislamiento.