



Secretaría
de Obras Públicas



Ministerio
de Economía
República Argentina

INFORME INA

INCORPORACIÓN DE INFORMACIÓN SATELITAL AL ANÁLISIS HIDROLÓGICO DE EVENTOS EXTREMOS EN LOS RÍOS PARANÁ Y PARAGUAY

INFORME FINAL

Investigación científica aplicada
Enero / Diciembre 2024

DICIEMBRE de 2024



Subgerencia
Centro Regional Litoral



2024 -"Año de la Defensa de la Vida, la Libertad y la Propiedad"

AUTORIDADES INSTITUTO NACIONAL DEL AGUA

PRESIDENTE (A/C del despacho)

Dr. Ing. Andrés RODRÍGUEZ

GERENTE DE PROGRAMAS Y PROYECTOS

Ing. Fernando José ZÁRATE

SUBGERENTE CENTRO REGIONAL LITORAL

Dra. Melina DEVERCELLI

PERSONAL PARTICIPANTE EN LA REALIZACIÓN DEL SIGUIENTE TRABAJO

SUBGERENCIA CENTRO REGIONAL LITORAL

Dra. Ing. Silvia RAFAELLI

Ing. María Rosana MAZZON

Andrés OBREGON GOMEZ

INCORPORACIÓN DE INFORMACIÓN SATELITAL AL ANÁLISIS HIDROLÓGICO DE EVENTOS EXTREMOS EN LOS RÍOS PARANÁ Y PARAGUAY

RESUMEN

El sistema de alerta hidrológico de la Cuenca del Plata en el INA brinda información a la comunidad a partir del año 1983 y desde la Subgerencia Centro Regional Litoral se realiza el análisis y seguimiento de eventos hidrológicos extremos de interés para tomadores de decisiones, usuarios y público en general. El presente trabajo sintetiza el análisis de datos en estaciones hidrométricas en el curso principal de los ríos Paraná y Paraguay, incluye la referencia de cotas (de interés por ejemplo para diseño de infraestructura) y suma datos que provienen de sensores remotos permitiendo incorporar información a nivel de Cuenca del Plata en lo relativo a precipitación, humedad de suelo, escorrentía e índice de sequía. El estudio integra información del Sistema Global de Asimilación de Datos Terrestres (GLDAS), del Sistema de Asimilación de Datos Terrestres (FLDAS) de la Red de Sistemas de Alerta Temprana de Hambruna (FEWS NET) de la NASA y del Sistema de Información sobre Sequías para el sur de Sudamérica (SISSA) que funciona en el marco del Centro Regional del Clima para el sur de América del Sur (CRC-SAS) y la Organización Meteorológica Mundial (OMM). El trabajo realizado es un avance en las metodologías para el seguimiento de eventos extremos, consolidando y validando datos satelitales con mediciones in-situ. Otra herramienta identificada como un elemento más en el desarrollo actual y futuro de pronósticos hidrológicos es la inteligencia artificial (IA) que sumada a los avances de diversos grupos de investigación y desarrollo alrededor del mundo, incentivan al INA a seguir el camino de la ciencia aplicada al servicio de la comunidad.

Descriptor temático: Datos satelitales. Datos hidrométricos. Eventos extremos.

Descriptor geográfico: Cuenca del Plata Ríos Paraná Paraguay. Confluencia Paraná-Paraguay.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVO.....	1
3. BREVE DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DEL ESTUDIO EN EL CONTEXTO DE LA CUENCA DEL PLATA .	1
4. ANTECEDENTES DE INTERÉS PARA EL PRESENTE TRABAJO.....	3
4.1 Actividad permanente que realiza el INA.....	3
4.2 Antecedentes del CIC Plata.....	4
4.3 Iniciativas regionales e internacionales.....	6
5. ÁREA DE ESTUDIO, ESTACIONES HIDROMÉTRICAS Y SENSORES REMOTOS CONSIDERADOS ..	7
6. METODOLOGÍA	9
7. RESULTADOS.....	10
7.1. Análisis basado en alturas hidrométricas y caudales	10
7.1.1 Análisis de series históricas.....	10
7.1.2 Análisis de eventos extremos en la estación Corrientes	12
7.2 Análisis incorporando información satelital durante eventos extremos recientes	16
7.2.1 Información de sensores remotos utilizados para el análisis	16
7.2.2 Integración de información	23
8. CONSIDERACIONES FINALES Y PRÓXIMOS PASOS	25

