FACULTAD DE LA ARMADA

ESCUELA DE CIENCIAS DEL MAR

Tesina de Licenciatura en Cartografía

"EVOLUCIÓN MORFOMÉTRICA Y VOLUMÉTRICA DEL EMBALSE DE RIO TERCERO – PROVINCIA DE CÓRDOBA – ARGENTINA"

Análisis batimétrico, cartográfico y sedimentológico entre 1934 y 2026

Alumno: Marcos C. CAPRISTO

Director: Lic. Nancy CORREA

Co-Director: Dra. Constanza CARIDE

Año 2026

Agradecimientos

Agradezco a quienes facilitaron el material documental, cartográfico y técnico que permitió ejecutar esta investigación. El aporte de las obras científicas de referencia, de los modelos batimétricos históricos y de la planilla de sondajes y cotas hizo posible consolidar una base sólida de análisis.

También agradezco el acompañamiento académico recibido durante el proceso de elaboración y revisión. Cada observación, corrección y sugerencia contribuyó a ordenar el enfoque del trabajo, fortalecer su consistencia metodológica y mejorar la presentación final.

Finalmente, agradezco el apoyo de las personas que me acompañaron en esta etapa de mi formación profesional. La tesis no constituye solamente un ejercicio académico, sino también una síntesis de trabajo, perseverancia y aprendizaje cartográfico aplicado.

Resumen

La presente tesis desarrolla un estudio cartográfico y batimétrico de largo plazo sobre el Embalse de Río Tercero, con el objetivo de reconstruir su evolución morfométrica, estimar su pérdida de capacidad y proponer una representación cartográfica de la situación actual mediante interpolación espacial. El trabajo se apoya en la topografía previa al llenado, en el relevamiento diferencial de Drago y Depetris (1974), en la batimetría de 2006 publicada por Boltovskoy et al. (2009), y en la compilación de modelos generados con CARIS GIS en el Servicio de Hidrografía Naval.

La investigación integra información histórica, material de sondeos, modelos de profundidad, tablas de cotas mensuales y anuales, e imágenes satelitales georreferenciadas. El tratamiento de la información se realizó con QGIS, ArcGIS y Excel, mediante procedimientos de digitalización, homogenización de referencias, comparación multitemporal, estadística descriptiva, interpolación y extrapolación conservadora. De esta manera, se produce una secuencia cartográfica que permite observar el cambio progresivo del embalse entre 1934 y 2026.

Los resultados evidencian que la sedimentación ha modificado de manera sostenida la geometría interna del reservorio. Las áreas con mayor acumulación de materiales corresponden a los sectores de desembocadura de los tributarios y a las zonas de menor energía hidráulica; allí, donde la pérdida de capacidad para mantener los sedimentos en suspensión se expresa mediante una reducción progresiva de las profundidades. La estimación para el 2026 se presenta como un modelo inferido a partir de la tendencia observada, útil como cierre técnico del trabajo y como base para futuras verificaciones de campo.

La tesis concluye que la cartografía batimétrica multitemporal constituye una herramienta decisiva para interpretar la evolución de embalses artificiales y para aportar insumos a la gestión territorial, ambiental e hidrográfica del sistema.

Palabras clave: batimetría; sedimentación; cartografía; SIG; Embalse Río Tercero; interpolación espacial.

Abstract

This thesis develops a long-term cartographic and bathymetric study of the Río Tercero Reservoir, with the objective of reconstructing its morphometric evolution, estimating its loss of storage capacity, and proposing a cartographic representation of its current condition through spatial interpolation. The research is based on the pre-impoundment topography, the differential survey conducted by Drago and Depetris (1974), the 2006 bathymetric survey published by Boltovskoy et al. (2009), and a compilation of bathymetric models generated using CARIS GIS at the Naval Hydrographic Service.

The study integrates historical information, sounding records, depth models, monthly and annual water-level tables, and georeferenced satellite imagery. Data processing was carried out using QGIS, ArcGIS, and Excel through digitization procedures, reference standardization, multitemporal comparison, descriptive statistical analysis, conservative interpolation and extrapolation. As a result, a cartographic sequence was produced, allowing the progressive transformation of the reservoir between 1934 and 2026 to be visualized.

The results indicate that sedimentation has continuously affected the reservoir's internal geometry. The areas exhibiting the highest accumulation of sediments correspond to tributary inflow sectors and low-hydraulic-energy zones, where the reduction in storage capacity is expressed through decreasing water depths and a progressive simplification of the underwater relief. The estimate for 2026 is presented as an inferred model derived from the observed trend, serving both as a technical synthesis of the study and as a basis for future field verification.

The thesis concludes that multitemporal bathymetric cartography constitutes an essential tool for interpreting the evolution of artificial reservoirs and for providing valuable information to support territorial, environmental, and hydrographic management of the system.

Keywords: bathymetry; sedimentation; cartography; GIS; Río Tercero Reservoir; spatial interpolation.

Indice General

Capítulo I. Antecedentes 8
1.1 Antecedentes 8
1.2 Antecedentes históricos 9
1.3 Planteo del problema 9
1.4 Justificación 10
1.5 Objetivo general 11
1.6 Objetivos específicos 11
1.7 Hipótesis de trabajo 12
1.8 Alcances y limitaciones 12
1.9 Estructura de la tesis 12
Capítulo II. Marco teórico 13
2.1 Embalses artificiales y su vida útil 13
2.2 Sedimentación y colmatación 13
2.3 Erosión hídrica y transporte sólido 14
2.4 Batimetría y morfometría lacustre 14
2.5 Sistemas de Información Geográfica 14
2.6 Interpolación espacial, extrapolacion espacial y modelado raster 15
2.7 Cartografía temática aplicada 15
2.8 Antecedentes científicos del Embalse de Río Tercero 16
Capítulo III. Área de studio 17
3.1 Ubicación geográfica 17
3.2 Geología y geomorfología 18
3.3 Clima e hidrología 19
3.4 Uso actual del embalse 19
3.5 Contexto regional de la Cuenca 19
3.6 Cartografía base y modelos históricos 20
Capítulo IV. Materiales y métodos 29
4.1 Fuentes documentales 29
4.2 Modelos Batimétricos de 1934 y 2006 29
4.4 Procesamiento en CARIS GIS 31
4.5 Georreferenciación y control cartográfico 31

4.6 Elaboración del modelo 2026 32
4.7 Interpolacion y Extrapolación espacial 32
4.8 Estadística descriptiva 34
4.9 Generación de superficies raster y cálculo volumétrico 34
4.10 Síntesis del procedimiento de trabajo 35
Capítulo V. Resultados 36
5.1 Reconstrucción del modelo de 1934 36
5.2 Modelo batimétrico de 2006 37
5.3 Comparación morfométrica multitemporal 37
5.4 Evolución volumétrica 38
5.5 Modelo batimétrico extrapolado al 2026 39
5.6 Síntesis Estadística 40
5.7 Elaboración de Modelo Batimétrico Extrapolado al 2026 45
Capítulo VI. Analisis, Procesos y Resultados 48
6.1 Interpretación sedimentológica 48
6.2 Problemas detectados 48
6.3 Posibles soluciones 49
6.4 Implicancias ambientales y territoriales 49
6.5 Limitaciones metodológicas 50
6.6 Síntesis de Resultados 52
Capítulo VII. Conclusiones 53
7.1 Conclusiones 53
7.2 Recomendaciones finales 53
Bibliografía 55
Anexos 57
Anexo I. Serie anual de cota media del embalse (1948–2007) 58
Anexo II. Serie mensual completa de niveles medios del embalse (1948–2007) 60
Anexo III. Serie comentada de cota media anual 62
Anexo IV. Síntesis de la proyección 2026 64
Anexo VI. Mapa Imagen de la Provincia de Córdoba 66
Anexo VII. Mapa Fisico de la Provincia de Córdoba con red Hidrica 67
Anexo VIII. Cartografía del Valle de Calamuchita con su Red Hidrica 68

Anexo IX. Plano Topográfico del Embalse de Río Tercero año 1934 69

Anexo X. Carta Imagén del Embalse de Río Tercero 70

Anexo XI. Modélo Batimétrico del Embalse de Río Tercero Georreferenciado 1934 71

Anexo XII. Modélo Batimétrico del Embalse de Río Tercero Georreferenciado 2006 72

Anexo XIII. Modélo Batimétrico del Embalse de Río Tercero Georreferenciado, Realizado con Métodos de Extrapolación y Predicción Estimada 2026 73

Capítulo I. Antecedentes

1.1 Antecedentes

Los embalses artificiales son infraestructuras hidráulicas cuyo funcionamiento depende en gran parte de la interacción entre el aporte de agua, la capacidad de almacenamiento, la variabilidad climática y el ingreso de sedimentos. En la práctica, la sedimentación constituye uno de los principales factores de pérdida de eficiencia de estas obras, ya que reduce la capacidad útil, modifica la morfología del vaso y puede alterar los regímenes de operación previstos al momento de la construcción.

En los ambientes serranos, la dinámica del transporte de sólidos adquiere especial relevancia porque las pendientes, la heterogeneidad litológica y la respuesta rápida de las cuencas a las precipitaciones favorecen el arrastre de partículas hacia los cuerpos de agua. En ese sentido, estudiar la evolución de un embalse implica también estudiar la cuenca que lo alimenta, sus usos del suelo, su régimen hídrico y la forma en que el relieve condiciona la movilidad de los materiales.

El Embalse de Río Tercero ocupa un lugar destacado dentro del sistema hidrográfico y productivo de la provincia de Córdoba. Desde su inauguración en 1934 ha sido objeto de varios relevamientos, tanto por su valor energético como por su importancia limnológica, recreativa y turística. La literatura científica reunida para esta tesis demuestra que el reservorio no ha permanecido estático desde su llenado: su fondo se ha transformado progresivamente como respuesta a la acumulación de materiales aportados por su cuenca tributaria.

Boschi y Fuster de Plaza (1959) ofrecieron una de las primeras descripciones limnológicas del sistema, subrayando la relación entre el embalse, el clima regional y la variabilidad de su volumen. Décadas más tarde, Drago y Depetris (1974) cuantificaron la sedimentación acumulada durante los primeros 38 años de funcionamiento, y Boltovskoy et al. (2009) confirmaron que el proceso continuaba activo en el siglo XXI. Estas tres referencias permiten construir una línea evolutiva coherente y científicamente sustentada.

La cartografía y la hidrografía contemporáneas brindan herramientas específicas para abordar este tipo de problemas. Los Sistemas de Información Geográfica permiten georreferenciar, comparar y modelar superficies de distinta cronología, mientras que la interpolación espacial facilita la generación de modelos continuos a partir de datos puntuales. En este estudio, la

cartografía deja de ser un mero soporte visual para transformarse en una herramienta analítica que permite interpretar el cambio temporal del embalse.

La presente tesis se propone integrar toda la información disponible en una narrativa técnica coherente, organizada según la estructura académica exigida por la carrera. El objetivo no es solo describir el proceso, sino reconstruirlo, cuantificarlo y representarlo. En ese sentido, el trabajo intenta combinar la lectura geomorfológica del reservorio con la lógica cartográfica necesaria para producir resultados defendíbles en una instancia oral de grado.

1.2 Antecedentes históricos

La historia del Embalse de Río Tercero comienza con la construcción de las estructuras de cerramiento y el llenado de la cubierta, en 1934. Las observaciones tempranas de Boschi y Fuster de Plaza (1959) muestran que ya en los años cincuenta el embalse era entendido como un sistema complejo, donde la morfología, la química del agua y la biología estaban estrechamente vinculadas. Ese enfoque resulta particularmente valioso porque ofrece un punto de partida para comparar los cambios posteriores.

El trabajo de Drago y Depetris (1974) comparó la carta batimétrica original con un relevamiento expeditivo de parte del embalse realizado por los autores concluyendo que durante el período 1934-1972 se habían acumulado cerca de 35 hm^3 de sedimentos, equivalentes al 12,6 % de la capacidad inicial. También calcularon una erosión media de la cuenca de 357 toneladas por año y una vida útil aproximada de 150 años.

Boltovskoy et al. (2009), por su parte, estudiaron el embalse en un momento en que el reservorio ya había sufrido cambios ecológicos y batimétricos más avanzados. Sus resultados indicaron una reducción aproximada del 30 % del volume original debido a la reducción de la profundidad media.

Esta secuencia bibliográfica hace posible abordar el estudio del embalse como un modelo para reservorios en áreas geomorfológicamente similares a las de Río Tercero.

1.3 Planteo del problema

El problema central de esta investigación consiste en determinar cómo ha evolucionado el fondo del Embalse de Río Tercero desde su construcción hasta la actualidad y qué magnitud ha tenido

la pérdida de capacidad asociada a la sedimentación. Esta pregunta involucra principalmente los cambios en la batimetría a lo largo del tiempo.

En términos cartográficos, el desafío de la investigación se presenta en dos escalas temporales diferentes. Por un lado, resulta necesario reconstruir y analizar la morfología original del valle previo al llenado del embalse, tarea que es posible gracias a la disponibilidad de cartografía topográfica histórica elaborada antes de la construcción de la presa. Esta información constituye la referencia fundamental para comprender la configuración inicial del vaso y evaluar los cambios ocurridos a lo largo del tiempo.

Por otro lado, se dispone de una batimetría integral del embalse correspondiente al año 2006, elaborada a partir de los sondeos procesados en el Servicio de Hidrografía Naval y posteriormente publicada por Boltovskoy et al. (2009). En consecuencia, el principal desafío metodológico no radica en la ausencia de información batimétrica histórica, sino en la falta de relevamientos integrales posteriores a 2006 que permitan caracterizar de manera directa la situación actual del reservorio.

La tesis aborda esta limitación mediante una estrategia de integración documental, análisis cartográfico multitemporal, modelado espacial e extrapolación conservadora, utilizando la información disponible sobre la evolución morfométrica del embalse, las series hidrométricas y las tendencias sedimentarias observadas entre los distintos períodos de estudio. De esta manera, se genera una representación cartográfica técnicamente fundamentada de la condición más probable del embalse para el año 2026.

La pregunta guía puede formularse de la siguiente manera: ¿en qué medida los procesos sedimentarios han modificado la batimetría y el volumen del Embalse de Río Tercero, y cómo puede estimarse cartográficamente su situación más probable en la actualidad a partir de la información histórica disponible?

1.4 Justificación

La elección del tema se justifica por su relevancia científica, cartográfica y ambiental. Desde el punto de vista de la Licenciatura en Cartografía, la tesis permite aplicar conceptos de georreferenciación, escalas, proyección, interpolación, extrapolación, modelados raster y representación temática a un problema real de alta complejidad espacial.

Desde una perspectiva aplicada, el estudio es útil porque los embalses cumplen funciones que requieren monitoreo permanente. La disminución del volumen útil puede comprometer la regulación hídrica, la operatividad energética y la disponibilidad de agua en periodos de menor oferta. Por ello, una lectura cartográfica de la sedimentación no es solamente descriptiva, sino que contribuye a la gestión territorial y al diagnóstico ambiental.

La investigación se sustenta en la integración de fuentes documentales de diferente origen y cronología, aunque presenta la limitación de contar únicamente con dos momentos de información batimétrica integral para un período de más de noventa años. Esta condición obligó a desarrollar un enfoque metodológico basado en el análisis multitemporal de la cartografía histórica, los relevamientos disponibles, las series hidrométricas y los modelos batimétricos existentes.

Lejos de constituir una debilidad insalvable, esta restricción representa uno de los principales desafíos científicos del trabajo, ya que requiere combinar información heterogénea mediante herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG), análisis estadístico e extrapolación espacial para generar una interpretación coherente de la evolución del embalse. En este sentido, el valor de la investigación no radica en la abundancia de datos disponibles, sino en la capacidad de integrar evidencias provenientes de distintos períodos para reconstruir la dinámica morfométrica del sistema y proponer una representación técnicamente fundamentada de su estado actual.

1.5 Objetivo general

Evaluar la evolución morfométrica y volumétrica del Embalse de Río Tercero mediante el análisis comparativo de información topográfica y batimétrica histórica, y estimar cartográficamente su configuración actual mediante técnicas de extrapolación espacial.

1.6 Objetivos específicos

- Reconstruir la morfología original del embalse a partir de la cartografía histórica disponible.
- Analizar los cambios batimétricos verificados entre 1934 y 2006.
- Describir la evolución de la capacidad del reservorio y su relación con la sedimentación.
- Procesar y representar los modelos mediante herramientas SIG.

• Estimular una lectura estadística de la serie de cotas y profundidades.
• Extrapolar una superficie batimétrica estimada de la situación actual del embalse.
• Discutir implicancias ambientales, territoriales e hidrográficas derivadas de la colmatación.

1.7 Hipótesis de trabajo

La acumulación progresiva de sedimentos en el Embalse de Río Tercero produjo una reducción sostenida de su capacidad de almacenamiento y una modificación significativa de su morfología subacuática, proceso que puede ser reconstruido y representado mediante cartografía histórica, batimetría comparada e interpolación espacial.

1.8 Alcances y limitaciones

El alcance de la investigación es cartográfico, hidrográfico y sedimentológico. Se trabajó exclusivamente con la información existente en el material disponible y con los modelos derivados de sondeos procesados en el Servicio de Hidrografía Naval mediante el software CARIS GIS. El estudio no pretende sustituir un levantamiento hidrográfico contemporáneo completo, sino ofrecer una reconstrucción técnicamente sustentada.
Entre las limitaciones se observa la heterogeneidad de escalas, las diferencias entre las cotas de referencia, la variación en la densidad de puntos entre modelos y la ausencia de una batimetría integral moderna posterior a 2006. Por ello, la representación de 2026 debe entenderse como una estimación cartográfica y estadística, pero carente de una validación empirica.

1.9 Estructura de la tesis

La tesis se organiza en siete capítulos y una sección de anexos. El primer capítulo presenta el problema, los objetivos y la hipótesis. El segundo desarrolla el marco teórico sobre sedimentación, batimetría, SIG, interpolación y extrapolación. El tercer capítulo caracteriza el área de estudio. El cuarto explica los materiales y métodos. El quinto expone los resultados. El sexto discute los hallazgos y propone soluciones. El séptimo presenta conclusiones y recomendaciones. Finalmente, los anexos reúnen las series estadísticas completas, tablas de apoyo y mapas.

Capítulo II. Marco teórico

2.1 Embalses artificiales y su vida útil

Los embalses son obras hidráulicas concebidas para almacenar agua, regular caudales y sostener distintos usos del recurso. Su funcionamiento depende del equilibrio entre el aporte hídrico, la evaporación, la demanda operativa y la entrada de materiales sólidos desde la cuenca tributaria. Cuando una presa modifica el régimen de flujo, también modifica la manera en que el sistema transporta y deposita sedimentos.

La vida útil de un embalse no debe entenderse como un valor fijo, sino como una variable condicionada por el ritmo de colmatación. A medida que el fondo se rellena, el volumen disponible para almacenamiento de agua disminuye, la relación superficie-volumen cambia y la capacidad de amortiguar variaciones hidrológicas se reduce. Esta situación adquiere especial importancia en reservorios multipropósito como el de Río Tercero, donde la pérdida de espacio útil afecta simultáneamente varios servicios.

Desde una perspectiva de gestión, la vida útil puede prolongarse mediante acciones de manejo en la cuenca, control de la erosión, monitoreo batimétrico y planificación hidrológica. Estas medidas requieren un diagnóstico espacial preciso donde la cartografía surge como un instrumento de gran utilidad.

2.2 Sedimentación y colmatación

La sedimentación es el proceso mediante el cual partículas sólidas suspendidas o arrastradas por el agua se depositan cuando la energía del flujo disminuye. En un embalse, el ingreso a una zona de baja velocidad favorece la decantación de sedimentos finos y gruesos, que se acumulan progresivamente en el fondo. Este fenomeno lleva la contaminación que deriva en la reducción notable del espacio útil del reservorio. Drago y Depetris (1974) demostraron que el Embalse de Río Tercero ya presentaba este proceso en marcha pocas décadas después de su construcción. La relevancia de ese hallazgo reside en que confirma la rapidez con la que puede alterarse un sistema artificial de gran tamaño.

La intensidad de la sedimentación depende de múltiples factores: geología, relieve, precipitación, cobertura vegetal, uso del suelo y conectividad hidrológica. Por ello, el análisis

no puede limitarse al embalse en sí mismo, sino que debe incorporar la cuenca tributaria y los cambios en sus carácteristicas a lo largo del tiempo.

2.3 Erosión hídrica y transporte sólido

La erosión hídrica constituye el mecanismo por el cual el agua desprende, transporta y redistribuye materiales sólidos del terreno. En cuencas serranas, este proceso puede acelerarse por la pendiente, la fragilidad de los suelos, la presencia de lluvias intensas y las alteraciones antrópicas que reducen la cobertura protectora.

Los materiales erodados llegan a los cursos tributarios y finalmente al embalse, donde la reducción de la velocidad de circulación favorece su depositación. Desde el punto de vista geomorfológico, el embalse funciona como una trampa sedimentaria. Esto explica por qué las zonas de ingreso de arroyos y ríos suelen ser las primeras en mostrar modificaciones batimétricas perceptibles.

La carga sólida transportada por la cuenca no solo tiene consecuencias morfológicas. También influye en la turbidez, en la calidad del agua y en la dinámica ecológica del sistema.

2.4 Batimetría y morfometría lacustre

La batimetría es la disciplina encargada de medir y representar las profundidades de un cuerpo de agua. En los embalses, su importancia es central porque permite conocer la forma del fondo, estimar volúmenes y comparar cambios entre diferentes períodos.

