SEDE EDUCATIVA UNIVERSITARIA

ESCUELA DE CIENCIAS DEL MAR

Licenciatura en Cartografía

Tesina

"Aplicación de herramientas cartográficas para elaborar una carta temática de la bajante del Río Paraná"

Autor: Gustavo Fabian Coca

Director: Juan Bautista Allegrino

2026

Agradecimientos

La culminación de esta tesis representa una travesía llena de aprendizajes profundos y momentos que atesoraré siempre, marcada por el invaluable apoyo de personas excepcionales. Comienzo expresando mi gratitud hacia mis profesores, verdaderos guías y fuentes de inspiración en este recorrido académico. No solo compartieron su conocimiento conmigo, sino que, con su integridad y pasión, me enseñaron que el aprendizaje va más allá de acumular saberes; es también una manera de vivir y de actuar con propósito en cada decisión.

A mis maestros, cuya dedicación incansable por transmitir su sabiduría iluminó cada etapa de mi formación, les debo mucho más que conocimientos. Fueron más que educadores; se convirtieron en pilares en los momentos de duda, alentándome a mantener el rigor en la investigación y a sobreponerme a cada obstáculo. Su confianza en mi potencial, incluso cuando yo mismo vacilaba, es un tesoro que guardaré siempre. A mi familia, mi refugio y mi fortaleza, les agradezco profundamente por cada palabra de aliento en momentos difíciles y por esos abrazos que renovaron mi energía. Cada uno de sus sacrificios y cada victoria compartida hacen que este trabajo también sea suyo, un testimonio de su amor y entrega. A todos ustedes, mi más sincero agradecimiento y un cariño que permanecerá para siempre.

Resumen

Este trabajo tuvo como propósito elaborar una carta temática de la bajante del río Paraná registrada en 2019, en el tramo comprendido entre las ciudades de Santa Fe y Paraná. En el marco de la cartografía temática, el proyecto buscó representar de forma técnica y visual las manifestaciones espaciales de este evento hidrológico, con especial atención a la navegabilidad y a las actividades socioeconómicas vinculadas al río. Para su desarrollo, se integraron datos del Servicio de Hidrografía Naval (SHN), el Instituto Geográfico Nacional (IGN), el Instituto Nacional del Agua (INA), el Servicio Meteorológico Nacional (SMN), así como imágenes satelitales del programa Copernicus de la Agencia Espacial Europea (ESA). La metodología adoptada contempló la recopilación, revisión y procesamiento de información geoespacial mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG), junto con la aplicación de criterios de simbología tomados de referencias cartográficas nacionales e internacionales. Aunque la carta resultante no fue diseñada para fines de navegación, se elaboró como un producto académico e informativo para apoyar el análisis espacial del fenómeno y de sus repercusiones en los puertos de la región. Asimismo, aportó un registro cartográfico del evento y permitió contextualizar la relevancia estratégica de la Hidrovía Paraná–Paraguay en el desarrollo regional.

Índice

Resumen 4
Capítulo 1 7
Introducción 7
Capítulo 2 9
Objetivos 9
Capítulo 3 10
Metodología 10
3.1. Identificación del Tema 11
3.2. Selección de Fuentes Oficiales Nacionales e Internacionales 11
3.3. Adquisición de Datos Geoespaciales 12
3.4. Procesamiento de Datos 12
3.5. Implementación de la Simbología y Toponimia 14
3.6. Elaboración de la Carta Temática 14
Capítulo 4 16
Descripción del área de estudio 16
4.1. Generalidades del área de estudio 17
4.2. Ubicación geográfica del área de estudio 18
4.3. Provincias involucradas en el área de estudio 20
4.3.1. Provincia de Entre Ríos 20
4.3.2. Provincia de Santa Fe 21
4.4 Puerto de Santa Fe (Km. 584 del Río Paraná) 21
Capítulo 5 23
Datos 23
5.1. Servicio de Hidrografía Naval 23
5.1.1. Cuarterones. 23
5.1.2. H-5000 INT 1 27
5.1.3. Información de las alturas hidrométricas 27
5.1.4. Hidrómetros del puerto de Santa Fe 29
5.4. Instituto Geográfico Nacional 34
5.4.1. Capas SIG en formato vectorial 35
5.4.2. Cartas topográficas 36
5.4.3. Manual de Signos Cartográficos 38
5.5. Servicio Meteorológico Nacional 39
5.6. Instituto Nacional del Agua 41
5.7. Copernicus de la Agencia Espacial Europea 42

5.7.1. El satélite Sentinel-1 42
5.7.2. El satélite Sentinel-2 43
5.8. La cuenca hidrográfica del río Paraná 44
5.8.1. Precipitaciones y sequía en la cuenca del Río Paraná 46
5.9. Centrales hidroeléctricas en el río Paraná 51
Capítulo 6 56
Procesamiento de datos 56
6.1 El tratamiento de los datos 56
6.1.1 Ráster 57
6.1.2 Vectorial 67
6.2. Aplicación del sistema de Información Geográfica 69
6.3. Información de la carta 73
Capítulo 7 82
Resultados 82
Capítulo 8 85
Conclusión 85
Capítulo 9 86
Bibliografía 86
9.1. Referencias 86
9.2. Referencias web 86

Capítulo 1

Introducción

La cartografía constituye un recurso esencial para la representación, interpretación y estudio de fenómenos geográficos. Dentro de esta disciplina, la carta temática se caracteriza por destacar aspectos específicos del territorio y permitir el análisis espacial de variables concretas, tales como el clima, el uso del suelo, la hidrografía o, como en el presente caso, eventos hidrológicos relevantes. A diferencia de los productos cartográficos orientados a la navegación o de las cartas topográficas generales, las cartas temáticas tienen como finalidad principal representar un fenómeno particular con propósitos académicos, técnicos o informativos.

En esta investigación se desarrolló una carta temática en formato impreso destinada a representar las condiciones de bajante del río Paraná observadas durante diciembre de 2019 en el tramo comprendido entre las ciudades de Santa Fe y Paraná. Este período formó parte de un proceso de aguas bajas que afectó al sistema fluvial del Paraná y tuvo implicancias sobre la navegación, las actividades portuarias, los usos productivos del río y los ambientes ribereños. En el área de estudio, la disminución de los niveles hidrométricos favoreció la exposición de bancos, islas y sectores marginales del cauce, generando modificaciones visibles en la configuración espacial de la cobertura hídrica.

La bajante analizada se inscribió en un proceso hidrológico complejo, asociado principalmente a la reducción de las precipitaciones en sectores significativos de la cuenca de aporte, a la variabilidad climática regional y a la dinámica propia de un sistema fluvial de gran escala. En ese contexto, la disminución de los niveles disponibles para la navegación podía producir restricciones operativas en la Hidrovía Paraná–Paraguay,

La elaboración de la carta temática integró información proveniente del Servicio de Hidrografía Naval SHN, del Instituto Geográfico Nacional (IGN), del Instituto Nacional del Agua (INA), del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y de imágenes satelitales de las misiones Sentinel del programa Copernicus. Los procedimientos de procesamiento y representación espacial se desarrollaron en un entorno de Sistemas de Información Geográfica (SIG), incorporando criterios cartográficos oficiales y simbología

normalizada con el propósito de favorecer la consistencia geométrica, la coherencia visual y la trazabilidad documental de los insumos utilizados.

El producto final no se orientó a la navegación fluvial, dado que no reunió los requisitos normativos exigidos para ese uso, sino que se planteó como un instrumento académico e informativo. La carta temática se utilizó como soporte para el análisis del evento de bajante y de sus efectos territoriales, aportando una base gráfica para la interpretación geográfica, la investigación aplicada y la difusión del conocimiento generado.

Capítulo 2

Objetivos

El objetivo general de la presente tesina es elaborar una carta temática que represente las condiciones de bajante del río Paraná durante diciembre de 2019 en el tramo comprendido entre las ciudades de Santa Fe y Paraná. Mediante este producto cartográfico se busca documentar la configuración espacial del sistema fluvial durante el período de estudio, identificando la cobertura hídrica, las áreas emergidas y los principales elementos geográficos afectados por la disminución del nivel del río.

Para alcanzar este objetivo general se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Relevar y seleccionar información cartográfica, hidrométrica, topográfica y satelital proveniente de organismos y fuentes de referencia, considerando su procedencia, escala o resolución, fecha disponible, sistema de referencia y pertinencia para los objetivos del estudio.
- Procesar e integrar la información geoespacial mediante herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG), construyendo una base cartográfica homogénea para el desarrollo del estudio.
- Analizar las condiciones hidrológicas correspondientes al período de bajante mediante la interpretación conjunta de registros hidrométricos e imágenes satelitales.
- Diseñar una simbología cartográfica normalizada que permita representar de manera clara y consistente los distintos elementos geográficos incorporados en la carta temática.
- Elaborar una carta temática que represente la configuración espacial del río Paraná durante el período analizado, integrando la información cartográfica, hidrológica y satelital obtenida.

El cumplimiento de estos objetivos proporcionó el marco metodológico sobre el cual se desarrollaron las distintas etapas del trabajo, desde la recopilación y el procesamiento de la información hasta la elaboración del producto cartográfico final.

Capítulo 3

Metodología

La investigación se desarrolló mediante una metodología secuencial estructurada en etapas sucesivas, desde la identificación del fenómeno geográfico hasta la obtención del producto cartográfico final. Cada una de estas etapas respondió a criterios técnicos propios de la cartografía temática y de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), con procedimientos orientados a documentar la procedencia de los datos, mantener la coherencia espacial y metodológica y facilitar la reproducción del flujo de trabajo. La Figura 3-1 sintetiza el esquema metodológico adoptado, mientras que los apartados siguientes describen cada fase del estudio.



Figura 0-1. Esquema metodológico general adoptado para la elaboración de la carta temática.

El trabajo comprendió la definición del fenómeno a representar, la selección y validación de fuentes oficiales, la integración de datos en un entorno de SIG, el procesamiento de información cartográfica y satelital, la aplicación de criterios de simbología normalizada y la elaboración de la carta temática final.

3.1. Identificación del Tema

La primera etapa consistió en delimitar el fenómeno geográfico objeto de representación: la bajante del río Paraná registrada durante diciembre de 2019 en el tramo comprendido entre las ciudades de Santa Fe y Paraná. La definición del alcance espacial y temporal constituyó un aspecto fundamental del diseño cartográfico, ya que condicionó la selección de las fuentes de información, la escala de trabajo y el nivel de detalle de la representación temática. La elección del área de estudio respondió a su relevancia hidrográfica, logística y territorial, debido a que la disminución de los niveles hidrométricos produjo modificaciones visibles en el cauce, la exposición de bancos e islas y restricciones para la navegación y las actividades portuarias.

La selección del área respondió a la importancia hidrográfica, territorial y logística de este sector del río, donde la disminución de los niveles hidrométricos generó efectos visibles sobre la configuración del cauce, la exposición de bancos e islas, la navegabilidad y las actividades portuarias. Esta definición inicial permitió establecer el alcance espacial y temporal del trabajo, así como orientar la selección de los insumos necesarios para la elaboración de la carta temática.

3.2. Selección de Fuentes Oficiales Nacionales e Internacionales

Definido el fenómeno de estudio, se procedió a la selección de fuentes oficiales nacionales e internacionales especializadas en cartografía, hidrografía, hidrología, meteorología y observación de la Tierra, con el propósito de conformar una base de información geoespacial sólida y técnicamente consistente. Para ello se recurrió a productos y datos generados por el SHN, IGN, INA, SMN y por el programa Copernicus de la ESA, organismos reconocidos por la producción y difusión de información geográfica de referencia.

La incorporación de estas fuentes permitió disponer de información geoespacial con procedencia institucional identificable. La selección se sustentó en criterios vinculados con la fecha de producción o adquisición disponible, la disponibilidad pública, la escala

de representación, la resolución espacial, el sistema de referencia y la pertinencia temática. De este modo, cada insumo se evaluó en función de su adecuación a los objetivos de la investigación, sin considerar que el carácter oficial de una fuente implicara por sí mismo precisión, vigencia o aptitud para todos los usos.

3.3. Adquisición de Datos Geoespaciales

La información recopilada comprendió cuarterones náuticos, cartas topográficas, capas vectoriales, modelos digitales de elevación, registros hidrométricos, datos meteorológicos e imágenes satelitales, constituyendo el conjunto de insumos geoespaciales necesarios para caracterizar el área de estudio y sustentar el análisis cartográfico desarrollado.

Los datos fueron obtenidos en diferentes formatos digitales, entre ellos archivos vectoriales, imágenes ráster, documentos cartográficos escaneados, servicios geoespaciales en línea y tablas de datos alfanuméricos. La heterogeneidad de estos insumos requirió un proceso previo de organización y sistematización, mediante su clasificación según la fuente de origen, el tipo de información, el sistema de referencia, la escala o resolución espacial y la función prevista dentro del flujo de trabajo cartográfico. Esta etapa permitió conformar una base de datos geoespacial estructurada, coherente y preparada para su integración y posterior procesamiento en el entorno SIG.

3.4. Procesamiento de Datos

Los datos recopilados fueron sometidos a un proceso de revisión técnica previo a su incorporación al proyecto cartográfico. Esta etapa comprendió la verificación de los metadatos disponibles, la escala de representación, la resolución espacial, la fecha de adquisición, el sistema de referencia y la coherencia temática de cada conjunto de datos, con el propósito de evaluar su adecuación, consistencia e integridad para los procedimientos desarrollados en la investigación

La cartografía base fue analizada para comprobar su correspondencia espacial con el área de estudio y su compatibilidad con la escala de trabajo definida. En los registros hidrométricos se verificó la correspondencia temporal con el período seleccionado, mientras que las imágenes satelitales fueron evaluadas considerando la cobertura nubosa, la fecha de adquisición y las condiciones necesarias para identificar la cobertura hídrica, los bancos emergidos, las islas y los sectores ribereños expuestos.

La integración de información procedente de diferentes organismos requirió la adopción de un sistema de referencia espacial único para todo el proyecto SIG. En consecuencia, la cartografía histórica elaborada en datum Campo Inchauspe fue reproyectada al sistema POSGAR 2007 / Argentina Faja 5, permitiendo su compatibilidad con las capas oficiales y con los restantes productos geoespaciales incorporados al estudio. Este procedimiento contribuyó a homogeneizar la información espacial, reducir discrepancias posicionales entre insumos de distinto origen y preservar la consistencia geométrica durante el proceso de integración.

La normalización de los datos comprendió la conversión de formatos, el recorte de las capas al área de estudio, la organización temática de la información y la estructuración de la base geoespacial conforme al flujo metodológico establecido. Paralelamente, se documentaron los sistemas de referencia utilizados, los parámetros de reproyección y las principales operaciones efectuadas durante el tratamiento de los datos, con el fin de registrar la trazabilidad metodológica y facilitar la reproducción del procedimiento en futuras investigaciones.

Procesamiento en entorno SIG

El procesamiento de la información se desarrolló mediante QGIS Desktop, donde se ejecutaron tareas de georreferenciación de documentos cartográficos, reproyección de capas, recorte espacial, digitalización de entidades, vectorización de elementos de interés y organización jerárquica de la información geoespacial. Cada procedimiento se realizó aplicando criterios de control posicional, consistencia topológica y compatibilidad entre los diferentes conjuntos de datos, de acuerdo con la escala, resolución y finalidad de cada insumo.

Las imágenes satelitales fueron interpretadas de manera integrada con los cuarterones náuticos del SHN, las cartas topográficas y capas vectoriales del IGN, los modelos digitales de elevación y los registros hidrométricos disponibles. Este proceso permitió disponer de una base cartográfica homogénea para la identificación de la cobertura hídrica, los bancos emergidos, las islas y los sectores ribereños expuestos, constituyendo el soporte geoespacial utilizado en las etapas posteriores de elaboración de la carta temática.

3.5. Implementación de la Simbología y Toponimia

Una vez concluido el procesamiento de la información, se establecieron los criterios de representación gráfica que serían aplicados en la elaboración de la carta temática. La definición de la simbología y de la toponimia tomó como referencia el Manual de Signos Cartográficos del IGN y la Publicación H-5000 del SHN, seleccionando aquellos signos, abreviaturas y convenciones gráficas compatibles con la naturaleza del fenómeno representado, la escala de trabajo y los objetivos de la investigación.

La selección de la simbología respondió a criterios cartográficos de jerarquía visual, legibilidad, contraste y economía gráfica, procurando mantener uniformidad en la representación de la cobertura hídrica, los bancos emergidos, las islas, los canales de navegación, la infraestructura portuaria, las curvas de nivel y los demás elementos geográficos incorporados a la carta temática.

La incorporación de la toponimia se realizó respetando la denominación oficial de los accidentes geográficos, cursos de agua, localidades, puertos y demás referencias territoriales representadas en la cartografía base, atendiendo a criterios de ubicación, jerarquización y legibilidad que favorecieran su correcta interpretación.

La aplicación de estos criterios permitió definir un esquema de representación cartográfica uniforme para todo el proyecto, favoreciendo la coherencia gráfica entre los distintos conjuntos de datos y estableciendo las bases para la confección de la carta temática desarrollada en las etapas posteriores.

3.6. Elaboración de la Carta Temática

Con la información procesada y la simbología definida, se confeccionó la carta temática final. Esta etapa incluyó la organización de capas, el diseño del marco cartográfico, la incorporación de escala gráfica y numérica, leyenda, grilla de coordenadas, norte, fuentes de información y demás elementos marginales necesarios.

El objetivo fue obtener un producto cartográfico técnicamente consistente y visualmente claro, capaz de representar la configuración espacial del río Paraná durante las condiciones de bajante analizadas.

El producto cartográfico fue sometido a una revisión final orientada a verificar la coherencia espacial de las capas, la superposición de los elementos representados, la legibilidad de la simbología, la consistencia de la toponimia y la correspondencia de la información temática con las fuentes utilizadas.

El procedimiento metodológico desarrollado permitió transformar un conjunto heterogéneo de datos geográficos, hidrológicos y satelitales en un producto cartográfico integrado y documentado, adecuado para representar espacialmente las condiciones de bajante del río Paraná en el área de estudio y susceptible de ser revisado o reproducido a partir de los insumos y procedimientos consignados.

3.7. Metodología para la Elaboración de la Carta Temática

Finalizada la composición cartográfica en QGIS Desktop, se exportó la carta temática en formato PDF con la resolución de salida definida para su visualización, impresión y conservación. Previamente, se verificaron la escala, el tamaño del soporte, la resolución de salida y la representación del título, la leyenda, la simbología, la toponimia, las coordenadas y los restantes elementos marginales

También se generó una versión en formato de imagen para incorporarla al cuerpo de la investigación y facilitar su consulta digital. Finalmente, se comprobó que los archivos exportados conservaran la legibilidad de los textos, la nitidez de las líneas, la fidelidad de los colores y las proporciones definidas en la composición original. Esta etapa permitió obtener el producto cartográfico final en condiciones adecuadas para su reproducción y presentación académica.

Capítulo 4

Descripción del área de estudio

La delimitación del área de estudio se estableció a partir de criterios cartográficos, geográficos y geodésicos, con el propósito de definir un ámbito espacial de referencia para el análisis de la bajante del río Paraná producida el 18 de diciembre de 2019. El sector seleccionado comprende el tramo del sistema fluvial correspondiente a las ciudades de Santa Fe y Paraná, incluyendo el cauce principal, las islas, los cursos secundarios y las áreas ribereñas asociadas que integran la planicie aluvial del río.

La definición de sus límites se sustentó en cartografía oficial, utilizando como base los cuarterones náuticos H-1033, H-1034 y H-1035 (Figura 4-1), complementados con las cartas topográficas 3160-32-2 y 3160-33-1, elaboradas por el entonces Instituto Geográfico Militar (IGM), actual IGN, en escala 1:50.000 (Figura 4-2). La integración de ambos productos cartográficos permitió disponer de una base espacial homogénea para la identificación y representación de los elementos físicos presentes en el área de estudio.

La selección de estos documentos cartográficos respondió a su correspondencia espacial con el sector analizado y a la cobertura continua que proporcionaban sobre el tramo medio del río Paraná comprendido entre ambas ciudades. Su utilización permitió delimitar cartográficamente el área de trabajo y disponer de un marco espacial de referencia para integrar la información geoespacial empleada durante el desarrollo de la investigación.

Tabla 4-1 - Puntos extremos y centro del área de estudio

Orientación	Latitud	Longitud
Noroeste	-31º 38' 04.8"	-60º 47' 08.4"
Noreste	-31º 38' 04.8"	-60º 28' 31.34"
Suroeste	-31º 46' 12.41"	-60º 47' 08.4"
Sureste	-31º 46' 12.41"	-60º 28' 31.34"
Centro de hoja	-31º 42' 08.6"	-60º 37' 49.8"

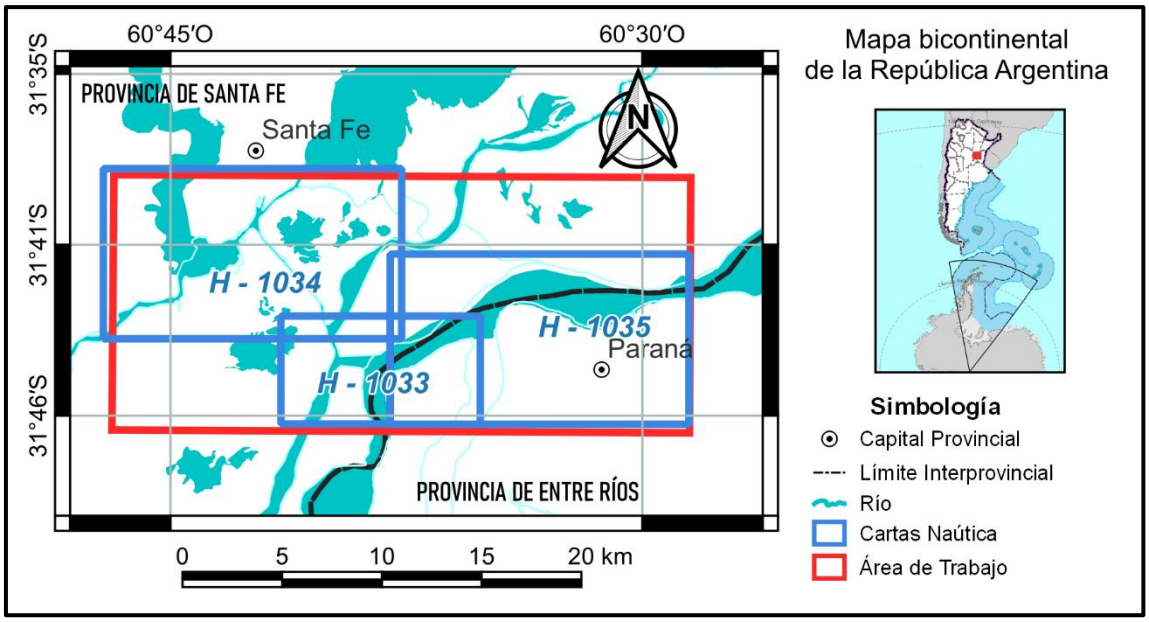


Figura 4-1. Cuarterones del SHN y el área de trabajo.
Nota. Elaboración propia sobre la base de cuarterones náuticos del SHN y datos geoespaciales del IGN.

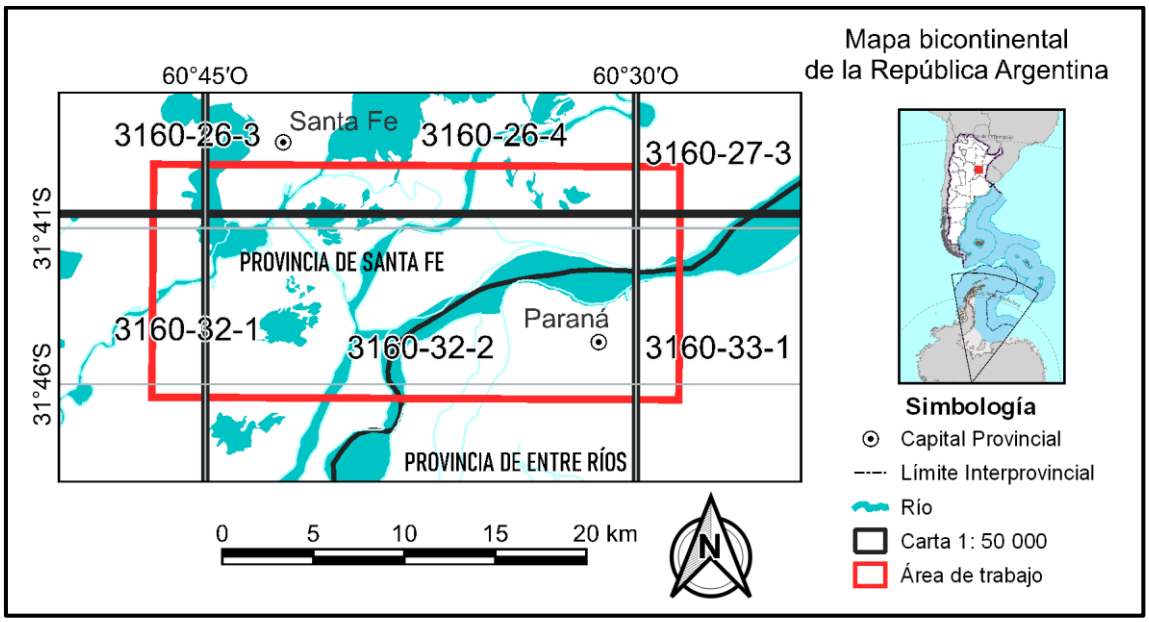


Figura 4-2. Cartas topográficas 1:50 000 del IGN y el área de trabajo.
Nota. Elaboración propia sobre la base de cartas topográficas y datos geoespaciales del IGN.