ANEXOS

Anexo 1: Alturas –cotas medias diarias

Anexo 2: Caudales medios anuales

Anexo 3: Datos satelitales - mapas medios areales por trimestre de precipitación, humedad de suelo y escurrimiento

Anexo 4: Sequías en la Cuenca del Plata desde 2019 hasta 2024

1. INTRODUCCIÓN

El Instituto Nacional del Agua (INA) es el organismo de ciencia y tecnología de referencia en materia de investigación y desarrollo de proyectos asociados a la gestión social, productiva y ambiental del agua de Argentina. En 2023 celebró sus 50 años de existencia. En la actualidad, el INA comprende un Polo Hídrico en Ezeiza y distintas regionales distribuidas en el país. En Santa Fe se encuentra localizada la Subgerencia Centro Regional Litoral (SCRL-INA) que posee importancia estratégica al encontrarse emplazada en una de las cuencas más grandes del mundo, como es la Cuenca del Plata a la que pertenecen los ríos Paraná y Paraguay.

El sistema de alerta hidrológico de la Cuenca del Plata en el INA brinda información a la comunidad a partir del año 1983 y en particular la SCRL integra el grupo regional del Sistema Soporte para la Toma de Decisiones de la Cuenca del Plata (SSTD-CdP), forma parte del Grupo de Trabajo Técnico de la Comisión Mixta del Río Paraná (COMIP) y desarrolla proyectos con diversos ministerios provinciales, razón por la cual analiza e integra datos hidrológicos y meteorológicos para brindar información calificada sobre situación hidrológica del Sistema Paraná-Paraguay en diversos espacios de investigación y gestión.

En este sentido, el presente documento actualiza e integra la caracterización de eventos hidrológicos extremos en los ríos Paraguay y Paraná, considerando la serie de niveles hidrométricos y caudales en estaciones ubicadas en los cursos principales del río Paraná y Paraguay e información satelital disponible a nivel global. Se realiza con mayor detalle un análisis comparado para los últimos dos eventos extremos (crecida 2015-2016 y bajante 2020-2022).

2. OBJETIVO

Objetivo general

Incorporar información satelital al análisis de eventos extremos en el Sistema Paraná-Paraguay, como complemento a los datos hidrométricos en estaciones de referencia, con vistas a optimizar pronósticos hidrológicos de interés para tomadores de decisiones, usuarios y público en general.

Objetivos particulares

- Identificar los niveles máximos y mínimos observados en los ríos Paraná y Paraguay durante eventos extremos en estaciones de referencia.
- Disponer cotas hidrométricas IGN de cada escala, como referencia para el diseño de infraestructura y soporte a la toma de decisiones.
- Visibilizar y validar información hidrológica proveniente de datos satelitales disponibles en sitios de referencia, presentando como ejemplo el análisis para los últimos dos eventos extremos (crecida 2015-2016 y bajante 2020-2022).

3. BREVE DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DEL ESTUDIO EN EL CONTEXTO DE LA CUENCA DEL PLATA¹

La Cuenca del Plata se encuentra localizada en el sur-este del continente sudamericano, abarcando territorios de cinco países: Argentina, Bolivia, Brasil, Paraguay y Uruguay. Tiene una extensión de 3.182.000 km², equivalente al 17% de la superficie de América del Sur.