La morfometría lacustre analiza la forma, tamaño y proporciones de un cuerpo de agua. Entre sus parámetros más utilizados se encuentran la profundidad máxima, la profundidad media, el desarrollo de la linea de costa, la superficie y el volumen. El análisis de los cambios temporales de estos indicadores ofrece un panorama de la evolución del sistema.

2.5 Sistemas de Información Geográfica

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son herramientas diseñadas para almacenar, analizar, gestionar y representar información espacial. Los SIG no son simples programas de dibujo, sino sistemas de apoyo a la consulta y a la toma de decisiones (Tomlinson, 2005).

Los programas QGIS y ArcGIS permiten integrar capas vectoriales y raster, generar superficies y efectuar cruces espaciales con alta reproducibilidad. En esta tesis, su uso fue esencial para georreferenciar modelos históricos, homogeneizar los productos cartográficos y construir estimaciones comparativas entre períodos.

Excel complementó el trabajo espacial mediante el cálculo estadístico descriptivo, series temporales y tablas de resúmenes. La combinación de SIG y planillas de cálculo es particularmente útil en estudios multitemporales, porque articula el análisis geométrico con el análisis numérico.

2.6 Interpolación espacial, extrapolacion espacial y modelado raster

La interpolación espacial consiste en estimar valores desconocidos a partir de observaciones conocidas. Usualmente, con valores puntuales de distribución espacial irregular, por medio de métodos analíticos (por ejemplo, IDW o kriging) se genera una red de puntos homogéneamente espaciados que, a su vez, permiten la generación de isolíneas, o áreas de características similares acotadas en valores predefinidos (en este caso isobatas, o líneas que separan áreas con rangos de profundidad diferentes).

La extrapolación espacial es un procedimiento que permite estimar valores en sectores o períodos para los cuales no se dispone de información directa, utilizando como referencia los datos conocidos y las tendencias identificadas en la información disponible. En esta investigación, este procedimiento se emplea como complemento del análisis cartográfico multitemporal, con el propósito de elaborar una representación aproximada de las condiciones batimétricas del Embalse de Río Tercero para el año 2026.

La elección del método depende de la densidad y distribución de los datos. En este trabajo se optó por un criterio conservador, de modo que la extrapolación represente la tendencia general sin introducir una falsa precisión.

El modelado raster facilita la representación de gradiéntes de profundidad y la elaboración de mapas temáticos comparativos. Su valor no es solo visual, también permite calcular áreas, volúmenes y diferencias entre superficies de una manera consistente.

2.7 Cartografía temática aplicada

La cartografía temática transforma datos complejos en productos visuales interpretábles. En un estudio batimétrico, el mapa no es un simple complemento ilustrativo, es el medio principal para observar el cambio espacial. La escala, la simbología, la leyenda y la orientación influyen en la claridad del mensaje cartográfico.

La cartografía aplicada exige coherencia entre el dato de origen y su forma de representación. Si los modelos provienen de momentos históricos distintos, deben ser comparables en proyección, referencia y resolución. Solo así puede interpretarse la evolución del fondo con cierto grado de rigor.

La tesis adopta un enfoque cartográfico analítico. Cada figura, tabla y mapa pretende responder a una pregunta concreta sobre el cambio del embalse. Esa lógica hace posible que la representación visual se convierta en evidencia para la investigación.

2.8 Antecedentes científicos del Embalse de Río Tercero

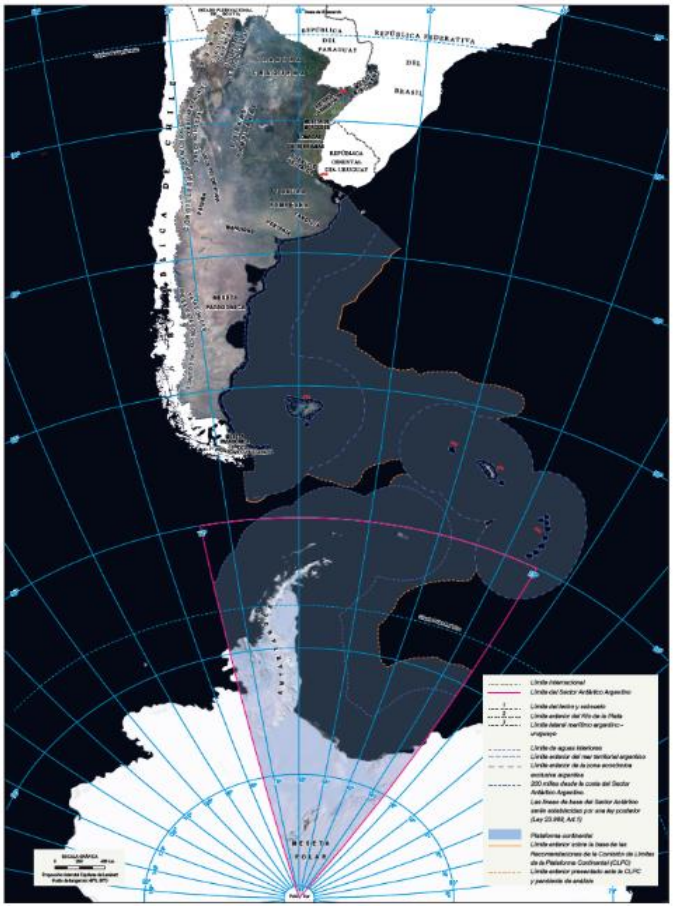
Boschi y Fuster de Plaza (1959) realizaron una descripción temprana del ambiente limnológico del embalse, incluyendo aspectos físicos, químicos y biológicos. Su estudio es importante porque muestra un sistema ya funcional, con variabilidad estacional y características morfométricas que condicionaban su comportamiento.

Drago y Depetris (1974) aportaron la primera cuantificación clara de la sedimentación acumulada. Desde el llenado de la cuenca en algunos sectores acotados del cuerpo de agua. Su trabajo resulta central porque no solo describe el problema, sino que lo mide y lo interpreta en términos de erosión de cuenca y vida útil del embalse. Esa cuantificación constituye la base de comparación para la presente tesis.

Boltovskoy et al. (2009) complementaron la mirada histórica al analizar el embalse desde una perspectiva ecológica y batimétrica más moderna. La integración de estos antecedentes permite construir una secuencia continua que abarca desde la etapa inicial hasta el período reciente.

Capítulo III. Área de studio

3.1 Ubicación geográfica

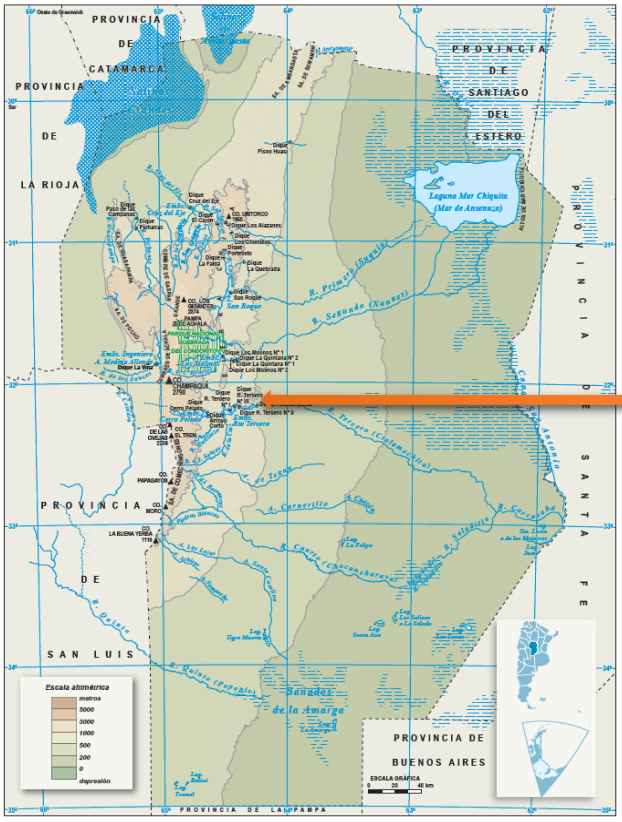


Mapa Imagen Bicontinental de la República Argentina. Fuente: IGN

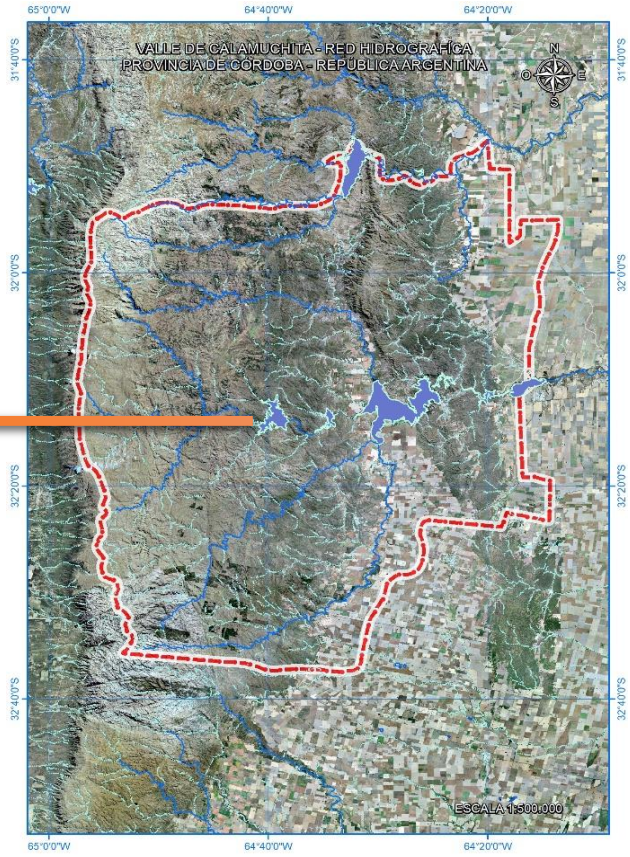


Mapa Imagen de la Provincial de Córdoba. Fuente: IGN

El Embalse de Río Tercero se localiza en el Valle de Calamuchita, provincia de Córdoba, en la porción central de la República Argentina. El reservorio ocupa una posición estratégica dentro de la red hidrográfica regional y constituye un elemento importante por sus usos energéticos, recreativos y de provisión de agua.



Mapa Fisico de la Provincial de Córdoba. Red Hidrica. Fuente: IGN



Mapa Fisico del Valle de Calamuchita. Red Hidrica. Imagen: Bing Satélite, Resolucion 2m. Fuente: Elaboración propia

Su localización en un ambiente serrano implica una relación estrecha con cuencas de respuesta rápida, donde las precipitaciones intensas pueden generar pulsos de escorrentía que movilizan una importante cantidad de material sólido hacia el cuerpo de agua. Esa condición geográfica explica buena parte de la dinámica sedimentaria observada en el reservorio.

3.2 Geología y geomorfología

La región presenta un basamento geológico complejo, con unidades cristalinas y metamórficas que favorecen la producción de sedimentos cuando actúan los procesos de meteorización y erosión hídrica. Las pendientes y los valles encajados orientan el drenaje superficial y condicionan los caminos de transporte de material.

Geomorfológicamente, el embalse ocupa un valle ramificado con brazos diferenciados. Esta morfología explica por qué la sedimentación no se distribuye de forma homogénea. Las zonas de desembocadura y las áreas de menor energía reciben mayores acumulaciones, mientras que los sectores con mayor energía de la corriente acumulan menos sedimentos.

3.3 Clima e hidrología

La región se caracteriza por una marcada estacionalidad de las precipitaciones. Los meses cálidos suelen concentrar la mayor parte del aporte pluvial, mientras que los periodos secos reducen la recarga. Esa alternancia afecta tanto el nivel del agua como la intensidad del arrastre sedimentario.

El volumen de agua en el embalse depende de las precipitaciones, de las descargas en la salida (a través de la central hidroeléctrica y/o del vertedero), y de la evaporación.

3.4 Uso actual del embalse

El embalse cumple múltiples funciones, generación hidro y nucleoeléctrica, regulación de caudales, actividades recreativas y turismo. La relevancia funcional del sistema hace que la colmatación tenga implicancias múltiples y muy significativas.

Cuando la capacidad útil se reduce, también disminuye la flexibilidad operativa del embalse. Por eso, estudiar su evolución morfométrica es esencial para comprender el impacto potencial sobre sus usos.

3.5 Contexto regional de la Cuenca

La cuenca tributaria presenta sectores con pendiente, suelos expuestos y usos del suelo que pueden incrementar la erosión. La combinación de relieve, clima y actividad antrópica determina la magnitud de la carga sólida que finalmente alcanza al embalse.

Desde la perspectiva cartográfica, el análisis del embalse debe ir acompañado del análisis de su cuenca. El sistema no puede entenderse como una superficie aislada, sino como la expresión final de procesos que ocurren aguas arriba.

3.6 Cartografía base y modelos históricos

La documentación utilizada incluye la cartografía previa al llenado (1934), el relevamiento acotado de 1974, la batimetría de 2006 y los modelos procesados con CARIS GIS en el Servicio de Hidrografía Naval a partir de los sondeos disponibles para el año 2006.

A ello se suma una imagen satelital reciente del reservorio, útil para contextualizar la forma actual del espejo de agua y para orientar la representación del modelo extrapolado 2026. La integración de cartografía, modelos batimétricos e imagen satelital permite observar de manera conjunta la evolución morfológica del sistema.

EVOLUCION ANUAL DE LA COTA MEDIA DEL EMBALSE (1948-2007)

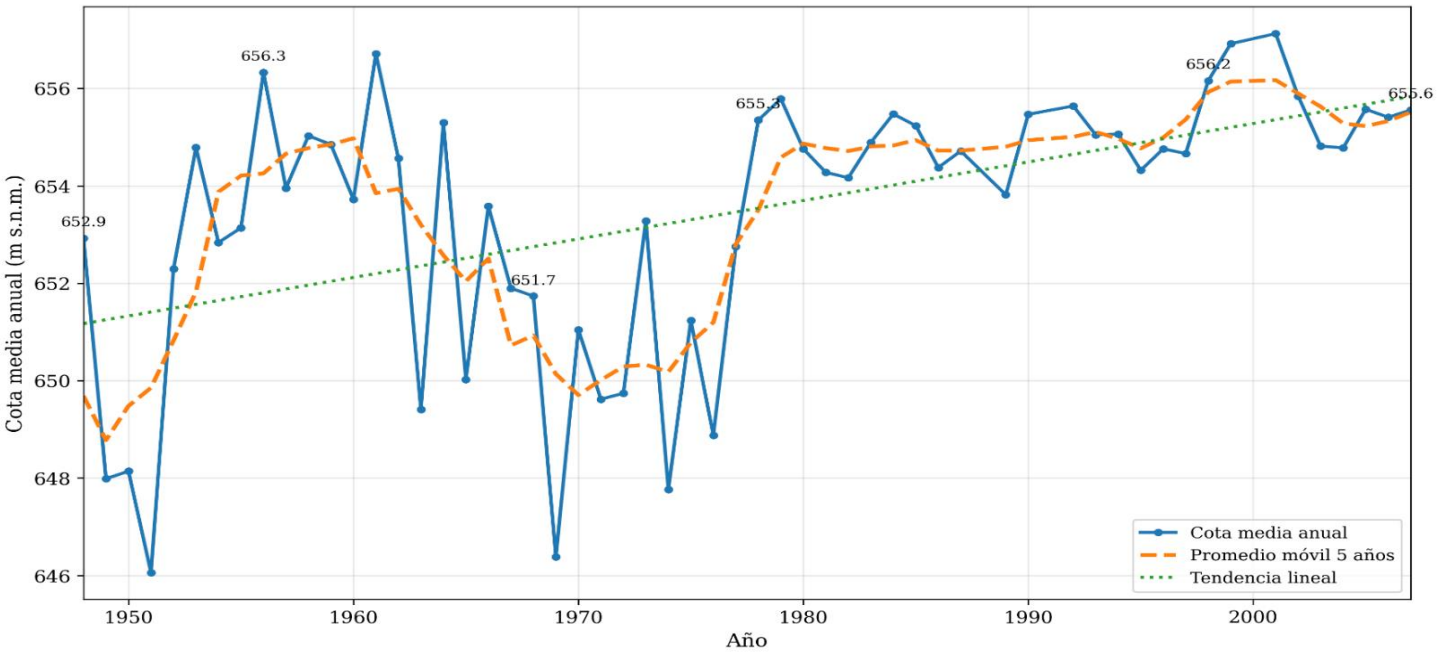


Figura 1. Evolución anual de la cota media del embalse entre 1948 y 2007(SHN). Fuente: elaboración propia a partir de la planilla de sondajes y cotas.

Los datos utilizados para este gráfico fueron tomando las cotas mensuales de cada año entre 1948 y 2007. A partir de esas series se calcularon las medias anuales, los mínimos, los máximos y la amplitud anual. El gráfico fue elaborado a partir de esos valores para mostrar con mayor claridad la evolución temporal de la cota media del embalse.

PROMEDIO MENSUAL DE LA COTA DEL EMBALSE (1948-2007)

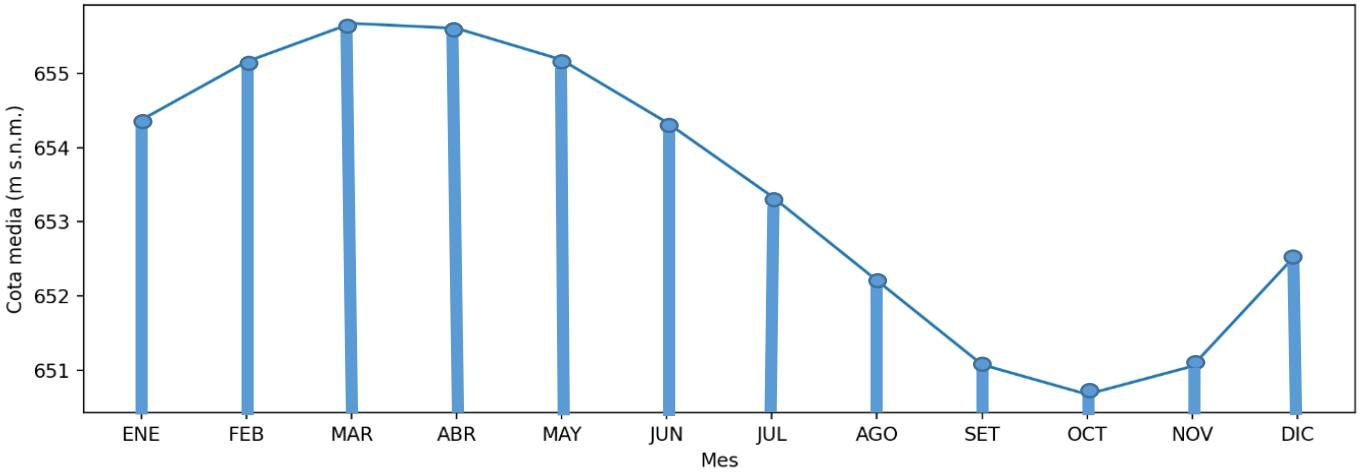


Figura 2. Promedio mensual de la cota del embalse entre 1948 y 2007 (SHN). Fuente: elaboración propia.

Este gráfico se construyó con la misma base de datos, calculando el promedio de cota para cada mes a lo largo del período 1948–2007. La secuencia mensual permite reconocer la estacionalidad del embalse y visualizar los meses en los que se registran cotas medias más altas o más bajas.

DISTRIBUCION COMPARADA DE SONDAJES DE 1934 Y 2006

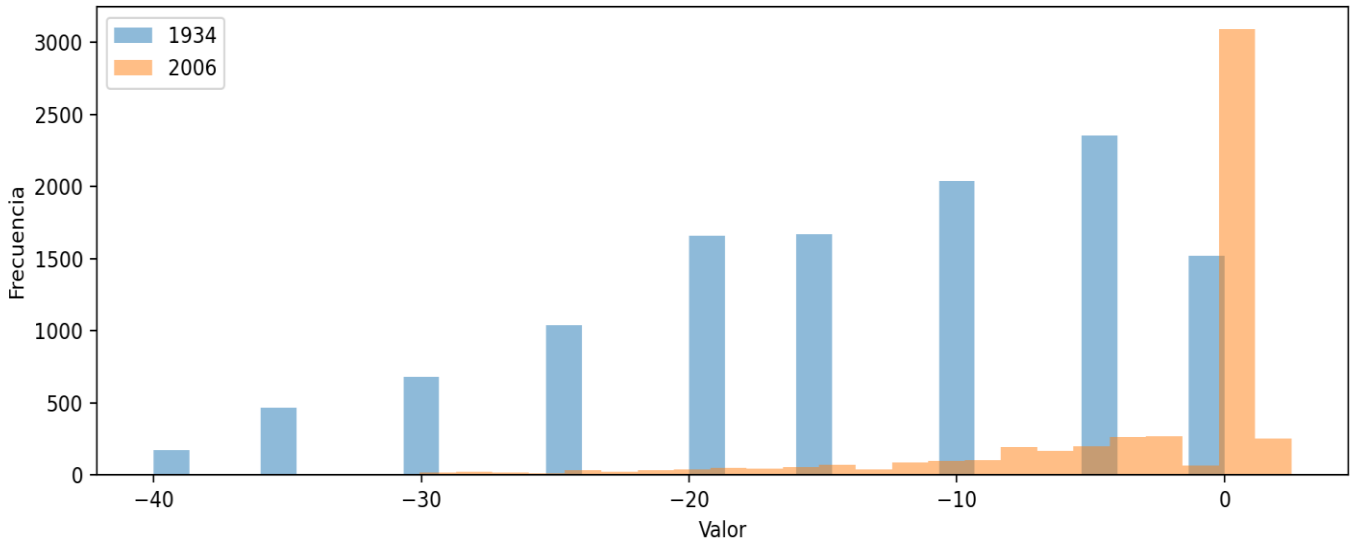


Figura 3. Distribución comparada de profundidades/cotas en los modelos de 1934 y 2006 (SHN). Fuente: elaboración propia a partir del archivo Excel.