4.1. Generalidades del área de estudio

El estudio se enfocó en una región geográfica caracterizada por la interacción entre factores naturales y actividades humanas. Para su descripción se consideraron la cuenca hidrográfica, las condiciones climáticas y meteorológicas y los principales componentes

territoriales vinculados con el sistema fluvial. En consecuencia, se abordaron los siguientes aspectos:

4.2. Ubicación geográfica del área de estudio

El área de estudio se localiza en el sector centro-este de la República Argentina, dentro del tramo medio del río Paraná, comprendiendo un espacio territorial que involucra las provincias de Santa Fe y Entre Ríos (Figura 4-3). Su emplazamiento dentro de uno de los principales sistemas hidrográficos de América del Sur le confiere una destacada importancia desde el punto de vista hidrológico, ambiental y cartográfico.

El área analizada se caracteriza por desarrollarse sobre una extensa planicie fluvial, donde predominan relieves de escasa pendiente asociados a la dinámica del río Paraná. La interacción entre el cauce principal, los cursos secundarios, las islas, lagunas y sectores inundables configura un paisaje de elevada complejidad espacial, cuya evolución responde a los procesos naturales de erosión, sedimentación y variación de los niveles hidrométricos.

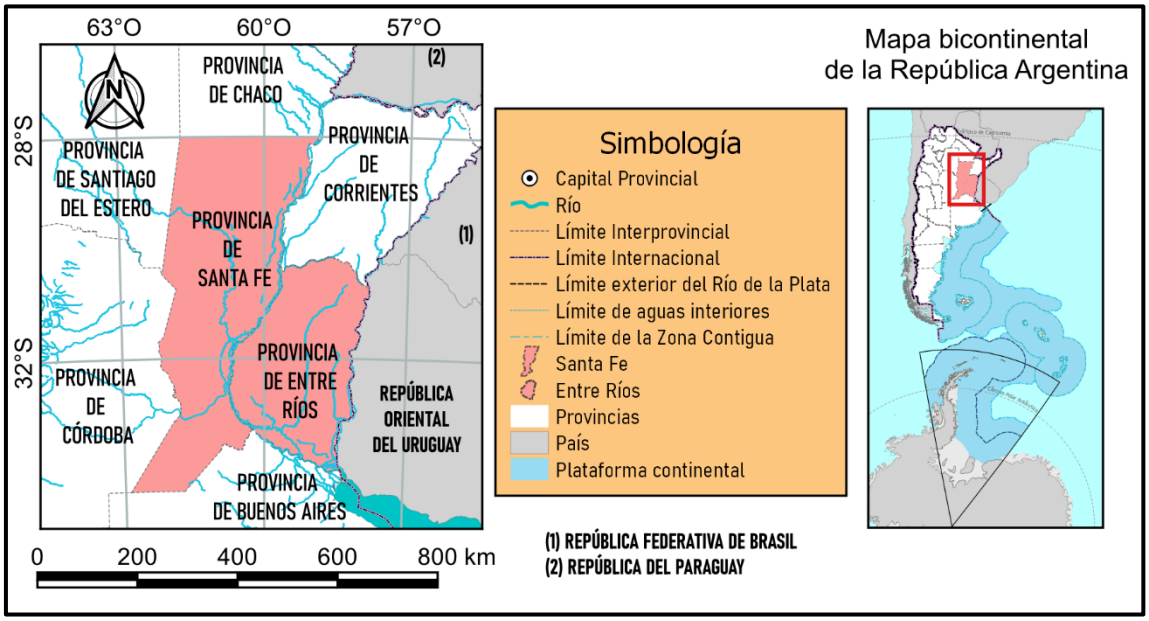


Figura 4-3. Mapa de las provincias involucradas.
Nota. Elaboración propia sobre la base de datos geoespaciales del IGN.

La localización geográfica del área de estudio permite comprender su estrecha vinculación con la cuenca hidrográfica del río Paraná, dentro de la cual se desarrollan los procesos hidrológicos que condicionan el comportamiento del sistema fluvial. En este

contexto, la posición relativa del sector analizado constituye un elemento fundamental para interpretar la dinámica territorial representada en la cartografía temática.

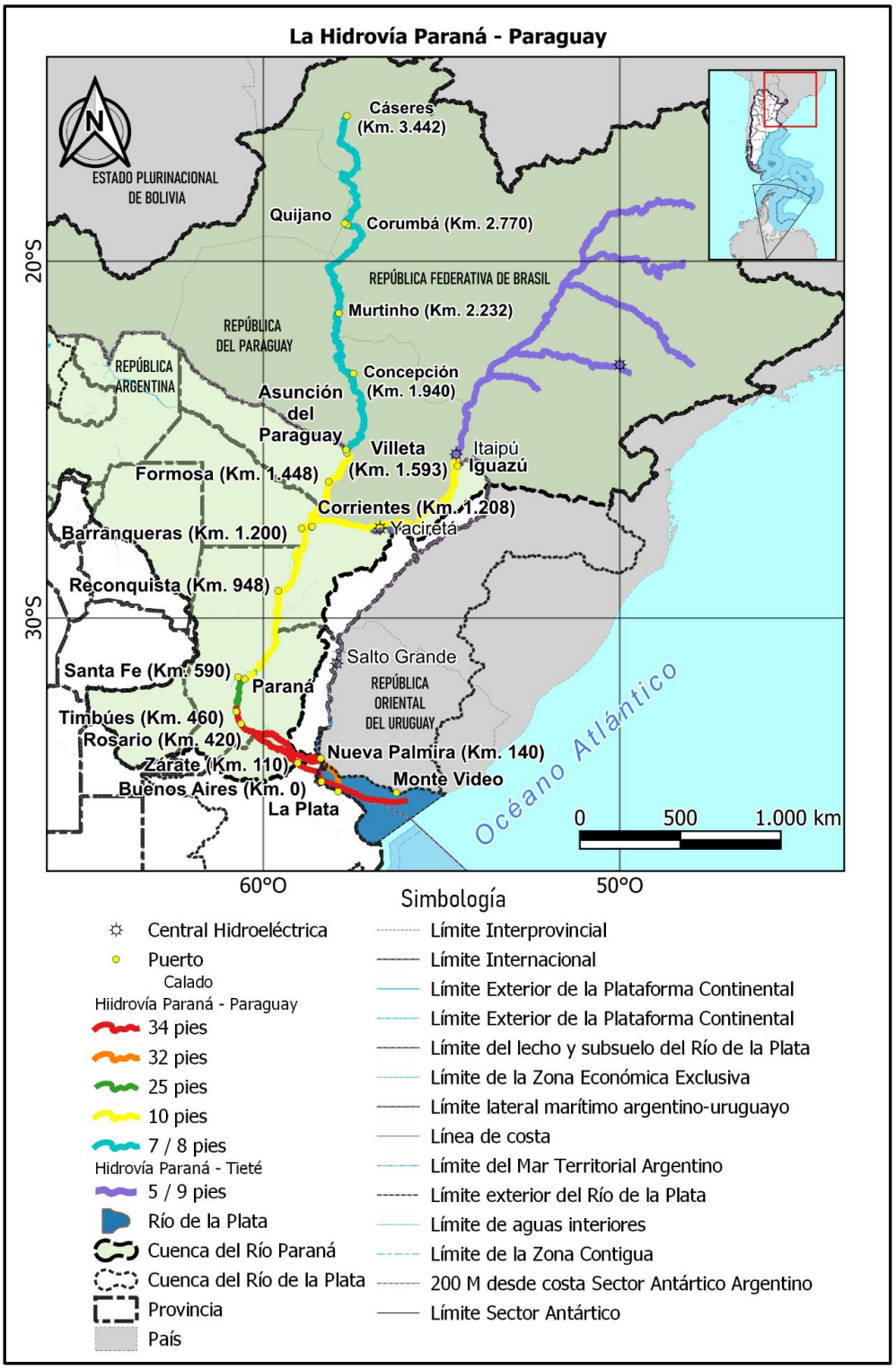


Figura 4-4. Mapa del corredor fluvial correspondiente a la Hidrovía Paraná – Paraguay y la Hidrovía Paraná – Tieté.
Nota. Elaboración propia sobre la base de información hidrográfica y cartográfica oficial de datos geoespaciales del SHN e IGN.

Asimismo, el área de estudio se encuentra integrada al corredor fluvial de la Hidrovía Paraná–Paraguay, uno de los principales ejes de navegación interior de América del Sur (Figura 4-4). Este sistema conecta, a través de los ríos Paraná y Paraguay, los puertos interiores de Argentina, Bolivia, Brasil, Paraguay y Uruguay con el océano Atlántico, conformando una red estratégica para el transporte fluvial y la integración regional.

Desde la perspectiva territorial, esta localización incorporó al área de estudio dentro de un sistema hidrográfico de alcance internacional, cuya dinámica hidrológica trasciende los límites jurisdiccionales y condiciona el comportamiento del río Paraná en el sector donde se desarrolló la presente investigación.

4.3. Provincias involucradas en el área de estudio

El área de estudio se localiza en el sector medio del río Paraná, comprendiendo territorios pertenecientes a las provincias de Santa Fe y Entre Ríos, donde el sistema fluvial desarrolla una extensa planicie aluvial caracterizada por una elevada complejidad geomorfológica e hidrológica.

Ambas provincias comparten un importante tramo del río Paraná y presentan una estrecha vinculación territorial con su valle de inundación, conformando un espacio de gran relevancia para el análisis de los procesos fluviales y de las variaciones experimentadas por el sistema durante la bajante del 18 de diciembre de 2019.

La delimitación de estas jurisdicciones respondió a su localización dentro del área cartografiada y a la presencia de los principales elementos geográficos considerados en la investigación, entre ellos el cauce principal del río Paraná, su planicie de inundación, los cursos secundarios, las islas y los sectores ribereños objeto del análisis cartográfico.

4.3.1. Provincia de Entre Ríos

La provincia de Entre Ríos integra la región Mesopotámica argentina y se encuentra delimitada naturalmente por los ríos Paraná al oeste y sur, y Uruguay al este, mientras que al norte limita con la provincia de Corrientes.

Su superficie es de aproximadamente 78.781 km², caracterizándose por una extensa red hidrográfica compuesta por ríos, arroyos y humedales que configuran un paisaje estrechamente asociado a la dinámica de los sistemas fluviales.

La ciudad de Paraná, capital provincial, se ubica sobre la margen izquierda del río Paraná, frente a la ciudad de Santa Fe. Esta proximidad geográfica conforma uno de los sectores de mayor importancia dentro del tramo medio del río, constituyendo un ámbito de referencia para la interpretación territorial y cartográfica desarrollada en esta investigación.

4.3.2. Provincia de Santa Fe

La provincia de Santa Fe se localiza en la región centro-este de la República Argentina. Limita con las provincias de Chaco al norte, Santiago del Estero y Córdoba al oeste, Buenos Aires al sur y Entre Ríos al este, siendo el río Paraná el principal límite natural entre ambas provincias.

Posee una superficie aproximada de 133.007 km² y una organización territorial estrechamente vinculada al sistema fluvial del Paraná, cuya planicie aluvial constituye uno de los ambientes naturales más representativos del este provincial.

La ciudad de Santa Fe, capital de la provincia, se emplaza sobre la margen derecha del río Paraná y representa el principal centro urbano comprendido dentro del área de estudio. Su localización geográfica y su estrecha relación con la dinámica hidrológica del sistema fluvial la convierten en un punto de referencia para el análisis desarrollado en la presente investigación

4.4 Puerto de Santa Fe (Km. 584 del Río Paraná)

El Puerto de Santa Fe, ubicado en el kilómetro 584 del río Paraná, en la confluencia con el río Salado, constituye uno de los principales nodos portuarios del tramo medio del sistema fluvial Paraná–Paraguay y un elemento territorial de referencia dentro del área de estudio. Su localización y la infraestructura asociada aportan información geográfica de interés para la interpretación de la dinámica del cauce y de las condiciones de navegabilidad registradas durante el período analizado.

La información correspondiente al sector portuario permitió identificar la disposición espacial de muelles, canales de acceso, áreas operativas, instalaciones portuarias, ayudas a la navegación y demás elementos vinculados con la actividad fluvial. Estos componentes fueron considerados como referencias territoriales para contextualizar el

comportamiento del río Paraná y analizar la relación entre la infraestructura portuaria y las variaciones hidrométricas observadas durante la bajante del año 2019.

La localización del puerto dentro del área de estudio facilitó la integración de la información hidrográfica, hidrométrica y cartográfica proveniente de las distintas fuentes oficiales utilizadas en la investigación (Figura 4-5 y Figura 4-6). Su incorporación permitió establecer relaciones espaciales entre la red de navegación, los registros de nivel del río, los puertos y las principales referencias geográficas del sector, aportando un marco territorial para la interpretación del fenómeno analizado.

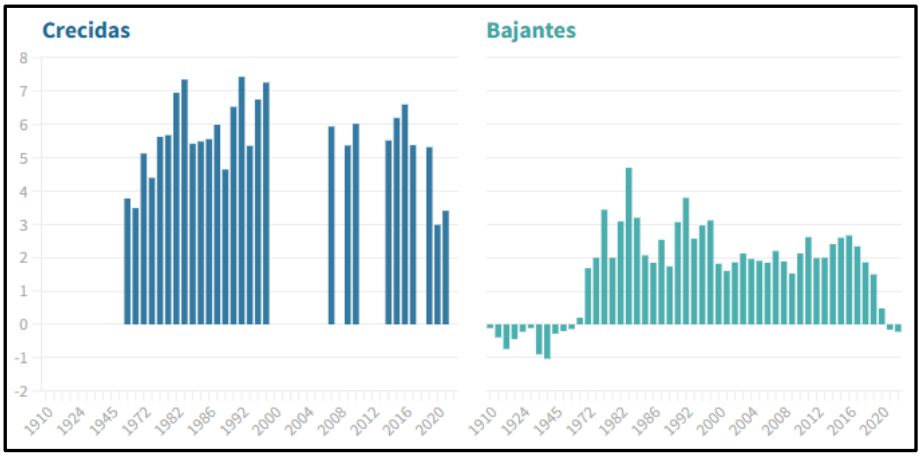


Figura 4-5. Máximas y mínimas históricas en metros del río Paraná en el puerto Santa Fe 1910-2021

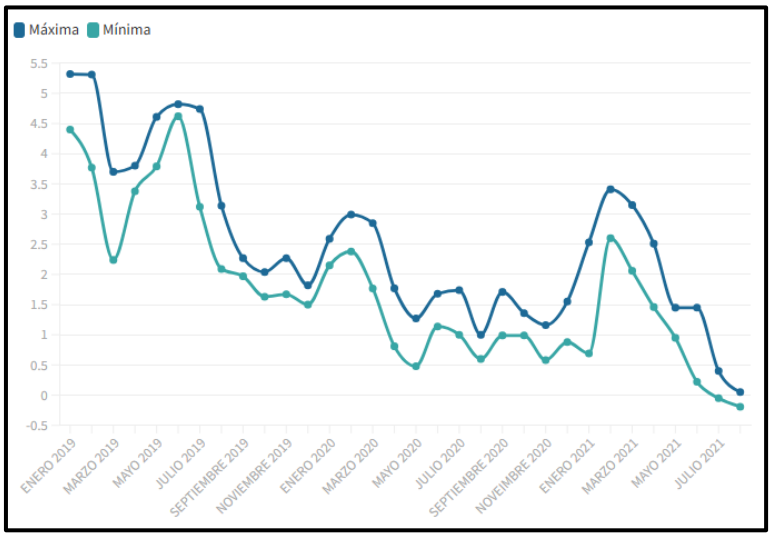


Figura 4-6. Máximas y mínimas en metros del río Paraná en el puerto Santa Fe 2019-2021

Capítulo 5

Datos

Los datos geográficos utilizados en esta tesis provinieron de fuentes abiertas y de organismos gubernamentales y técnicos de referencia. La selección de los insumos respondió a su pertinencia temática, cobertura espacial, escala o resolución, sistema de referencia, fecha disponible y posibilidad de documentar su procedencia. El carácter oficial de una fuente aportó trazabilidad institucional, pero no se consideró por sí solo una garantía de presición, actualización, representatividad o aptitud para todos los usos. Por ello, los conjuntos de datos se evaluaron según los metadatos disponibles y la función asignada dentro del flujo de trabajo. La disponibilidad abierta de parte de la información favoreció la revisión y la eventual reproducción del procedimiento.

5.1. Servicio de Hidrografía Naval

El Servicio de Hidrografía Naval (SHN) es un organismo del Estado argentino especializado en hidrografía, oceanografía y servicios vinculados con la navegación. Creado en 1879, produce y difunde información hidrográfica y cartografía náutica oficial conforme a sus competencias institucionales. En esta tesina, sus productos se utilizaron como fuentes de referencia considerando, según cada caso, la edición, la escala, la fecha y los metadatos disponibles.

El SHN opera bajo la jurisdicción del Ministerio de Defensa y trabaja en estrecha colaboración con otras instituciones nacionales e internacionales para llevar a cabo sus misiones. Estas incluyen la producción y actualización de cartografía náutica, la supervisión de la señalización marítima, y la realización de investigaciones oceanográficas y meteorológicas que apoyan tanto a la navegación como a la defensa nacional.

5.1.1. Cuarterones.

Los cuarterones náuticos elaborados por el SHN constituyen cartografía oficial de gran detalle destinada a representar sectores específicos de la red navegable argentina. Su contenido integra información planimétrica, altimétrica, batimétrica e hidrográfica y proporciona una representación detallada de elementos físicos del ambiente fluvial

conforme a la escala y edición de cada documento. Debido a ese nivel de detalle y a su carácter oficial, estos cuarterones constituyeron una de las principales fuentes de información para la investigación.

Para la elaboración de la cartografía temática se emplearon los cuarterones H-1033 (Figura 5-1), H-1034 (Figura 5-2) y H-1035 (Figura 5-3), correspondientes al tramo del río Paraná comprendido entre las ciudades de Santa Fe y Paraná. Los productos ráster georreferenciados correspondientes a estos cuarterones fueron descargados del portal oficial del SHN en formato .KAP y .BSB el 8 de octubre de 2020. Asimismo, los cuarterones H-1034 y H-1035 en formato papel fueron utilizados como material de apoyo y contraste para la interpretación de la información cartográfica incorporada al estudio. La selección de estos documentos respondió, además de su correspondencia espacial con el área de estudio y su relevancia hidrográfica y territorial, a su disponibilidad en formato digital georreferenciado y al valor documental de sus versiones impresas. Esta condición permitió incorporarlos al entorno de trabajo SIG, contrastar su correspondencia espacial con el resto de la información geoespacial utilizada durante la investigación y complementar la interpretación de aquellos elementos cartográficos cuya lectura requirió el apoyo de la documentación en soporte papel.

La escala cartográfica de los cuarterones proporcionó un nivel de detalle adecuado para identificar y digitalizar numerosos elementos hidrográficos que no se encontraban disponibles en formato vectorial dentro de las bases de datos consultadas. A partir de estos documentos se generaron nuevas coberturas vectoriales mediante procesos de digitalización, incorporando entidades puntuales, lineales y poligonales. El proceso de extracción se desarrolló aplicando los criterios de control posicional definidos para la investigación y procurando mantener la consistencia geométrica y la compatibilidad con la escala de representación adoptada para la carta temática.

La información hidrográfica y la toponimia oficial contenidas en los cuarterones constituyeron una base de referencia para la interpretación espacial del área de estudio. La representación del cauce principal, canales de navegación, profundidades, obras portuarias, islas, pasos y demás accidentes geográficos permitió caracterizar el sistema fluvial e integrar la cartografía hidrográfica con la información topográfica y las restantes capas temáticas. Asimismo, la aplicación de la simbología normalizada del SHN

favoreció la uniformidad de la representación cartográfica y aportó un marco técnico de referencia para los elementos hidrográficos incorporados a la carta temática.

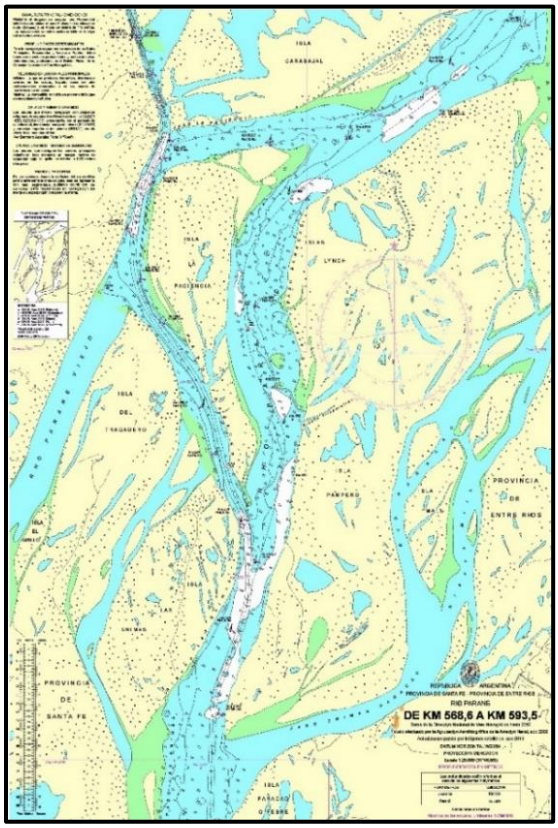


Figura 5-1. H-1033 de Km 568,6 a Km 593,5. Edición 2015.

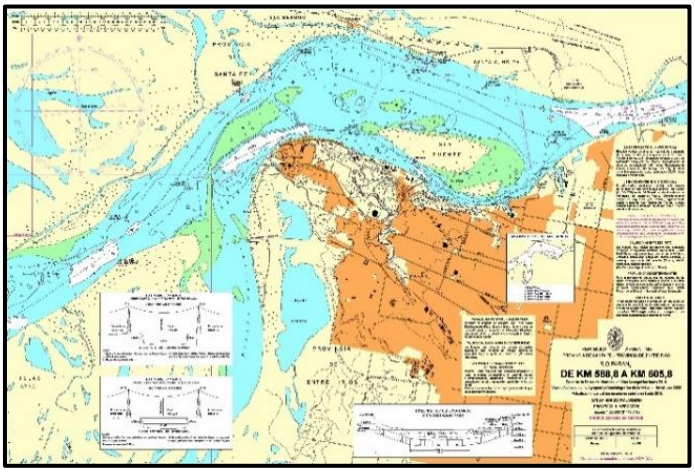


Figura 5-2. H-1035 de Km 588,88 a Km 605. 2ª Edición 2016, Última corrección 2020-73

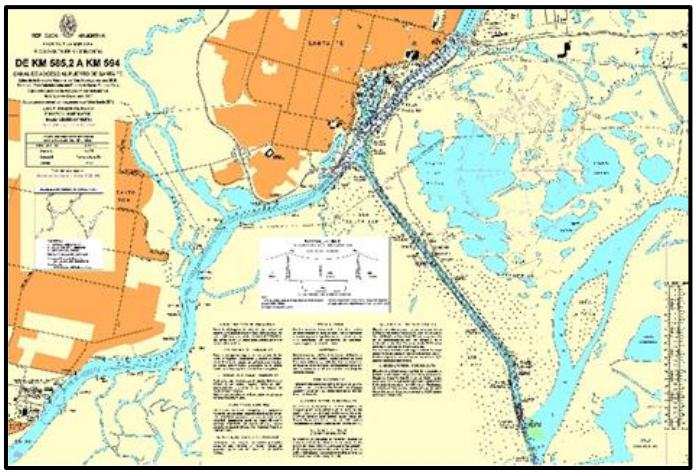


Figura 5-3. H-1034, de Km 585,2 a Km 594. 2ª Edición 2016, Última corrección 2021-17

Como referencia complementaria de la cartografía náutica oficial correspondiente al área de estudio se consideró la Carta H-146, denominada Río Paraná. Hoja 12, editada por el SHN e integrada al sistema cartográfico de la Hidrovía Paraguay–Paraná. La carta presenta una escala general de 1:35.000 e incorpora dos cuarterones de mayor escala, ambos a 1:10.000: el Cuarterón correspondiente al Puerto de Santa Fe, y el Cuarterón correspondiente al Puerto de Paraná. Esta organización cartográfica permite representar el tramo fluvial en una escala general y complementar su lectura mediante representaciones específicas de los sectores portuarios.

La cobertura de la H-146 guarda correspondencia territorial con los cuarterones H-1033, H-1034 y H-1035 utilizados en la presente investigación, aunque dichos productos responden a escalas y funciones cartográficas diferentes. Los H-1033, H-1034 y H-1035, a escala 1:25.000, proporcionaron información hidrográfica de detalle para distintos sectores comprendidos dentro del área de trabajo, mientras que la H-146 constituye una carta náutica destinada principalmente a la representación de la vía navegable. Asimismo, la publicación H-1034 A, a escala 1:10.000, representa los puertos de Santa Fe y Paraná y evidencia la existencia de cartografía específica de mayor escala para este sector.

Debido a que la edición de la H-146 documentada en las fuentes consultadas corresponde al año 2022, posterior al período de bajante analizado, su utilización dentro de esta investigación se limitó al contraste y contextualización de la estructura cartográfica oficial del sector, sin emplearla como fuente directa para reconstruir las condiciones hidrográficas correspondientes a diciembre de 2019. Los elementos susceptibles de

modificación temporal, como profundidades, señalización y configuración de la vía navegable fueron interpretados a partir de las fuentes correspondientes al período analizado.