Desde el punto de vista hidroclimático, la Cuenca del Plata (CdP) cuenta con una diversidad importante de climas, que va desde los secos y muy calurosos del oeste chaqueño, con menos de 300 mm/año de

¹ Tomando como referencia la información rescatada en marzo de 2024 de https://cicplata.org/wp-content/uploads/2017/04/ppd_confluencia.pdf

precipitación, hasta las húmedas regiones del sur de Brasil y sudeste de Paraguay, con más de 2.000 mm/año de precipitación. Estos climas presentan una variabilidad interestacional o interanual que, con frecuencia, se traduce en eventos extremos de sequías o inundaciones de gran magnitud.

El clima de la CdP presenta gradientes importantes que determinan su comportamiento hidrológico. El norte de la Cuenca está bajo la influencia de un régimen monzónico de lluvias, con un máximo pronunciado en el verano. El gran humedal del Pantanal juega un papel clave en el almacenamiento de las escorrentías causadas por las lluvias en el Alto Paraguay, retrasando en casi seis meses sus aportes mayores al Paraná.

La alta variabilidad climática interanual de la Cuenca, en particular sus precipitaciones, está condicionada por el fenómeno de El Niño-Oscilación del Sur (ENSO) en sus fases fría (La Niña) y cálida (El Niño).

En la CdP, el Alto Paraguay presenta alternancia de valores medios de excesos en verano y otoño y de déficit en invierno-primavera. En el Bajo Paraguay las zonas de aporte de margen derecha presentan balances deficitarios hacia el oeste, mientras que las zonas de aporte de margen izquierda presentan balances con exceso. En la región del Alto Paraná se presenta déficit en invierno y parte de la primavera, pero el balance es equilibrado a nivel anual. También en el Bajo Paraná pueden diferenciarse las áreas de aporte de margen derecha, que hacia el oeste presentan balances deficitarios, y de margen izquierda, donde son positivos. En toda la cuenca del río Uruguay los balances son en general positivos, aunque hay meses con déficits.

El caudal medio del río Paraná, aguas arriba de la desembocadura del río Paraguay, está estimado en 13.916 m³/s (Itatí). El caudal medio del río Paraguay (en el tramo que comparten Argentina y Paraguay) está estimado en 4.696 m³/s (Puerto Bermejo). Por lo tanto, aproximadamente el 75% del caudal del río Paraná proviene del Alto Paraná (aguas arriba de la confluencia con el río Paraguay), mientras que apenas el 25% del caudal medio proviene del río Paraguay.

El caudal medio del río Uruguay en Salto Grande es de 5725 m³/s. El caudal total del Río de la Plata, en la desembocadura al Océano Atlántico, puede ser estimado sumando el valor del caudal del río Paraná en Corrientes (18.989 m³/s), más el caudal del río Uruguay en Salto Grande (5725 m³/s), más los aportes de los afluentes agua abajo de estos sitios. Como resultado, se estima que el caudal medio del río de la Plata es de aproximadamente 27000 m³/s.

Las causas de la variabilidad de los caudales de los ríos de la Cuenca del Plata no son completamente conocidas, habiendo sido sugeridos diversos factores, como la variabilidad de la precipitación, la deforestación, la actividad solar, la frecuencia de eventos El Niño y el aumento de las precipitaciones, principalmente a partir de 1970, como producto del cambio climático a nivel global.

La Cuenca del Plata es asimismo rica en recursos hídricos subterráneos. Coincide en gran parte con el Sistema Acuífero Guaraní (SAG). Al oeste de la Cuenca se localiza el Sistema Acuífero Yrendá-Toba-Tarijeño (SAYTT) que coincide, mayormente, con el bioma del Gran Chaco Americano.

Desde el punto de vista del análisis de los procesos morfológicos, la zona de confluencia de los ríos Paraná y Paraguay integra los humedales del Iberá en Argentina y Ñeembucú en Paraguay se destacan los resultados del análisis geológico e hidrogeológico del origen de los paleocauces y humedales, con la delimitación y geoformas asociadas.