Los valores comparados en este gráfico provienen de las columnas de profundidad registradas para los sondeos de 1934 y 2006 en la planilla suministrada. Para su elaboración se organizaron ambas series, se calcularon medidas descriptivas básicas y se representó la distribución mediante gráficos de columnas. Esta forma de representación permite comparar mejor la dispersión de los datos, el desplazamiento de las medias y la diferencia estructural entre ambos momentos de muestreo.

TOPOGRAFÍA DE 1934 – EMBALSE DE RÍO TERCERO

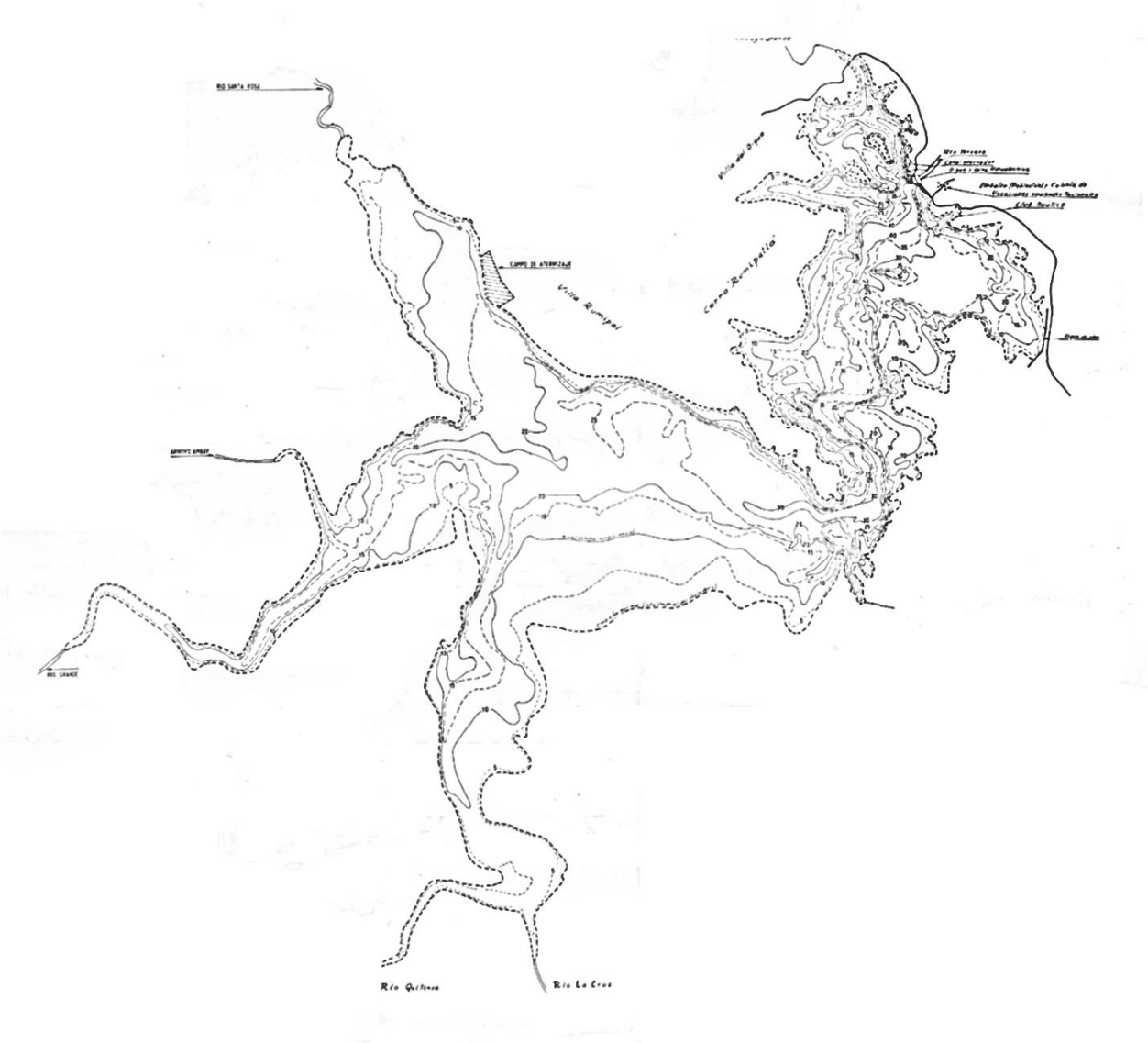
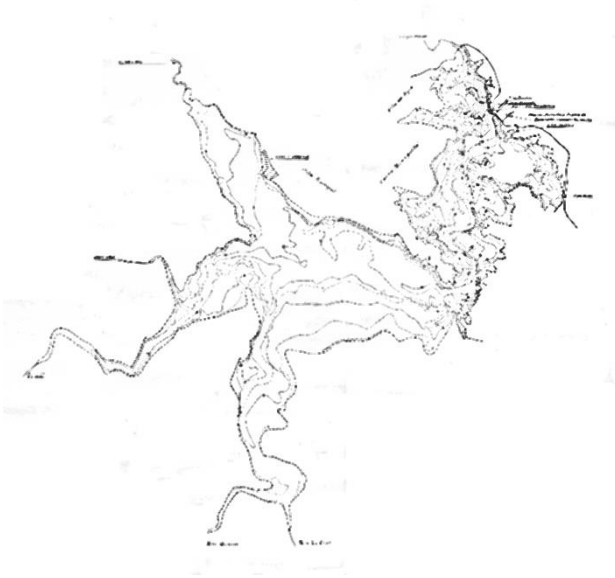


Figura 4. Topografía del área a anegar previa a la creación del Embalse Río III año 1934 (SHN). Compilación de modelos batimétricos aportada para el trabajo de investigación.

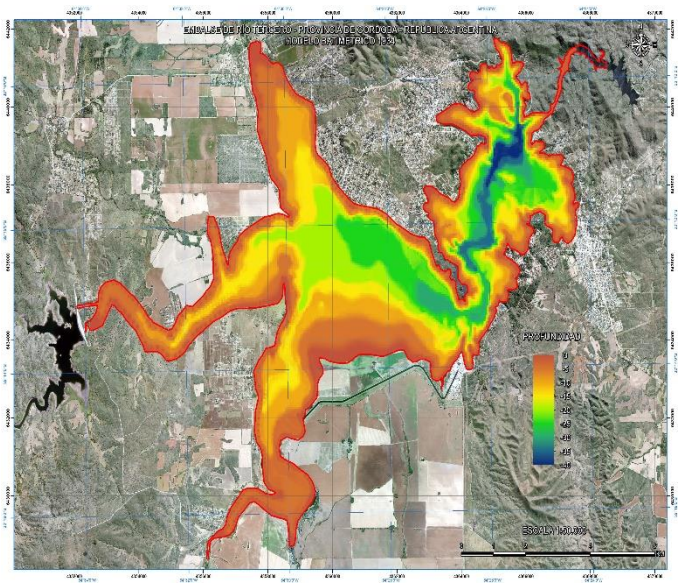
Esta imagen representa la cartografía topográfica previa al llenado del embalse. Fue utilizada como base inicial para reconstruir la forma original del vaso y para establecer la referencia espacial sobre la que luego se compararon los cambios morfométricos posteriores.

PLANO TOPOGRÁFICO ORIGINAL AÑO 1934



Plano Topográfico original de 1934.
Fuente: SHN aportada para el trabajo.

MODELO BATIMÉTRICO DE SUPERFICIE AÑO 1934



Modelo Batimétrico de superficie 1934.
Fuente: compilación de modelos batimétricos de propia elaboración para el trabajo.

La superficie batimétrica de 1934 se elaboró a partir de la información topográfica de base y de los sondeos históricos disponibles. El procesamiento de los datos, realizado con apoyo del SHN y del software CARIS GIS, permitió generar una superficie continua del fondo original del reservorio.

IMÁGEN SATÉLITAL DE ALTA RESOLUCIÓN DEL EMBALSE DE RÍO TERCERO

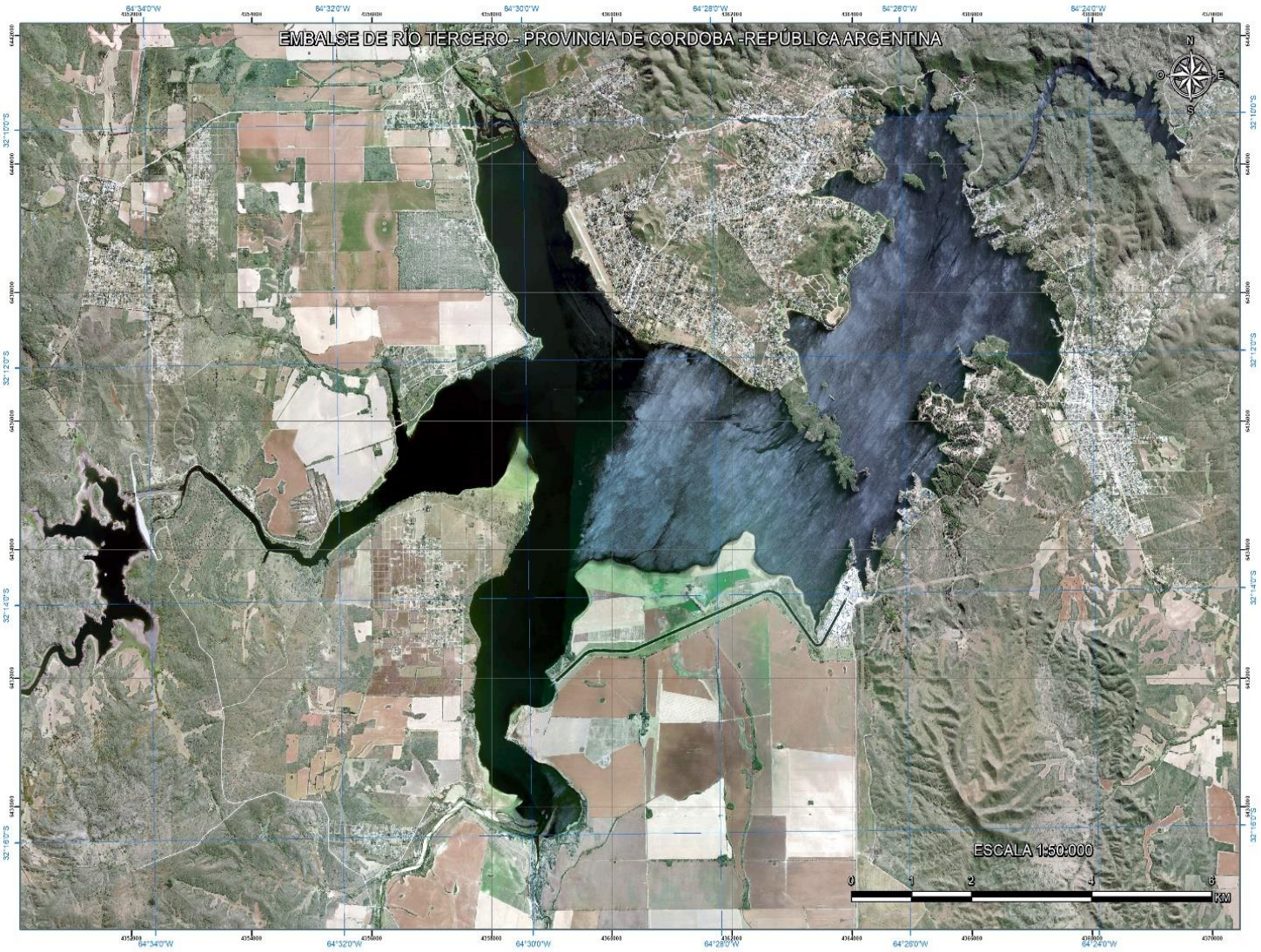


Figura 5. Imágen Bing satélital de superficie del Embalse Río III Georreferenciada. Fuente SASPlanet

La imagen satelital proporciona el contexto espacial más reciente para interpretar la forma del reservorio y comparar la distribución actual del espejo de agua con los modelos batimétricos históricos. Su uso complementa la lectura cartográfica del sistema y facilita la presentación de la evolución del embalse en la tesis.

MODELO BATIMÉTRICO DE SUPERFICIE CON PUNTOS DIGITALIZADOS DE 1934

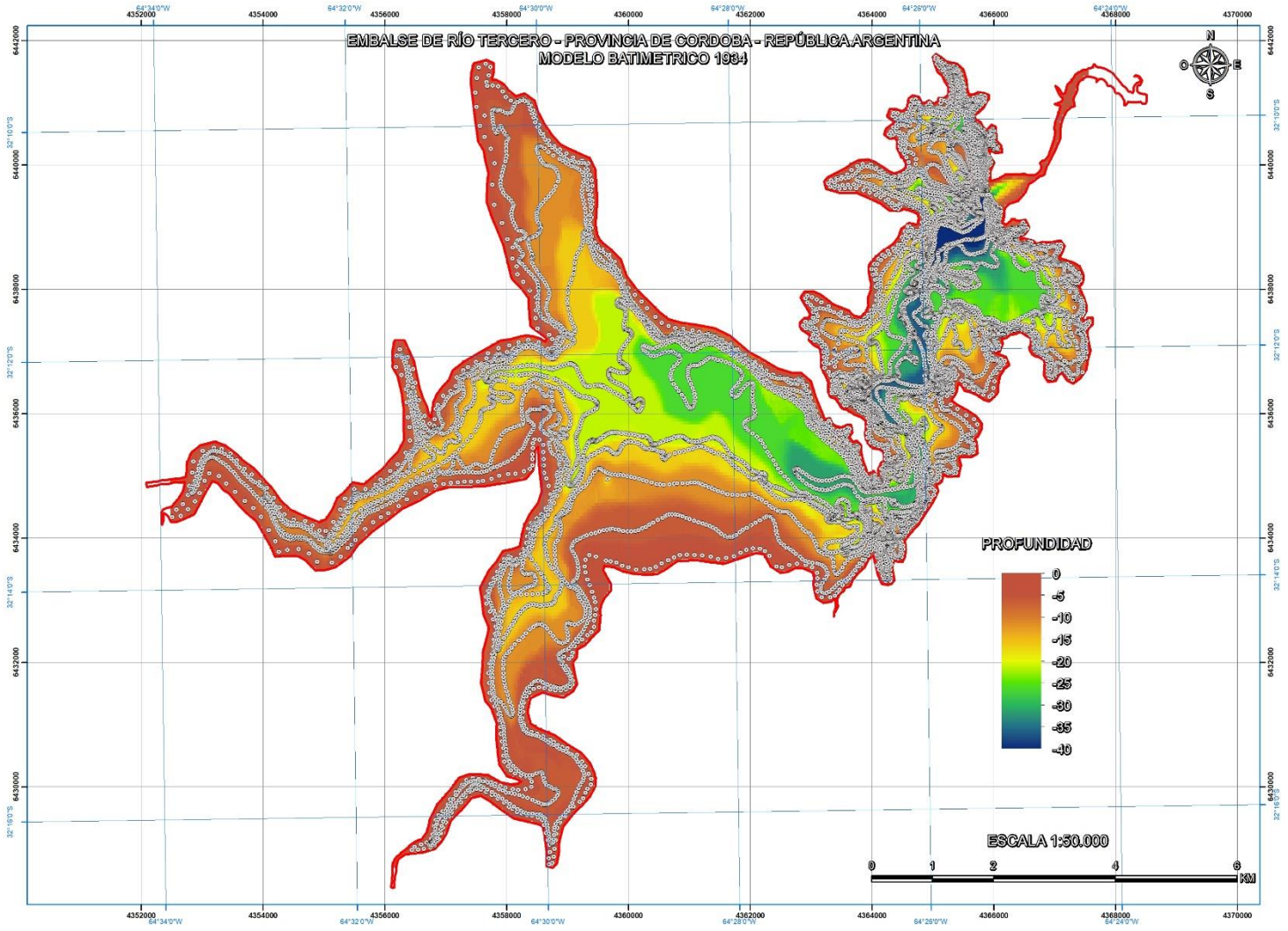


Figura 6. Batimetría de superficie 1934 reproyectada con cotas. Fuente: compilación de modelos batimétricos de propia elaboración para el trabajo.

El modelo batimetrico realizado con la digitalizacion de curvas de nivel originales, transformadas a puntos, permite observar con mayor precisión la distribución espacial de las profundidades y la forma del relieve subacuático del embalse de Rio Tercero. Este producto es el resultado del tratamiento de los sondeos históricos en CARIS GIS y constituye una base cartográfica útil para comparar la evolución temporal de dicho embalse.

MODELO BATIMÉTRICO DE SUPERFICIE GEORREFERENCIADO AÑO 1934

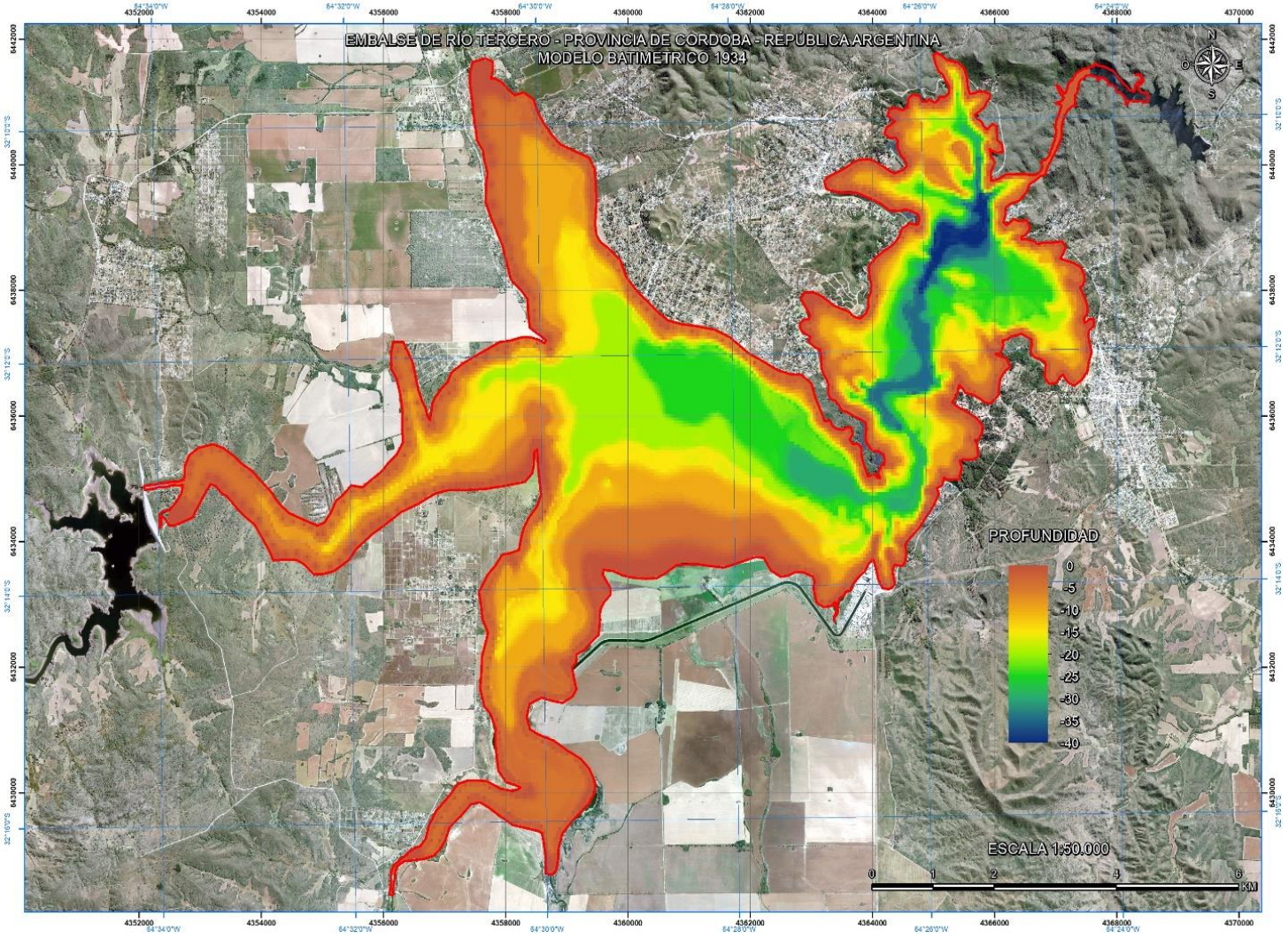


Figura 7. Modelo Batimétrico de superficie año 1934. Fuente: compilación de modelos batimétricos de propia elaboracion para el trabajo.

En modelo batimetrico generado con datos de sondajes de 1934, la superficie fue reproyectada y ajustada a una misma referencia de cotas para facilitar la comparación con otros momentos históricos. El objetivo fue homogeneizar la información vertical y destacar los gradiéntes de profundidad del vaso original.