5.1.2. H-5000 INT 1

La Publicación H-5000 INT 1, Patrón de Signos, Abreviaturas y Términos usados en las cartas náuticas argentinas, 6.ª edición, 2021, editada por el SHN, reúne y estandariza los símbolos, abreviaturas y términos INT-1 y constituye una referencia técnica de la cartografía náutica oficial de la República Argentina para la representación normalizada de la información hidrográfica. Su contenido establece símbolos, abreviaturas y convenciones gráficas empleados en cartas náuticas impresas y electrónicas para representar de manera uniforme elementos vinculados con la navegación, entre ellos profundidades, naturaleza del fondo, ayudas a la navegación, corrientes, mareas, peligros y otras características del medio acuático.

Su estructura responde a las especificaciones internacionales de la OHI, lo que favorece la compatibilidad de criterios de representación entre la cartografía náutica argentina y la producida por otros servicios hidrográficos. La utilización de estas convenciones contribuye a una interpretación homogénea de la información y facilita el intercambio de información cartográfica entre organismos e instituciones.

En el desarrollo de la presente investigación, la Publicación H-5000 constituyó la referencia adoptada para interpretar y representar los elementos hidrográficos incorporados en la cartografía temática, lo que permitió aplicar una simbología compatible con los criterios establecidos en dicha publicación.

5.1.3. Información de las alturas hidrométricas

La información hidrométrica publicada por el SHN constituyó una de las principales fuentes para analizar la evolución del nivel del río Paraná durante el período de estudio. Los registros oficiales de alturas hidrométricas permitieron caracterizar el comportamiento temporal del régimen fluvial mediante la observación sistemática de las variaciones del nivel del agua registradas en las estaciones de medición distribuidas a lo largo del tramo analizado.

Los valores correspondientes al período representado en la Tabla 5-1 sirvieron como referencia para seleccionar las fechas de adquisición de las imágenes satelitales provenientes de sensores activos y pasivos, procurando mantener la correspondencia temporal entre la información hidrométrica y la información satelital. Esta integración permitió aplicar distintos procedimientos de procesamiento y análisis en el entorno del SIG, optimizando la interpretación de la cobertura hídrica y de los sectores emergidos durante la bajante.

Profundidades efectivas - régimen fluvial a rutas principales

Ríos y tramos		**Lugar de determinantes**			**Profundidades según Último relevamiento**		
Nombre	**Km**	**Nombre**	**Km**	**Ancho del canal m**	**Profundidad al cero**	**Altura de Marea (1)**	**Profundidad Efectiva**
Río Paraná Rosario - km 460 (San Martín)	408,7 - 460	C. Muelles Pto. Rosario	415.1	200	9.00	1.94	10.94
km 460 (San Martín) - Abajo Correntoso- Por Río Coronda	460 - 475,3	Abajo Correntoso	473.4	116	5.90	2.07	7.97
Abajo Correntoso - Diamante	475,3 - 533	Tacuarí	521.0	116	5.80	2.20	8.00
Diamante - Santa Fe	533 - 584	Animas	573.5	116	5.80	1.99	7.79
Santa Fe - Paraná	578.5 - 598.7	Atrás Isla Puente (2)	596.2	150	2.30	1.85	4.15
Paraná - Hernandarias	598.7 - 689.0	Riacho Zapata (2)	628.1	130	2.10	1.99	4.09
Hernandarias - La Paz (4)	689 -757	Alcaraz	693.1	104	1.50	2.37	3.87
La Paz - Esquina (4)	757.0 - 854.0	Brazo San Juan	775.2	104	1.10	2.50	3.60
Esquina - Reconquista (4)	854.0 - 949.6	Riacho Las Nieves (2)	855.6	120	1.10	2.17	3.27
Reconquista - Goya (4)	949.6-972.0	Ñanganui (2)	965.8	104	1.30	2.52	3.82
Goya - Bella Vista (4)	783,3 - 795,5	Costa Ocampo (2)	1,046.0	130	1.50	2.47	3.97

Bella Vista - Empedrado	1055.5 - 1137.0	Chimbolar (2)	1,118.3	125	1.60	2.28	3.88
Empedrado - Corrientes	1137.0 - 1208	Punta Mercedes (2)	1,153.7	100	1.80	2.27	4.07
Corrientes - Confluencia	1208 - 1240.2	Isla del Medio (2)	1,214.7	130	1.50	2.51	4.01
Confluencia - Ituzaingó (3)	1240 - 1455	Tacuaral	1,354.8	60	0.10	1.72	1.82
Ituzaingó - Posadas (3)	1455 - 1583	Mbaracuya	1,463.5	60	1.10	0.85	1.95
Rosario - km 460 (San Martín)	408,7 - 460	C. Muelles Pto. Rosario	415.1	200	9.00	1.94	10.94

https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/boletin_fluvial_no_47_2019.pdf

(1) Las alturas de las mareas corresponden a la fecha de emisión del boletín

(2) Según ultima batimetría Julio de 2018

(4) Según ultima batimetría octubre 2019

(3) Según la última batimetría con la que se cuenta

La Tabla 5-1 presenta un extracto del Boletín Fluvial de la Subsecretaría de Puertos, Vías Navegables y Marina Mercante, Dirección Nacional de Control de Puertos y Vías Navegables, Dirección de Control Técnico de Concesiones, correspondiente al 26 de diciembre de 2019. Publicación semanal, Propiedad Literaria N.º 313.714, Ley N.º 11.723, Año LXXII, N.º 47/2019.

5.1.4. Hidrómetros del puerto de Santa Fe

El hidrómetro del Puerto de Santa Fe, administrado por el SHN, constituye una de las estaciones de referencia para el monitoreo sistemático de los niveles del río Paraná en el área de estudio. Los registros obtenidos en esta estación permitieron disponer de una serie temporal de alturas hidrométricas utilizada para analizar la evolución de la bajante y su comportamiento durante el período considerado en la investigación.

La información hidrométrica proporcionó valores objetivos para identificar las variaciones del nivel del río, reconocer los períodos de descenso sostenido y establecer su correspondencia temporal con las restantes fuentes de información utilizadas, entre ellas los partes hidrológicos, las profundidades efectivas del régimen fluvial, la cartografía oficial y las imágenes satelitales. La integración de estos datos permitió

contextualizar espacialmente el comportamiento del cauce y evaluar la magnitud de las variaciones registradas en el sector comprendido por el área de estudio.

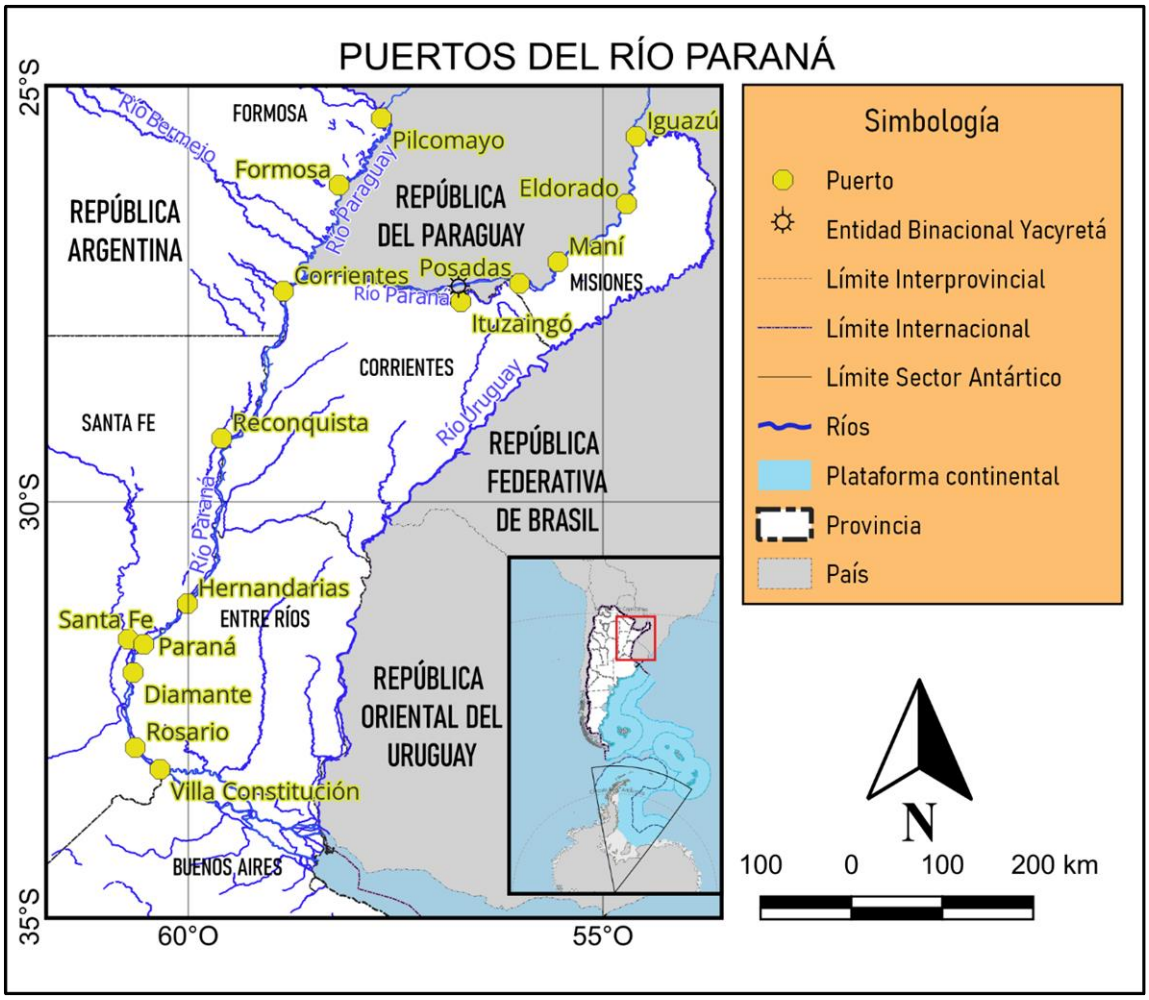


Figura 5-4. Mapa de ubicación de los puertos e hidrómetros con registros de niveles correspondientes al año 2019.
Nota. Elaboración propia sobre la base de información hidrográfica y cartográfica oficial de datos geoespaciales del SHN e IGN.

Desde el punto de vista cartográfico, el hidrómetro del Puerto de Santa Fe fue considerado un punto de control territorial para la interpretación de la dinámica fluvial, permitiendo relacionar los registros de altura del río con la distribución espacial de los principales elementos hidrográficos presentes en el área de estudio. Su utilización aportó un marco de referencia objetivo para el análisis de la evolución hidrológica del río Paraná y fortaleció la integración entre la información hidrométrica y la representación cartográfica desarrollada en la presente investigación.

La distribución espacial de los hidrómetros y su vinculación con los principales puertos fluviales (Figura 5-4) proporcionaron un marco de referencia para interpretar las diferencias observadas en los niveles del río y su incidencia sobre las profundidades efectivas de navegación. La integración de esta información permitió establecer correspondencias entre los registros hidrométricos, las condiciones batimétricas y la configuración del cauce durante el período analizado, aportando elementos objetivos para comprender la distribución espacial de la bajante.

5.2. Ministerio de Infraestructura de Santa Fe

La investigación incorporó los Partes Históricos del río Paraná correspondientes al año 2019 (Tabla 5-2), así como la información sobre Profundidades Efectivas – Régimen Fluvial a Rutas Principales. En la primera tabla, la fila resaltada en color amarillo identificó el valor hidrométrico más bajo registrado en el puerto de Santa Fe durante diciembre de 2019. Asimismo, la fila destacada en color verde, correspondiente al 18 de diciembre de 2019, indicó la fecha de adquisición de las imágenes satelitales empleada. Esta correspondencia temporal permitió relacionar la información hidrométrica con la respuesta espectral observada en la imagen y analizar las condiciones del río en un escenario de nivel reducido.

Partes históricos del río Paraná 2019

Fecha	Puerto Iguazú	Ituzaingó	Corrientes	Reconquista	Santa Fe	Diamante	Rosario	Villa Constitución
1/12/2019	9,4	0,82	1,78	1,92	1,82	1,79	1,48	1,14
2/12/2019	8,4	0,8	1,8	1,9	1,79	1,76	1,48	1,55
3/12/2019	9	0,8	1,75	1,91	1,76	1,75	1,64	1,49
4/12/2019	8,8	0,8	1,68	1,87	1,76	1,75	1,6	1,33
5/12/2019	9	0,9	1,65	1,9	1,76	1,76	1,48	1,15
6/12/2019	9,6	0,9	1,66	1,85	1,76	1,73	1,39	1,18
7/12/2019	9	0,8	1,72	1,81	1,73	1,71	1,42	1,13
8/12/2019	10,2	0,8	1,72	1,8	1,69	1,68	1,4	1,28
9/12/2019	9	0,8	1,68	1,84	1,65	1,65	1,47	1,16
10/12/2019	8,8	0,8	1,65	1,84	1,62	1,62	1,38	1,08
11/12/2019	9,6	1,15	1,63	1,81	1,6	1,6	1,37	1
12/12/2019	10,8	0,95	1,69	1,78	1,58	1,58	1,23	Sin registro
13/12/2019	11	1	1,85	1,8	1,58	1,56	1,23	Sin registro
14/12/2019	12,1	1,28	1,89	1,79	1,54	1,53	1,18	1,25
15/12/2019	10,8	1,1	1,96	1,84	1,5	1,52	1,4	1,15
16/12/2019	10	1	2,1	2,04	2	2,07	1,33	1
17/12/2019	10,2	1	2,18	2,1	2,02	2,14	1,55	1,3

18/12/2019	**10,8**	**1,35**	**2,18**	**2,14**	**2,09**	**2,11**	**1,74**	**1,42**
19/12/2019	12,2	1,2	2,2	2,18	2,1	2,12	1,78	1,51
20/12/2019	11,4	1	2,27	2,19	2,1	2,12	1,79	1,35
21/12/2019	12,4	1	2,3	2,19	2,1	2,16	1,75	1,42
22/12/2019	12,4	1,12	2,35	2,25	2,1	2,17	1,8	1,58

https://datos.santafe.gob.ar/dataset/parte-de-alturas-del-rio-parana

La Tabla 5-2 presenta un extracto de las alturas hidrométricas de la cuenca del río Paraná, proveniente del 'Parte de alturas del río Paraná' del Ministerio de Infraestructura, Servicios Públicos y Hábitat, Secretaría de Recursos Hídricos, Subsecretaría de Planificación y Gestión, Dirección General de Servicios Técnicos.

Estos productos permitieron constatar la evolución de la bajante, identificar las variaciones registradas en los principales sectores navegables y relacionar dichos cambios con las condiciones de operatividad de los puertos emplazados sobre el área de estudio.

5.3. Instituto Nacional del Agua

El Instituto Nacional del Agua (INA) es un organismo científico-tecnológico descentralizado de la República Argentina, especializado en el estudio, investigación y desarrollo aplicado a los recursos hídricos. Su actividad comprende el análisis de aguas superficiales y subterráneas, sistemas de alerta hidrológica, dinámica fluvial, inundaciones, sedimentación y otros procesos vinculados con el aprovechamiento y preservación del agua. En el marco de esta investigación, la información producida y difundida por el INA constituyó una fuente de referencia para interpretar el comportamiento hidrológico del río Paraná y complementar los registros hidrométricos y cartográficos utilizados durante el período analizado. Actualmente, el organismo depende de la Secretaría de Obras Públicas del Ministerio de Economía.

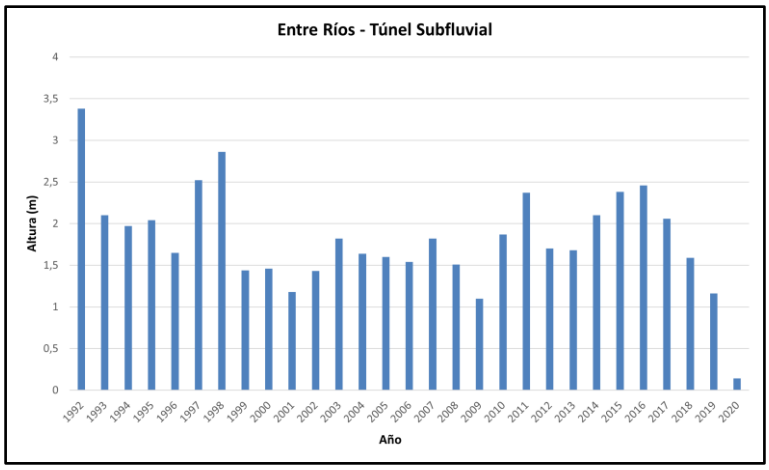
A partir de la base de datos de registros hidrométricos del Sistema Nacional de Información Hídrica, se elaboraron dos gráficos estadísticos con los valores mínimos anuales correspondientes a las estaciones Túnel Subfluvial (Figura 5-5) y La Guardia (Figura 5-6). Este tratamiento permitió visualizar la distribución y frecuencia de los niveles mínimos registrados en cada punto de medición y aportar información de apoyo al análisis hidrográfico regional. Los resultados fueron incorporados a la carta temática como información marginal, integrando la dimensión espacial con el comportamiento histórico de los niveles bajos del río.

Los puertos localizados en las márgenes y áreas adyacentes del río Paraná cuentan con hidrómetros operados o registrados por distintos organismos e instituciones. Entre ellos se encuentran la Prefectura Naval Argentina (PNA), el INA y universidades, entre otros. La información difundida mediante páginas web y aplicaciones permite consultar el estado de los ríos y situaciones de riesgo según los datos disponibles para cada estación (Tabla 5-3).

Nomenclatura de las estaciones de medición

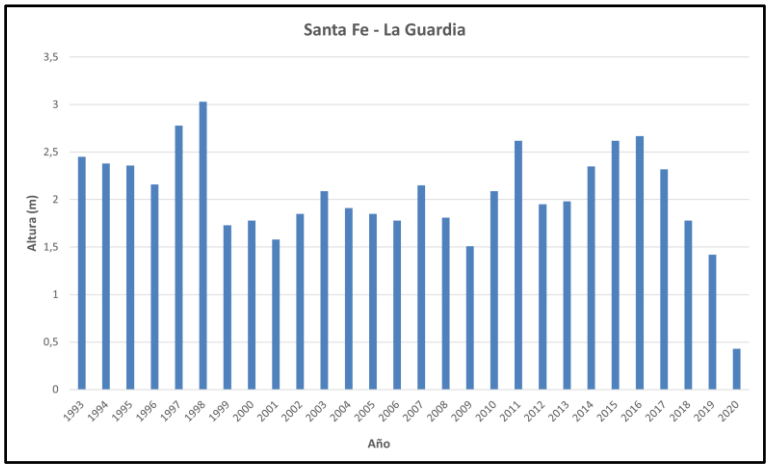
Unidad	Estación	Nombre de la estación	Valores expresados en metros			
			0 IGN	Nivel de alerta	Nivel de evacuación	Nivel de aguas bajas
19	b	Corrientes	42,39	6,5	7	1,83
29	b	Paraná	9,432	4,7	5	1,61
30	b	Santa Fe	8,378	5,3	5,7	2
31	b	Diamante	6,747	5,3	5,5	2,4
32	b	Victoria	1,536	4,6	5,9	2,48
34	b	Rosario	2,923	5	5,25	1,64
35	b	Villa Constitución	1,981	4	4,5	1,3

Tabla 5-3. Es un extracto de la información del Catálogo y Visualizador de información hidrológica - SIyAH – INA



https://snih.hidricosargentina.gob.ar/Filtros.aspx

Figura 5-5. Histograma de la estación hidrométrica del túnel Subfluvial



https://snih.hidricosargentina.gob.ar/Filtros.aspx
Figura 5-6. Histograma de la estación hidrométrica La Guardia

5.4. Instituto Geográfico Nacional

Es un organismo técnico de Argentina encargado de producir, mantener y difundir información geoespacial del territorio nacional. Depende del Ministerio de Defensa y sus incumbencias abarcan todo el país, con competencias en cartografía, geodesia, topografía y tecnologías geoespaciales. Su labor incluye la elaboración de mapas oficiales, la actualización de la infraestructura geodésica y la creación de modelos de relieve y bases de datos espaciales. Las aplicaciones de su trabajo abarcan desde la planificación urbana y la gestión del territorio hasta la navegación, la defensa nacional y el monitoreo ambiental.

El modelo digital de elevaciones utilizado en la presente investigación correspondió a un producto aerofotogramétrico distribuido por el IGN, con una resolución espacial nominal de 5 metros. Los archivos fueron obtenidos en formato ráster .img y se organizaron territorialmente según la nomenclatura de las hojas cartográficas empleada por el organismo (Figura 5-7).

De acuerdo con la documentación técnica del IGN, los modelos aerofotogramétricos de esta categoría fueron generados a partir de relevamientos realizados mediante fotografía aérea digital, apoyados por sistemas GNSS e inerciales y procedimientos de aerotriangulación. Estos productos poseen una resolución espacial nominal de 5 m y una precisión vertical informada por el organismo como submétrica. La grilla altimétrica generada mediante este proceso se encuentra vinculada al Sistema de Referencia Vertical

Nacional 2016 (SRVN16), mientras que el marco geodésico utilizado por el IGN en el proceso de producción corresponde a POSGAR 07.

La resolución espacial de 5 m expresa el espaciamiento horizontal nominal de las celdas del modelo y condiciona el nivel de detalle con que puede representarse la superficie. Este valor no fue considerado equivalente a la precisión vertical del producto. La diferenciación entre ambos parámetros resultó necesaria para evitar atribuir a la dimensión del píxel una exactitud altimétrica que debe evaluarse mediante información específica sobre la calidad vertical del modelo.

Antes de utilizar la información altimétrica se efectuó una revisión de los valores contenidos en las teselas correspondientes al área de estudio, con el propósito de identificar posibles valores atípicos y sectores susceptibles de generar representaciones artificiales del relieve. Esta revisión resultó particularmente relevante en un ambiente de escasa pendiente como la planicie aluvial del río Paraná.



https://www.ign.gob.ar/NuestrasActividades/Geodesia/ModeloDigitalElevaciones
Figura 5-7. DEM generado a partir del MDE-Ar.

5.4.1. Capas SIG en formato vectorial

Las capas de información geográfica en formato vectorial publicadas por el IGN constituyeron una de las principales fuentes de datos geoespaciales utilizadas en esta investigación. Su estructura, basada en entidades de tipo punto, línea y polígono, permitió representar la geometría y localización de distintos elementos del territorio de acuerdo

con las características y metadatos de cada conjunto de datos, facilitando su integración y análisis dentro del entorno SIG.

Los datos oficiales proporcionaron información correspondiente a la red hidrográfica, vías de comunicación, áreas urbanas, límites administrativos, infraestructura y demás elementos geográficos presentes en el área de estudio. Su incorporación permitió disponer de una base cartográfica homogénea, georreferenciada y compatible con el sistema de referencia adoptado para el proyecto, favoreciendo la integración con las restantes fuentes de información empleadas durante el procesamiento.

La utilización de estas capas vectoriales también permitió identificar sectores del territorio donde la información disponible resultaba incompleta o inexistente para los objetivos específicos de la investigación. A partir de su comparación con los cuarterones del SHN, las cartas topográficas del IGN, las imágenes satelitales y los modelos digitales de elevación, fue posible localizar entidades geográficas que no se encontraban representadas en formato vectorial. Esta situación hizo necesaria la generación de nuevas coberturas mediante procesos de digitalización, incorporando entidades puntuales, lineales y poligonales que ampliaron el nivel de detalle de la base cartográfica y fortalecieron la representación temática de la bajante del río Paraná.

La estandarización de la información, su correspondencia con el marco geodésico oficial y la consistencia topológica de las capas facilitaron su integración con los restantes insumos geoespaciales utilizados durante la investigación. Estas características permitieron mantener la integridad espacial de la información, optimizar el análisis cartográfico y disponer de una base de datos geográfica técnicamente consistente para la elaboración de la carta temática.

5.4.2. Cartas topográficas

En la presente investigación se utilizaron cartas topográficas históricas elaboradas por el entonces IGM, actual IGN. Estos documentos, confeccionados originalmente bajo la proyección Gauss-Krüger y el datum Campo Inchauspe, fueron empleados como fuentes cartográficas de consulta y apoyo para la revisión de la información geográfica correspondiente al área de estudio. Dado que su utilización tuvo carácter documental y de referencia, las cartas no fueron georreferenciadas, reproyectadas ni incorporadas como capas al entorno SIG desarrollado para la elaboración de la carta temática.

Las cartas topográficas fueron utilizadas para complementar la interpretación y el contraste de la información geográfica obtenida de las restantes fuentes oficiales consideradas durante la investigación. Su consulta permitió revisar la representación de cursos de agua, curvas de nivel, puntos acotados, infraestructura, localidades, vías de comunicación, toponimia y otras referencias territoriales presentes en el área de trabajo. De este modo, estos documentos aportaron antecedentes cartográficos que sirvieron de apoyo para la identificación y revisión de determinados elementos geográficos, sin constituir una fuente destinada a la obtención de posiciones métricas ni a la generación directa de información geoespacial.