La planicie aluvial del río Paraná en su tramo medio es un enorme espacio de interacción simultánea de procesos hidráulico-hidrológicos y bióticos de dispar magnitud, que se ha estructurado integrando, con tal disimilitud y al mismo nivel topográfico de su superficie, fenómenos y atributos geológico-geomorfológicos del presente y de hace decenas de miles de años, que es el orden de tiempo más antiguo en partes de las unidades geomorfológicas que la integran, en general como parches discontinuos; propiedades intrínsecas de estas unidades (como su sedimentología de superficie y subsuelo, pendientes generales, etc.) y

devenidas de sus relaciones espaciales entre sí (e.g., desniveles topográficos generales, anchuras en relación a las de las unidades coalescentes y las del valle), inciden en la distribución areal de los fenómenos geomorfológicos e hidro-sedimentológicos del presente a escala regional, e incluso en su magnitud, atenuándolos o exagerándolos por partes en el sistema; para su heterogénea red hidrográfica de cauces secundarios. Esto se traduce en procesos que conducen a la progresiva obliteración de cursos en determinadas unidades, en un extremo, y al desarrollo de desbordes y avulsiones con la generación de nuevos cauces en otras unidades, en el otro, que modifican localmente la morfodinámica de la unidad o de las unidades geomorfológicas que ellos vinculan, sosteniendo, así, la heterogeneidad de atributos y funcionalidad de la planicie en tiempo y espacio.²



Figura 1: Cuenca del Plata - Mapa de Subcuencas ³

4. ANTECEDENTES DE INTERÉS PARA EL PRESENTE TRABAJO

4.1 Actividad permanente que realiza el INA

El INA es el responsable desde febrero de 1983 del desarrollo y la operación del Sistema de Información y Alerta Hidrológico de la Cuenca del Plata en la Argentina (SiyAH), actualmente enmarcado dentro del Laboratorio de Hidrología del INA.

² Fuente: Ramonell, C.G. (2021). Geomorfología y morfodinámica de la planicie aluvial del río Paraná en su tramo medio. Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata.

³ Recuperado en diciembre de 2024 de <https://cicplata.org/es/mapas-de-la-cuenca/>

En la Figura 2 se presentan un resumen de algunos de los productos generados por el SiyAH que son públicos y se encuentran disponibles en la página web del INA (<https://www.ina.gov.ar/alerta/index.php4>)