MODELO BATIMÉTRICO DE SUPERFICIE CON PUNTOS DIGITALIZADOS DE 2006

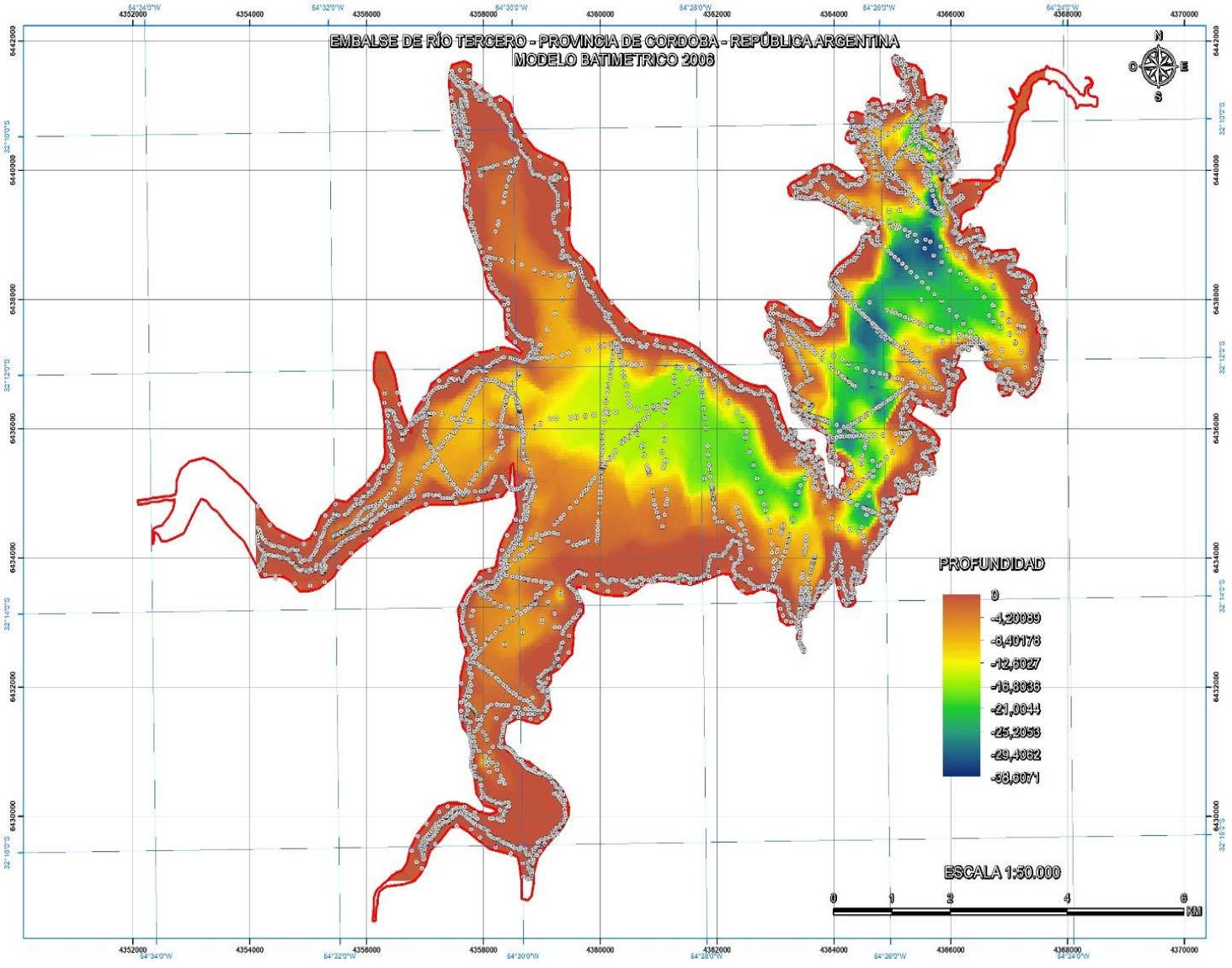


Figura 8. Batimetría de superficie 2006 reproyectada con cotas. Fuente: compilación de modelos batimétricos de propia elaboración para el trabajo.

El modelo batimetrico permite observar con mayor precisión la distribución espacial de las profundidades y la forma del relieve subacuático del embalse de Rio Tercero. Este producto es el resultado del tratamiento de los sondeos realizados en el año 2006 y procesados en CARIS GIS. Constituye una base cartográfica útil para comparar la evolución temporal de dicho embalse.

MODELO BATIMÉTRICO DE SUPERFICIE GEORREFERENCIADO AÑO 2006

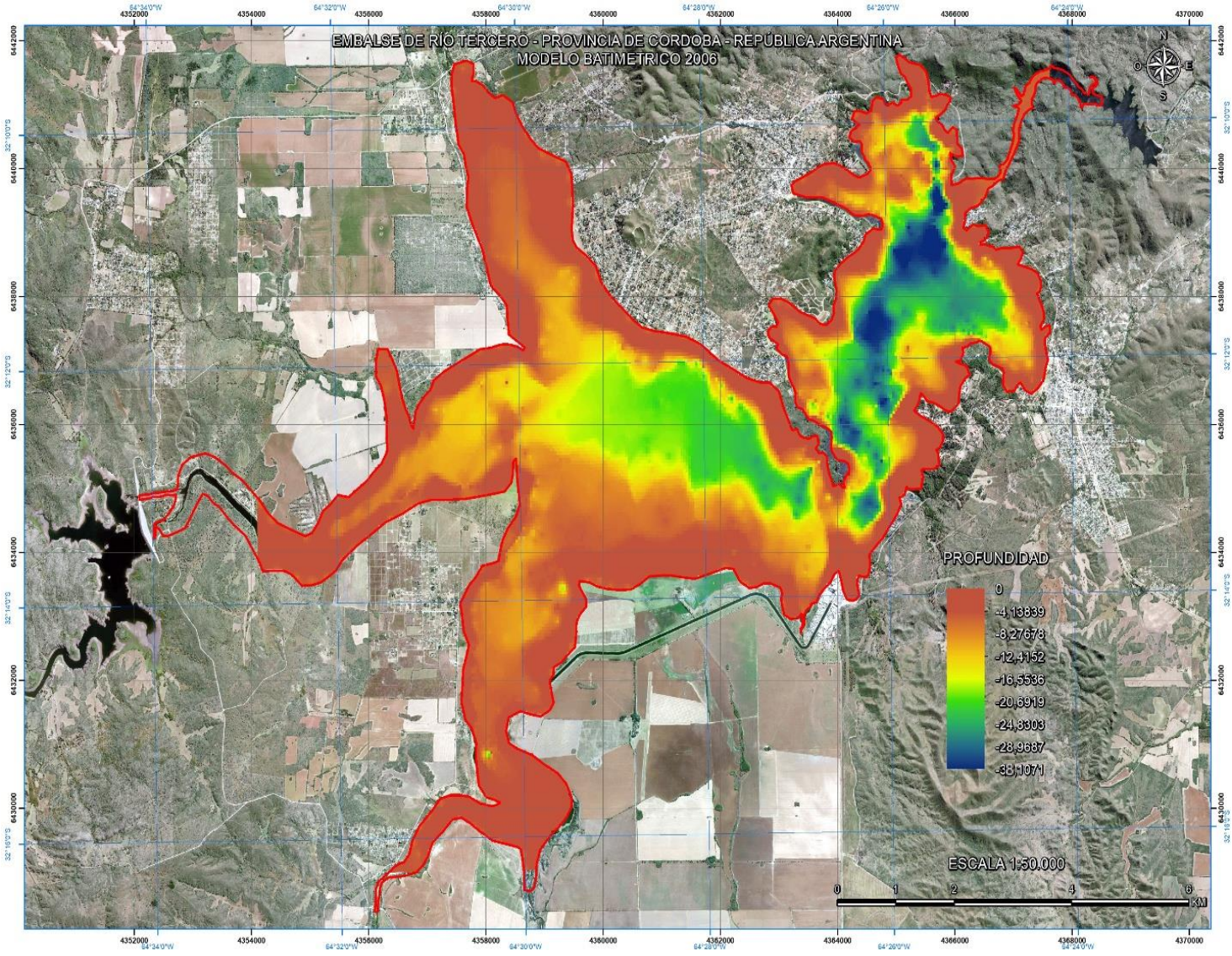


Figura 9. Modelo Batimétrico de superficie año 2006. Fuente: compilación de modelos batimétricos propia elaboración.

En modelo batimetrico generado con datos de sondajes de 2006, la superficie fue reproyectada y ajustada a una misma referencia de cotas para facilitar la comparación con otros modelos, ejemplo el de 1934. El objetivo fue homogeneizar la información vertical y destacar los gradiéntes de profundidad del vaso original.

La superficie batimétrica de 2006 se elaboró a partir de la información topográfica de base y de los sondeos del 2006 disponibles. El procesamiento de los datos, realizado con apoyo del SHN y del software CARIS GIS, permitió generar una superficie continua del fondo original del reservorio.

Capítulo IV. Materiales y métodos

4.1 Fuentes documentales

La investigación se desarrolló a partir de la totalidad de la información disponible y accesible para el período de estudio. Las principales fuentes utilizadas fueron los trabajos científicos de Boschi y Fuster de Plaza (1959), Drago y Depetris (1974) y Boltovskoy et al. (2009), complementados con la cartografía histórica prévia al llenado del embalse, los registros de sondeos batimétricos suministrados por el Servicio de Hidrografía Naval (SHN), las series de cotas hidrométricas contenidas en la base de datos utilizada para el estudio y los modelos batimétricos elaborados por el SHN mediante procesamiento en CARIS GIS a partir de los relevamientos correspondientes a los años 1934 y 2006.

Dado que la disponibilidad de información batimétrica es limitada y se restringe esencialmente a dos momentos de relevamiento integral del embalse, la estrategia metodológica consistió en integrar todas las fuentes disponibles sin aplicar criterios de exclusión. Cada documento, registro, modelo o serie de datos aportó información complementaria para la reconstrucción de la evolución morfométrica del reservorio.

La combinación de antecedentes científicos, cartografía histórica, registros hidrométricos, sondeos batimétricos y modelos digitales permitió desarrollar un análisis multitemporal consistente, orientado a identificar los cambios experimentados por el embalse entre su condición original y la situación estimada para el año 2026.

Para el análisis batimétrico se utilizaron las bases de datos correspondientes a los relevamientos de 1934 y 2006, suministradas para el desarrollo de esta investigación. Estas bases contienen registros puntuales de sondeo asociados a coordenadas geográficas y valores de profundidad. La información fue utilizada como fuente primaria para la elaboración de las superficies batimétricas, el análisis estadístico y la comparación multitemporal del relieve del embalse.

4.2 Modelos Batimétricos de 1934 y 2006

Los modelos de 1934 y 2006 fueron elaborados con base en la información topográfica y los sondeos suministrados, procesados en el Servicio de Hidrografía Naval mediante el software CARIS GIS. Esta condición es importante porque asegura que la fuente de origen de los

modelos no sea una mera reproducción gráfica, sino una reconstrucción hidrográfica procesada técnicamente.

El modelo de 1934 se apoya en la topografía previa al llenado del embalse, mientras que el de 2006 deriva de una batimetría obtenida con ecosonda y coordenadas georreferenciadas. Entre ambos momentos se dispone de un marco suficiente para comparar el relleno sedimentario y su distribución espacial.

La base correspondiente al año 1934 contiene 11.604 registros de sondeo, mientras que la correspondiente al año 2006 contiene 5.300 registros. En ambos casos, los registros presentan coordenadas geográficas expresadas mediante latitud y longitud y un valor asociado a la posición vertical o profundidad del fondo.

La información de 1934 representa la condición histórica utilizada como referencia inicial para el análisis de la evolución del relieve del vaso, mientras que los datos de 2006 permiten establecer una segunda situación batimétrica integral del embalse. La comparación entre ambas fechas constituye la principal base cuantitativa para evaluar los cambios producidos durante el período analizado.

Los datos fueron incorporados a un entorno de Sistemas de Información Geográfica para su representación espacial, control, análisis estadístico y posterior generación de superficies continuas. De esta manera, los registros puntuales pudieron ser utilizados no solamente para obtener estadísticas descriptivas, sino también para construir representaciones de modelos comparables.

4.3. Sistema de referencia espacial y vertical

Los registros batimétricos utilizados en la investigación se encuentran expresados mediante coordenadas geográficas de latitud y longitud, en unidades angulares. Para el procesamiento cartográfico y la comparación espacial de las diferentes fuentes se adoptó un sistema de referencia geográfico común.

Como referencia horizontal de trabajo se utilizó WGS 84 (World Geodetic System 1984), permitiendo integrar los registros de sondeo dentro de un mismo entorno de procesamiento cartográfico. La adopción de una referencia común permitió reducir las diferencias derivadas de la integración de información procedente de distintas fuentes y fechas.

En relación con la componente vertical, los valores de profundidad fueron conservados en metros, respetando la información contenida en las bases de datos originales. La documentación disponible no permite establecer con suficiente certeza que los relevamientos históricos de 1934 y 2006 hayan utilizado exactamente el mismo datum vertical o cero hidrográfico. Por este motivo, no se incorporó una transformación vertical que no pudiera ser respaldada documentalmente.

En consecuencia, la homogeneización realizada en esta investigación se refiere principalmente a la integración espacial de los datos y a su representación dentro de un sistema de referencia común, manteniendo los valores verticales de acuerdo con las fuentes disponibles.

4.4 Procesamiento en CARIS GIS

CARIS GIS es un entorno especializado para el tratamiento de información hidrográfica. Sus herramientas permiten organizar puntos de sondeo, construir superficies continuas, representar isolíneas batimétricas y derivar productos aptos para navegación, análisis y cartografía temática.

En este trabajo, el procesamiento consistió en tomar los puntos disponibles, análisis espacial, generar superficies comparables y extraer indicadores como profundidad máxima, profundidad media, diferencias entre modelos y tendencias de cambio.

4.5 Georreferenciación y control cartográfico

La georreferenciación fue un paso decisivo para garantizar que todos los productos pudieran ser comparados sobre una misma referencia espacial. Esto incluye la homogeneización de sistema de coordenadas, proyección y escala, así como la verificación entre capas.

Un error de referencia espacial puede distorsionar por completo la interpretación del cambio morfométrico.

Los registros de sondeo fueron incorporados al entorno SIG a partir de sus coordenadas geográficas. Como primera etapa se efectuó una revisión de la estructura de las bases de datos, verificando la presencia de coordenadas válidas y valores asociados a la profundidad.

Posteriormente, los puntos fueron representados espacialmente y organizados de manera que pudieran ser procesados bajo una referencia cartográfica común. Este procedimiento permitió

transformar las bases de datos originales en conjuntos de información espacialmente comparables.

A partir de los puntos de sondeo se generaron superficies continuas mediante interpolación espacial. Estas superficies permitieron representar la distribución del relieve subacuático y facilitaron la comparación entre las condiciones correspondientes a 1934 y 2006.

El procesamiento se complementó con herramientas de análisis estadístico, utilizadas para determinar valores medios, dispersión, rangos y distribución de las profundidades registradas.

4.6 Elaboración del modelo 2026

La estimación de la situación actual del embalse se infirió mediante un modelo cartográfico. El procedimiento consistió en extrapolar la tendencia de cambio observada entre 1934 y 2006, tomando como referencia la reducción de volumen y de profundidad media reportada por la bibliografía y los modelos procesados.

A partir de la comparación entre el volumen original y el volumen de 2006, se estimó una pérdida media anual conservadora. Sobre esa base se proyectó una superficie batimétrica 2026 que refleja la continuidad del proceso sedimentario sin cambios abruptos. El resultado es una representación útil para analizar la evolución probable del embalse.

El modelo no sustituye una batimetría real de campo. Debe interpretarse como una aproximación teórica, explícitamente sometida a la incertidumbre propia de una extrapolación temporal.

4.7 Interpolacion y Extrapolación espacial

La interpolación espacial se aplicó para construir superficies continuas a partir de datos puntuales. Se consideró una estrategia conservadora basada en la tendencia observada y en el comportamiento morfológico general del embalse. El objetivo no fue forzar un detalle inexistente, sino representar el cambio probable con el grado de precisión que permite la evidencia.

Se utilizaron criterios propios de la cartografía batimétrica, respecto a la estructura de los sondeos, control de la continuidad superficial, verificación de sectores de mayor y menor energía y coherencia con la historia sedimentaria del sistema.

Para la generación de superficies continuas a partir de los puntos de sondeo de 1934 y 2006 se empleó el método de interpolación ponderada por distancia inversa (IDW, Inverse Distance Weighted). Este procedimiento asigna mayor influencia a los puntos próximos al lugar que se desea estimar y reduce progresivamente la influencia de los puntos situados a mayor distancia. Para el procesamiento se adoptó una potencia de 2, de manera que la influencia espacial disminuyera con el cuadrado de la distancia. La búsqueda de valores se realizó considerando los dos puntos de sondeo más próximos a cada posición de estimación.

El modelo batimétrico se generó con resolución de 10 m. La superficie se representó con un intervalo de 2 minutos (2'), manteniendo la representación en coordenadas geográficas y planas. Para evitar que la interpolación se extendiera fuera del área de interés, se aplicó una máscara correspondiente al polígono del vaso del Embalse de Río Tercero.

En los bordes del modelo, la interpolación quedó restringida al interior de la máscara, excluyéndose las áreas externas al límite definido para el embalse. De esta forma se evitó generar información espacial fuera del área correspondiente al reservorio.

El procedimiento permitió transformar los registros puntuales de sondeo en superficies continuas y comparables, constituyendo la base cartográfica para el análisis de la evolución del relieve entre las diferentes fechas estudiadas.

El procesamiento de los datos y la generación de las superficies se realizaron mediante herramientas de procesamiento cartográfico y batimétrico disponibles en CARIS GIS, complementadas con QGIS, ArcGIS y Excel para las tareas de organización, análisis, representación y control de la información.

La evaluación del resultado interpolado se realizó mediante la comparación entre los valores observados en los puntos de sondeo y los valores estimados por la superficie interpolada en las posiciones correspondientes. Esta comparación permitió evaluar el grado de ajuste de la superficie respecto de los datos originales y detectar posibles diferencias o sectores con mayor incertidumbre.

Ya teniendo reconstruidos los modelos batimétricos de 1934 y 2006 a traves del metodo de interpolación espacial se procedio a la reconstrucción del model batimétrico 2026 a traves de la extrapolación espacial que es un procedimiento que permite estimar valores en sectores o períodos para los cuales no se dispone de información directa, utilizando como referencia los datos conocidos y las tendencias identificadas en la información disponible.

Para ello, se toman como referencia los modelos correspondientes a 1934 y 2006, elaborados a partir de los datos de sondeos suministrados por el Servicio de Hidrografía Naval (SHN), y se analizan las diferencias observadas en la configuración del fondo entre ambos momentos. A partir de esta comparación, se estima la continuidad de la tendencia de cambio durante el período posterior a 2006, considerando la posible acumulación de sedimentos y su influencia sobre las profundidades y la capacidad de almacenamiento del embalse.

La extrapolación permite trasladar las tendencias identificadas a una representación espacial continua, facilitando la interpretación de los sectores en los que podrían haberse producido mayores modificaciones. Sin embargo, el modelo resultante no constituye una medición directa de la batimetría de 2026, sino una estimación basada en la información histórica disponible y en los criterios de procesamiento cartográfico adoptados. Por esta razón, sus resultados deben interpretarse como una aproximación al estado actual del embalse, cuya precisión deberá comprobarse mediante un nuevo relevamiento batimétrico.

De este modo, la extrapolación espacial funciona como una herramienta de integración y análisis que permite vincular los registros históricos con un escenario reciente, visualizar la posible evolución morfológica del fondo y generar una base cartográfica útil para futuras investigaciones y tareas de seguimiento del proceso de sedimentación.

4.8 Estadística descriptiva

La estadística descriptiva permitió organizar la información de profundidades, cotas y niveles mensuales disponibles. Se calcularon valores mínimos, máximos, media, desvíos y amplitúdes, así como comparaciones entre años seleccionados y décadas.

El tratamiento estadístico es fundamental porque brinda una base cuantitativa para la interpretación cartográfica. Sin esta etapa, la discusión del cambio del embalse dependería exclusivamente de la observación visual. Con ella, el análisis adquiere mayor solidez y permite comparar tendencias con claridad.

4.9 Generación de superficies raster y cálculo volumétrico

La generación de superficies raster permitió representar el fondo del embalse como una estructura continua. A partir de esas superficies se estimó la evolución volumétrica y se

construyeron mapas comparativos entre períodos. El uso de raster es especialmente adecuado cuando se trabaja con cambios distribuidos homogéneamente en el espacio y no con puntos aislados.

Los cálculos volumétricos se apoyaron en la diferencia entre modelos históricos. Para la proyección 2026 se aplicó una extrapolación lineal a partir de la reducción reportada entre 1934 y 2006. Esta decisión metodológica permite ofrecer un escenario cartográfico de referencia para un analisis futuro.

4.10 Síntesis del procedimiento de trabajo

El desarrollo de la investigación puede resumirse en una serie de etapas sucesivas que permitieron reunir, organizar y analizar la información disponible sobre el Embalse de Río Tercero. En primer lugar, se recopilaron los antecedentes científicos, la cartografía histórica, los registros de sondeos, las series de cotas hidrométricas y los modelos batimétricos disponibles. Posteriormente, la información fue revisada, organizada y adaptada para facilitar su utilización en los distintos programas empleados durante el estudio.

Una vez sistematizados los datos, se realizó el análisis cartográfico y comparativo de los diferentes períodos considerados, integrando la información histórica con los modelos batimétricos de 1934 y 2006. Complementariamente, se utilizaron herramientas de Sistemas de Información Geográfica para representar espacialmente los cambios observados y elaborar productos cartográficos que permitieran visualizar la evolución del embalse.