Debido a que las cartas consultadas fueron editadas en escalas 1:50.000 y 1:100.000, su utilización se limitó al contraste y revisión de la información geográfica del área de estudio. En consecuencia, no se emplearon para generar nuevas coberturas vectoriales, efectuar mediciones planimétricas ni definir la posición de las entidades representadas en el producto cartográfico final. Su incorporación a la investigación respondió a su valor como antecedente cartográfico oficial y como fuente complementaria para interpretar características territoriales e información histórica del sector analizado.

Las cartas topográficas analizadas corresponden a la serie oficial, cuya distribución espacial se presenta en la Figura 5-8 y Figura 5-9.



Figura 5-8. Hoja 3160-33-01 SAN BENITO, Edición julio de 1967

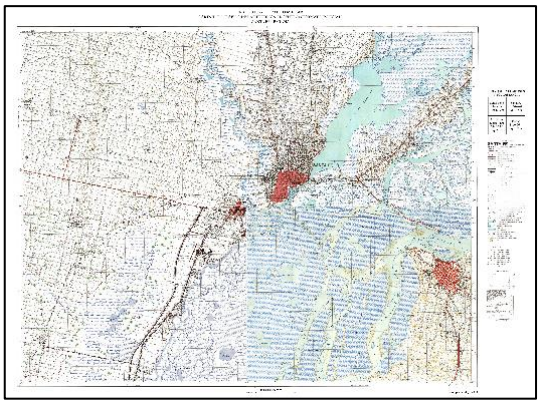


Figura 5-9. Hoja 3160-32-01 SANTA FE – PARANÁ Compilada en mayo de 2003

5.4.3. Manual de Signos Cartográficos

El Manual de Signos Cartográficos del IGN edición 2010, constituye el documento técnico de referencia para la interpretación y representación de la información contenida en la cartografía oficial de la República Argentina. Su contenido normaliza el empleo de símbolos, colores, abreviaturas, tipografías y convenciones gráficas utilizadas para representar el relieve, la hidrografía, la vegetación, las vías de comunicación, los asentamientos, la infraestructura y las divisiones político-administrativas dentro de la jurisdicción cartográfica del IGN.

En el marco de esta investigación, el manual constituyó una fuente de consulta para interpretar la simbología presente en las cartas topográficas utilizadas como base del estudio. Su contenido permitió reconocer los elementos representados y la correspondencia entre los distintos símbolos cartográficos y las entidades geográficas consignadas en la cartografía, facilitando la interpretación de la información topográfica durante las tareas de análisis y digitalización.

Los criterios establecidos por el manual también sirvieron de referencia para la selección e implementación de la simbología incorporada a la carta temática. Para ello se adoptaron únicamente aquellos signos cartográficos compatibles con la naturaleza de la información representada y con el ámbito de aplicación correspondiente a la cartografía oficial del IGN, preservando la coherencia gráfica y la uniformidad en la representación de los elementos incorporados al producto cartográfico

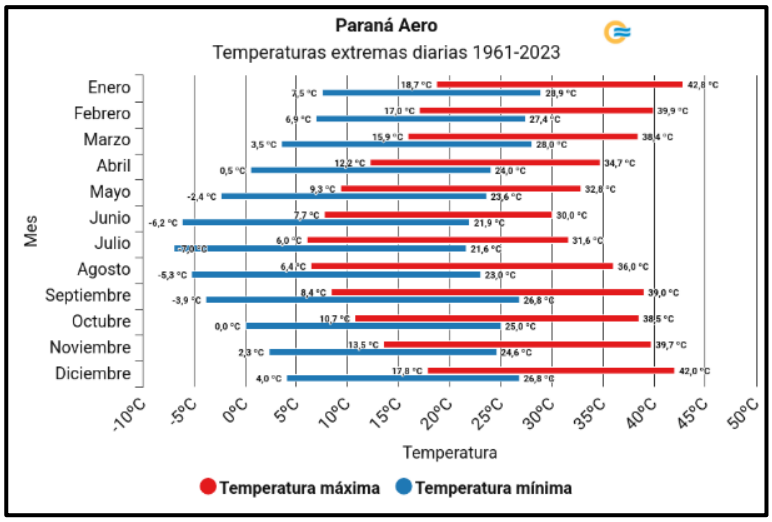
5.5. Servicio Meteorológico Nacional

El SMN, organismo dependiente del Ministerio de Defensa de la República Argentina, constituye la fuente oficial responsable del monitoreo y difusión de información meteorológica y climática del territorio nacional. A través de su red de estaciones meteorológicas genera registros sistemáticos que, en esta investigación, se utilizaron como insumos de referencia para caracterizar las condiciones meteorológicas del período estudiado.

En la presente investigación se utilizaron datos meteorológicos de acceso libre obtenidos del portal oficial del SMN, seleccionados por su correspondencia espacial y temporal con el área y el período de estudio. Se emplearon registros provenientes de la Estación Meteorológica Paraná, ubicada en la provincia de Entre Ríos (Figura 5-11 y Figura 5-12), y de la Estación Meteorológica Sauce Viejo (Figura 5-13 y Figura 5-14), en la provincia de Santa Fe, debido a su proximidad al área de estudio y a la disponibilidad de información durante el período analizado.

Los valores de temperatura y precipitación registrados en ambas estaciones permitieron elaborar histogramas incorporados como información marginal en la carta temática. Estos gráficos complementaron la representación cartográfica al aportar información meteorológica de apoyo para contextualizar las condiciones ambientales registradas durante el período de estudio.

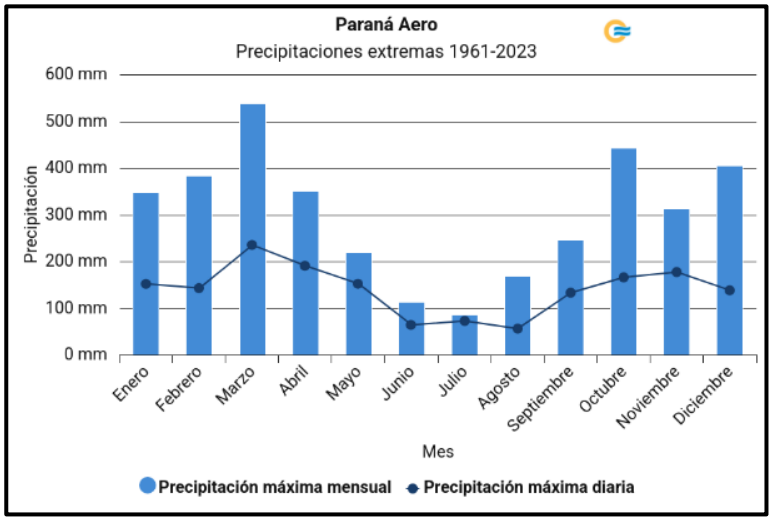
Valores Extremos de Temperatura



https://www.smn.gob.ar/estadisticas

Figura 5-11. Estación meteorológica Paraná Provincia de Entre Ríos

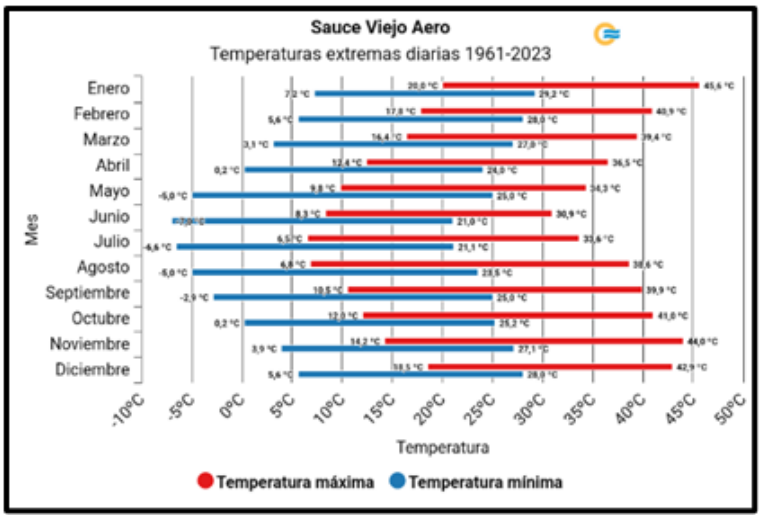
Valores Extremos de Precipitación



https://www.smn.gob.ar/estadisticas

Figura 5-12. Estación meteorológica Paraná Provincia de Entre Ríos

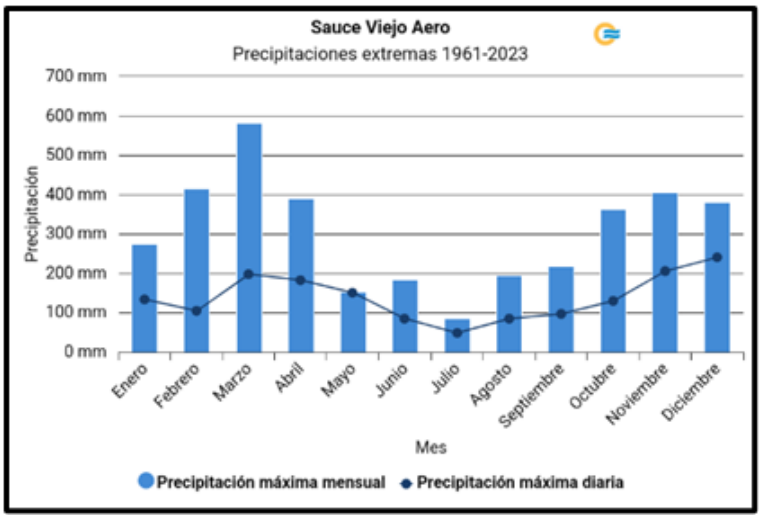
Valores Extremos de Temperatura



https://www.smn.gob.ar/estadisticas

Figura 5-13. Estación meteorológica Sauce Viejo Provincia de Santa Fe

Extremos de Precipitación



https://www.smn.gob.ar/estadisticas

Figura 5-14. Estación meteorológica Sauce Viejo Provincia de Santa Fe Valores

Desde el punto de vista cartográfico, la incorporación de los histogramas respondió a criterios de composición y jerarquización de la información y amplió el contenido temático del mapa sin desplazar sus elementos principales. Su integración proporcionó un contexto complementario para la interpretación del fenómeno representado.

5.6. Instituto Nacional del Agua

El INA, organismo dependiente de la Secretaría de Obras Públicas de la Nación, constituye una de las principales fuentes oficiales de información hidrológica de la República Argentina. A través de sus sistemas de monitoreo y plataformas geoespaciales, genera y difunde información técnica sobre el comportamiento de los cursos de agua, brindando datos de apoyo para estudios vinculados con la gestión de los recursos hídricos y el análisis de fenómenos hidrológicos.

En el desarrollo de la presente investigación se consultó información de acceso libre disponible en el portal oficial del INA, seleccionada por su correspondencia con el área y el período de estudio. Particularmente, se utilizaron recursos del Sistema de Alerta Hidrológico de la Cuenca del Plata que proporcionaban información sobre el comportamiento hidrológico de la cuenca para las fechas y series disponibles, complementando el análisis de la bajante del río Paraná.

Asimismo, se emplearon los recursos geoespaciales disponibles mediante el visor cartográfico, el servidor de mapas (GeoServer) y el catálogo de metadatos, herramientas que facilitaron la consulta, visualización y verificación de información hidrológica oficial utilizada durante el proceso de elaboración de la cartografía temática.

La información suministrada por el INA complementó las restantes fuentes oficiales incorporadas en la investigación, fortaleciendo la consistencia del análisis territorial y proporcionando información hidrológica de referencia para la interpretación del fenómeno representado en la carta temática.

5.7. Copernicus de la Agencia Espacial Europea

La ESA es una organización intergubernamental dedicada al desarrollo de programas espaciales, observación de la Tierra y aplicaciones satelitales. En la presente investigación se utilizaron imágenes satelitales del programa Copernicus, iniciativa desarrollada conjuntamente por la Comisión Europea y la ESA, cuya misión es proporcionar información geoespacial de acceso libre para el monitoreo del territorio y del ambiente.

Las imágenes obtenidas a través de las misiones Sentinel constituyeron una de las principales fuentes de información para el análisis de la bajante del río Paraná, permitiendo identificar y representar las variaciones espaciales de la cobertura hídrica mediante técnicas de procesamiento digital de imágenes integradas al entorno de los SIG.

5.7.1. El satélite Sentinel-1

Sentinel-1 incorpora un sensor de radar de apertura sintética (SAR) que opera en banda C y genera información a partir de la energía de microondas emitida por el propio sensor y de la señal retrodispersada por la superficie terrestre. Al tratarse de un sistema activo, las adquisiciones no dependen de la iluminación solar y presentan una menor limitación frente a la cobertura nubosa que las imágenes obtenidas mediante sensores ópticos. Esta característica resulta particularmente útil para la observación de ambientes fluviales, donde las condiciones atmosféricas pueden dificultar la disponibilidad de imágenes ópticas coincidentes con el período de interés.

En la presente investigación se utilizaron imágenes Sentinel-1 procesadas a Nivel 1 GRD (Ground Range Detected), correspondientes al modo de adquisición IW (Interferometric Wide Swath), modalidad habitualmente empleada para observaciones terrestres de grandes superficies. Los productos GRD representan la información radar proyectada sobre el terreno y permiten analizar las variaciones de retrodispersión asociadas con las características físicas de las distintas coberturas. Para los productos estándar IW de alta resolución, la documentación técnica de Sentinel-1 establece un espaciado de píxel de aproximadamente 10 × 10 m, mientras que su resolución espacial efectiva es diferente del tamaño del píxel y debe considerarse como una propiedad independiente del producto.

En el área de estudio, la respuesta radar se utilizó de manera complementaria para interpretar diferencias entre superficies con distinto grado de rugosidad y contenido de humedad. Los cuerpos de agua relativamente calmos suelen presentar una baja retrodispersión debido al predominio de la reflexión especular, mientras que la vegetación, los bancos emergidos y otras superficies más rugosas generan respuestas diferentes. Esta propiedad permitió utilizar las imágenes Sentinel-1 como apoyo para el reconocimiento de sectores asociados al agua y para contrastar los resultados obtenidos mediante las imágenes ópticas Sentinel-2 y el NDWI.

5.7.2. El satélite Sentinel-2

Sentinel-2 incorpora el sensor multiespectral MSI (Multispectral Instrument), compuesto por trece bandas espectrales distribuidas entre el espectro visible, el infrarrojo cercano y el infrarrojo de onda corta, con distintas resoluciones espaciales según la banda considerada. En la presente investigación se utilizaron productos Sentinel-2 de Nivel 2A (L2A), correspondientes a reflectancia de superficie o Bottom-of-Atmosphere (BOA).

Los productos L2A se obtienen mediante el procesamiento de imágenes Nivel 1C, sobre las cuales se aplica una corrección atmosférica destinada a reducir la influencia de la dispersión y absorción de la radiación por parte de los componentes de la atmósfera. De este modo, los valores espectrales utilizados representan de manera más directa la reflectancia de la superficie que los productos Nivel 1C, expresados como reflectancia en el límite superior de la atmósfera (Top-of-Atmosphere, TOA).

En esta investigación, las imágenes Sentinel-2 L2A constituyeron la principal fuente satelital utilizada para la identificación y delimitación de superficies cubiertas por agua.

Para este propósito se emplearon las bandas B03, correspondiente a la región verde del espectro visible, y B08, correspondiente al infrarrojo cercano (NIR), ambas con una resolución espacial nativa de 10 metros.

A partir de estas bandas se calculó el Índice Normalizado de Diferencia de Agua (NDWI), cuya aplicación permitió diferenciar sectores con respuesta espectral asociada al agua respecto de bancos emergidos, vegetación y otras coberturas terrestres. El uso de productos L2A favoreció este procedimiento al trabajar con valores de reflectancia superficial corregidos atmosféricamente, reduciendo la influencia de estos efectos sobre la relación espectral utilizada en el índice.

No obstante, la corrección atmosférica no fue considerada como un indicador de presición posicional ni de precisión temática. La delimitación de las superficies hídricas dependió también de la resolución espacial de las bandas, de las características espectrales de las coberturas y del procedimiento de clasificación aplicado.

La información derivada de Sentinel-2 fue integrada con los registros hidrométricos, la cartografía hidrográfica, los datos topográficos y las restantes fuentes utilizadas durante la investigación. Debido a las características de resolución de las bandas empleadas y a la escala 1:25.000 adoptada para la carta temática, las imágenes Sentinel-2 y los productos derivados del NDWI fueron utilizados como insumos temáticos para la identificación, interpretación y delimitación de las superficies hídricas, y no como fuentes destinadas a establecer posiciones planimétricas de precisión.

5.8. La cuenca hidrográfica del río Paraná

La Cuenca del Río de la Plata constituye uno de los sistemas hidrográficos más extensos e importantes de América del Sur, comprendiendo territorios de Argentina, Brasil, Bolivia, Paraguay y Uruguay. Su red hidrográfica está integrada principalmente por los ríos Paraná, Paraguay y Uruguay, cuyos aportes convergen en el estuario del Río de la Plata.

Dentro de este sistema, la cuenca hidrográfica del río Paraná representa una de las principales unidades de drenaje y constituyó el ámbito territorial en el que se desarrolló la presente investigación. Su delimitación responde a criterios hidrológicos definidos por el relieve y la divisoria de aguas que determinan el escurrimiento superficial hacia el cauce principal y sus afluentes.

Desde el punto de vista geográfico, la cuenca se encuentra condicionada por distintas unidades geomorfológicas que orientan el comportamiento de la red de drenaje. Entre ellas se destacan la Meseta Brasileña, principal área de aporte de escurrimientos superficiales, y las extensas llanuras desarrolladas aguas abajo, donde el río Paraná adquiere un comportamiento caracterizado por una menor pendiente, amplios valles de inundación y una marcada dinámica fluvial.



Figura 5-15. Mapa de la cuenca del río Paraná.
Nota. Elaboración propia sobre la base de información hidrográfica y cartográfica oficial de datos geoespaciales del SHN e IGN.

Con el propósito de contextualizar espacialmente el área de estudio, se elaboró un mapa temático que representa al Río de la Plata y la ubicación de la cuenca hidrográfica del río Paraná (Figura 5-15) dentro de dicho sistema hidrográfico. Esta representación permite

identificar la relación jerárquica entre ambas unidades, proporcionando una referencia espacial que facilita la comprensión del ámbito territorial analizado y la localización del sector donde se desarrolló la investigación.

La incorporación de esta información cartográfica constituyó una base de referencia para interpretar los datos hidrológicos, topográficos y geoespaciales utilizados en el estudio y para contextualizar territorialmente la bajante analizada del río Paraná.

5.8.1. Precipitaciones y sequía en la cuenca del Río Paraná

La interpretación del comportamiento hidrológico de la cuenca del río Paraná requiere considerar la distribución espacial y temporal de las precipitaciones registradas en su área de aporte, debido a que estas constituyen uno de los principales factores que condicionan la dinámica de los caudales y las variaciones de los niveles hidrométricos. En este contexto, el análisis de la información pluviométrica resulta fundamental para comprender las condiciones hidrológicas que caracterizaron el período de estudio y contextualizar la bajante extraordinaria y la del 18 de diciembre de 2019 registrada en el sistema fluvial.

Para ello se utilizaron datos de precipitación obtenidos mediante el producto CHIRPS (Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station Data), una base de datos de acceso libre que integra información proveniente de sensores satelitales y registros de estaciones meteorológicas. En esta investigación, la utilidad del producto se evaluó principalmente por su cobertura espacial y por su resolución nominal.

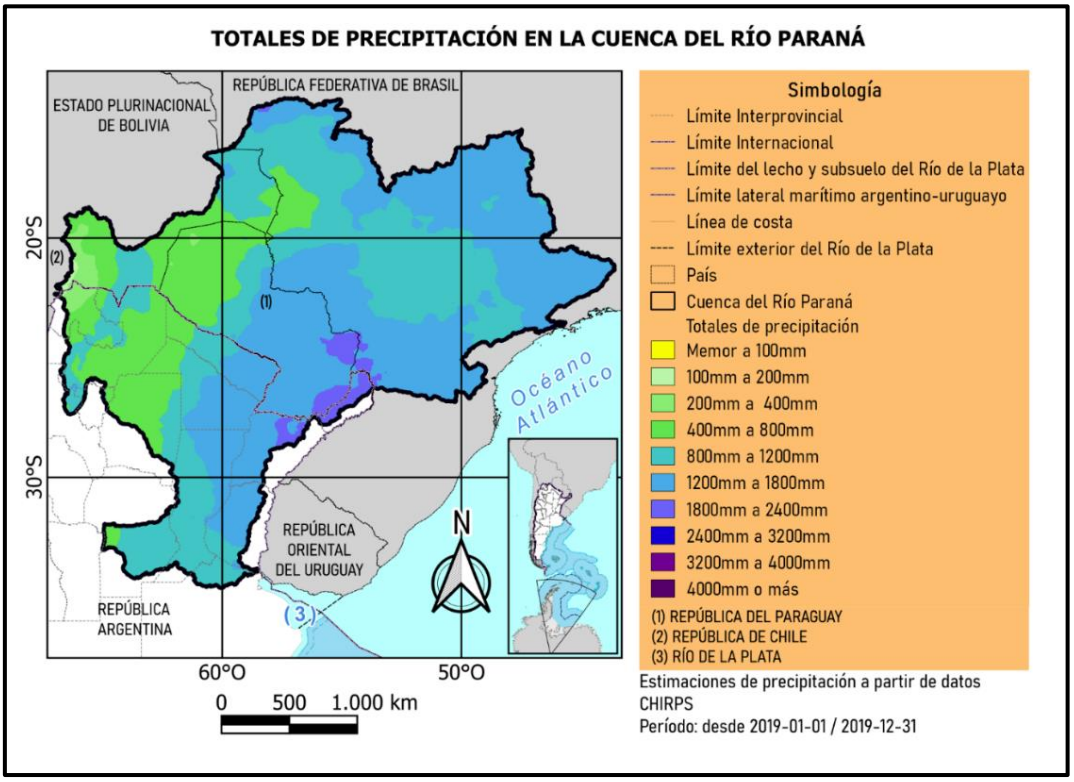
Los productos generados por CHIRPS poseen una resolución espacial de 0,05° (aproximadamente 5 km) y expresan la precipitación en milímetros, proporcionando información que permitió identificar la distribución espacial de las lluvias sobre la cuenca hidrográfica del río Paraná durante el período analizado.

La información obtenida mediante este modelo constituyó un insumo complementario para la interpretación de la dinámica hidrológica de la cuenca, al facilitar el análisis de la relación entre la distribución de las precipitaciones y las variaciones observadas en los niveles del río. Su integración con las restantes fuentes oficiales utilizadas en la investigación fortaleció la interpretación del contexto hidrológico y aportó un soporte temático para la elaboración de la cartografía desarrollada.

- Totales de precipitación

Este mapa representa totales de precipitación acumulada en milímetros, utilizando datos del producto CHIRPS para la región CRC-SAS y la escala temporal seleccionada. El producto CHIRPS calcula las precipitaciones al combinar datos obtenidos por satélite con mediciones realizadas en estaciones meteorológicas.

En el mapa, los totales de precipitación están representados mediante un sombreado en diferentes colores. Las tonalidades que van del verde al amarillo se asocian con menores cantidades de precipitación acumulada. Por otro lado, las tonalidades que van del violeta al azul indican mayores montos de precipitación, siendo más intensa la coloración a medida que aumenta la cantidad de lluvia acumulada (Figura 5-16).



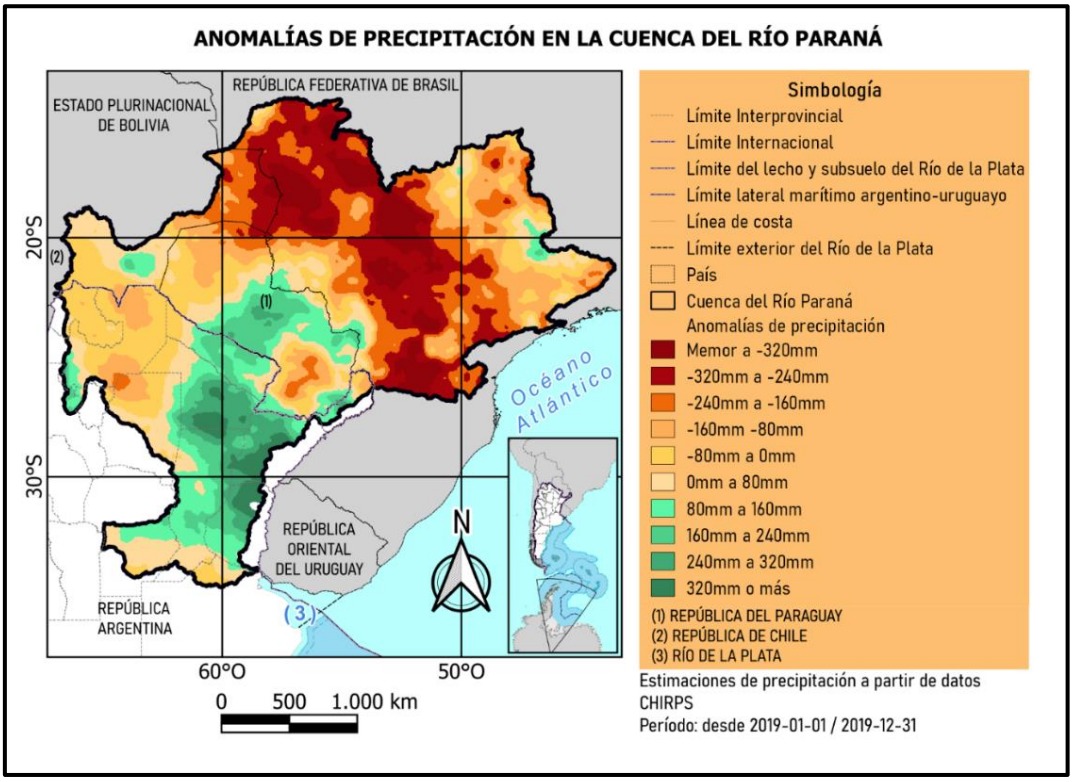
https://sissa.crc-sas.org/monitoreo/precipitacion-estimada-por-satelite/

Figura 5-16. Mapa elaborado con datos correspondientes al período de doce meses del año 2019.