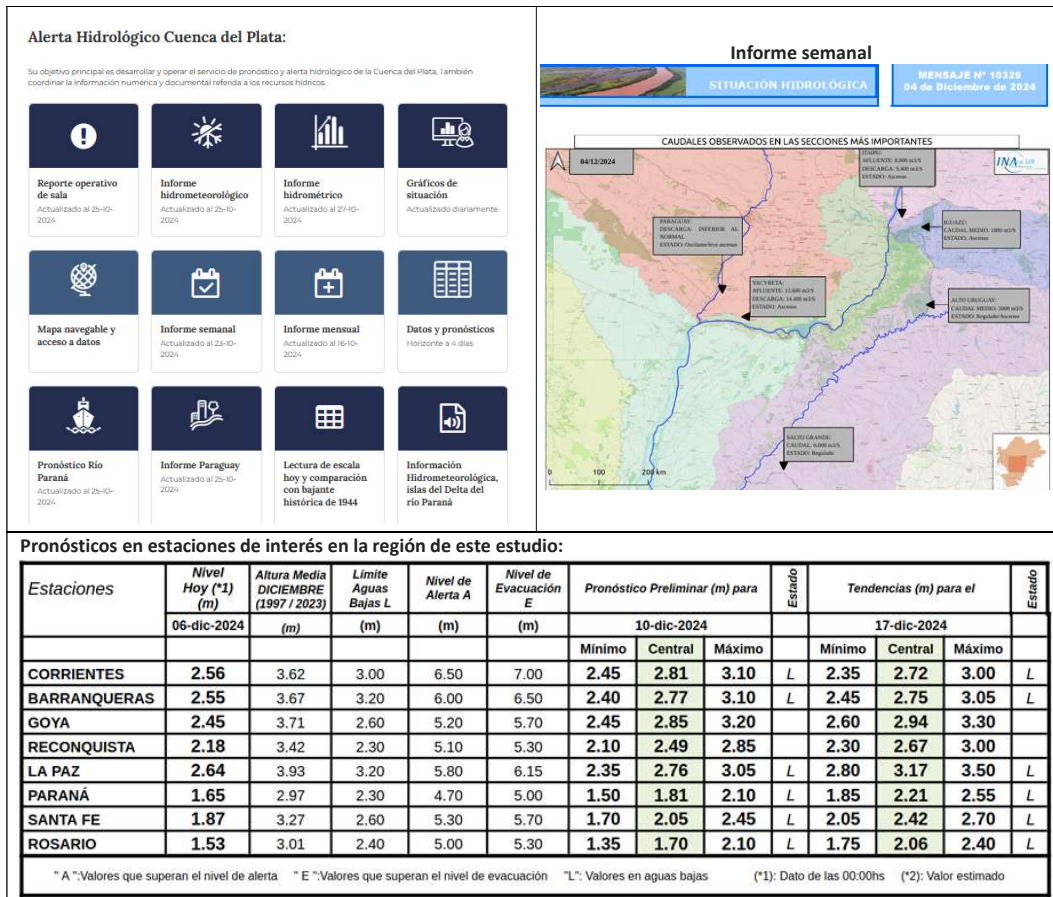


Figura 2: Alerta Hidrológico Cuenca del Plata

En el mapa navegable del INA (<https://alerta.ina.gov.ar/pub/mapa>) se visualiza información que propende a una mayor interacción con los usuarios del recurso hídrico regional, habida cuenta del amplio espectro de tomadores de decisión para los que la misma les resulta de utilidad.

Entre las actividades del INA se incluyen la modelación hidrodinámica del tramo entre Yacyretá y la confluencia Paraná-Paraguay con objetivos de pronósticos hidrométricos en escalas urbanas y en los pasos críticos. El Programa de Hidráulica Computacional del Laboratorio de Hidráulica (LHA) ha realizado modelación hidrodinámica del mencionado tramo y desarrolla además en el Delta del Paraná la modelación y pronósticos a 4 días desde Rosario hasta estaciones en el Delta del Paraná.

4.2 Antecedentes del Comité Intergubernamental Coordinador de los Países de la Cuenca del Plata (<https://cicplata.org/es/>)

El órgano permanente del Tratado de la Cuenca del Plata es el Comité Intergubernamental Coordinador de los Países de la Cuenca del Plata (CIC). En este marco institucional, entre 2010 y 2017 se desarrolló el "Programa Marco para la gestión sostenible de los recursos hídricos de la Cuenca del Plata en relación con los efectos de la variabilidad y el cambio climático". Se trató de un Proyecto FMAM-PNUMA-OEA-CIC, financiado por el FMAM (GEF), teniendo como agencia de Implementación a la Organización de los Estados

⁴ Recuperado en diciembre de 2024 de <https://www.ina.gov.ar/alerta/index.php>

Americanos y el Comité Intergubernamental Coordinador de los Países de la Cuenca del Plata (Proyecto). Durante la ejecución del Proyecto se actualizó el Análisis Diagnóstico Transfronterizo y se diseñó el Programa de Acciones Estratégicas para la Cuenca del Plata, mediante un proceso participativo que integró grupos multidisciplinarios y convocó a más de 1500 técnicos de la Cuenca. (Argentina, Bolivia, Brasil, Paraguay y Uruguay). En 2023 se completó el Proyecto FMAM-CAF-OEA-CIC "Preparando las Bases Para la Implementación del Programa de Acción Estratégica (PAE) de la Cuenca del Plata", denominado Proyecto de Porte Medio (PPM) y en 2025 se dará inicio al nuevo proyecto FMAM-CAF-OEA-CIC para la "Implementación de prioridades del PAE de la Cuenca del Plata a través de acciones regionales y nacionales".