Finalmente, los resultados obtenidos fueron analizados e interpretados en conjunto con los antecedentes disponibles, con el propósito de identificar tendencias de cambio y construir una representación razonable de la situación actual del reservorio. De esta manera, la investigación no se limita, únicamente, a describir información existente, sino que integra distintas fuentes para comprender la evolución morfológica y batimétrica del sistema a lo largo del tiempo.

Capítulo V. Resultados

5.1 Reconstrucción del modelo de 1934

El modelo correspondiente a 1934 representa la condición original del Valle antes de la construcción y el llenado del Embalse de Río Tercero. En esta etapa, el relieve conserva sus características naturales y aún no se observan los procesos de acumulación de sedimentos que se desarrollarían posteriormente como consecuencia del funcionamiento del reservorio.

La información topográfica histórica permitió reconstruir la configuración inicial del área de estudio, identificando sectores más profundos y una morfología con mayores contrastes en comparación con las condiciones observadas en períodos posteriores. Esta representación constituye el punto de partida fundamental para comprender y evaluar los cambios experimentados por el embalse a lo largo del tiempo.

A partir de los datos disponibles y mediante diferentes procedimientos de procesamiento, análisis cartográfico y modelado digital, fue posible generar una superficie que pudiera ser comparada con los modelos correspondientes a otros momentos históricos.

El tratamiento en CARIS GIS permitió convertir la topografía original en una superficie comparable con los relevamientos posteriores. Ese paso fue esencial para obtener una comparación cartográfica válida permitiendo analizar de forma consistente la evolución morfológica y batimétrica del embalse.

El conjunto correspondiente a 1934 está compuesto por 11.604 registros de sondeo. La profundidad presenta una media de −13,79 m calculada, con una desviación estándar de 10,19 m tambien calculada. El rango observado comprende valores entre 0 y −40 m.

La media negativa refleja la predominancia de profundidades por debajo de la referencia vertical adoptada en los registros. La elevada dispersión de los datos se relaciona con la variedad morfológica del fondo, donde coexisten sectores relativamente soméros con sectores de mayor profundidad.

Desde el punto de vista cartográfico, esta distribución permite reconocer una superficie con mayor contraste de relieve, característica de una condición anterior a la acumulación de sedimentos que posteriormente modificaría la geometría del vaso.

5.2 Modelo batimétrico de 2006

El modelo batimétrico correspondiente al año 2006 constituye la principal referencia para evaluar las modificaciones experimentadas por el Embalse de Río Tercero desde su llenado. La superficie obtenida a partir de los sondeos procesados evidencia cambios significativos respecto de la condición original representada por el modelo de 1934.

Los resultados muestran una disminución general de las profundidades en gran parte del reservorio. De acuerdo con Boltovskoy et al. (2009), la profundidad media pasó de 13,9 m en 1934 a 10,1 m en 2006, mientras que el volumen almacenado presentó una reducción cercana al 30 % respecto de la condición inicial. Estas diferencias se reflejan claramente en la comparación entre ambos modelos batimétricos.

El análisis espacial permite identificar que las mayores variaciones se localizan en los sectores de ingreso de los principales tributarios, donde se observa una expansión de las áreas soméras y una reducción de las superficies asociadas a mayores profundidades. En contraste, los sectores próximos a la presa conservan parte de las profundidades originales, aunque también presentan evidencias de modificación respecto del estado inicial.

El conjunto correspondiente al año 2006 comprende 5.300 registros de sondeo, con una profundidad media de −9,15 m calculada y una desviación estándar de 7,35 m tambien calculada. Los valores registrados presentan un rango comprendido entre 0 m y −38,2 m.

En comparación con 1934, la media presenta una diferencia de aproximadamente 4,64 m calculados, mientras que la desviación estándar disminuye de 10,19 m a 7,35 m. Esto indica una distribución menos dispersa de los valores registrados y constituye un resultado compatible con la modificación del relieve del fondo observada entre ambos períodos.

La comparación cartográfica entre los modelos de 1934 y 2006 permite visualizar de manera directa la magnitud de los cambios ocurridos en el embalse durante más de siete décadas. En conjunto, los resultados obtenidos confirman una transformación progresiva de la morfología del fondo y una reducción de la capacidad de almacenamiento, aspectos que constituyen la base para el análisis de la evolución posterior y para la elaboración del modelo extrapolado correspondiente al año 2026.

5.3 Comparación morfométrica multitemporal

Drago y Depetris (1974) habían calculado una pérdida de 35 hm³ durante los primeros 38 años, lo que equivale a una sedimentación media de aproximadamente 0,92 hm³ por año para ese período. Al proyectar ese ritmo sobre los años siguientes, se observa que la tendencia no se detuvo, sino que continuó en forma acumulativa, aunque con redistribución espacial.

La comparación de los modelos permite afirmar que el embalse pasó de una situación de mayor profundidad y menor relleno a otra con fondos más soméros y más complejos de interpretar. Esto se refleja tanto en la reducción del volumen como en el incremento del área ocupada por sedimentos finos. El análisis estadístico de los puntos de sondeo confirma esta lectura.

La serie de 1934 presenta 11.604 registros, con media de -13,79 m y desvío estándar de 10,19, mientras que la serie de 2006 cuenta con 5.300 registros, media de -9,15 m y desvío estándar de 7,35. La diferencia entre ambas medias es de 4,64 m calculados, lo que expresa una modificación sustantiva del relieve representado.

5.4 Evolución volumétrica

Tomando como base los valores de volumen reportados en la bibliografía y en el material de trabajo, puede sostenerse que el embalse perdió capacidad de manera sostenida entre 1934 y 2006. Si se adopta como referencia un volumen original de 660 hm³ y un volumen de 480 hm³ en 2006, la pérdida acumulada asciende a 180 hm³.

Dividida por 72 años, esa pérdida arroja una tasa media de 2,5 hm³ por año. Sobre esa base, una extrapolación conservadora hasta 2026 permitiría estimar un volumen cercano a 430 hm³. Este valor no debe leerse como una medida exacta, sino como una proyección razonada de la tendencia histórica.

La diferencia entre ambos valores representa una disminución aproximada de 180 hm³ durante los 72 años considerados:

660 hm³ − 480 hm³ = 180 hm³.

Del mismo modo, si la profundidad media desciende de -13,9 m en 1934 a -10,1 m en 2006 de acuerdo con Boltovskoy et al. (2009), la reducción total es de 3,8 m. Distribuida en el intervalo temporal correspondiente, la tasa promedio equivale a algo más de cinco centímetros por año.

A partir de esta diferencia se calculó una tasa media de reducción volumétrica de aproximadamente 2,5 hm³/año, obtenida mediante:

180 hm³ / 72 años = 2,5 hm³/año.

Esta tasa constituye un promedio para el período 1934–2006 y no representa necesariamente una velocidad constante de sedimentación durante todos los años.

Para la estimación correspondiente a 2026 se consideró el período comprendido entre 2006 y 2026, equivalente a 20 años. Manteniendo como hipótesis de trabajo la continuidad de la tasa media obtenida para el período histórico, la reducción proyectada para estos 20 años resulta de aproximadamente 50 hm^3.

En consecuencia, partiendo del volumen de referencia de 480 hm^3 correspondiente a 2006, se obtuvo un volumen estimado de aproximadamente 430 hm^3 para 2026.

El valor obtenido debe interpretarse como una estimación y no como una medición batimétrica directa del año 2026. Su finalidad es proporcionar una aproximación cuantitativa a la evolución reciente del embalse y complementar la representación cartográfica elaborada para el período sin información batimétrica integral disponible.

5.5 Modelo batimétrico extrapolado al 2026

A partir de la comparación entre los modelos de 1934 y 2006 fue posible estimar la magnitud de la pérdida de volumen ocurrida durante ese período y calcular una tasa media anual de reducción de la capacidad del embalse. Tomando como referencia dicha tendencia, se proyectó su continuidad para el período 2006-2026, obteniéndose una estimación de la evolución más probable del reservorio en ausencia de nuevos relevamientos batimétricos integrales.

Los resultados de esta proyección indican una continuidad del proceso de colmatación observado en las décadas anteriores. El modelo extrapolado para 2026 muestra una disminución adicional de las áreas de mayor profundidad y una expansión de los sectores soméros, particularmente en las zonas de ingreso de los principales tributarios. Asimismo, se observa una reducción progresiva de la complejidad del relieve subacuático, con superficies más uniformes en comparación con las representadas en el modelo de 1934.

La comparación conjunta de los modelos de 1934, 2006 y 2026 permite visualizar una tendencia consistente de transformación morfológica del embalse. Mientras que el modelo inicial refleja un vaso con mayores profundidades y una capacidad de almacenamiento cercana a la condición original, el modelo de 2006 evidencia una pérdida significativa de volumen, y la proyección para 2026 sugiere que dicho proceso continuó durante las dos décadas posteriores.

Si bien el modelo 2026 constituye una estimación y no reemplaza un relevamiento batimétrico actualizado, los resultados obtenidos permiten disponer de una representación cartográfica coherente con la información histórica disponible y ofrecen una aproximación razonable al estado actual del embalse. En este sentido, el modelo sintetiza los principales cambios identificados durante más de noventa años de evolución y constituye el resultado integrador de la presente investigación.

El modelo batimétrico correspondiente al año 2026 constituye una estimación de la situación actual del embalse para el período posterior al último relevamiento batimétrico integral disponible.

Para su elaboración se tomó como punto de partida el modelo correspondiente a 2006 y la pérdida volumétrica media calculada para el período 1934–2006. La tasa media de reducción de aproximadamente 2,5 hm^3/año fue extendida al período 2006–2026, obteniéndose una pérdida estimada de aproximadamente 50 hm^3 y un volumen resultante de aproximadamente 430 hm^3.

La distribución espacial de esta estimación se representó mediante la superficie extrapolada, restringida al área correspondiente al vaso del embalse. El resultado constituye una reconstrucción de un modelo de carácter estimativo y deberá ser contrastado mediante un nuevo relevamiento batimétrico integral.

5.6 Síntesis Estadística

El análisis estadístico se realizó a partir de los registros de profundidad correspondientes a cada período. Para cada conjunto de datos se calcularon estadísticas descriptivas, incluyendo cantidad de observaciones, valor mínimo, valor máximo, media, desviación estándar y rango.

Estos indicadores permitieron caracterizar la distribución de las profundidades y establecer diferencias entre los relevamientos de 1934 y 2006. La comparación estadística fue complementada con la representación gráfica de las distribuciones y con la interpretación cartográfica de las superficies obtenidas.

Para 1934 se analizaron 11.604 registros, mientras que para 2006 se analizaron 5.300 registros. La diferencia en la cantidad de observaciones fue considerada al interpretar los resultados, sin que ello impidiera realizar la comparación espacial de ambos conjuntos.

Tabla 1. Resumen estadístico comparativo de los modelos batimétricos.

Años de aplicacion de valores	Número de puntos batimetricos disponible (n)	Mínimo	Máximo	Media	Desvío estándar
1934	11604	-40.00 m	0.00 m	-13.79 m	10.19
2006	5300	-38.20 m	-2.50 m	-3.29 m	6.39

Tabla 1. Evolución estimada del volumen del embalse según extrapolación lineal conservadora (1934-2006).

En esta tabla se resume las principales características estadísticas de los modelos batimétricos correspondientes a los años 1934 y 2006, permitiendo cuantificar las diferencias observadas entre ambas superficies. Los resultados muestran una disminución significativa de los valores medios de profundidad representados en cada modelo. Mientras que en 1934 la media alcanzaba los -13,79 m, en 2006 dicho valor se redujo a -9,15 m, registrándose una diferencia de 4,64 m entre ambos conjuntos de datos.

Asimismo, el modelo de 1934 presenta una mayor amplitud de valores, con profundidades que alcanzan los -40,00 m, mientras que en el modelo de 2006 el mínimo registrado es de -38,20 m. Esta diferencia se refleja también en el desvío estándar, que disminuye de 10,19 a 7,35, indicando una menor dispersión de los valores y una tendencia hacia una morfología más homogénea del fondo.

La comparación de ambos modelos permite identificar una reducción progresiva de los sectores más profundos y un predominio creciente de profundidades intermedias y someras. Este comportamiento es consistente con los cambios observados en la cartografía batimétrica y refuerza la interpretación de una transformación gradual de la geometría interna del embalse durante el período analizado.

Otro aspecto relevante es la cantidad de puntos utilizados en cada modelo. El conjunto de datos de 1934 cuenta con 11.604 registros, mientras que el de 2006 dispone de 5.300 registros. A pesar de esta diferencia en la densidad de información, ambos modelos muestran tendencias

coincidentes respecto de la evolución del relieve subacuático, permitiendo establecer comparaciones válidas sobre los cambios experimentados por el reservorio.

En conjunto, los indicadores estadísticos confirman los cambios observados en los modelos batimétricos de 1934 y 2006. Se demuestra así que el embalse experimentó una modificación significativa de su morfología interna, caracterizada por la disminución de las profundidades medias, una menor variabilidad del relieve y una reducción progresiva de los sectores más profundos del vaso.

Tabla 2. Síntesis por décadas de la cota media anual del embalse.

Década	Periodo de tiempo registrado (años)	Cota	Mínimo	Máximo
1940	10	650.46 m	647.99 m	652.93 m
1950	10	652.74 m	646.06 m	656.33 m
1960	10	652.33 m	646.38 m	656.71 m
1970	10	651.55 m	647.77 m	655.79 m
1980	10	654.63 m	653.82 m	655.48 m
1990	10	655.34 m	654.32 m	656.92 m
2000	10	655.59 m	654.78 m	657.13 m

Tabla 2. Evolución estimada de la profundidad media del embalse según la misma tendencia temporal.

Los valores muestran que el embalse mantuvo una notable estabilidad operativa durante gran parte del período analizado, con cotas medias generalmente comprendidas entre 651 y 656 m s.n.m (metros sobre el nivel medio del mar). Sin embargo, también se observan diferencias entre décadas que reflejan variaciones hidrológicas y condiciones particulares de almacenamiento.

Las décadas de 1980, 1990 y 2000 registran los valores medios más elevados, superando los 654 m s.n.m., mientras que las décadas de 1950, 1960 y 1970 presentan valores ligeramente inferiores. Esta tendencia sugiere una mayor disponibilidad hídrica y una operación del sistema orientada a mantener niveles más elevados durante los últimos años del período estudiado. Los valores máximos registrados en las décadas recientes superan los 656 m s.n.m., confirmando la capacidad del embalse para alcanzar niveles próximos a la cota de operación aun cuando el proceso de sedimentación continuaba desarrollándose.

Tabla 3. Cota media anual seleccionada en años representativos.

Año	Media anual	Mínimo anual	Máximo anual	Amplitud
1948	652.93 m	644.81 m	657.98 m	13.17 m
1958	655.03 m	651.35 m	657.94 m	6.59 m
1968	651.74 m	645.86 m	656.14 m	10.28 m
1978	655.35 m	652.06 m	659.99 m	7.93 m
1987	654.71 m	652.07 m	657.43 m	5.36 m
1998	656.16 m	652.85 m	657.73 m	4.88 m
2006	655.41 m	653.06 m	657.58 m	4.52 m
2007	655.56 m	652.93 m	657.70 m	4.77 m

Tabla 3. Analisis en rango de años para comprender y estimar un Modelo Batimétrico para 2026 como síntesis cartográfica del estudio.

Esta tabla reúne años representativos de distintas etapas de la evolución del embalse, permitiendo observar con mayor detalle la variabilidad interanual de los niveles registrados. Los resultados muestran que la amplitud anual presenta oscilaciones importantes, alcanzando valores superiores a los 13 m en 1948 y reduciéndose progresivamente en años posteriores.
La disminución de la amplitud anual observada en los registros más recientes indica una mayor estabilidad de los niveles de operación del embalse. Mientras que los primeros años presentan

diferencias significativas entre máximos y mínimos anuales, hacia finales del período analizado las fluctuaciones se reducen a valores cercanos a 5 m. Este comportamiento permite interpretar una regulación más uniforme del sistema y aporta contexto para comprender la evolución observada en los modelos batimétricos.

La lectura combinada de las tablas y los resultados obtenidos permiten identificar una evolución sostenida de la morfología y de las condiciones operativas del Embalse de Río Tercero a lo largo del período analizado. La comparación entre los modelos batimétricos de 1934 y 2006 evidencia una reducción de las profundidades medias, una disminución de la variabilidad del relieve y una tendencia general hacia la expansión de sectores soméros. Estas modificaciones son coherentes con los procesos de sedimentación documentados por Drago y Depetris (1974) y con las diferencias observadas en los modelos procesados para esta investigación.

Por otra parte, las series históricas de cotas muestran que, a pesar de los cambios producidos en la morfología interna del reservorio, el embalse mantuvo niveles operativos relativamente estables entre 1948 y 2007. Las variaciones observadas responden principalmente a fluctuaciones climáticas y condiciones hidrológicas interanuales, aunque los datos indican que la pérdida progresiva de capacidad no impidió mantener cotas de operación elevadas durante gran parte del período estudiado.

Considerados en conjunto, los resultados cartográficos, estadísticos e hidrométricos permiten afirmar que el Embalse de Río Tercero experimentó una transformación gradual pero persistente de su configuración interna. La disminución de las profundidades medias, la redistribución espacial de los sectores más profundos y la expansión de áreas con menor profundidad constituyen evidencias consistentes de un proceso de colmatación progresiva. Esta tendencia también se refleja en el modelo extrapolado para 2026, el cual sugiere la continuidad de los cambios observados durante el período histórico analizado.

Este conjunto de resultados representa uno de los principales aportes de la tesis, ya que permite visualizar, cuantificar e interpretar la evolución del embalse mediante una secuencia cartográfica y estadística integrada, proporcionando una base objetiva para futuras campañas batimétricas y para la gestión hidrográfica del sistema.

5.7 Elaboración de Modelo Batimétrico Extrapolado al 2026

MODELO BATIMÉTRICO REALIZADO CON PUNTOS Y MÉTODOS DE EXTRAPOLACIÓN Y PREDICCIÓN ESTIMADA A 2026

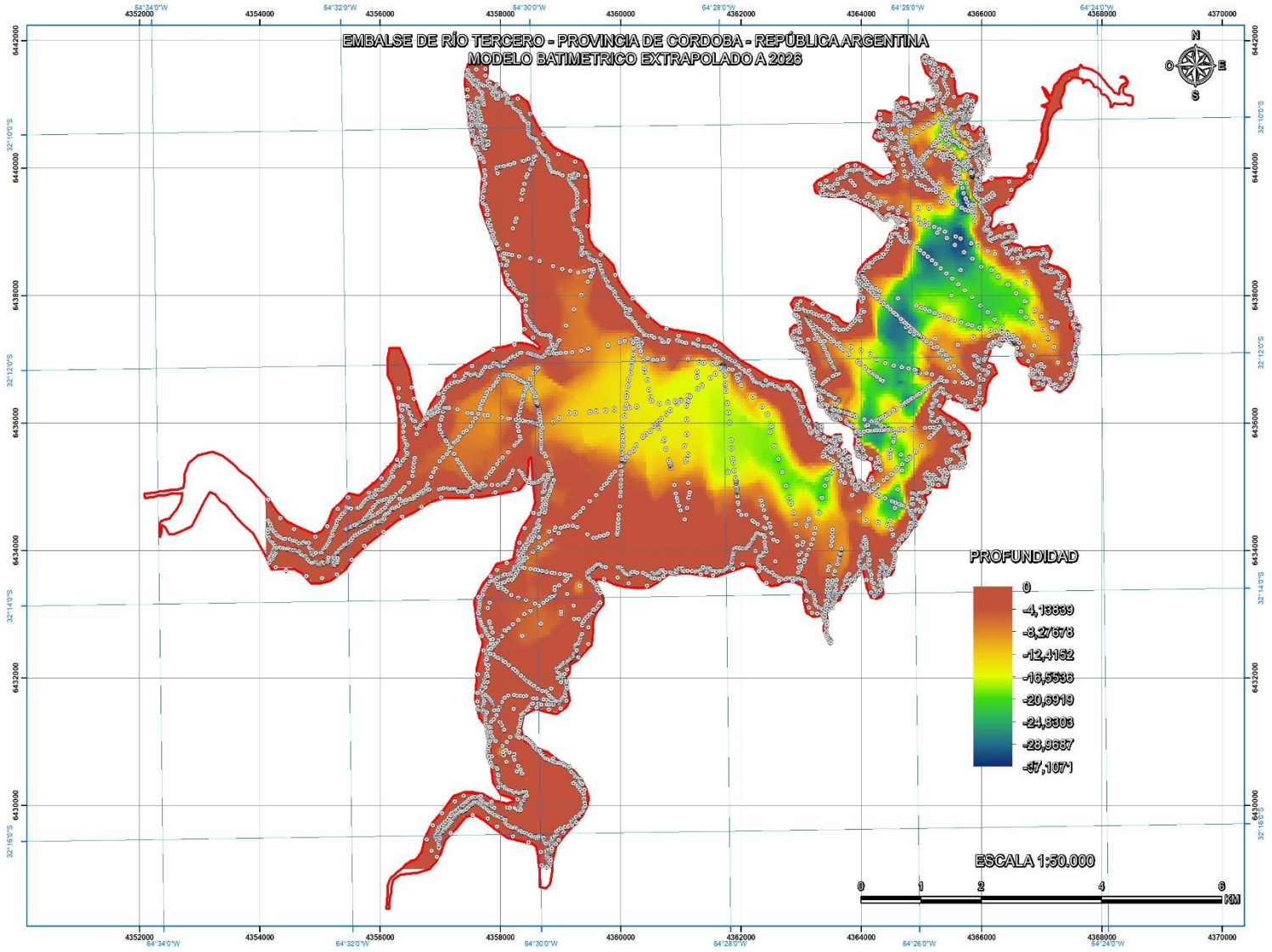


Figura nro 10: Modelo Batimétrico construido a partir de los modelos de 1934 y 2006