Nota. Elaboración propia sobre la base de información hidrográfica y cartográfica oficial de datos geoespaciales del SHN e IGN.

- Anomalía de precipitación

La anomalía de precipitación expresa la diferencia entre la precipitación observada o estimada para un período y un valor de referencia. En este caso se consideró el período de doce meses de 2019 y la comparación representada en la Figura 5-17, expresada en milímetros respecto del período de referencia indicado en la propia figura.



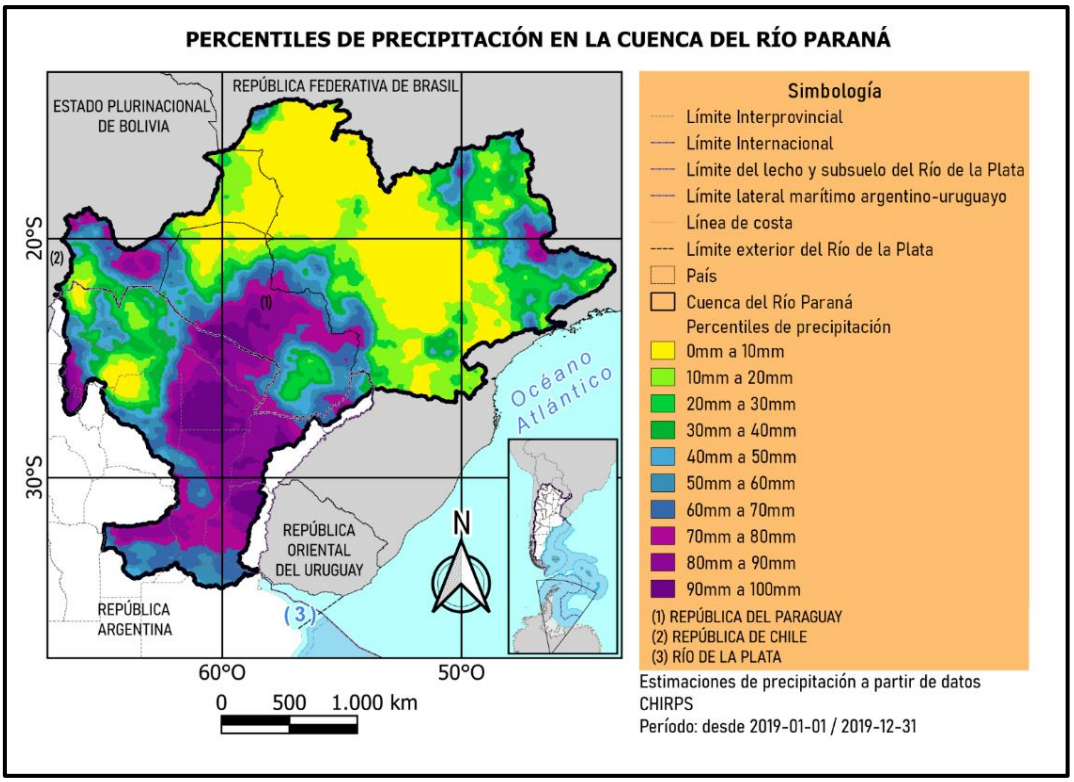
https://sissa.crc-sas.org/monitoreo/precipitacion-estimada-por-satelite/

Figura 5-17. Anomalías de precipitación (mm) referidas al período de referencia 1982-2016.

Nota. Elaboración cartográfica propia a partir de productos obtenidos de SISSA, procesados mediante QGIS Desktop.

- Percentiles de precipitación

El análisis de percentiles de precipitación mediante el ajuste a distribuciones no paramétricas basadas en log-splines permite modelar la variabilidad de la lluvia sin imponer una única forma paramétrica a la distribución. Este enfoque facilita el tratamiento de valores extremos y la estimación de percentiles para comparar eventos de precipitación con patrones históricos. En esta tesisna, su interpretación se utilizó como información contextual y no como una medida de precisión estadística validada específicamente para el área de estudio (Figura 5-18).

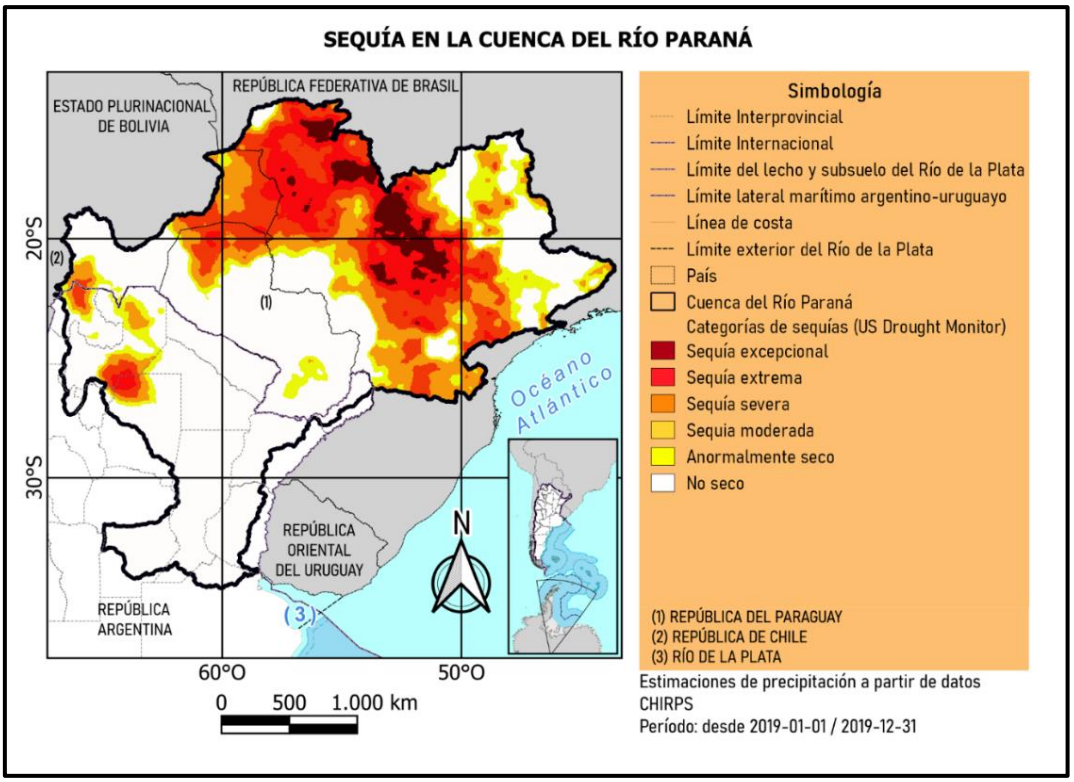


https://sissa.crc-sas.org/monitoreo/precipitacion-estimada-por-satelite/

Figura 5-18. Percentiles de precipitación derivados del ajuste a una distribución no paramétrica basada en log-splines.
Nota. Elaboración cartográfica propia a partir de productos obtenidos de SISSA, procesados mediante QGIS Desktop.

- Sequía

En un mapa de sequía del US Drought Monitor (USDM), se visualiza la representación geográfica de las condiciones de sequía en diversas regiones de la cuenca del río Paraná. Este mapa muestra diferentes grados de sequía y suele utilizar una escala de colores para distinguir la severidad de esta (Figura 5-19).

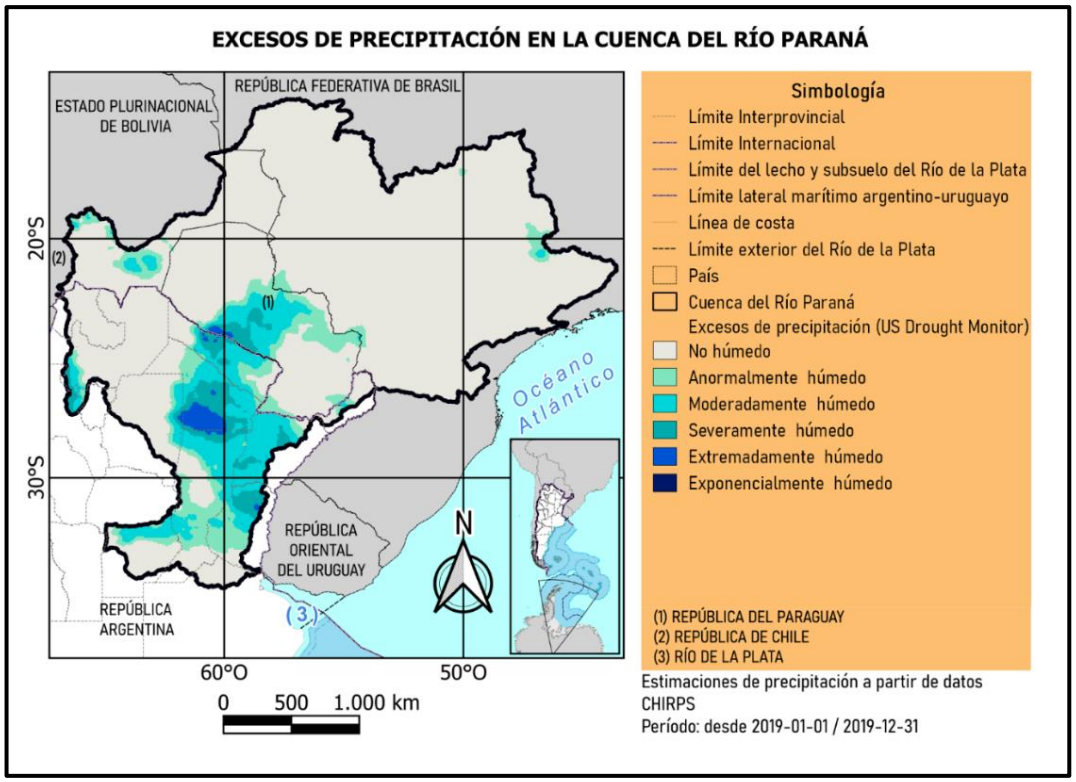


https://sissa.crc-sas.org/monitoreo/precipitacion-estimada-por-satelite/

Figura 5-19. Categorías de sequías de acuerdo con US Drought Monitor. Nota. Elaboración cartográfica propia a partir de productos obtenidos de SISSA, procesados mediante QGIS Desktop.

- Excesos de precipitación

El mapa de excesos de precipitación representa las áreas en las que los valores de precipitación se ubican por encima del patrón de referencia utilizado por el producto consultado. Esta información complementa la lectura de las condiciones de humedad en la cuenca y permite identificar sectores con valores relativamente elevados respecto de dicho patrón (Figura 5-20).



https://sissa.crc-sas.org/monitoreo/precipitacion-estimada-por-satelite/

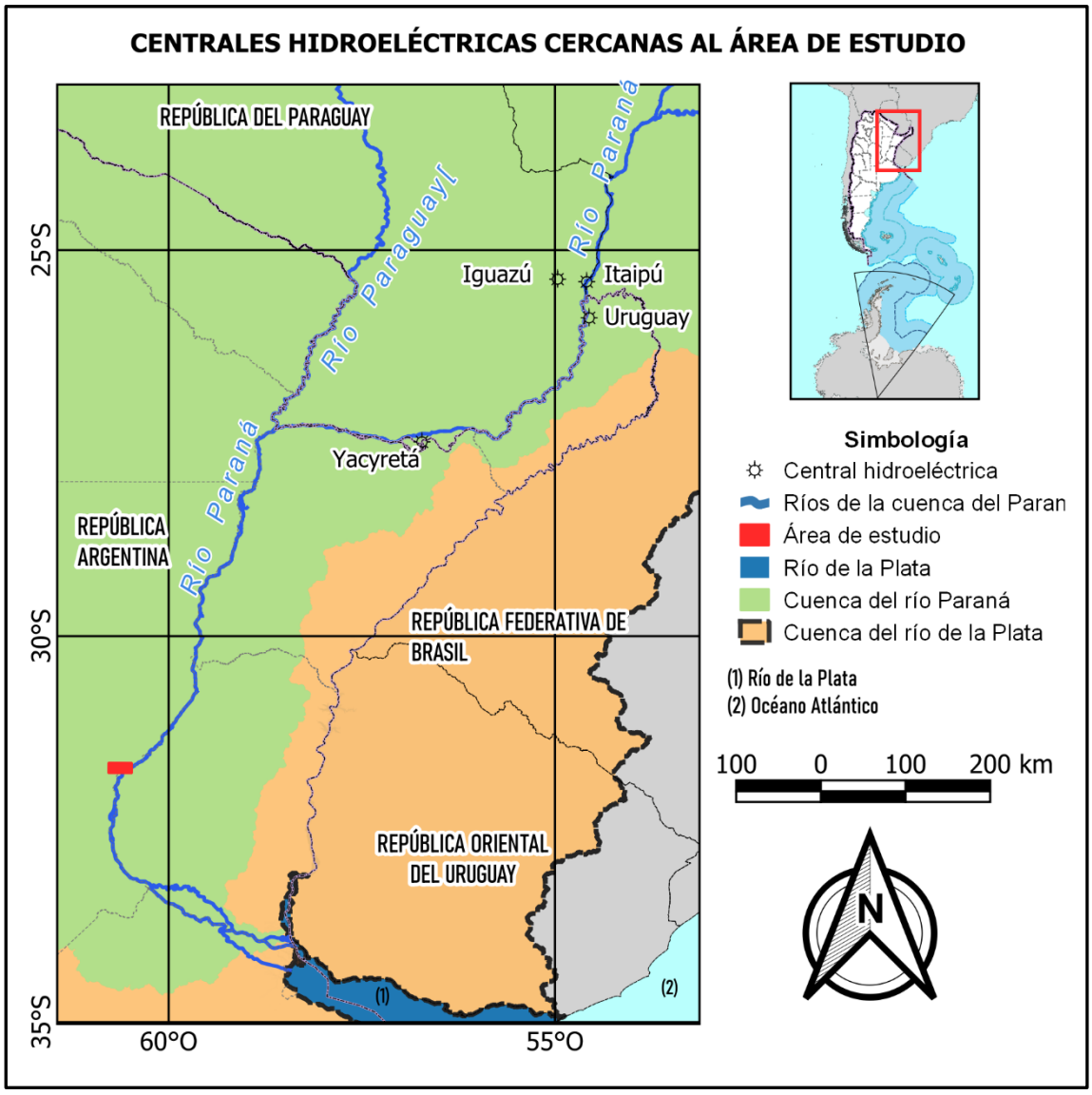
Figura 5-20. Excesos de precipitación de acuerdo con US Drought Monitor
Nota. Elaboración cartográfica propia a partir de productos obtenidos de SISSA, procesados mediante QGIS Desktop.

5.9. Centrales hidroeléctricas en el río Paraná

Las centrales hidroeléctricas emplazadas sobre el río Paraná constituyeron un componente contextual para interpretar el funcionamiento hidrológico de la cuenca. La operación y regulación de embalses pueden modificar temporalmente caudales y niveles en determinados sectores del sistema fluvial; sin embargo, en esta investigación su localización se incorporó como información de contexto y no como evidencia suficiente para atribuir causalidad sobre la bajante de 2019.

Con el propósito de complementar la interpretación espacial de la cuenca, se elaboró un mapa que representa la ubicación geográfica de las principales centrales hidroeléctricas localizadas sobre el río Paraná aguas arriba del área de estudio (Figura 5-21). Esta representación cartográfica permite identificar la distribución de los embalses dentro del sistema hidrográfico y comprender su relación espacial con el tramo inferior del río, donde se desarrolló la investigación.

Entre las obras consideradas se incluyó la Central Hidroeléctrica Yacyretá, emplazada sobre el río Paraná entre la República Argentina y la República del Paraguay. Por su capacidad de almacenamiento y regulación hidráulica, fue incorporada como una referencia relevante dentro del contexto hidrológico aguas arriba, sin utilizar su presencia por sí sola para establecer una relación causal con las condiciones de bajante observadas en el área de estudio.



https://www.ana.gov.br/sar0/MedicaoSin

Figura 5-21. Mapa de las Centrales hidroeléctricas ubicadas en el río Paraná próximas al puerto de Santa Fe.
Nota. Elaboración propia sobre la base de información hidrográfica y cartográfica oficial de datos geoespaciales del SHN e IGN.

- Central hidroeléctrica Yacyretá

La Central Hidroeléctrica Yacyretá se emplaza sobre el río Paraná, en el límite internacional entre la República Argentina y la República del Paraguay (Figura 5-22). Constituye una obra binacional destinada al aprovechamiento hidroeléctrico del río y una de las principales infraestructuras de regulación hidráulica de la cuenca.

La central dispone de 20 turbinas hidráulicas tipo Kaplan, una potencia instalada de 3.200 MW y un caudal medio de diseño de aproximadamente 12.000 m^3/s. Debido a su ubicación dentro del sistema fluvial, la información técnica generada por la Entidad Binacional Yacyretá (EBY) representa una fuente oficial de referencia para el análisis del comportamiento hidrológico del río Paraná.

Embalse Principal

La documentación técnica publicada por la Entidad Binacional Yacyretá permitió incorporar las características físicas del embalse como información complementaria para la interpretación del sistema hidrográfico. A su nivel operativo definitivo (cota 83 m s. n. m.), el embalse alcanza una superficie aproximada de 1.600 km^2 y una longitud cercana a 342 km. Para la cota 76 m s. n. m., presenta una superficie inundada aproximada de 1.200 km^2, un ancho máximo de 30 km, una profundidad media comprendida entre 6 y 7 m y un tiempo estimado de residencia del agua de 3 a 7 días.

Niveles del embalse

Como parte de la información recopilada se incorporaron los registros hidrométricos correspondientes a los días 13 y 14 de diciembre de 2019, obtenidos de la Entidad Binacional Yacyretá, por su proximidad temporal con el período analizado.

Los niveles registrados fueron:

- 13 de diciembre de 2019 (06:00 h): 82,91 m s. n. m.
- 14 de diciembre de 2019 (06:00 h): 82,90 m s. n. m.

Los histogramas presentados en las Figura 5-23 y Figura 5-24 muestran un comportamiento prácticamente estable del nivel del embalse durante ambas jornadas. Asimismo, los informes operativos indican que el 14 de diciembre de 2019 la central

funcionó bajo un régimen de potencia restringida, manteniéndose cerrado el vertedero del Brazo Principal, mientras que el Brazo Aña Cuá evacuó un caudal aproximado de 1.000 m^3/s.

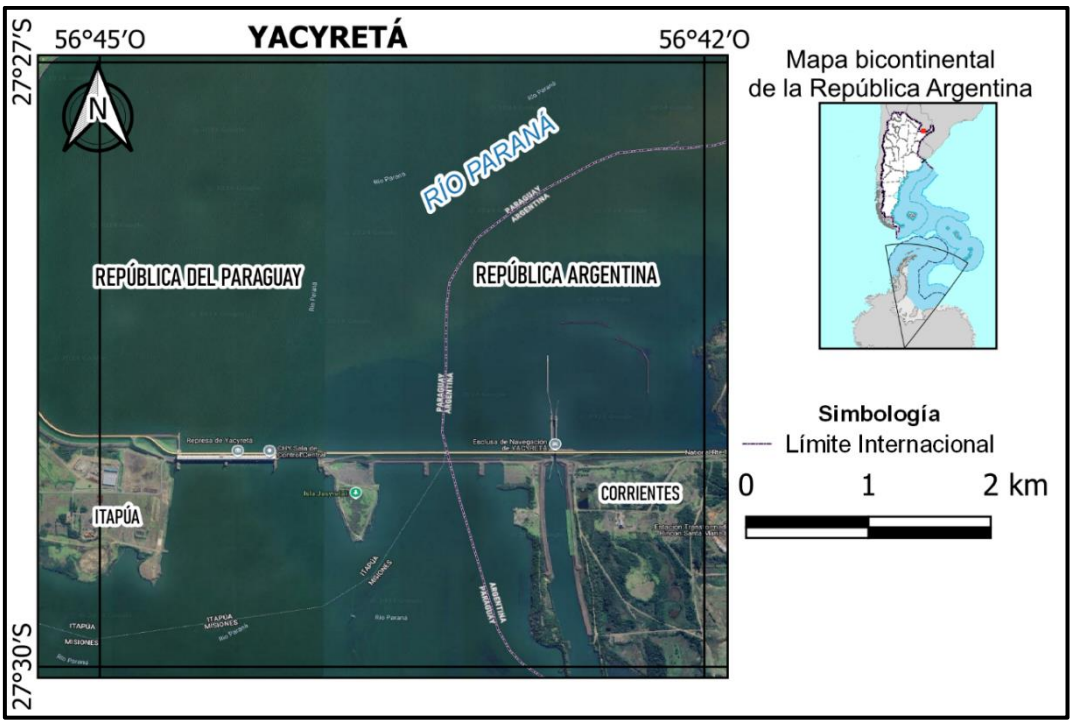


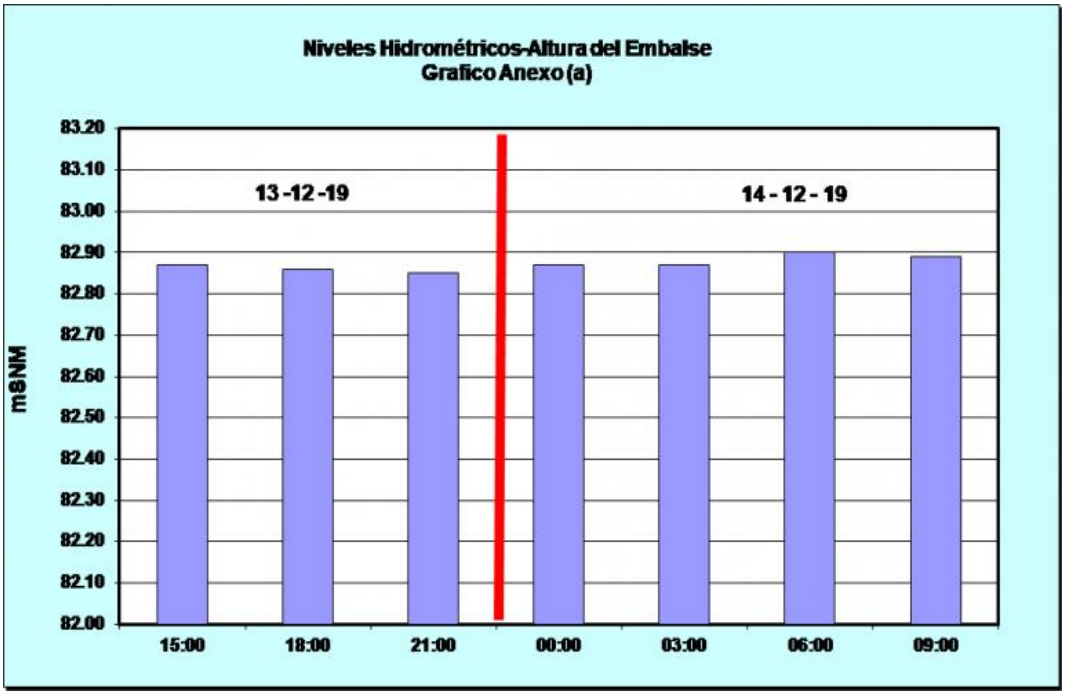
Figura 5-22. Central hidroeléctrica Yacyretá ubicada sobre el río Paraná
Nota. Elaboración propia sobre la base de información hidrográfica y cartográfica oficial de datos geoespaciales del SHN e IGN.

Informe Situación Operativa Embalse – 14 de diciembre de 2019. CENTRAL HIDROELECTRICA YACYRETÁ-Resumen Ejecutivo N° 3614

Como complemento de esta información se incorporaron dos histogramas correspondientes a los niveles del agua registrados en el embalse de Yacyretá durante fechas próximas al período de la bajante analizada. Estos registros permitieron contextualizar el comportamiento hidrológico observado y aportar información de referencia para la interpretación de las condiciones del sistema durante el período analizado.