Los antecedentes de interés para el presente trabajo son:

- 2016: Documentos Temáticos para el diseño del Programa Estratégico de Acciones:
 - Balance hídrico en la Cuenca del Plata. Disponibilidad y usos, considerando escenarios futuros. Modelos de gestión. – Página 71 y 77: "Modelos hidrológicos Témés-CHAC y de Grandes Cuencas (MGB)". https://cicplata.org/wpcontent/uploads/2017/04/balance_hidrico_en_la_cuenca_del_plata_20170424.pdf
 - Hidroclimatología de la Cuenca del Plata – Página 52 "Sistemas de alerta y predicción hidroclimática". https://cicplata.org/wpcontent/uploads/2017/04/hidroclimatologia_de_la_cuenca_del_plata_20170424.pdf
 - Proyecto Piloto Demostrativo. Conservación de la biodiversidad íctica en una zona regulada del río Paraná. https://cicplata.org/wp-content/uploads/2017/04/ppd_biodiversidad.pdf
 - Proyecto Piloto Demostrativo. Sistema de alerta hidroambiental en la confluencia de los ríos Paraguay y Paraná. https://cicplata.org/wp-content/uploads/2017/04/ppd_confluencia.pdf
- 2019-2023: "Preparando las Bases Para la Implementación del Programa de Acción Estratégica (PAE) de la Cuenca del Plata":
 - Desarrollo del Proyecto de Porte Medio (PPM) para la definición de proyectos financiables de corto y mediano alcance.
- 2024: Aprobación por parte del GEF del Proyecto "Implementación de prioridades del PAE de la Cuenca del Plata a través de acciones regionales y nacionales" <https://www.thegef.org/projects-operations/projects/11053>

Sistema Soporte para la Toma de Decisiones

Un producto de interés para tomadores de decisiones y usuarios es el Sistema Soporte para la Toma de Decisiones (SSTD-CdP) disponible desde el sitio web del CIC⁵. Es una plataforma operativa de gestión de gran cantidad de información hidrometeorológica producida por los países que integran la cuenca, y de productos relacionados con inundaciones, sequías y calidad de agua, necesarios para apoyar la toma de decisiones oportunas e informadas relativas a la gestión de las aguas y para la alerta temprana. Con datos sistematizados y comparables, y con productos y herramientas de análisis adecuadas, el SSTD-CdP brinda una visión global en tiempo real de la cuenca: muestra información en tiempo real de más de 700 estaciones de monitoreo de cantidad y calidad de agua y cuenta con pronósticos en base a modelos matemáticos de predicción. Así, contribuye a mejorar las decisiones de los países, los usuarios y habitantes de la cuenca, vinculados con las aguas. El SSTD-CdP basa su incorporación de datos en el sistema WHOS-Plata que fue implementado por los servicios hidrológicos y meteorológicos de los cinco países y por la Organización Meteorológica Mundial (OMM).

El Sistema

El SSTD-CdP se sustenta en el sistema Delft-FEWS, un gran motor de procesamiento de series temporales de datos, con la tecnología más avanzada, desarrollado por el Instituto Deltares, referente en investigación de temas hídricos de Países Bajos.

También incluye el Modelo de Grandes Cuencas (MGB, por sus siglas en portugués), desarrollado por el Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) de la Universidad Federal de Rio Grande do Sul (Brasil). Este

⁵ Recuperado en diciembre de 2024 de <https://cicplata.org/es/sistema-soporte-para-la-toma-de-decisiones-de-la-cuenca-del-plata/>

modelo hidrológico, que ha sido calibrado para la Cuenca del Plata, reproduce los caudales naturales esperados en las 6382 minicuecas en las que se ha subdividido, en función de la precipitación, la temperatura del aire, la humedad relativa, la velocidad del viento, la insolación y la presión atmosférica, además de las características morfológicas y del suelo. Así, permite estimar la disponibilidad natural de agua en la cuenca y evaluar el impacto del cambio climático en los caudales.