MODELO BATIMÉTRICO GEORREFERENCIADO, REALIZADO CON MÉTODOS DE EXTRAPOLACIÓN Y PREDICCIÓN ESTIMADA 2026

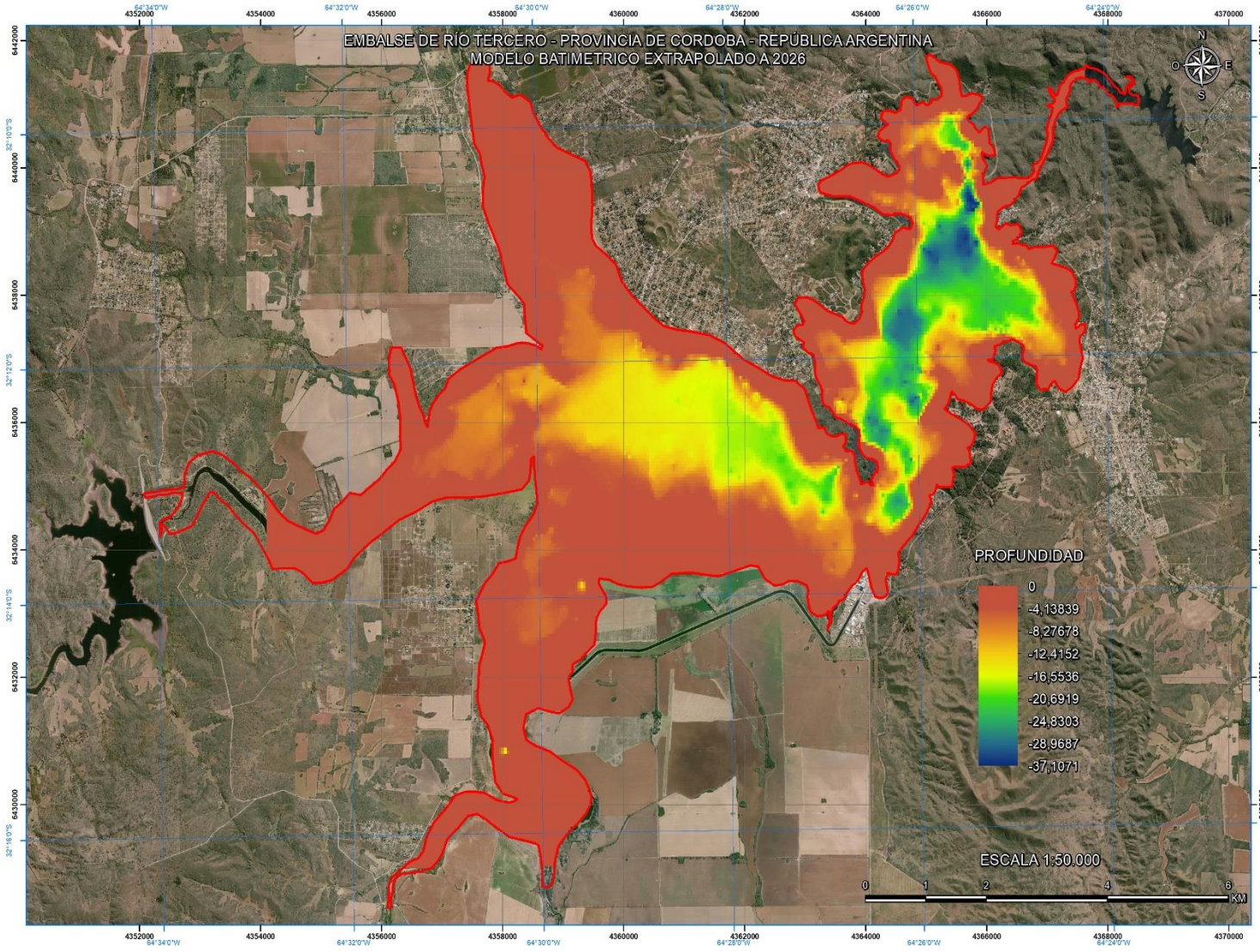


Figura nro 11: Modelo batimétrico de superficie constrido a partir de datos topográficos y batimétricos tomados en 1934 y 2006

El modelo representa una estimación cartográfica del estado actual del Embalse de Río Tercero, construida a partir de la comparación entre los modelos batimétricos correspondientes a 1934 y 2006. Ambos modelos fueron generados con información topográfica y de sondajes

suministrados por el Servicio de Hidrografía Naval y procesados mediante CARIS GIS. Sobre esa base se interpretó la evolución del fondo del embalse y se proyectó la tendencia de extrapolación hacia el año 2026.

El procedimiento partió de la identificación de la condición original del vaso en 1934 y de la condición batimétrica relevada en 2006. A partir de la diferencia entre ambos momentos se estimó la pérdida de capacidad del embalse y la tasa media de reducción ocurrida durante el período analizado. Luego, esa tendencia se extendió de manera conservadora al tramo 2006-2026, con el objetivo de representar el escenario más probable en ausencia de un levantamiento hidrográfico reciente. La superficie resultante fue ajustada de acuerdo con la forma general del embalse y con la localización de las zonas donde históricamente se observa mayor acumulación de sedimentos. Se obtuvo datos estimados de profundidad minima de 0 m, una profundidad máxima de -37,2 m y una media de 9.0 m.

El modelo pone en evidencia una reducción progresiva de las áreas más profundas y una expansión de sectores soméros, especialmente en las zonas asociadas a los tributarios. También se aprecia una simplificación del relieve subacuático respecto de la condición original, lo que es compatible con un proceso de colmatación sostenido en el tiempo. La coloración por bandas de profundidad permite reconocer con facilidad los sectores donde el fondo conserva mayores profundidades y aquellos donde la sedimentación ya modificó de manera importante la geometría interna del embalse.

Más que una reconstrucción exacta de campo, esta figura funciona como una síntesis técnica del comportamiento histórico del sistema. Su valor reside en que integra la información disponible de distintos momentos y la convierte en una representación espacial comparable. En el contexto de la tesis, el modelo 2026 constituye el resultado final más importante, porque resume la evolución del embalse a lo largo de más de nueve décadas y permite visualizar, de manera clara, la continuidad del proceso sedimentario. La imagen no solo ilustra el cambio: lo resume, lo ordena y lo convierte en un producto cartográfico útil para la lectura del estado actual del reservorio.

Capítulo VI. Analisis, Procesos y Resultados

6.1 Interpretación sedimentológica

Los resultados obtenidos son coherentes con la teoría general de sedimentación en embalses. La pérdida de energía del flujo al ingresar al reservorio favorece la decantación y el relleno progresivo del vaso. En Río Tercero, la dinámica observada a lo largo de varias décadas confirma que el embalse actúa como trampa de sedimentos y que la cuenca tributaria continúa alimentando ese proceso.

Drago y Depetris (1974) ya advertían que la velocidad de sedimentación era significativa. La continuidad detectada en esta tesis sugiere que la colmatación no solo persistió, sino que se reorganizó espacialmente. Esto es importante porque, aun cuando la pérdida de capacidad sea gradual, sus efectos se acumulan y terminan alterando la operatividad del sistema.

6.2 Problemas detectados

Los resultados obtenidos permiten identificar como principal problemática la pérdida progresiva de capacidad del Embalse de Río Tercero como consecuencia de los procesos de sedimentación desarrollados desde su puesta en funcionamiento. La comparación entre los modelos batimétricos de 1934 y 2006 evidencia una disminución de las profundidades medias y una reducción de los sectores más profundos del vaso, situación que se traduce en una menor capacidad efectiva de almacenamiento.

La distribución espacial de los cambios observados indica que los mayores niveles de acumulación sedimentaria se concentran en las áreas de ingreso de los principales tributarios y en sectores de menor circulación interna. En estas zonas se registra una expansión de las superficies soméras y una modificación progresiva de la morfología original del fondo. Aunque este comportamiento es habitual en los embalses artificiales, su continuidad en el tiempo puede afectar la eficiencia hidráulica del sistema y reducir su capacidad de regulación.

Otro aspecto relevante identificado durante el análisis es la transformación gradual del relieve subacuático. La comparación de los modelos muestra una tendencia hacia una menor variabilidad morfológica, con una reducción de los contrastes batimétricos que caracterizaban al valle original antes del llenado del embalse. Este proceso se manifiesta tanto en la

disminución de las profundidades máximas como en la reducción de la dispersión estadística de los valores registrados.

En conjunto, los resultados sugieren que el embalse continúa experimentando un proceso de evolución morfológica asociado a la acumulación progresiva de sedimentos. La magnitud de los cambios observados entre 1934 y 2006, así como las tendencias representadas en el modelo estimado para 2026, permiten considerar que la pérdida de capacidad y la modificación de la geometría interna constituyen las principales problemáticas detectadas en el área de estudio.

6.3 Posibles soluciones

En términos de gestión, la primera medida necesaria es el monitoreo batimétrico periódico. Sin mediciones nuevas, el sistema de información se vuelve rápidamente obsoleto. Una actualización periódica permitiría comprobar si la tendencia observada continúa o si existen cambios en el ritmo de sedimentación.

También resulta conveniente profundizar el análisis de la cuenca tributaria. Las medidas de conservación de suelos, manejo de escorrentía y control de erosión pueden disminuir el ingreso de sedimentos al embalse. En otras palabras, la solución no está solo dentro del vaso, sino también en el territorio que lo alimenta.

Desde el punto de vista cartográfico, la creación de una base SIG permanente ayudaría a centralizar modelos, cotas, imágenes y relevamientos futuros. Esto permitiría una gestión más integrada del reservorio y facilitaría comparaciones interanuales.

6.4 Implicancias ambientales y territoriales

La sedimentación no solo tiene consecuencias hidráulicas. También afecta la transparencia del agua, la distribución de hábitats, la accesibilidad a sectores recreativos y la lógica de uso del territorio. En sistemas de este tipo, la colmatación modifica tanto el paisaje visible como la estructura interna del ambiente.

En una región donde el embalse cumple funciones múltiples, la reducción de capacidad puede afectar usos energéticos y sociales. Por ello, la tesis no debe leerse únicamente como un ejercicio técnico, sino como un aporte para la lectura territorial de un recurso estratégico.

6.5 Limitaciones metodológicas

Toda investigación basada en interpolaciónes y extrapolaciones implica incertidumbres. La proyección de 2026 no equivale a una medición de campo y depende, en buena medida, de la calidad de los datos anteriores. Además, la comparación entre modelos puede verse afectada por diferencias de escala, densidad de puntos y definición de cotas.

Reconocer estas limitaciones no necesariamente debilita el trabajo; al contrario, lo fortalecen. La transparencia esencial para que el lector comprenda qué parte del resultado es observación directa, qué parten de las reconstrucciónes históricas y son proyecciónes cartográficas.

Tabla 4. Problemas detectados y posibles líneas de solución.

Problema	Posible solución
Pérdida de capacidad útil	Monitoreo batimétrico periódico y gestión de la cuenca
Sedimentación concentrada en tributarios	Control de erosión y estabilización de márgenes
Falta de información reciente	Relevamientos periódicos frecuentes
Heterogeneidad de las fuentes de información	Base SIG única y estandarizada

Esta tabla sintetiza los principales problemas identificados durante el análisis del Embalse de Río Tercero y presenta posibles líneas de acción orientadas a mejorar su gestión y conocimiento futuro. Los problemas señalados surgen directamente de la comparación de los modelos batimétricos, del análisis estadístico de los sondeos y de la evaluación de la información disponible para el período de estudio.

El primer problema identificado corresponde a la pérdida de capacidad útil del embalse. Los resultados obtenidos muestran una reducción progresiva de las profundidades medias y una modificación de la geometría interna del reservorio entre 1934 y 2006. Este proceso implica una disminución del volumen efectivo disponible para almacenamiento y regulación hídrica.

Frente a esta situación, una de las medidas más importantes consiste en implementar programas periódicos de sondeo batimétrico que permitan cuantificar la evolución del fenómeno y evaluar su impacto sobre la capacidad operativa del sistema. Asimismo, una adecuada gestión de la cuenca puede contribuir a reducir el ingreso de sedimentos y prolongar la vida útil del embalse.
El segundo problema corresponde a la sedimentación concentrada en los sectores tributarios. Los modelos batimétricos muestran que las mayores modificaciones del fondo se localizan en las áreas de ingreso de los principales cursos de agua, donde la pérdida de energía del flujo favorece la deposición de materiales. Esta situación genera una expansión progresiva de las áreas soméras y modifica la configuración original del relieve subacuático. Como posible medida de mitigación, resulta conveniente promover acciones de control de erosión en la cuenca de aporte, así como trabajos de estabilización de márgenes y conservación de suelos que reduzcan el transporte de sedimentos hacia el reservorio.
La falta de datos actuales constituye a otra limitación relevante identificada durante la investigación. Si bien los modelos de 1934 y 2006 permitieron desarrollar una comparación consistente y elaborar una estimación para 2026, la ausencia de relevamientos batimétricos posteriores al año 2006 dificulta la validación directa de las condiciones actuales del embalse. En consecuencia, la realización de nuevas campañas de sondeo batimetrico permitirían actualizar los modelos existentes, verificar las tendencias observadas y mejorar la precisión de futuras evaluaciones.
Por último, la información utilizada en esta investigación proviene de distintos períodos y metodos de adquisición. A pesar de que fue posible integrar exitosamente estos antecedentes mediante herramientas cartográficas y de Sistemas de Información Geográfica y Batimetricos, la existencia de una base de datos geoespacial unificada facilitaría considerablemente futuras investigaciones y permitiría optimizar los procesos de análisis y actualización de la información.
En conjunto, los problemas identificados muestran que la evolución del Embalse de Río Tercero no depende exclusivamente de los procesos naturales de sedimentación, sino también de la disponibilidad de información actualizada para su seguimiento y gestión. Los resultados obtenidos ponen de manifiesto la importancia de mantener programas de sondeos batimétricos actualizados que permitan evaluar la evolución morfológica del reservorio y generar información confiable para la toma de decisiones. En este sentido, la combinación de relevamientos batimétricos periódicos, herramientas SIG y análisis multitemporales constituye

una estrategia fundamental para comprender la dinámica del embalse y planificar acciones orientadas a preservar su capacidad de almacenamiento y su funcionamiento a largo plazo.

6.6 Síntesis de Resultados

Los resultados obtenidos permiten establecer una evolución cuantificable del Embalse de Río Tercero entre los dos momentos para los cuales se dispone de información batimétrica: 1934 y 2006.

La comparación de los registros muestra una diferencia importante en la profundidad media, que pasa de −13,79 m en 1934 a −9,15 m en 2006. Paralelamente, los antecedentes bibliográficos indican una reducción del volumen de aproximadamente 660 hm^3 a 480 hm^3 durante el mismo período (Boltovskoy et al., 2009).

La extrapolación de la tasa media de reducción permite estimar un volumen aproximado de 430 hm^3 para 2026. Este resultado constituye una aproximación y no una medición directa, pero permite representar cartográficamente una posible continuidad de la tendencia observada.

En conjunto, los resultados muestran que la sedimentación constituye un proceso capaz de modificar progresivamente la capacidad y la configuración interna del reservorio. La cartografía multitemporal permite visualizar espacialmente este proceso y, al mismo tiempo, establecer sectores prioritarios para futuras campañas de relevamiento.

Capítulo VII. Conclusiones

7.1 Conclusiones

La tesis permitió reconstruir y analizar la evolución morfométrica y volumétrica del Embalse de Río Tercero desde 1934 hasta 2026 mediante la integración de cartografía histórica, batimetría comparada, modelos derivados con CARIS GIS y técnicas de interpolación y extrapolación espacial.

La hipótesis de trabajo consiste en la acumulación progresiva de sedimentos que producen modificaciones sustanciales en la morfología subacuática del embalse y una reducción sostenida de su capacidad de almacenamiento fue confirmada. Esa tendencia se expresa tanto en la reducción volumétrica como en la simplificación del relieve del fondo.

El aporte principal de la investigación es cartográfico. La tesis muestra que la cartografía aplicada, cuando se combina con SIG y estadística, no solo describe el espacio, sino que también permite modelar procesos históricos y proyectar tendencias futuras. El modelo 2026 constituye la síntesis visual y analítica de esa lógica.

Desde el punto de vista metodológico, se demostró que la integración de fuentes heterogéneas puede producir resultados sólidos cuando existe una estrategia clara de homogeneización espacial y temporal. La combinación de batimetría histórica, imágenes y modelos raster permitió construir una narrativa coherente y defendible.

En términos prácticos, se recomienda continuar con relevamientos batimétricos periódicos, mantener actualizada la base SIG del embalse y desarrollar estudios complementarios sobre la cuenca tributaria. La gestión del sedimento debe abordarse como un problema del sistema completo y no solo del vaso del embalse.

Finalmente, esta tesis ofrece una base de trabajo para futuras actualizaciones. El embalse sigue siendo un objeto de estudio relevante, y su lectura cartográfica puede seguir aportando información clave para la planificación territorial y la gestión del agua.

7.2 Recomendaciones finales

• Realizar una nueva batimetría integral con posicionamiento geodésico moderno.
• Actualizar periódicamente la base geográfica del embalse en un SIG institucional.

• Monitorear la sedimentación en los tributarios principales y en la boca del embalse.

• Desarrollar estudios de uso del suelo en la cuenca para explicar la carga sólida.

• Validar el modelo 2026 mediante futuras campañas de campo.

Bibliografía

Boltovskoy, D., Karatayev, A. Y., Burlakova, L. E., Cataldo, D. H., Karatayev, V. A., Sylvester, F., & Mariñelarena, A. J. (2009). Significant ecosystem-wide effects of the swiftly spreading invasive freshwater bivalve Limnoperna fortunei. Hydrobiologia, 636(1), 271–284. (Fuente consultada en junio año 2020). https://doi.org/10.1007/s10750-009-9956-9

Boschi, E. E., & Fuster de Plaza, M. L. (1959). Estudio biológico pesquero del pejerrey del embalse del Río III (Basilichthys bonariensis), con una contribución al conocimiento limnológico del ambiente. Ministerio de Agricultura y Ganadería de la Nación. (Fuente consultada en junio año 2020)

Drago, E. C., & Depetris, P. J. (1974). Erosión en la cuenca imbrífera y sedimentación en el embalse de Río Tercero (Córdoba, Argentina). Revista de la Asociación Geológica Argentina, 29(4), 470–478. (Fuente consultada en junio año 2020)

Environmental Systems Research Institute (ESRI). (2007). GIS and territorial decision support. ESRI Press. (Fuente consultada en junio año 2020)

Hutchinson, G. E. (1957). A treatise on limnology (Vol. 1). John Wiley & Sons. pp. 1–1015.

Manly, B. F. J. (1992). The design and analysis of research studies. Cambridge University Press. pp. 1–432. (Fuente consultada en junio año 2020)

Pix4D. (2021). Pix4Dmapper user guide and photogrammetry workflow. Pix4D SA. (Fuente consultada en junio año 2020). https://support.pix4d.com

Rawson, D. S. (1955). Morphometry as a dominant factor in the productivity of large lakes. Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie, 12, 164–175. (Fuente consultada en junio año 2020)

Santamaría Peña, J., Rodríguez Pérez, J. R., Sanz Santos, M. A., & colaboradores. (2011). Fundamentos de cartografía y fotogrametría. Universidad de León. pp. 1–420. (Fuente consultada en junio año 2020)

Strayer, D. L. (1999). Effects of alien species on freshwater ecosystems. Freshwater Biology, 41(4), 701–712. (Fuente consultada en junio año 2020). https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.1999.00429.x

Tomlinson, R. F. (2005). Thinking about GIS: Geographic information system planning for managers (3rd ed.). ESRI Press. pp. 1–325. (Fuente consultada en junio año 2020)

Anexos

Anexo I. Serie anual de cota media del embalse (1948–2007)

Tabla A1. Serie anual completa de niveles medios del embalse.