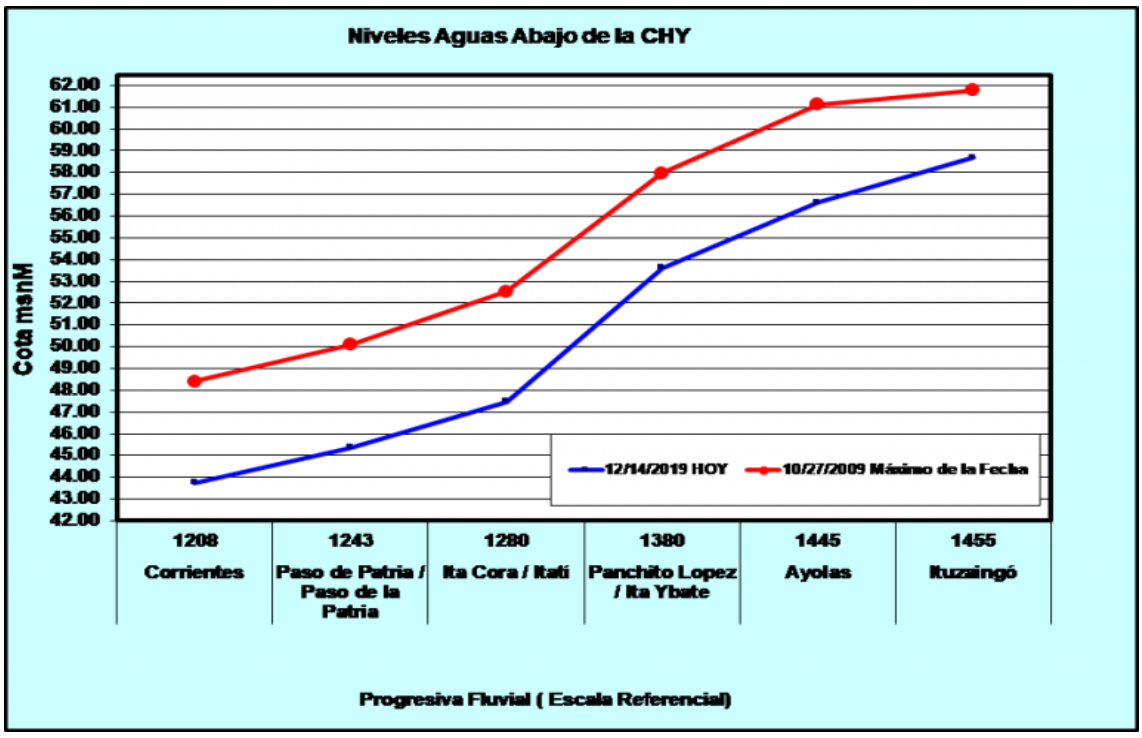
La integración del mapa de localización de los embalses, las características generales de la Central Hidroeléctrica Yacyretá y los registros hidrométricos asociados constituyó un insumo complementario para la interpretación de la cuenca hidrográfica del río Paraná. Su incorporación en la cartografía temática permitió relacionar la distribución espacial de

las principales obras de regulación hidráulica con la información hidrológica analizada, fortaleciendo la comprensión del contexto territorial representado en la investigación.



https://www.eby.gov.py/cota-82-90-msnm-resumen-ejecutivo-n-3614-14-12-2019/

Figura 5-23. Comportamiento del nivel del embalse durante el período representado.



https://www.eby.gov.py/cota-82-90-msnm-resumen-ejecutivo-n-3614-14-12-2019/

Figura 5-24. Niveles de agua aguas abajo de la Central Hidroeléctrica Yacyretá.

Capítulo 6

Procesamiento de datos

La información geográfica recopilada provino de fuentes heterogéneas, con distintos formatos, escalas, resoluciones y sistemas de referencia. Por ello, antes de su integración se revisaron los metadatos disponibles, identificando datum, proyección, unidad de medida, fecha de producción, cobertura espacial y finalidad original de cada insumo. Esta etapa fue necesaria para detectar incompatibilidades y establecer condiciones de comparación dentro de un mismo entorno de trabajo.

La carta temática fue desarrollada bajo el sistema de referencia espacial POSGAR 2007 / Argentina Faja 5, identificado mediante el código EPSG:5347. Las siglas EPSG remiten al registro internacional de códigos de sistemas de referencia espacial, mientras que el número 5347 identifica la configuración correspondiente a POSGAR 2007 / Argentina Faja 5. En términos operativos, el identificador permitió configurar el software SIG de acuerdo con el datum, la proyección, la unidad de medida y el ámbito de aplicación definidos para ese sistema. La adopción de este marco permitió expresar las coordenadas planas en metros, homogeneizar las capas incorporadas y reducir incompatibilidades de superposición asociadas al uso de sistemas de referencia diferentes.

Para efectuar un análisis integrado entre variables fue necesario que las capas compartieran un sistema de referencia compatible y una coherencia métrica suficiente para las operaciones previstas. En este sentido, la transformación de datos dentro del SIG permitió adaptar insumos de origen diverso a una base común para realizar mediciones, superposiciones, recortes y comparaciones espaciales de manera coherente con el marco de referencia adoptado.

6.1 El tratamiento de los datos

El tratamiento de los datos constituyó una etapa fundamental para transformar la información geoespacial recopilada en una base cartográfica apta para su análisis e integración. Una vez verificada la compatibilidad de los insumos, se desarrolló un proceso sistemático orientado a organizar, depurar y preparar la información proveniente de las distintas fuentes oficiales incorporadas en la investigación.

Las tareas se realizaron mediante QGIS Desktop versión 3.40.8, software de Sistema de Información Geográfica (SIG) de código abierto que proporcionó las herramientas necesarias para administrar información vectorial y ráster, editar entidades espaciales, procesar imágenes satelitales y consolidar una base geográfica unificada para la elaboración de la cartografía temática.

Durante esta etapa se efectuó la organización de las capas temáticas, la corrección de inconsistencias geométricas, la edición de entidades, la generación de nuevas capas derivadas y la incorporación progresiva de información hidrológica, topográfica, meteorológica y satelital dentro de un mismo entorno de trabajo. Estas operaciones permitieron estructurar una base de datos espacial coherente y adecuada para los análisis desarrollados en la investigación.

El tratamiento digital facilitó la aplicación de herramientas de análisis espacial, la obtención de productos cartográficos derivados y la preparación de la información utilizada en las etapas posteriores de interpretación y representación temática. La utilización de procedimientos sistemáticos favoreció la consistencia técnica del procesamiento, permitió documentar las operaciones realizadas y facilitó la eventual reproducción del flujo de trabajo.

6.1.1 Ráster

Un ráster georreferenciado es una representación digital de la superficie terrestre organizada en celdas o píxeles, cada una vinculada a una posición espacial determinada. Su resolución define el tamaño de la superficie real representada por cada píxel y, por lo tanto, condiciona el nivel de detalle disponible para el análisis.

Los cuarterones digitales del SHN fueron obtenidos desde su portal oficial en formato previamente georreferenciado, lo que permitió incorporarlos directamente al entorno SIG sin realizar un nuevo proceso inicial de georreferenciación. Esta condición facilitó su integración con la base cartográfica del proyecto y la generación de nuevas entidades espaciales, así como la incorporación de la toponimia oficial utilizada durante la investigación.

Como parte del control geométrico se evaluó la correspondencia espacial de los cuarterones respecto del sistema de referencia adoptado para el proyecto. El Error Medio

Cuadrático (Root Mean Square Error, RMS) se consideró como indicador para comparar puntos de control identificables con sus coordenadas de referencia. En los apartados siguientes se definió un umbral metodológico asociado a la tolerancia gráfica de la escala 1:25.000. Este procedimiento estableció un criterio de aceptación para el ajuste; la demostración de la exactitud posicional efectiva requiere consignar los valores RMS obtenidos para cada georreferenciación.

Considerando que los cuarterones presentan una resolución espacial de 5 metros por píxel y que la escala general de trabajo es 1:25.000, se aplicó una tolerancia planimétrica basada en un error gráfico máximo de 0,20 mm sobre el plano. La relación utilizada fue:

$$T = 0{,}20 \text{ mm} \times 25.000 = 5 \text{ m}$$

Bajo este criterio, se adoptó como umbral metodológico un RMS no superior a un píxel:

$$RMS \leq 1 \text{ px} = 5 \text{ m}$$

Al trasladar ese valor al plano cartográfico:

$$5 \text{ m} / 25.000 = 0{,}0002 \text{ m} = 0{,}2 \text{ mm}$$

La imagen Sentinel-2 del área de estudio en composición RGB de color natural fue obtenida mediante la combinación de las bandas B04 (rojo), B03 (verde) y B02 (azul). Esta composición ofrece una representación visual semejante a la percepción humana y facilitó la identificación visual de cuerpos de agua, bancos de arena, cobertura vegetal, áreas urbanas y otros elementos presentes en el territorio. Su interpretación se utilizó como apoyo para el análisis visual y el contraste de la información cartográfica generada durante la investigación (Figura 6-1).



Figura 6-1. Imagen RGB del área de estudio en color natural.
Nota. Elaboración propia a partir de imágenes Sentinel-2 del programa Copernicus, procesadas mediante QGIS Desktop.

Sentinel-1 aportó información obtenida mediante SAR en banda C (Figura 6-2), utilizada como fuente complementaria para analizar superficies con diferentes respuestas de retrodispersión. Al tratarse de un sensor activo, la adquisición de las imágenes no dependió de la iluminación solar y presentó una menor limitación frente a la cobertura nubosa que los sensores ópticos, condición de interés para la observación de ambientes fluviales.

Para la investigación se utilizó una escena Sentinel-1B, adquirida el 18 de diciembre de 2019, procesada a Nivel 1 GRD (Ground Range Detected) y obtenida en modo IW (Interferometric Wide Swath). Este modo de adquisición proporciona una amplia cobertura territorial y es uno de los utilizados para la observación sistemática de superficies continentales. La escena correspondió a la órbita relativa 141 y presentó un espaciado de píxel aproximado de 10 × 10 m. Para el período analizado, la constelación Sentinel-1A/1B proporcionaba una revisita nominal cercana a seis días, mientras que el ciclo orbital repetitivo de cada satélite era de doce días.

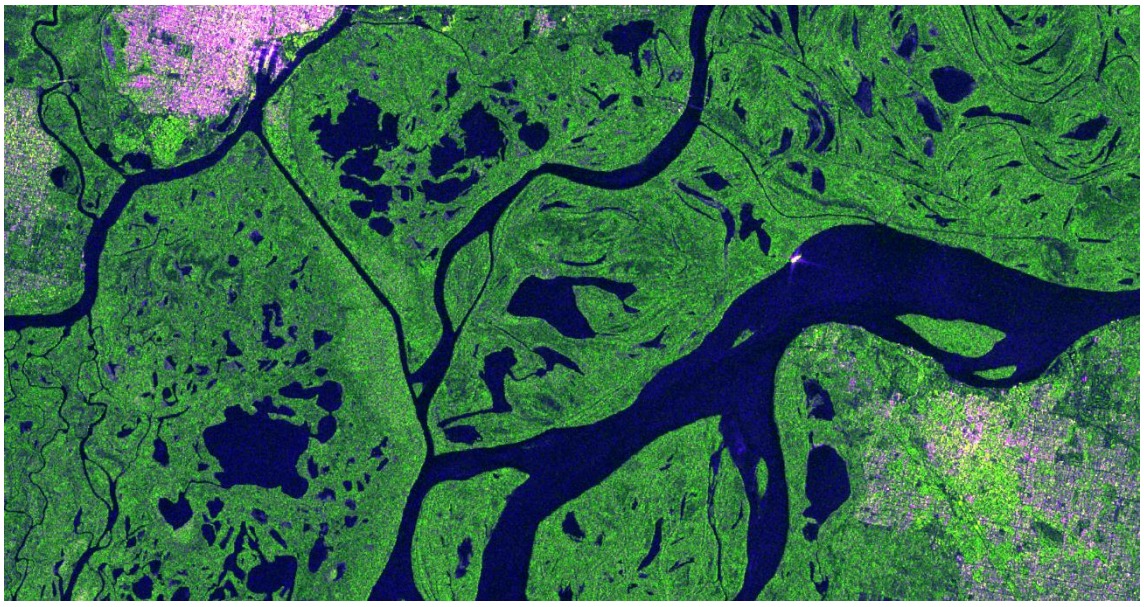


***Figura 6-2. Ráster RATIO del área de estudio*.**
Nota. Elaboración propia a partir de imágenes Sentinel-1 del programa Copernicus, procesadas mediante QGIS Desktop.

La información disponible en las polarizaciones VV y VH fue analizada a partir de sus valores de retrodispersión. La polarización VV corresponde a una señal transmitida y recibida en orientación vertical, mientras que la polarización VH corresponde a una transmisión vertical y una recepción horizontal. Ambas respuestas fueron utilizadas de manera complementaria para reconocer diferencias entre las superficies presentes en el área de estudio.

Como técnica de realce se aplicó una relación o ratio entre las polarizaciones, con el propósito de acentuar las diferencias de respuesta radar entre distintas coberturas. Esta operación permitió contrastar sectores con comportamiento superficial diferente y complementar la interpretación de cuerpos de agua, bancos expuestos, vegetación ribereña y otras superficies presentes durante la bajante.

$$\boldsymbol{RATIO} = \frac{\sigma^0_{VH}}{\sigma^0_{VV}}$$

En superficies homogéneas y de escasa rugosidad, como cuerpos de agua calmos, bancos de arena húmedos o sectores inundados con relieve poco pronunciado, predomina el efecto de reflexión especular (Figura 6-3).

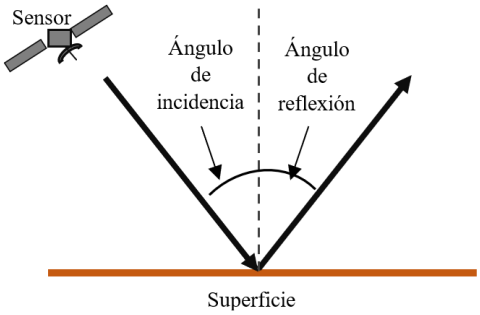


Figura 6-3. Esquema del efecto de reflexión especular sobre superficies lisas, donde la energía radar es reflejada en una dirección distinta al sensor, reduciendo la señal de retorno (retrodispersión).

Donde:

- σ^0_{VV}σ°VV representa el coeficiente de retrodispersión en polarización vertical-vertical.

- σ^0_{VH}σ°VH representa el coeficiente de retrodispersión en polarización vertical-horizontal.

En las superficies relativamente lisas, como sectores de agua calma, la energía emitida por el radar tiende a reflejarse predominantemente en una dirección diferente de la del sensor. Este comportamiento, asociado a la reflexión especular, produce una menor señal de retorno y suele representarse mediante tonalidades oscuras en la imagen SAR. Por el contrario, las superficies de mayor rugosidad o con estructuras más complejas generan una dispersión más intensa de la energía y pueden producir valores superiores de retrodispersión.

La polarización VV resultó útil para observar diferencias entre superficies lisas y coberturas con mayor rugosidad. La polarización VH, por su parte, aportó información complementaria en sectores donde intervinieron estructuras más complejas, como vegetación ribereña y otras coberturas capaces de generar una mayor dispersión volumétrica.

No obstante, una respuesta radar reducida no fue interpretada automáticamente como presencia de agua. Los valores de retrodispersión también pueden verse afectados por la humedad superficial, la rugosidad, el ángulo de incidencia, la vegetación y las

condiciones geométricas de adquisición. En particular, determinados bancos húmedos o superficies saturadas pueden presentar respuestas similares a las de algunos sectores hídricos, dificultando una delimitación directa del límite agua-tierra.

Por esta razón, los productos derivados de Sentinel-1 no fueron utilizados como fuente principal para la generación de la cobertura vectorial de las superficies hídricas. Su función dentro del procesamiento fue complementaria y de contraste, y sus resultados fueron interpretados juntamente con las imágenes Sentinel-2, el NDWI, los registros hidrométricos y las restantes fuentes cartográficas incorporadas a la investigación.

Parámetro y característica
Satélite: Sentinel-1B
Sensor: SAR en banda C
Fecha de adquisición: 18 de diciembre de 2019
Nivel de procesamiento: Nivel 1 GRD
Modo de adquisición: IW (Interferometric Wide Swath)
Polarizaciones utilizadas: VV y VH
Espaciado de píxel del producto: IW GRD aproximadamente 10 × 10 m
Órbita relativa:141
Ciclo repetitivo de cada satélite:12 días
Revisita nominal de la constelación A/B en 2019: aproximadamente 6 días

La teledetección permitió incorporar información de la superficie terrestre obtenida mediante sensores con diferentes principios de adquisición. Sentinel-2, como sensor óptico pasivo, registró la radiación solar reflejada por las distintas coberturas, mientras que Sentinel-1 aportó información radar a partir de la señal emitida y posteriormente retrodispersada por la superficie. La utilización complementaria de ambos productos contribuyó a interpretar las condiciones del ambiente fluvial durante el período analizado.

Para la identificación de superficies hídricas se utilizó el NDWI (Figura 6-4), calculado a partir de la banda verde y del infrarrojo cercano. En Sentinel-2, estas bandas corresponden a B03 y B08, respectivamente, ambas con una resolución espacial nativa de 10 m. La expresión utilizada fue:

$$NDWI = (B03 - B08) / (B03 + B08)$$

Parámetro y característica

Fecha de la escena: 18 de diciembre de 2019

Sensor: Sentinel-2 L1C

Nubosidad: 0%

Salida del Sol: 65°

20HQK

El NDWI permite diferenciar cuerpos de agua respecto de suelos desnudos, vegetación y otras coberturas terrestres, ya que el agua presenta una respuesta espectral particular en las bandas verde e infrarrojo cercano. Por ello, este índice resultó apropiado para identificar la configuración hídrica remanente durante la bajante del río Paraná.

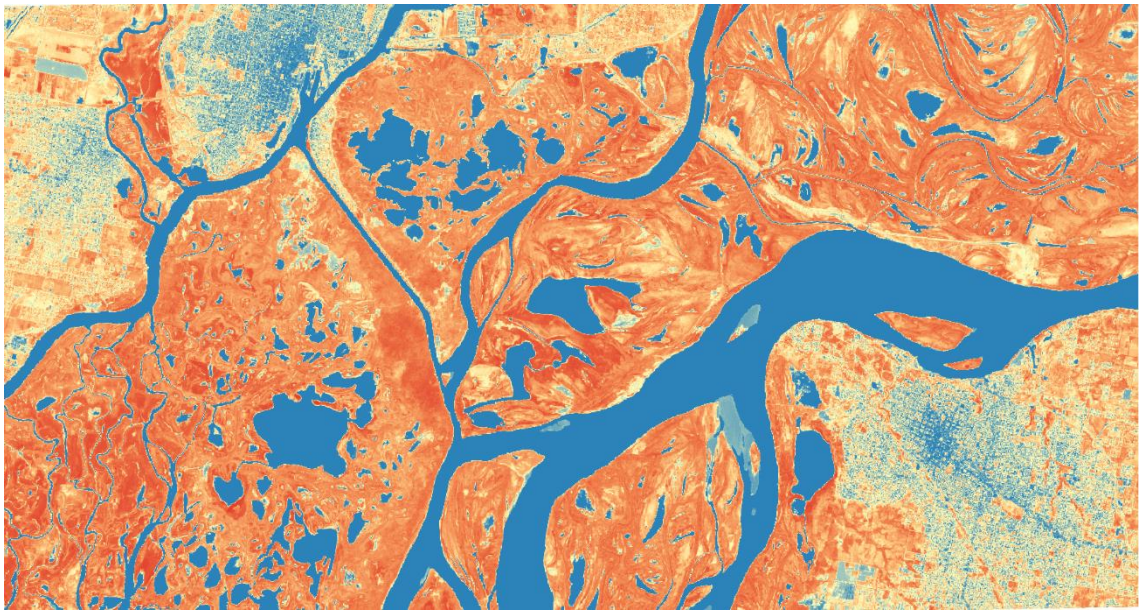


Figura 6-4. Producto Tierra/Agua derivado del procesamiento del NDWI.
Nota. Elaboración propia a partir de imágenes Sentinel-2 del programa Copernicus, procesadas mediante QGIS Desktop.

$$\mathbf{NDWI} = \frac{Banda\ verde\ visible - Banda\ NIR}{Banda\ verde\ visible - Banda\ NIR}$$

La aplicación de este índice se fundamentó en el comportamiento espectral diferencial entre el agua y las coberturas terrestres. La respuesta relativamente menor del agua en el infrarrojo cercano, en comparación con la banda verde, permitió realzar los sectores

asociados a superficies hídricas y facilitar su diferenciación respecto de vegetación, suelos desnudos y otras coberturas presentes en el área de estudio. EOSDA documenta esta combinación B03–B08 como la formulación del NDWI aplicada a Sentinel-2.

A partir del ráster resultante se efectuó una clasificación destinada a separar los sectores con respuesta espectral asociada al agua de las restantes coberturas. Debido a que en la documentación conservada del procesamiento no se registró un valor de umbral único ni se elaboró una matriz de confusión u otra evaluación estadística formal, el resultado fue examinado mediante verificación visual y cartográfica. Esta revisión consistió en comparar la distribución espacial de las superficies identificadas con la composición RGB de la misma escena y con las restantes fuentes cartográficas e hidrométricas utilizadas en la investigación.

La cartografía hidrográfica del SHN fue empleada como referencia complementaria para comprobar la coherencia general de la distribución espacial de los cuerpos de agua y otros elementos del sistema fluvial. No se utilizó como una referencia exacta del límite agua-tierra correspondiente al 18 de diciembre de 2019, debido a que las condiciones del cauce y de la cobertura hídrica varían temporalmente.

En consecuencia, el procedimiento aplicado no fue interpretado como una validación de precisión temática cuantificada, sino como una verificación visual y cartográfica de la coherencia del producto obtenido. El NDWI fue utilizado como insumo temático para la identificación y delimitación de superficies con comportamiento hídrico y no como base para mediciones planimétricas de precisión.

Una vez revisada la clasificación, la clase correspondiente al agua fue utilizada como base para la generación de las entidades vectoriales incorporadas a la carta temática. El procesamiento posterior incluyó tareas de revisión geométrica y filtrado destinadas a adecuar la representación al nivel de detalle del producto cartográfico final.

Para la delimitación de superficies con comportamiento hídrico se emplearon imágenes Sentinel-2. Las bandas utilizadas para el NDWI poseen resolución espacial nativa de 10 metros por píxel, por lo que cada celda representa aproximadamente 100 m² en terreno. Aplicando el criterio de tolerancia gráfica de 0,20 mm para escala 1:25.000:

$$T = 0{,}20 \text{ mm} \times 25.000 = 5 \text{ m}$$

$$RMS \leq 1 \text{ px} = 10 \text{ m}$$

$$10 \text{ m} > 5 \text{ m}$$

$$10 \text{ m} / 25.000 = 0{,}0004 \text{ m} = 0{,}4 \text{ mm}$$

Si bien la resolución espacial del producto derivado del NDWI supera la tolerancia gráfica estricta adoptada para la escala de representación, su utilización se consideró pertinente como insumo temático para delimitar masas de agua superficiales. Se compararon visualmente los productos ráster obtenidos mediante la técnica RATIO y el índice NDWI sobre el área de estudio. En esa comparación, el NDWI presentó una separación más clara entre el agua y las superficies emergidas, por lo que fue seleccionado para la posterior extracción de polígonos mediante clasificación supervisada. Esta selección expresa el desempeño observado en el caso de estudio y no una superioridad general cuantificada del índice.

En contraste, la imagen generada mediante RATIO presentó una respuesta menos diferenciada en sectores afectados por la bajante del río Paraná, donde bancos de arena, sedimentos húmedos y otras superficies parcialmente saturadas podían producir respuestas semejantes a las observadas en cuerpos de agua someros (Tabla 6-1). Esta condición dificultó la delimitación del contorno hídrico y redujo la aptitud del producto para generar las entidades vectoriales utilizadas en la carta final.

El Modelo Digital de Elevaciones aerofotogramétrico de 5 m del IGN fue procesado con el propósito de obtener información altimétrica complementaria para la caracterización del área de estudio. Sobre el modelo se aplicaron tareas de revisión, depuración y filtrado orientadas a reducir la incidencia de valores anómalos y de elementos superficiales que pudieran afectar la interpretación general del relieve. Este tratamiento permitió disponer de una superficie derivada más adecuada para el análisis de la morfología del terreno, sin considerar al producto resultante equivalente a un levantamiento altimétrico de campo.

De acuerdo con la documentación técnica del IGN, los modelos aerofotogramétricos de esta categoría poseen una resolución espacial nominal de 5 m y una precisión vertical de orden submétrico. Ambos parámetros fueron considerados de manera diferenciada, dado que el tamaño horizontal de la celda no representa la exactitud altimétrica del modelo.

Comparación de productos

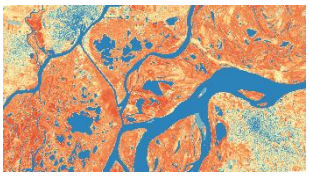
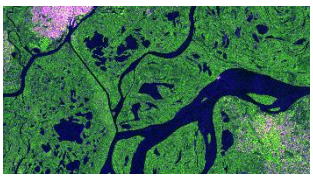
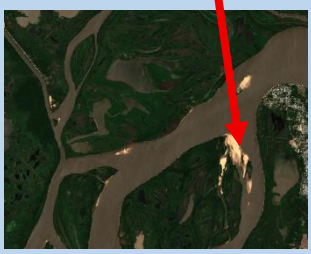
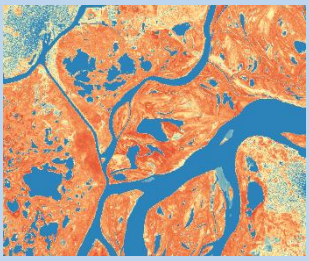
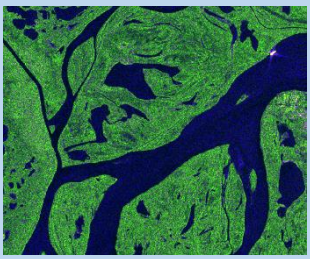
	RGB	NDWI	RATIO
Ráster			
Visualización del banco de arena			
Detección del agua	El sedimento que transporta el agua impide que se comporte como un cuerpo negro. Los espejos de agua se comportan como cuerpo negro.	Detecta el agua	Detecta el agua y superficies lisas
Observaciones	Necesitar mayor proceso de análisis para extraer la información de la superficie necesaria de los ríos, lagunas y humedales	Es factible la extracción de la información que cubre la superficie necesaria de los ríos, lagunas y humedales.	Al cubrir mayor superficie, necesitar mayor proceso de análisis para extraer la información de la superficie necesaria de los ríos, lagunas y humedales

Tabla 6-1. En la tabla se comparan los dos productos obtenidos.