Año	Media anual	Mínimo anual	Máximo anual	Amplitud
1948	652.93 m	644.81 m	657.98 m	13.17 m
1949	647.99 m	645.60 m	651.10 m	5.50 m
1950	648.14 m	644.42 m	651.38 m	6.96 m
1951	646.06 m	642.93 m	648.42 m	5.49 m
1952	652.29 m	649.18 m	656.16 m	6.98 m
1953	654.79 m	649.48 m	657.74 m	8.26 m
1954	652.84 m	647.96 m	655.45 m	7.49 m
1955	653.14 m	647.55 m	657.38 m	9.83 m
1956	656.33 m	652.19 m	658.00 m	5.81 m
1957	653.95 m	647.53 m	657.80 m	10.27 m
1958	655.03 m	651.35 m	657.94 m	6.59 m
1959	654.85 m	651.32 m	657.32 m	6.00 m
1960	653.72 m	648.25 m	656.83 m	8.58 m
1961	656.71 m	654.01 m	658.35 m	4.34 m
1962	654.56 m	648.52 m	658.09 m	9.57 m
1963	649.41 m	643.14 m	653.74 m	10.60 m
1964	655.30 m	651.71 m	658.05 m	6.34 m
1965	650.03 m	642.90 m	657.73 m	14.83 m
1966	653.58 m	650.46 m	656.82 m	6.36 m
1967	651.90 m	648.50 m	654.22 m	5.72 m
1968	651.74 m	645.86 m	656.14 m	10.28 m
1969	646.38 m	642.44 m	648.74 m	6.30 m
1970	651.05 m	646.39 m	654.73 m	8.34 m
1971	649.62 m	641.77 m	654.20 m	12.43 m
1972	649.74 m	642.99 m	656.27 m	13.28 m
1973	653.28 m	646.02 m	657.74 m	11.72 m
1974	647.77 m	643.70 m	651.63 m	7.93 m
1975	651.24 m	644.84 m	655.83 m	10.99 m
1976	648.88 m	643.59 m	656.14 m	12.55 m
1977	652.75 m	645.51 m	657.61 m	12.10 m
1978	655.35 m	652.06 m	659.99 m	7.93 m
1979	655.79 m	652.15 m	657.86 m	5.71 m

1980	654.76 m	649.37 m	658.85 m	9.48 m
1981	654.28 m	648.90 m	658.09 m	9.19 m
1982	654.17 m	651.07 m	656.22 m	5.15 m
1983	654.89 m	653.50 m	657.74 m	4.24 m
1984	655.48 m	651.50 m	658.63 m	7.13 m
1985	655.23 m	652.91 m	657.86 m	4.95 m
1986	654.38 m	652.18 m	656.98 m	4.80 m
1987	654.71 m	652.07 m	657.43 m	5.36 m
1989	653.82 m	652.29 m	655.52 m	3.23 m
1990	655.47 m	653.03 m	657.70 m	4.67 m
1992	655.64 m	652.16 m	657.96 m	5.80 m
1993	655.05 m	652.65 m	657.72 m	5.07 m
1994	655.06 m	652.05 m	657.96 m	5.91 m
1995	654.32 m	652.04 m	656.70 m	4.66 m
1996	654.76 m	651.64 m	657.67 m	6.03 m
1997	654.66 m	652.34 m	656.93 m	4.59 m
1998	656.16 m	652.85 m	657.73 m	4.88 m
1999	656.92 m	654.59 m	657.96 m	3.37 m
2001	657.13 m	655.52 m	657.79 m	2.27 m
2002	655.84 m	652.40 m	657.85 m	5.45 m
2003	654.81 m	652.95 m	656.09 m	3.14 m
2004	654.78 m	652.61 m	657.32 m	4.71 m
2005	655.57 m	653.03 m	657.60 m	4.57 m
2006	655.41 m	653.06 m	657.58 m	4.52 m
2007	655.56 m	652.93 m	657.70 m	4.77 m

La tabla reproduce la serie anual completa de la cota media calculada a partir de información disponible. Su lectura complementa los gráficos del cuerpo principal y permite observar tendencias interanuales con mayor detalle.

Anexo II. Serie mensual completa de niveles medios del embalse (1948–2007)

Tabla A2. Serie mensual completa de niveles medios.

Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	Promedio annual (m)
1948	656.92	657.62	657.69	657.11	657.98	655.20	653.62	651.83	649.67	647.42	645.24	644.81	652.93
1949	647.18	646.05	645.60	647.46	648.41	647.89	647.42	646.72	646.40	650.59	651.10	651.01	647.99
1950	651.00	650.81	651.38	650.50	649.67	648.61	647.32	645.73	644.42	644.87	647.04	646.34	648.14
1951	647.74	648.39	648.42	647.69	646.93	646.09	645.22	644.37	643.78	642.93	643.66	647.49	646.06
1952	651.80	654.32	654.03	653.68	652.89	652.09	651.46	650.30	649.18	649.54	652.06	656.16	652.29
1953	657.74	657.58	657.69	657.37	656.08	655.77	654.96	653.64	652.13	650.78	649.48	654.25	654.79
1954	655.42	654.98	654.70	655.16	655.45	654.50	653.52	652.49	651.42	649.90	648.53	647.96	652.84
1955	647.55	651.82	654.50	654.66	654.61	654.15	653.24	652.17	651.00	650.87	655.70	657.38	653.14
1956	657.45	657.60	657.33	656.91	656.44	655.94	655.15	653.89	652.19	657.23	658.00	657.78	656.33
1957	657.70	657.13	657.80	657.37	657.02	656.17	654.79	653.03	650.96	648.59	647.53	649.35	653.95
1958	654.98	657.12	657.60	657.79	657.94	656.61	655.75	654.46	653.25	652.12	651.37	651.35	655.03
1959	651.32	654.73	656.21	657.32	657.26	656.94	655.82	655.04	653.87	652.50	651.97	655.20	654.85
1960	656.30	656.01	656.83	656.58	655.82	654.49	653.14	651.51	649.29	648.25	652.55	653.91	653.72
1961	657.39	657.81	657.75	657.60	657.33	657.27	656.43	655.39	654.28	654.01	656.92	658.35	656.71
1962	658.09	657.95	657.73	657.56	657.09	656.37	655.33	654.04	652.45	650.42	649.20	648.52	654.56
1963	651.07	652.84	653.58	653.74	653.16	651.78	650.12	647.69	644.44	643.14	643.95	647.35	649.41
1964	653.18	654.05	655.90	656.41	656.18	655.63	654.76	653.10	651.71	656.77	657.80	658.05	655.30
1965	657.73	657.31	656.20	655.21	652.46	650.66	648.42	646.14	643.96	642.90	643.32	646.00	650.03
1966	652.05	654.13	654.35	656.82	656.40	655.63	654.59	653.53	651.95	650.46	651.47	651.57	653.58
1967	651.90	652.48	653.43	654.22	653.17	651.66	650.66	648.90	648.50	650.50	653.71	653.65	651.90
1968	653.96	654.70	655.82	656.14	655.15	654.14	652.62	650.95	648.80	646.60	645.86	646.10	651.74
1969	647.71	647.92	648.74	648.55	648.22	647.75	646.91	645.38	643.43	642.80	642.44	646.70	646.38
1970	651.66	653.25	654.73	654.18	653.52	652.52	651.68	650.63	649.10	647.87	647.04	646.39	651.05
1971	651.34	652.44	653.91	654.20	653.63	652.12	650.92	649.03	647.25	645.64	643.18	641.77	649.62
1972	642.99	646.79	649.39	650.39	650.60	650.20	650.10	649.37	649.51	649.21	652.06	656.27	649.74
1973	656.72	656.31	657.74	657.71	656.87	655.82	654.32	652.49	650.40	647.87	646.02	647.05	653.28
1974	646.80	649.75	651.63	651.32	650.34	649.44	648.06	645.78	643.70	645.14	643.85	647.42	647.77
1975	650.16	651.89	655.83	655.40	654.28	653.09	651.94	651.40	650.56	648.24	647.20	644.84	651.24
1976	643.59	648.26	649.10	649.13	649.00	648.51	647.94	647.36	646.85	648.29	652.38	656.14	648.88
1977	657.26	657.61	656.97	656.97	655.68	654.10	652.28	650.34	647.86	647.38	645.51	651.05	652.75

1978	657.21	658.18	657.83	657.55	659.99	655.61	654.02	652.06	652.73	652.50	652.11	654.39	655.35
1979	657.86	657.83	657.44	657.53	656.78	655.98	655.84	654.76	653.49	652.15	652.78	656.99	655.79
1980	658.85	657.76	657.94	657.66	656.97	655.75	654.20	653.93	651.24	649.56	649.37	653.88	654.76
1981	658.09	657.51	657.65	657.63	657.03	655.90	654.41	652.63	650.73	648.94	648.90	651.89	654.28
1982	651.88	652.91	655.87	655.92	656.22	655.92	655.41	654.70	654.17	654.41	651.51	651.07	654.17
1983	655.31	657.74	657.07	656.06	655.22	654.65	654.05	653.78	653.74	653.50	653.57	654.01	654.89
1984	657.49	657.93	658.63	657.42	656.50	655.56	654.60	653.49	652.91	651.50	651.87	657.80	655.48
1985	657.86	657.49	657.47	656.02	655.27	654.81	654.91	654.23	653.62	652.91	653.26	654.96	655.23
1986	656.98	656.88	655.97	655.26	654.50	654.09	653.75	653.27	653.62	653.19	652.18	652.82	654.38
1987	655.58	656.89	657.43	656.00	656.69	656.92	654.65	653.54	652.63	652.10	652.07	652.07	654.71
1989	653.54	653.86	653.94	655.52	654.98	655.33	654.00	653.00	652.60	652.29	652.29	654.46	653.82
1990	655.79	657.45	657.70	657.37	656.50	656.12	655.64	654.34	653.42	653.03	653.50	654.77	655.47
1992	657.64	657.49	657.65	657.36	657.10	656.37	655.06	653.55	652.64	652.16	652.69	657.96	655.64
1993	657.69	656.45	656.52	656.12	654.77	653.15	652.65	652.68	653.25	652.83	656.71	657.72	655.05
1994	657.96	657.61	657.74	657.20	655.88	654.35	653.00	653.26	652.05	653.77	654.23	653.69	655.06
1995	656.70	656.29	655.80	654.54	654.48	653.86	653.07	652.15	652.04	652.07	655.29	655.54	654.32
1996	656.31	657.67	657.47	657.42	656.64	655.49	654.63	653.18	652.16	651.65	651.64	652.85	654.76
1997	655.45	655.53	656.62	656.93	655.65	655.11	654.11	653.31	652.66	652.34	652.62	655.62	654.66
1998	657.65	657.64	657.73	657.27	657.57	657.39	656.77	655.61	654.23	652.85	653.33	655.84	656.16
1999	657.65	657.16	657.96	657.83	657.42	657.00	656.45	655.93	655.30	654.59	657.80	657.91	656.92
2001	657.76	657.38	657.79	657.56	657.48	657.09	656.40	655.52	655.75	657.69	657.58	657.51	657.13
2002	657.56	657.71	657.80	657.85	657.37	656.80	655.76	655.15	654.20	653.24	652.40	654.23	655.84
2003	654.89	655.49	655.60	656.06	656.09	655.61	654.97	655.32	654.30	653.47	653.02	652.95	654.81
2004	652.61	653.27	654.23	656.02	657.13	657.32	656.36	655.27	654.04	653.48	653.42	654.21	654.78
2005	657.28	657.35	657.60	657.31	656.90	656.22	655.50	654.56	653.52	653.03	653.40	654.21	655.57
2006	654.63	656.95	657.58	657.39	657.38	656.61	655.60	654.56	653.52	653.06	653.40	654.21	655.41
2007	654.17	657.70	657.65	657.48	657.19	657.05	656.17	655.45	654.47	653.40	653.01	652.93	655.56

Esta serie es especialmente útil para reproducir la estacionalidad del embalse y respaldar los gráficos de variación promedio mensual incluidos en la tesis.

Anexo III. Serie comentada de cota media anual

Año	Media annual (m)	Mínima (m)	Máxima (m)	Amplitud (m)	Interpretación
1948	652,93	644,81	657,98	13,17	Etapa inicial con gran variabilidad operativa
1949	647,99	645,60	651,10	5,50	Etapa inicial con gran variabilidad operativa
1950	648,14	644,42	651,38	6,96	Etapa inicial con gran variabilidad operativa
1951	646,06	642,93	648,42	5,49	Etapa inicial con gran variabilidad operativa
1952	652,29	649,18	656,16	6,98	Etapa inicial con gran variabilidad operativa
1953	654,79	649,48	657,74	8,26	Etapa inicial con gran variabilidad operativa
1954	652,84	647,96	655,45	7,49	Etapa inicial con gran variabilidad operativa
1955	653,14	647,55	657,38	9,83	Sistema en consolidación
1956	656,33	652,19	658,00	5,81	Sistema en consolidación
1957	653,95	647,53	657,80	10,27	Sistema en consolidación
1958	655,03	651,35	657,94	6,59	Sistema en consolidación
1959	654,85	651,32	657,32	6,00	Sistema en consolidación
1960	653,72	648,25	656,83	8,58	Sistema en consolidación
1961	656,71	654,01	658,35	4,34	Sistema en consolidación
1962	654,56	648,52	658,09	9,57	Sistema en consolidación
1963	649,41	643,14	653,74	10,60	Sistema en consolidación
1964	655,30	651,71	658,05	6,34	Sistema en consolidación
1965	650,03	642,90	657,73	14,83	Sistema en consolidación
1966	653,58	650,46	656,82	6,36	Sistema en consolidación
1967	651,90	648,50	654,22	5,72	Sistema en consolidación
1968	651,74	645,86	656,14	10,28	Sistema en consolidación
1969	646,38	642,44	648,74	6,30	Sistema en consolidación
1970	651,05	646,39	654,73	8,34	Estabilidad relativa
1971	649,62	641,77	654,20	12,43	Estabilidad relativa
1972	649,74	642,99	656,27	13,28	Estabilidad relativa
1973	653,28	646,02	657,74	11,72	Estabilidad relativa
1974	647,77	643,70	651,63	7,93	Estabilidad relativa
1975	651,24	644,84	655,83	10,99	Estabilidad relativa
1976	648,88	643,59	656,14	12,55	Estabilidad relativa
1977	652,75	645,51	657,61	12,10	Estabilidad relativa
1978	655,35	652,06	659,99	7,93	Estabilidad relativa
1979	655,79	652,15	657,86	5,71	Estabilidad relativa
1980	654,76	649,37	658,85	9,48	Estabilidad relativa
1981	654,28	648,90	658,09	9,19	Estabilidad relativa
1982	654,17	651,07	656,22	5,15	Estabilidad relativa
1983	654,89	653,50	657,74	4,24	Estabilidad relativa
1984	655,48	651,50	658,63	7,13	Estabilidad relativa
1985	655,23	652,91	657,86	4,95	Transición a niveles más altos
1986	654,38	652,18	656,98	4,80	Transición a niveles más altos
1987	654,71	652,07	657,43	5,36	Transición a niveles más altos

1989	653,82	652,29	655,52	3,23	Transición a niveles más altos
1990	655,47	653,03	657,70	4,67	Transición a niveles más altos
1992	655,64	652,16	657,96	5,80	Transición a niveles más altos
1993	655,05	652,65	657,72	5,07	Transición a niveles más altos
1994	655,06	652,05	657,96	5,91	Transición a niveles más altos
1995	654,32	652,04	656,70	4,66	Transición a niveles más altos
1996	654,76	651,64	657,67	6,03	Transición a niveles más altos
1997	654,66	652,34	656,93	4,59	Transición a niveles más altos
1998	656,16	652,85	657,73	4,88	Transición a niveles más altos
1999	656,92	654,59	657,96	3,37	Transición a niveles más altos
2001	657,13	655,52	657,79	2,27	Oscilación reducida y niveles elevados
2002	655,84	652,40	657,85	5,45	Oscilación reducida y niveles elevados
2003	654,81	652,95	656,09	3,14	Oscilación reducida y niveles elevados
2004	654,78	652,61	657,32	4,71	Oscilación reducida y niveles elevados
2005	655,57	653,03	657,60	4,57	Oscilación reducida y niveles elevados
2006	655,41	653,06	657,58	4,52	Oscilación reducida y niveles elevados
2007	655,56	652,93	657,70	4,77	Oscilación reducida y niveles elevados

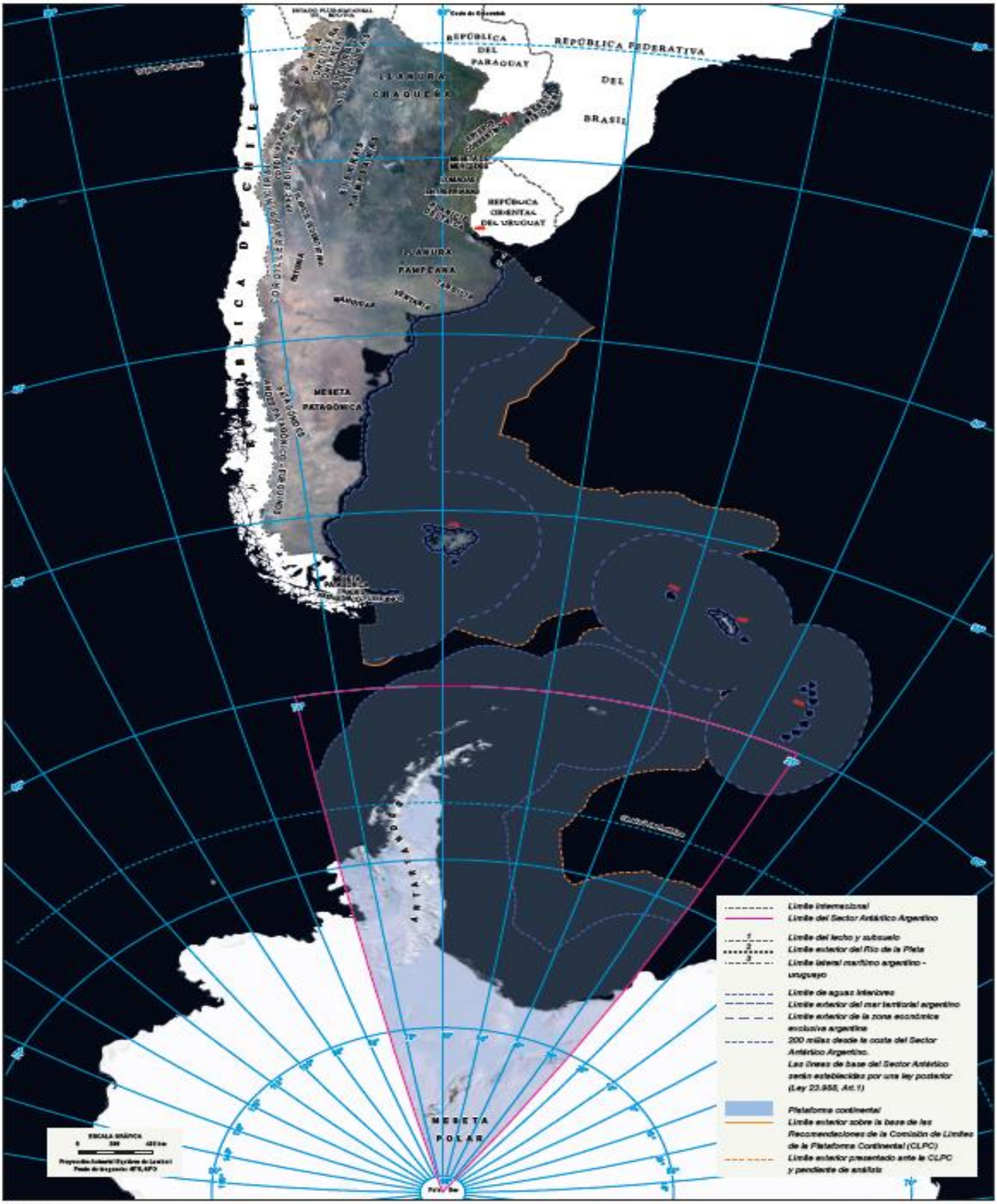
La serie histórica de cotas medias anuales del Embalse de Río Tercero (1948-2007) representa la evolución de los niveles de agua del reservorio durante casi seis décadas. A través de los valores medios, mínimos y máximos registrados cada año, es posible identificar períodos de mayor variabilidad y etapas de mayor estabilidad operativa, aportando un marco de referencia fundamental para interpretar los cambios morfológicos y batimétricos observados en el embalse a lo largo del tiempo.

Anexo IV. Síntesis de la proyección 2026

SÍNTESIS DE LA PROYECCIÓN 2026	
Volumen inicial de referencia (1934)	660 hm^3
Volumen de referencia en 2006	480 hm^3
Pérdida media anual estimada	2.50 hm^3/año
Volumen estimado 2026	430.0 hm^3
Profundidad media 1934	13.9 m
Profundidad media 2006	10.1 m
Profundidad media estimada 2026	9.0 m

El modelo 2026 debe interpretarse como un producto de cierre técnico basado en interpolación y extrarpolación metódica y no como batimetría medida.