El Modelo Digital de Elevaciones aerofotogramétrico de 5 m del IGN fue procesado con el propósito de obtener información altimétrica complementaria para la caracterización del área de estudio. Sobre el modelo se aplicaron tareas de revisión, depuración y filtrado orientadas a reducir la incidencia de valores anómalos y de elementos superficiales que pudieran afectar la interpretación general del relieve. Este tratamiento permitió disponer de una superficie derivada más adecuada para el análisis de la morfología del terreno, sin considerar al producto resultante equivalente a un levantamiento altimétrico de campo.

De acuerdo con la documentación técnica del IGN, los modelos aerofotogramétricos de esta categoría poseen una resolución espacial nominal de 5 m y una precisión vertical de orden submétrico. Ambos parámetros fueron considerados de manera diferenciada, dado que el tamaño horizontal de la celda no representa la exactitud altimétrica del modelo.

A partir de la superficie procesada se generaron curvas de nivel con una equidistancia de 5 m. La elección de este intervalo no se estableció a partir de la resolución espacial del ráster, sino considerando conjuntamente la precisión vertical informada para el producto, la escala 1:25.000 adoptada para la carta temática y las características predominantemente llanas de la planicie aluvial del río Paraná. Las curvas obtenidas fueron utilizadas como información altimétrica de apoyo para interpretar la configuración general del relieve y su relación con el sistema fluvial, sin atribuirles una exactitud superior a la correspondiente al modelo del cual fueron derivadas.

6.1.2 Vectorial

Los datos vectoriales representan entidades geográficas discretas mediante puntos, líneas y polígonos, asociados a tablas de atributos que describen sus características espaciales y temáticas. Esta estructura permitió integrar información hidrográfica, topográfica, administrativa y temática dentro del entorno SIG, preservando las relaciones espaciales necesarias para la elaboración de la carta temática.

La información vectorial utilizada provino de organismos oficiales y de procesos propios de digitalización. Se incorporaron las capas vectoriales del IGN como base cartográfica de referencia para la representación de los elementos territoriales y administrativos. Asimismo, la mayor parte de las entidades vinculadas con la hidrografía y la navegación fue obtenida mediante la digitalización de los cuarterones georreferenciados del SHN, descargados desde su portal oficial. Estos documentos permitieron extraer información que no se encontraba disponible en formato vectorial, incorporando isóbatas, canales de navegación, ayudas a la navegación, bancos, islas y otras entidades hidrográficas necesarias para la elaboración de la carta temática.

Complementariamente, cuando la información se encontraba en formatos CSV o KML, fue convertida a Shapefile para unificar los formatos de trabajo y facilitar su edición, reproyección, análisis espacial e integración con las restantes capas del proyecto, procurando mantener la consistencia geométrica de la base de datos geoespacial.

Para delimitar las masas de agua superficiales correspondientes al período analizado, a partir del ráster NDWI se aplicó una clasificación supervisada. Con este propósito, se delimitaron áreas de referencia representativas de las superficies ocupadas por agua y de las áreas emergidas, cuyos valores permitieron establecer los criterios de clasificación. Una vez verificado el resultado, la clase correspondiente al agua fue aislada y convertida a formato vectorial, obteniéndose los polígonos empleados para cuantificar la superficie hídrica y representar espacialmente la retracción del río Paraná.

Si bien la resolución espacial del producto derivado del NDWI resultó suficiente para el nivel de análisis temático planteado, la geometría vectorial obtenida presentó un contorno escalonado, característico del tamaño de píxel de la imagen original. Debido a que la carta temática fue elaborada a escala 1:25.000, se aplicó un suavizado geométrico sobre los polígonos resultantes con una finalidad de generalización cartográfica. Dado que en la tesina no se consigna una evaluación cuantitativa del desplazamiento de bordes ni del cambio de superficie producido por el suavizado (Figura 6-5), este procedimiento no se interpretó como una mejora de la precisión posicional.

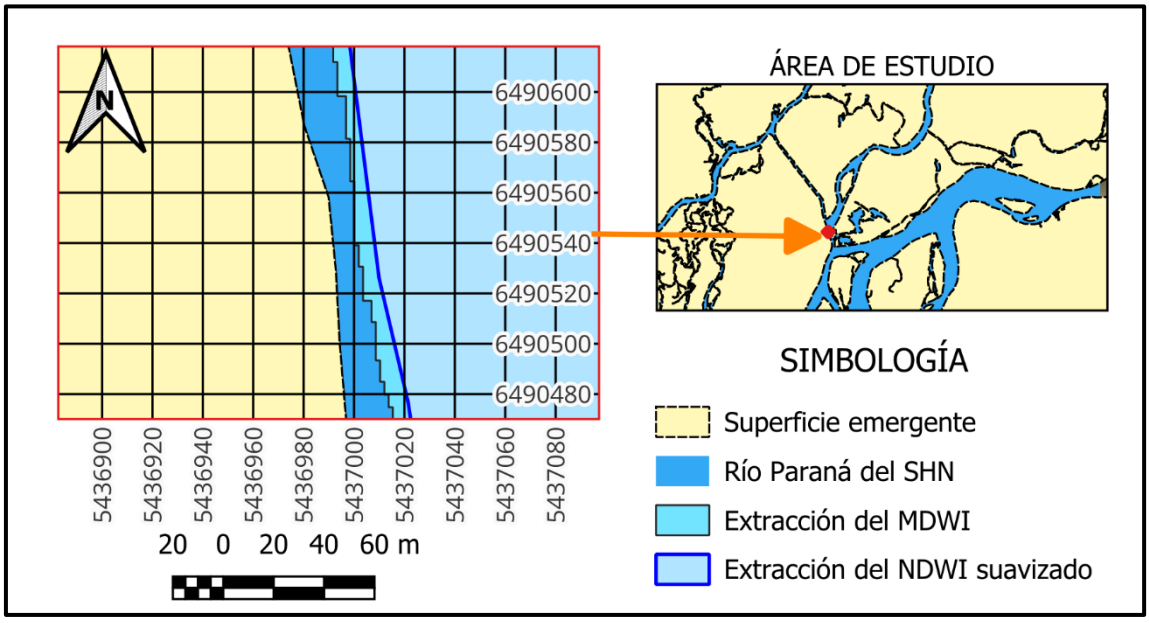


Figura 6-5. Extracción de la cobertura NDWI y suavizado. POSGAR 07 Faja 5. Nota. Elaboración propia sobre la base de información hidrográfica y cartográfica oficial de datos geoespaciales del SHN e IGN.

La figura permitió comparar tres etapas de representación de la cobertura hídrica en el área de estudio. La primera correspondió a la superficie del río Paraná obtenida de los cuarterones del SHN; la segunda mostró la cobertura vectorial derivada del

procesamiento del NDWI; y la tercera representó el resultado obtenido luego del suavizado geométrico aplicado a dicha extracción (Tabla 6-2). Para este tratamiento se utilizó el algoritmo PEAK, con una tolerancia de suavizado de 20 metros, con el propósito de reducir las irregularidades angulares del contorno derivadas de la vectorización del ráster. La comparación permitió observar las modificaciones producidas en la geometría y evaluar visual y cartográficamente su correspondencia con las superficies hídricas y emergidas incorporadas a la carta temática (Figura 6-6).

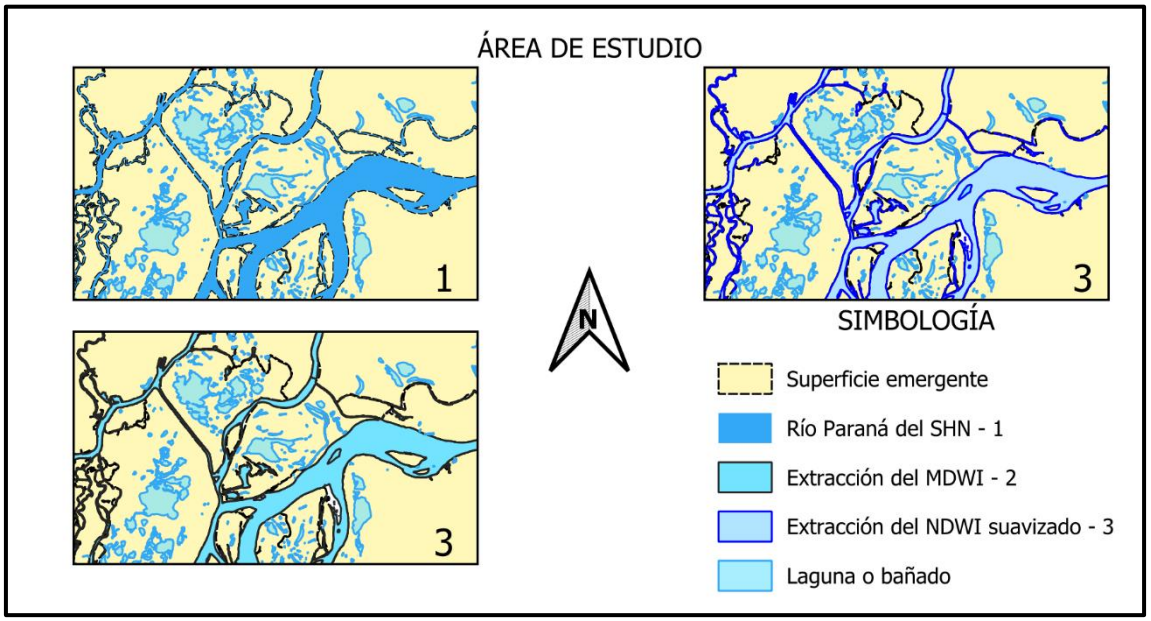


Figura 6-6. Extracción de la cobertura NDWI y suavizado. POSGAR 07 Faja 5. Nota. Elaboración propia sobre la base de información hidrográfica y cartográfica oficial de datos geoespaciales del SHN e IGN.

Tabla 6-2. Resultados

Superficie del SHP	**Río Paraná del SHN**	**Río Paraná extracción del NDWI**	**Río Paraná extracción y suavizado del NDWI**
Área (km^2)	65,5535	45,1179	45,1136

6.2. Aplicación del sistema de Información Geográfica

Los SIG constituyeron la plataforma tecnológica utilizada para integrar, analizar y representar la información geoespacial incorporada en la presente investigación. Su

aplicación permitió organizar datos provenientes de diferentes fuentes oficiales, facilitando el tratamiento conjunto de información vectorial, ráster, hidrológica, topográfica y satelital dentro de un mismo entorno de trabajo.

La versatilidad de los SIG posibilita desarrollar procedimientos de análisis espacial mediante herramientas destinadas a la edición de entidades geográficas, consulta de atributos, procesamiento de imágenes, generación de modelos espaciales y elaboración de productos cartográficos. La selección de las herramientas empleadas depende de los objetivos del proyecto, de las características de la información disponible y de los requerimientos técnicos de cada proceso cartográfico.

Para el desarrollo de esta investigación se utilizó QGIS Desktop versión 3.40.8, software SIG de código abierto (Open Source) distribuido bajo licencia GNU General Public License (GPL). Su licencia abierta y la disponibilidad de las herramientas requeridas para el flujo de trabajo fueron criterios suficientes para desarrollar el procesamiento geoespacial previsto en esta tesina.

Complementariamente, en el campo de la cartografía profesional existen soluciones propietarias o comerciales, tales como ArcGIS Pro (Esri), MapInfo Professional (Precisely) y CARIS, desarrolladas bajo licencias de uso específicas. Estas plataformas incorporan herramientas avanzadas para aplicaciones especializadas, particularmente en ámbitos como la cartografía náutica, la hidrografía y la producción cartográfica conforme a normas internacionales, como las establecidas por la Organización Hidrográfica Internacional (OHI).

En la presente investigación, la utilización de QGIS permitió desarrollar la totalidad del procesamiento geoespacial requerido para la elaboración de la cartografía temática, integrando las distintas fuentes de información empleadas y aplicando procedimientos de análisis espacial acordes con los objetivos planteados. La utilización de una plataforma SIG de código abierto favoreció, además, la reproducibilidad de los procedimientos metodológicos y la transparencia del proceso de elaboración cartográfica (Figura 6-7).

En esencia, un SIG proporciona un almacenamiento coherente de la información espacial, que puede ser actualizada o manipulada con el mínimo esfuerzo. Permite obtener modelos cartográficos, a partir de la transformación o combinación de diversas variables: señalar corredores de una determinada distancia a un rio o carretera; realizar tablas de

coincidencia entre dos o más mapas; calcular pendientes, exposiciones o medidas de textura; superponer dos o más capas de información, etc. Asimismo, facilita la presentación gráfica de los resultados, al permitir el acceso a diversos periféricos controlados por ordenador. (Chuvieco, 1995).

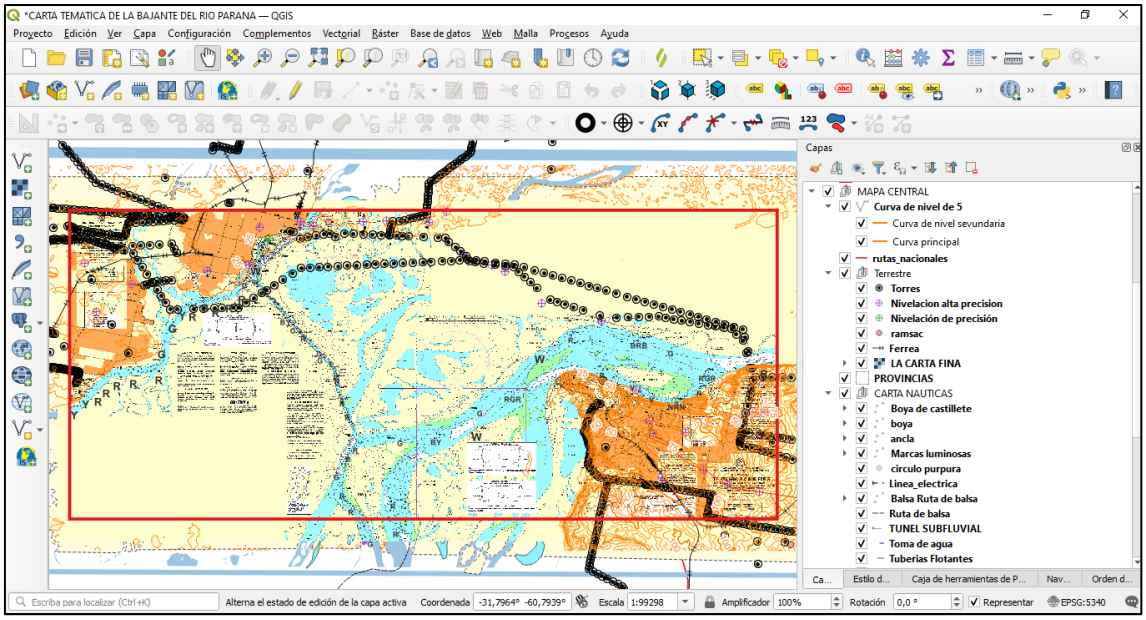


Figura 6-7. Visualización de la consola de QGIS, en el panel de la derecha se aprecia las capas en formato vectorial, ráster y Geoservicios.

Una vez visualizadas las coberturas en el panel de QGIS, se inició el tratamiento de la información geográfica. Las capas vectoriales se representaron tomando como referencia la simbología del Manual de Signos Cartográficos y la Publicación H-5000 INT1 en aquellos casos compatibles con la naturaleza del elemento y con la finalidad de la carta temática. Debido a que parte de los símbolos requeridos no se encontraba disponible en formatos digitales directamente editables en QGIS, como SVG o QML, algunos fueron recreados de manera vectorial (Figura 6-8). Esta alternativa ofreció mayor flexibilidad para su modelado y adaptación gráfica que la simple extracción de imágenes desde documentos técnicos, y permitió mantener criterios visuales uniformes dentro del proyecto.

Los cuarterones se utilizaron como insumos de contraste para la toponimia y la identificación de elementos geográficos relevantes. Dado que las distintas ediciones no necesariamente correspondían al período temporal analizado, su información se empleó considerando la escala, fecha y finalidad original de cada documento, especialmente para cotas, batimetría, canales de navegación y otros rasgos del sistema fluvial. Su integración

con las capas digitales permitió enriquecer y depurar la tabla de atributos del proyecto sin asumir que el carácter oficial o histórico de una fuente implicara actualización o precisión para el período de estudio.

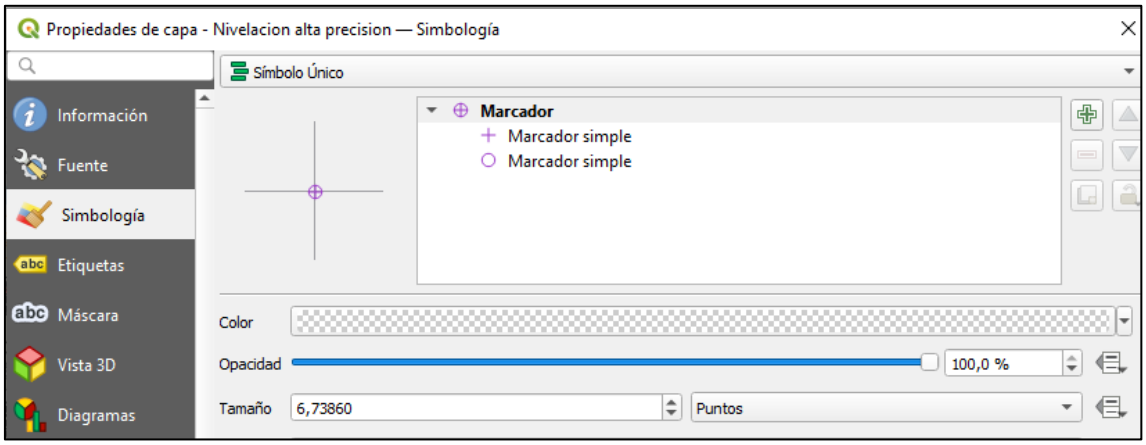


Figura 6-8. Creación manual de simbología cartográfica en QGIS Desktop.

La elaboración de la cartografía culminó con la generación de la salida gráfica en el formato requerido para su impresión y distribución. En QGIS se utilizó la función de composición de impresión para diseñar la carta temática. El diseño quedó disponible en el administrador de composiciones para realizar ajustes de distribución, simbología y elementos marginales antes de la exportación final.

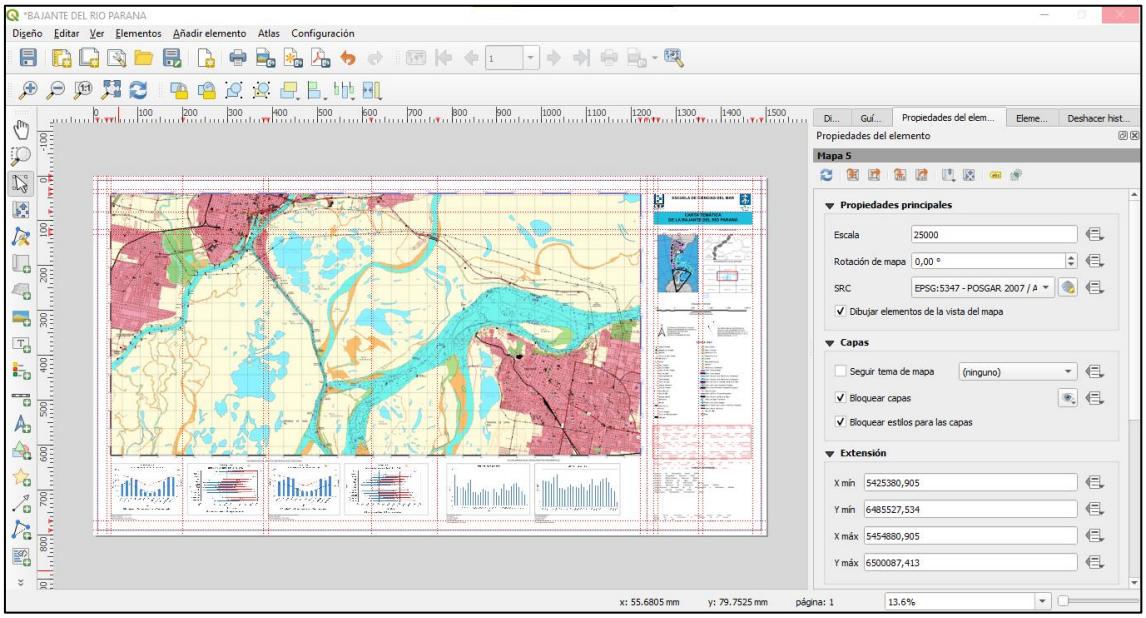


Figura 6-9. Visualización del Administrador de composiciones en QGIS.

Durante la administración de la composición se determinó el tamaño del paño y su relación con la superficie representada de acuerdo con la escala del proyecto. También se

reservó el espacio destinado a los datos marginales. Dado que se trató de una carta temática, la distribución de los elementos se definió en función de la jerarquía visual y de los objetivos de comunicación cartográfica del proyecto (Figura 6-9).

6.3. Información de la carta

La cartografía temática es una herramienta esencial en la geografía moderna, ya que permite la representación visual de datos específicos sobre un área determinada. Estos mapas no solo facilitan la comprensión de la información geográfica, sino que también son cruciales para la planificación y toma de decisiones en las distintas disciplinas que se aborden, La precisión y claridad de los mapas temáticos son fundamentales para su efectividad y utilidad. “Los mapas se realizan teniendo en cuenta el objetivo fundamental de transmitir información geográfica, y los procesos de recogida de datos, elección de la escala y proyección, simbolización y diseño gráfico, se enfocan en función de conseguir este fin, constituyendo todos ellos el diseño cartográfico del mapa. (Pérez Heras y Pérez Martín, 2008).

La selección del lienzo para representar la carta temática a escala 1:25.000 se fundamentó en la relación proporcional entre la extensión real del área de estudio y su traducción al soporte gráfico. Esta decisión permitió equilibrar legibilidad, nivel de detalle y disponibilidad de espacio para incluir datos marginales, referencias y elementos de orientación (Figura 6-10).

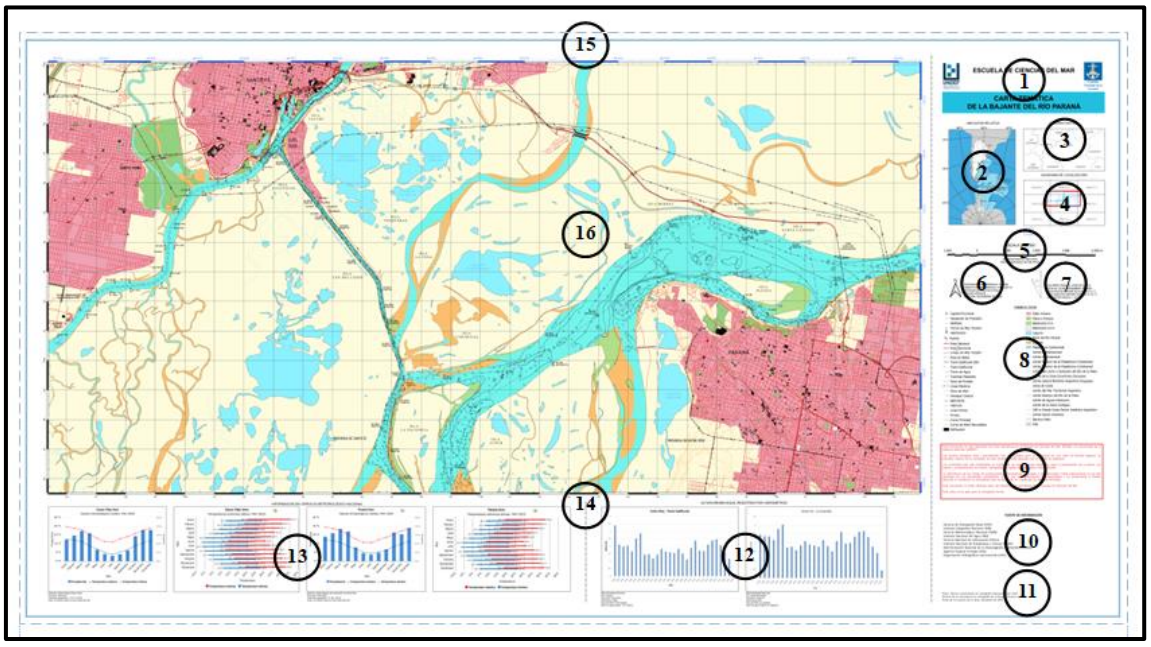


Figura 6-10. La organización y distribución de la información en la carta temática.

Nota. Elaboración propia mediante QGIS Desktop.

La carta temática se concibió como un producto orientado a comunicar con claridad la bajante del río Paraná y sus efectos espaciales. Para ello, se priorizó una lectura ordenada de la información, integrando el área principal de representación con elementos complementarios que contextualizan el fenómeno hidrográfico.

1. Escudos de los centros universitarios y el título de la obra

   Los escudos institucionales de la Universidad de la Defensa Nacional (UNDEF) y de la Facultad de la Armada (FadARA) fueron incorporados como parte de los elementos marginales de la carta temática, de acuerdo con los criterios de identificación institucional utilizados en la presentación del trabajo académico. Su inclusión permitió identificar el ámbito universitario en el que se desarrolló la investigación y documentar la vinculación institucional del producto cartográfico.