Anexo V. Mapa Bicontinental de la República Argentina (IGN)

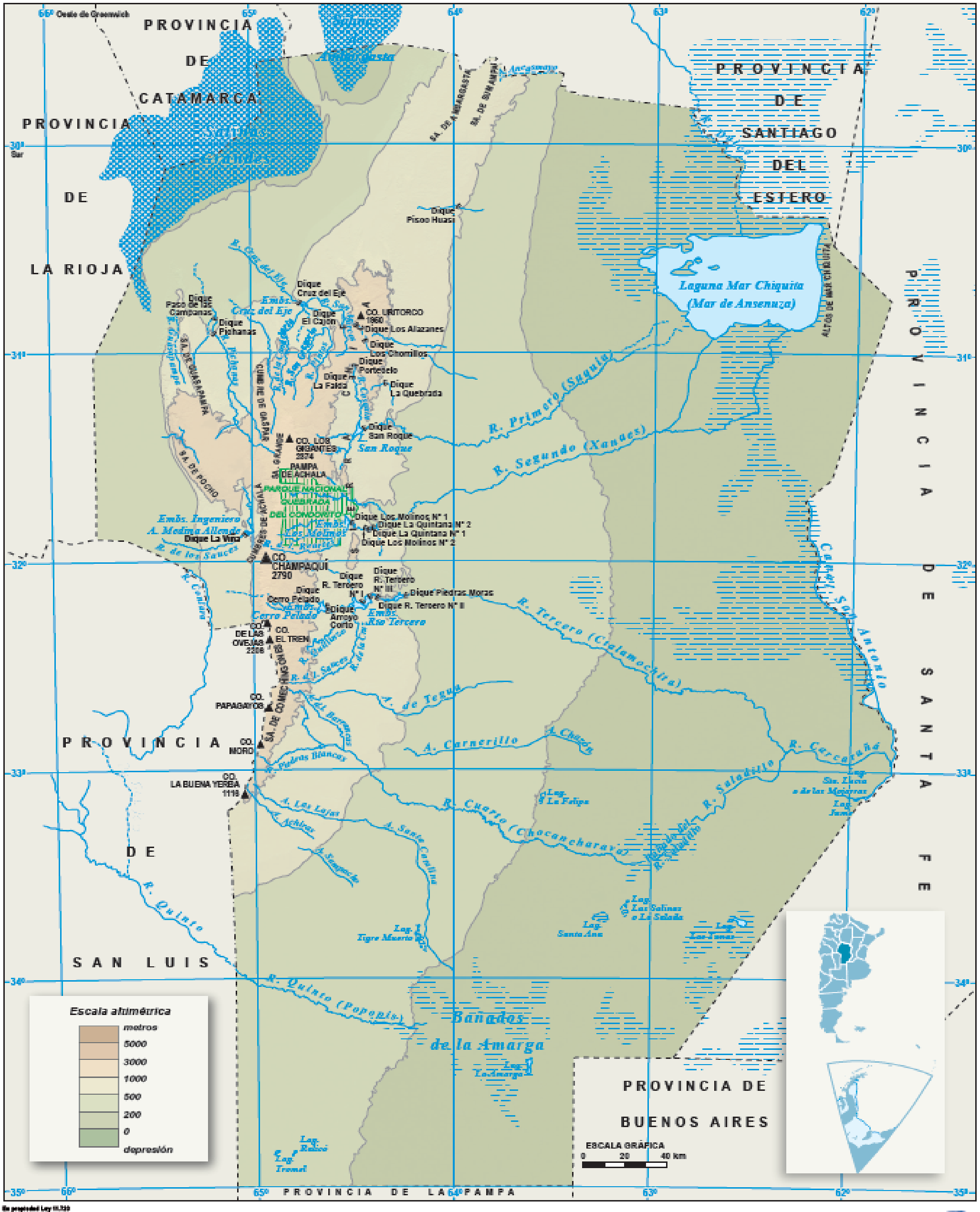


MAPA BICONTINENTAL DE LA REPÚBLICA ARGENTINA
Mapa Satelital

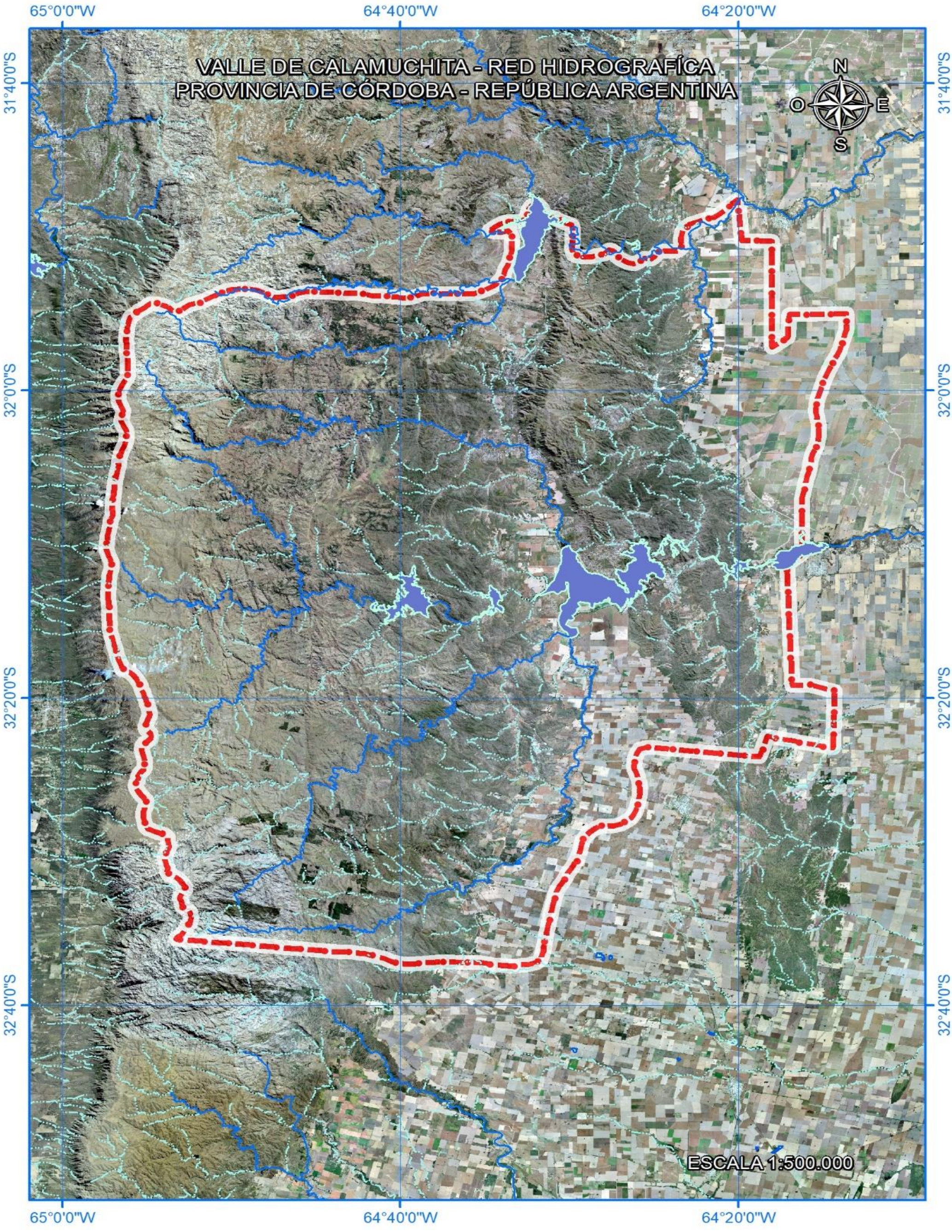
Anexo VI. Mapa Imagen de la Provincia de Córdoba



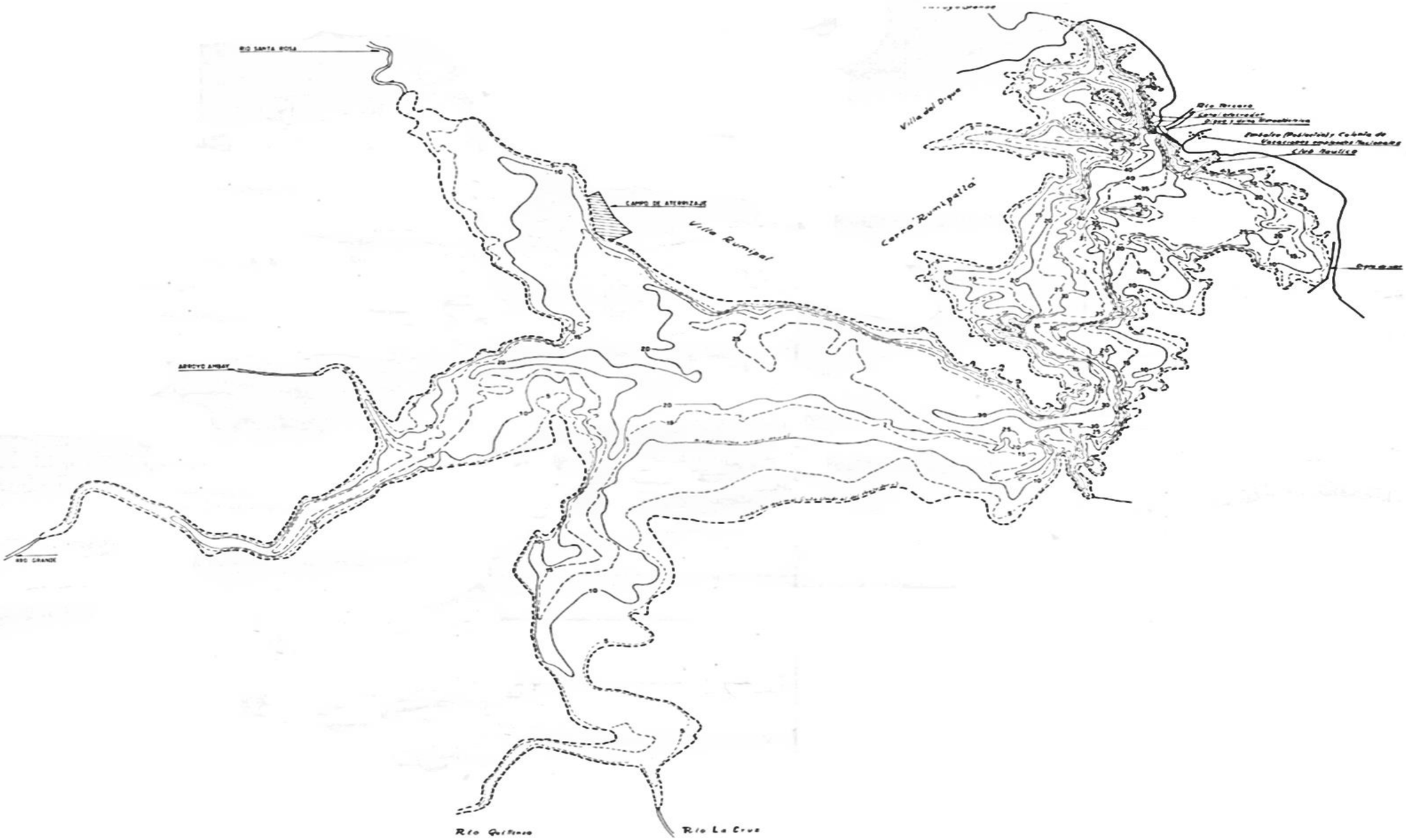
Anexo VII. Mapa Fisico de la Provincia de Córdoba con red Hidrica



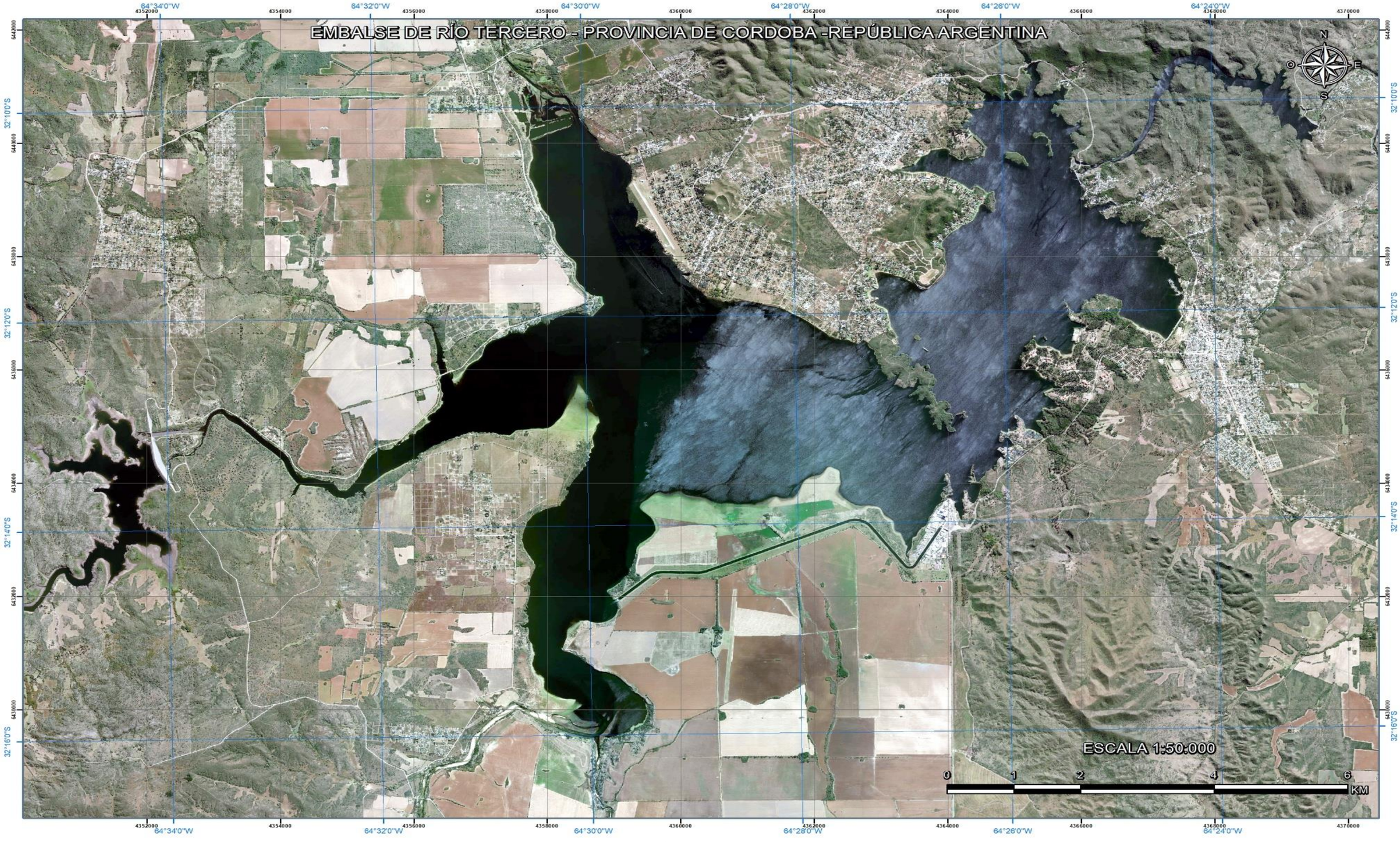
Anexo VIII. Cartografía del Valle de Calamuchita con su Red Hidrica



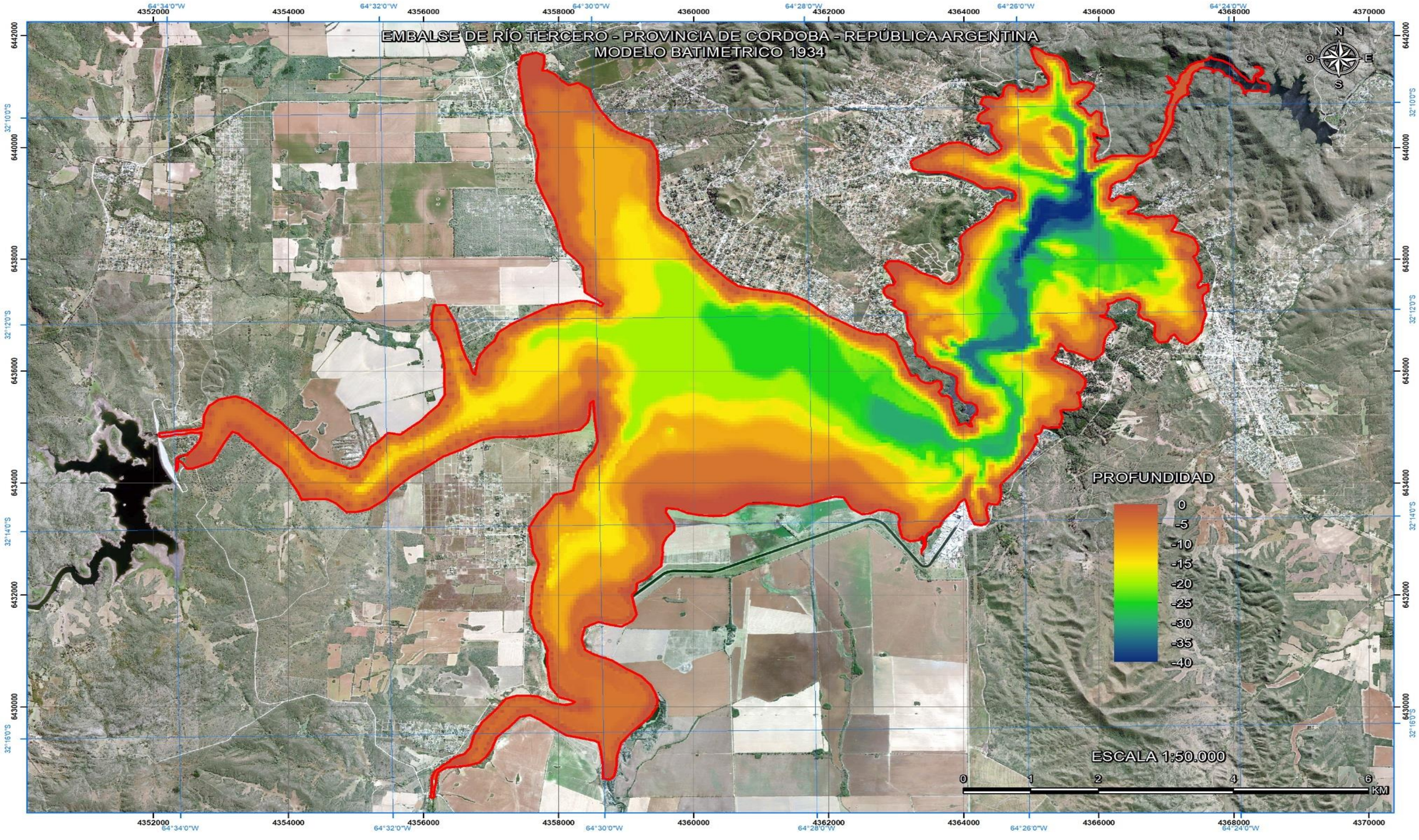
Anexo IX. Plano Topográfico del Embalse de Río Tercero año 1934



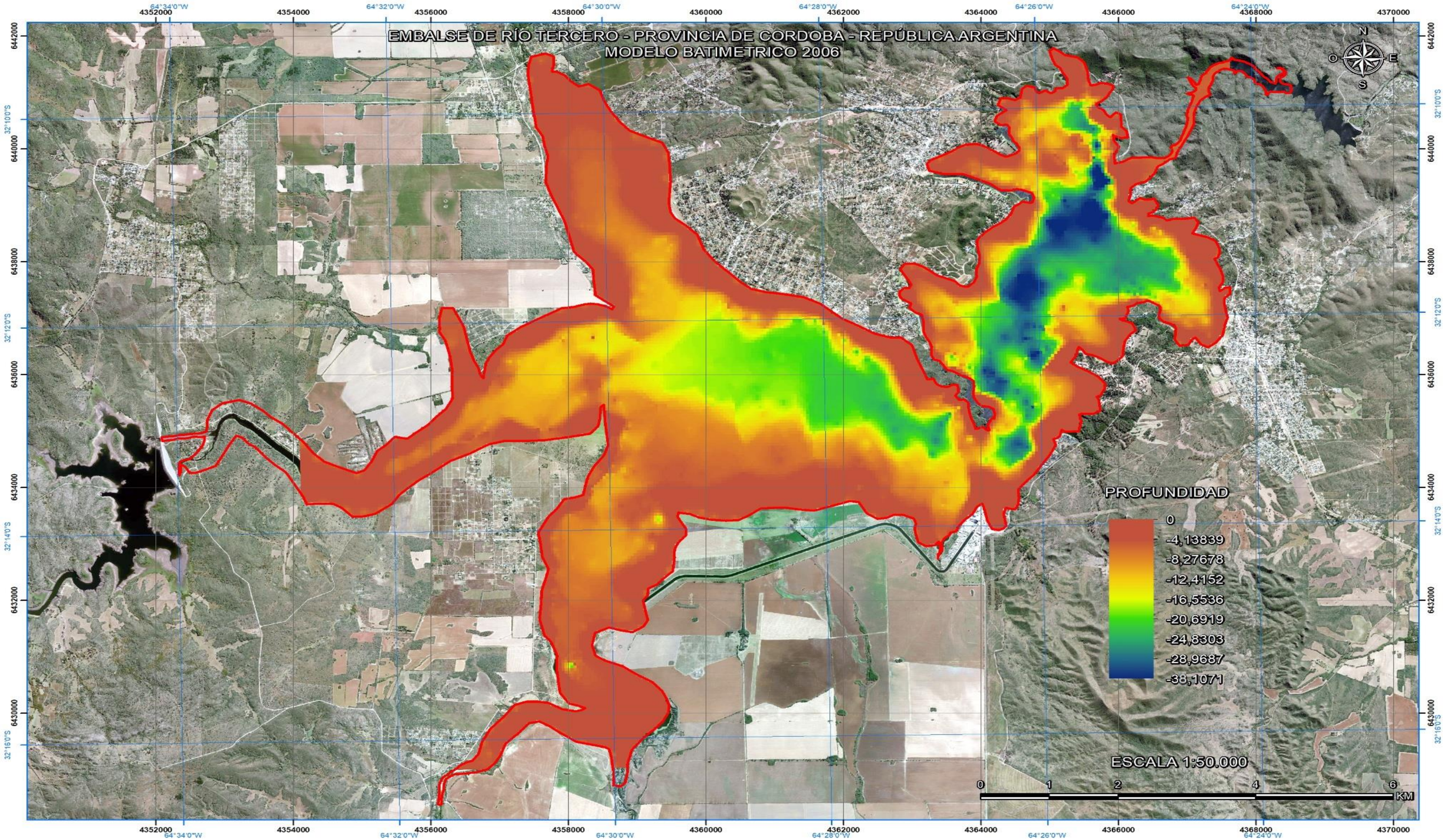
Anexo X. Carta Imagén del Embalse de Río Tercero



Anexo XI. Modélo Batimétrico del Embalse de Río Tercero Georreferenciado 1934



Anexo XII. Modélo Batimétrico del Embalse de Río Tercero Georreferenciado 2006



Anexo XIII. Modélo Batimétrico del Embalse de Río Tercero Georreferenciado, Realizado con Métodos de Extrapolación y Predicción Estimada 2026