   El título de la obra fue dispuesto como elemento principal de identificación, sintetizando el contenido y el propósito de la carta temática mediante una denominación clara y precisa. Su ubicación dentro de la composición cartográfica respondió a criterios de jerarquía visual y equilibrio gráfico, favoreciendo la identificación inmediata del documento sin interferir con la representación del contenido temático.

   La incorporación de estos elementos respondió a los principios de composición cartográfica aplicados durante el diseño del mapa, donde la información institucional y los elementos de identificación formaron parte de la información marginal del documento. Su disposición contribuyó a presentar el producto cartográfico y a reconocer su procedencia académica dentro del conjunto de documentos que integran la investigación.

2. Mapa bicontinental

   La Ley 26.651, sancionada el 20 de octubre de 2010, establece la obligatoriedad de incluir el mapa bicontinental de la República Argentina en representaciones oficiales, como cartas topográficas o temáticas. Este recurso permite visibilizar la totalidad del territorio nacional, abarcando tanto el sector continental americano como la porción antártica. Su incorporación refuerza la perspectiva geopolítica y territorial del país,

promoviendo la conciencia sobre la extensión y diversidad de sus dominios. Además, facilita la comprensión de la ubicación del área de estudio en el contexto nacional, integrando dimensiones que superan lo regional. Su presencia adquiere relevancia educativa y estratégica, al fortalecer la noción de soberanía sobre los distintos espacios que integran el territorio argentino.

3. División política

   La división política incorporada en una carta topográfica o temática complementa la interpretación espacial mediante la identificación de límites administrativos, como provincias, departamentos o municipios. En esta carta permitió reconocer la jurisdicción correspondiente al área representada y aportar un marco político-administrativo para el análisis territorial.

4. Diagrama de localización

   El diagrama de localización se incorporó para situar el área representada dentro de un contexto geográfico mayor. En este caso incluyó los polígonos de las cartas del IGN empleadas como referencia y permitió reconocer la posición relativa del área de estudio respecto de su entorno. Este recurso complementó la lectura de la carta temática sin sustituir la información de coordenadas ni la escala principal.

   También se incorporaron los polígonos correspondientes a los cuarterones del SHN y al área de estudio, con el fin de facilitar la localización de las fuentes cartográficas utilizadas.

5. Escalas, equidistancia y sistema de referencia

   La configuración de la carta temática se realizó utilizando una escala numérica de 1:25.000, complementada con su correspondiente escala gráfica, incorporada como elemento marginal de referencia para facilitar la interpretación de las distancias representadas y su equivalencia sobre el terreno. La elección de esta escala respondió al nivel de detalle requerido para representar el sector del río Paraná comprendido entre las ciudades de Santa Fe y Paraná, permitiendo integrar de manera equilibrada la información hidrográfica, topográfica y temática desarrollada durante la investigación.

La representación altimétrica se efectuó mediante curvas de nivel con una equidistancia de 5 metros, criterio que posibilitó una adecuada interpretación de las variaciones del relieve presentes en el área de estudio, tales como albardones, terrazas fluviales, planicies de inundación y demás formas asociadas a la dinámica geomorfológica del río Paraná. Las profundidades incorporadas a la cartografía se expresaron en metros, manteniendo el mismo criterio de representación utilizado en la información hidrográfica oficial.

6. Proyección y sistema de coordenadas

La cartografía temática se desarrolló utilizando como sistema de referencia principal POSGAR 2007 / Argentina Faja 5 EPSG:5347, expresado en coordenadas planas métricas. Como información complementaria se utilizaron coordenadas geográficas referidas a WGS 84 (EPSG:4326), expresadas en latitud y longitud.

7. Declinación

Como parte de la información marginal de la carta temática se incorporó un diagrama de orientación magnética (Tabla 6-3), en el cual se representaron las relaciones angulares entre el Norte geográfico (NG), el Norte de cuadrícula (NC) y el Norte magnético (NM) correspondientes al área de estudio. Asimismo, se incorporó la variación anual de la declinación magnética, con el propósito de disponer de una referencia temporal para la interpretación de la orientación magnética durante el período de vigencia del modelo utilizado.

- La declinación magnética (δ) corresponde al ángulo horizontal comprendido entre la dirección del Norte geográfico o verdadero y la dirección del Norte magnético. Su valor depende de la posición geográfica y varía con el tiempo debido a los cambios del campo magnético terrestre. En la presente carta, este parámetro fue incorporado como información complementaria para la orientación del producto cartográfico.

- La diferencia angular entre el Norte geográfico y el Norte de cuadrícula corresponde a la convergencia de meridianos (γ), originada por la representación de la superficie terrestre mediante un sistema de proyección cartográfica. Su

magnitud depende de la posición del punto respecto del meridiano central de la faja utilizada.

- El ángulo comprendido entre el Norte de cuadrícula y el Norte magnético fue considerado como ángulo cuadrícula–magnético (Δ). En la terminología utilizada tradicionalmente en la cartografía argentina, este ángulo también ha sido denominado desviación magnética. En esta investigación se adoptó la expresión ángulo cuadrícula–magnético para diferenciarlo claramente de la declinación magnética y evitar ambigüedades terminológicas.

- La variación anual expresó el cambio temporal estimado de la declinación magnética para el punto y la fecha de referencia considerados. Este valor permitió disponer de una referencia para actualizar la posición relativa del Norte magnético respecto del Norte geográfico dentro del período de validez del modelo geomagnético utilizado.

Diagrama

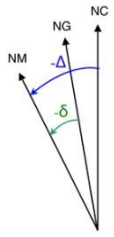
Gráfico	Datos
	Desviación magnética (Δ) = 9° 59′ O Declinación magnetica (δ) = 9° 46′ O Variación anual: 11′O Año 2022

Tabla 6-3 – Información gráfica y valores de Desviación y declinación magnética. Datos extraídos del centro de hoja (-31°42'9", -60°37'50") con la aplicación Geomatrix de WMM Home NOAA.

8. Simbología y toponimia

La configuración de la simbología y de la toponimia tomó como referencia el Manual de Signos Cartográficos del IGN y la Publicación H-5000 del SHN, seleccionando únicamente aquellos signos, abreviaturas y convenciones gráficas compatibles con la naturaleza del fenómeno analizado, la escala de representación y los objetivos de la investigación.

La aplicación de la simbología se realizó mediante la clasificación y jerarquización de las distintas capas temáticas incorporadas al proyecto, permitiendo diferenciar la cobertura hídrica, los bancos emergidos, las islas, los canales de navegación, la infraestructura portuaria, la red vial, las curvas de nivel y los demás elementos geográficos representados. La definición de colores, espesores de línea, estilos de relleno y simbología puntual respondió a criterios de jerarquía visual, legibilidad, contraste y economía cartográfica, procurando mantener uniformidad gráfica en toda la composición.

La incorporación de la toponimia se efectuó a partir de la cartografía oficial y de las bases de datos geográficas utilizadas durante la investigación, respetando la denominación oficial de cursos de agua, islas, centros poblados, puertos y demás referencias territoriales presentes en el área de estudio. La ubicación, orientación y jerarquización de las etiquetas se ajustaron mediante las herramientas de etiquetado disponibles en QGIS Desktop, priorizando la legibilidad y evitando interferencias con otros elementos cartográficos.

El proceso de simbolización se desarrolló de manera integrada con el resto de la información geoespacial, manteniendo correspondencia entre las diferentes capas temáticas y la coherencia gráfica del documento cartográfico. La utilización de criterios uniformes de representación facilitó la integración de información procedente de distintas fuentes oficiales y favoreció una lectura cartográfica consistente durante la elaboración de la carta temática.

La configuración de la simbología y de la toponimia quedó incorporada al proyecto SIG como parte del flujo de trabajo cartográfico, permitiendo preservar los parámetros de representación para futuras actualizaciones, revisiones o reproducciones del documento cartográfico.

9. Mensaje de advertencia

La finalidad de esta advertencia es informar al usuario que la carta temática no posee la precisión ni la actualización necesarias para garantizar la seguridad en la navegación. De acuerdo con la Ley N.º 19.922 y la Ley N.º 20.094 de Navegación en Argentina, la elaboración de cartas náuticas oficiales es competencia exclusiva del SHN, único organismo autorizado para emitir documentación destinada a la

navegación segura. Esta aclaración busca evitar el uso inapropiado del mapa en ámbitos náuticos, donde un error podría poner en riesgo la integridad de personas y embarcaciones. La presente carta ha sido elaborada con fines estrictamente educativos, en el marco de los requerimientos académicos de la Licenciatura en Cartografía.

10. Fuente de información

La identificación de las fuentes de información se incorporó como parte de los elementos marginales de la carta temática, consignando los organismos responsables de la producción de los datos geoespaciales utilizados durante el desarrollo de la investigación. Su inclusión permitió documentar el origen de la información empleada, registrar la trazabilidad del proceso cartográfico y facilitar la verificación de los insumos utilizados en la elaboración del producto.

Las referencias institucionales corresponden a los organismos cuyas bases de datos, documentos cartográficos e información geoespacial fueron integrados al proyecto, entre ellos SHN, el IGN, el INA, el SMN y el programa Copernicus de la ESA.

Dentro de la composición cartográfica, esta información fue ubicada en el sector marginal de la carta, respetando una jerarquía visual subordinada respecto del contenido temático principal. Su disposición respondió a los criterios de diseño cartográfico aplicados en la elaboración del mapa, donde los elementos marginales cumplieron una función documental al proporcionar información complementaria sobre la procedencia de los datos.

La incorporación de este elemento contribuyó a la transparencia metodológica del trabajo, permitió identificar el origen de la información utilizada y favoreció la posibilidad de revisar o reproducir el proceso cartográfico a partir de las fuentes y procedimientos consignados.

11. Autoría y fecha de creación de la obra

La autoría y la fecha de creación son elementos de identificación que contribuyen a la trazabilidad y a la atribución intelectual de una obra cartográfica. La identificación del autor permite reconocer la procedencia técnica y académica del trabajo. Por su

parte, la fecha de elaboración aporta una referencia temporal necesaria para evaluar la pertinencia de los datos representados de acuerdo con el propósito del mapa.

12. Histograma de los hidrómetros

    La incorporación de histogramas de mínimos anuales registrados por hidrómetros como datos marginales aportó información temporal complementaria a la carta temática. Estos gráficos permitieron visualizar la variación histórica de los niveles mínimos del río en las estaciones seleccionadas. La fuente utilizada para su elaboración fue el Sistema Nacional de Información Hídrica.

13. Histogramas meteorológicos

    Los histogramas elaborados a partir de la información proporcionada por el SMN fueron incorporados como información marginal de la carta temática, con el propósito de complementar la representación espacial del fenómeno analizado mediante indicadores climáticos correspondientes al período de estudio.
    Su elaboración permitió sintetizar de forma gráfica la distribución de variables meteorológicas, particularmente la precipitación y la temperatura, facilitando la interpretación de las condiciones atmosféricas que caracterizaron el contexto en el que se desarrolló la bajante del río Paraná. La incorporación de estos gráficos no tuvo por finalidad representar el fenómeno meteorológico en sí mismo, sino aportar elementos de apoyo para contextualizar el comportamiento hidrológico observado durante el período analizado.
    La integración de los histogramas al diseño cartográfico se realizó respetando los principios de composición gráfica y jerarquía visual, ubicándolos dentro de la información marginal de la carta para preservar la lectura del contenido temático principal. De esta manera, los datos meteorológicos complementaron la interpretación del producto cartográfico sin interferir con la representación de los elementos geográficos que constituyeron el objeto central de la investigación.

14. Coordenadas

    Las coordenadas planas fueron incorporadas como elemento de referencia cartográfica mediante una grilla métrica correspondiente al sistema de proyección adoptado para el proyecto. Su configuración se realizó en QGIS Desktop utilizando

POSGAR 2007 / Argentina Faja 5, lo que permitió mantener un marco de referencia común entre los insumos procesados. La grilla se incorporó para localizar elementos dentro de la carta, reconocer posiciones relativas y apoyar mediciones planimétricas compatibles con la escala y las limitaciones de los datos utilizados.

La incorporación de canevás cada 1.000 metros permitió asignar coordenadas planas a los objetos espaciales representados y mejorar la lectura métrica de la carta.

Las coordenadas geográficas se incorporaron como información marginal complementaria mediante la representación de paralelos y meridianos en el marco cartográfico.

Las coordenadas geográficas, segmentadas cada minuto y cada diez segundos, aportaron una referencia angular adicional para la localización del área de estudio; este intervalo de rotulación no se interpretó como un indicador posicional.

15. La representación geográfica principal

La representación principal corresponde al área de estudio de la carta temática. En ella se integran elementos naturales y antrópicos, como relieve, cuerpos de agua, infraestructura, toponimia y superficies asociadas a la bajante.

Capítulo 7

Resultados

La presente investigación permitió obtener una cartografía temática digital destinada a representar la bajante analizada del río Paraná en el tramo comprendido entre las ciudades de Santa Fe y Paraná, integrando información hidrográfica, topográfica, hidrométrica y satelital dentro de un SIG. La combinación de estas fuentes posibilitó generar un producto cartográfico que representó la distribución espacial de las superficies cubiertas por agua y de los sectores emergidos durante el período analizado y sirvió como soporte para interpretar el comportamiento hidrológico del sistema fluvial (Figura 7-1).

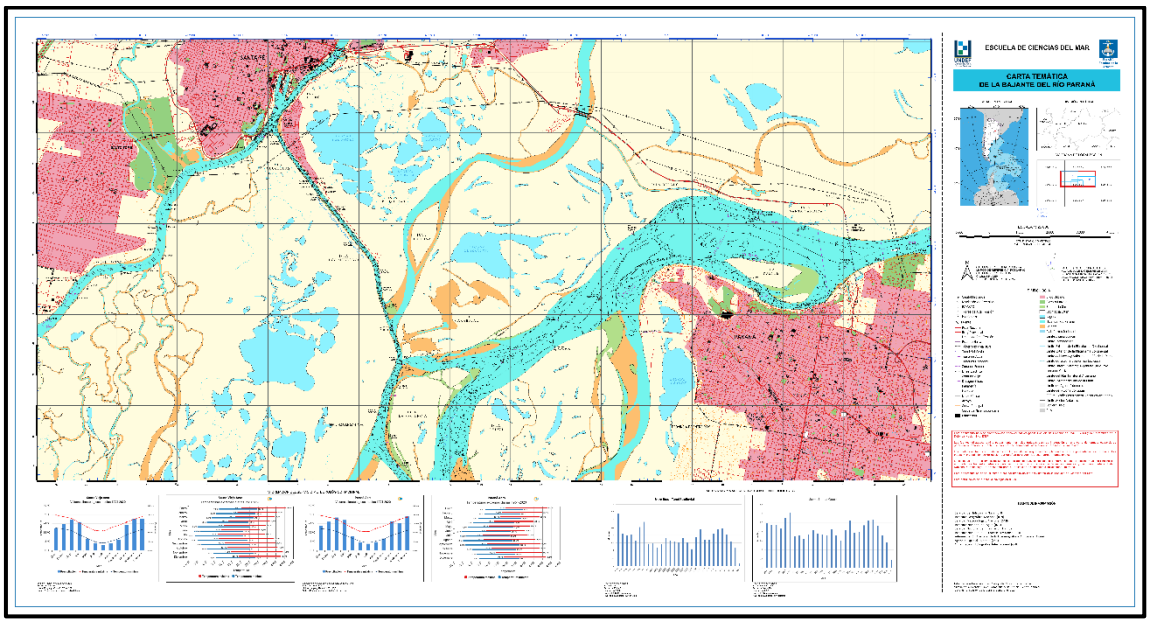


Figura 7-1. Carta temática final de la bajante del río Paraná.

Nota. Elaboración cartográfica propia sobre la base de información geoespacial del IGN, SHN, INA y SMN, e imágenes Sentinel del programa Copernicus de la ESA. Procesamiento, integración, simbolización y composición realizados mediante QGIS Desktop.

El procesamiento de las imágenes satelitales incluyó la utilización de datos provenientes de sensores activos, representados por las imágenes de radar SAR del satélite Sentinel-1, y de sensores pasivos, correspondientes a las imágenes multiespectrales del satélite Sentinel-2. Ambos productos fueron analizados de manera complementaria con el propósito de evaluar su respuesta frente a las condiciones hidrológicas.

Las diferentes combinaciones espectrales aplicadas a las imágenes multiespectrales permitieron analizar el comportamiento de la cobertura terrestre y de las superficies hídricas. Entre los productos generados, el Índice Normalizado de Diferencia de Agua (NDWI) proporcionó la respuesta más consistente para la delimitación de los cuerpos de agua presentes en el área de estudio, permitió diferenciar con claridad las superficies inundadas de los bancos expuestos, islas y sectores ribereños emergidos. Las imágenes SAR, por su parte, constituyeron una fuente complementaria para la interpretación espacial, especialmente por su capacidad para adquirir información independientemente de las condiciones atmosféricas y de iluminación.

Como resultado del procesamiento digital se obtuvo una cobertura vectorial representativa de la superficie ocupada por el agua durante el período analizado. La delimitación de estas entidades se realizó mediante procedimientos de vectorización y posterior aplicación de la herramienta Suavizar geometrías (Smooth) de QGIS, proceso que permitió reducir irregularidades generadas durante la digitalización, conservando la coherencia geométrica de los elementos representados y mejorando su calidad cartográfica.

La cobertura vectorial obtenida fue contrastada con información oficial proveniente de las distintas capas cartográficas utilizadas en la investigación, particularmente con las entidades extraídas de los cuarterones náuticos del SHN y de las cartas topográficas del IGN. Este procedimiento permitió verificar la correspondencia espacial entre los elementos representados y la cartografía oficial, fortaleciendo la confiabilidad del producto cartográfico desarrollado.

Como resultado final se obtuvo una carta temática digital, estructurada para su visualización y edición dentro de un entorno SIG, así como un producto cartográfico destinado a impresión, diseñado conforme a criterios de composición cartográfica, jerarquía visual y legibilidad. La distribución equilibrada de los elementos marginales, la organización de la información temática y el empleo de una retícula cartográfica con cuadrículas de 4 × 4 cm favorecieron una lectura clara del mapa y una adecuada interpretación de la información representada. La integración armónica de la simbología, la toponimia, las escalas, los histogramas, la información complementaria y los restantes elementos cartográficos permitió obtener una composición equilibrada, adecuada tanto para su consulta en formato digital como para su reproducción en soporte impreso.

En conjunto, los resultados obtenidos permiten sostener que la integración de información geoespacial, imágenes satelitales, registros hidrológicos y técnicas de procesamiento digital hizo posible elaborar una cartografía temática con un marco geométrico común y criterios de representación documentados. El producto final constituyó una representación sintética de las condiciones observadas en el río Paraná durante la bajante de 2019 y aportó una base cartográfica que puede utilizarse como antecedente para futuras investigaciones hidrológicas, ambientales y territoriales, considerando las limitaciones de escala, resolución y validación señaladas en la tesina.

Capítulo 8

Conclusión

La aplicación del NDWI permitió identificar y representar la retracción de las superficies cubiertas por agua durante la bajante del río Paraná a partir de la resolución espacial de las bandas utilizadas. El procedimiento facilitó el reconocimiento cartográfico de bancos emergidos, islas, sectores ribereños expuestos y cambios en la configuración de la cobertura hídrica. La integración de esta información con los cuarterones del SHN, las cartas topográficas del IGN, los registros hidrométricos, las imágenes satelitales y las restantes fuentes utilizadas posibilitó elaborar una cartografía temática técnicamente fundamentada en el flujo metodológico documentado, sin atribuir al producto una precisión posicional o temática superior a la respaldada por sus datos y controles.

La metodología desarrollada mostró la viabilidad de integrar información cartográfica, hidrográfica, hidrométrica, topográfica y satelital para estudiar un fenómeno fluvial de elevada complejidad espacial. Como proyección para futuras investigaciones, la incorporación de vehículos aéreos no tripulados (VANT) equipados con sensores multiespectrales podría complementar la información satelital y aportar mayor detalle espacial en sectores críticos del cauce, humedales, áreas portuarias y ambientes de difícil acceso, siempre que se documenten la resolución, el control geométrico y los procedimientos de calibración y validación. Esta integración podría favorecer la generación.

En este contexto, la cartografía temática elaborada trascendió la mera representación gráfica al integrar diversas fuentes geoespaciales bajo un mismo marco metodológico. Su elaboración permitió documentar cartográficamente las transformaciones espaciales asociadas a la bajante del río Paraná y aportó un producto de apoyo para la interpretación de la dinámica fluvial y la gestión de información geoespacial. Su utilización para decisiones operativas de navegación quedó expresamente excluida por la advertencia incorporada en la propia carta; para futuros estudios, el producto puede funcionar como antecedente metodológico y comparativo, sujeto a las limitaciones de escala, resolución, fecha y validación de los datos empleados.

Capítulo 9

Bibliografía

9.1. Referencias

Chuvieco, E. (1995). Fundamentos de teledetección espacial (2.ª ed.).

Chuvieco, E. (2008). Teledetección ambiental: Observación de la Tierra desde el espacio (3.ª ed. actualizada). Editorial Ariel.

Gómez Escobar, M. del C. (2004). Métodos y técnicas de la cartografía. En Temas selectos de geografía de México. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México.

Instituto Geográfico Nacional. (2010). Manual de signos cartográficos. Ministerio de Defensa de la República Argentina.

Pérez Heras, A., & Pérez Martín, A. C. (2008). Cartografía digital. Módulo I. XI Curso de Cartografía Digital y Sistemas de Información Geográfica. Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo.

Servicio de Hidrografía Naval. (1998). Patrón de símbolos, abreviaturas y términos INT-1 H-5000 (6.ª ed.).

9.2. Referencias web

Administración General de Puertos. (s. f.). *La concesión de la vía navegable troncal*. https://www.argentina.gob.ar/administracion-general-de-puertos-se/navegable-troncal/la-navegable-troncal/la-concesion

Administración Nacional de la Oceanografía y de la Atmósfera (NOAA). (s. f.). *Oceanic Niño Index (ONI)*. https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php

Administración Nacional de la Oceanografía y de la Atmósfera (NOAA). (s. f.). *World Magnetic Model*. https://www.ngdc.noaa.gov/geomag/WMM/wmm_wdownload.shtml

Agencia Nacional de Aguas de Brasil. (s. f.). *Sistema de medición hidrológica*. https://www.ana.gov.br/sar0/MedicaoSin

Datos Abiertos Santa Fe. (s. f.). *Parte de alturas del río Paraná*. https://datos.santafe.gob.ar/dataset/parte-de-alturas-del-rio-parana

Entidad Binacional Yacyretá. (2019). *Cota 82,90 msnm. Resumen ejecutivo N.º 3614 (14 de diciembre de 2019)*. https://www.eby.gov.py/cota-82-90-msnm-resumen-ejecutivo-n-3614-14-12-2019/

Instituto Geográfico Nacional. (s. f.). *Datos abiertos*. https://www.ign.gob.ar/content/datos-abiertos/

Instituto Geográfico Nacional. (s. f.). *Información geoespacial*. https://www.ign.gob.ar/NuestrasActividades/InformacionGeoespacial/Principal

Instituto Geográfico Nacional. (s. f.). *Capas SIG*. https://www.ign.gob.ar/NuestrasActividades/InformacionGeoespacial/CapasSIG

Instituto Geográfico Nacional. (s. f.). *Modelo Digital de Elevaciones*. https://www.ign.gob.ar/NuestrasActividades/Geodesia/ModeloDigitalElevaciones

Instituto Nacional de Estadística y Censos. (s. f.). *Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2022*. https://redatam.indec.gob.ar/binarg/RpWebEngine.exe/Portal?BASE=CPV2022&lang=ESP

Instituto Nacional del Agua. (s. f.). *Instituto Nacional del Agua*. https://www.argentina.gob.ar/ina

Instituto Nacional del Agua. (s. f.). *GeoServer*. https://alerta.ina.gob.ar/geoserver/web/wicket/bookmarkable/org.geoserver.web.demo.MapPreviewPage?2&filter

Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. (s. f.). *Hidrovía Paraná–Paraguay*. https://www.magyp.gob.ar/new/0-0/programas/dma/regimenes_especiales/Hidrovia%20Parana%20Paraguay.pdf

Reuters. (2021, 23 de julio). *Historic low river levels force Argentine grain ships to cut cargoes*. https://www.reuters.com/world/americas/exclusive-historic-low-river-levels-force-argentine-grains-ships-cut-cargoes-by-2021-07-23/

Servicio Meteorológico Nacional. (s. f.). *Servicio Meteorológico Nacional*. https://www.smn.gob.ar/

Servicio Meteorológico Nacional. (s. f.). *Estadísticas*. https://www.smn.gob.ar/estadisticas

Servicio Meteorológico Nacional. (s. f.). *El Niño–Oscilación del Sur (ENOS)*. https://www.smn.gob.ar/enos

Servicio Meteorológico Nacional. (s. f.). *Informes climáticos*. https://www.smn.gob.ar/informes-climaticos

Sistema de Información sobre Sequías para el Sur de Sudamérica. (s. f.). *Monitoreo de precipitación estimada por satélite*. https://sissa.crc-sas.org/monitoreo/precipitacion-estimada-por-satelite/

Subsecretaría de Recursos Hídricos. (2019). *Boletín fluvial N.º 47*. https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/boletin_fluvial_no_47_2019.pdf