Accesos

El SSTD-CdP cuenta con una interfaz de acceso Cliente Operador (OC, por sus siglas en inglés) para las instituciones vinculadas con las aguas de los países de la Cuenca del Plata, especialmente los gestores de recursos hídricos y los sistemas de emergencias.

Para el público general, las instituciones educativas, los medios de comunicación y los organismos interesados en la temática, se encuentra disponible el tablero web de acceso público que permite visualizar los niveles y umbrales de cantidad y calidad de las aguas (Figura 3).

Grupo de trabajo SSTD de los 5 países

Desde el CIC se coordina el trabajo conjunto de técnicos de los 5 países el cual coordina y desarrolla los avances del Sistema, en base a un plan de trabajo a corto, mediano y largo plazo. El INA integra el grupo desarrolladores del SSTD.

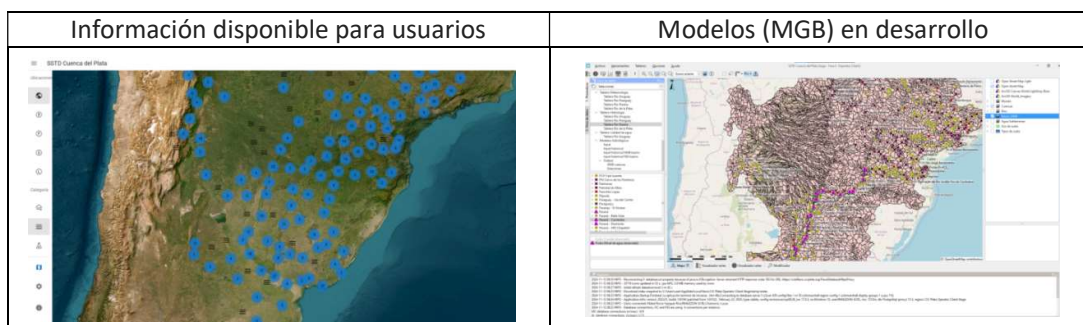


Figura 3: Referencia del SSTD-CdP⁶

4.3 Datos satelitales - Iniciativas regionales e internacionales

Se incluyen citas de algunas referencias sobre datos satelitales consideradas de interés para el presente estudio, que son también fuente de información para el trabajo realizado.

En lo que se refiere a información de la **Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA)** de Estados Unidos, en el presente trabajo se ha considerado los productos disponibles a través del portal Giovanni que permite visualizar y analizar información disponible proveniente de satélites y modelación numérica. Algunos de los servicios que ofrece Giovanni incluyen la creación de mapas promediados en el tiempo, gráficos de comparación, gráficos verticales y animaciones. Han sido de particular interés los productos del Proyecto MERRA-2 (Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications) que combina datos de satélites con información de estaciones meteorológicas y otros sensores.

Con relación a las Sequías se han formulado Iniciativas regionales tales como el **Sistema de Información sobre Sequías para el sur de Sudamérica (SISSA)**. El SISSA provee herramientas e información sobre las sequías y sus impactos a gobiernos, instituciones no gubernamentales y privadas, e individuos. Esta información permite: monitorear y predecir la ocurrencia de sequías; anticipar los impactos esperables en sectores económicos y comunidades; y fomentar la planificación y preparación anterior a la ocurrencia de sequías para mitigar sus daños, aumentar la resiliencia y reducir la vulnerabilidad. El SISSA es una

⁶ Recuperado en diciembre 2024 de <https://sstdfews.cicplata.org/sstd-viewer/map/>

institución virtual que funciona en el marco del Centro Regional del Clima para el sur de América del Sur (CRC-SAS). El CRC-SAS es una organización virtual, constituida en forma de red, según los principios definidos por la Organización Meteorológica Mundial (OMM). Se encuentra en fase operativa y ofrece servicios climáticos en apoyo a los Servicios Meteorológicos e Hidrológicos Nacionales (SMHN) y otros usuarios de los países situados en la región sur de América del Sur.⁷

Por su parte la **OMM** es un organismo especializado de las Naciones Unidas (ONU) con 193 Estados Miembros y Territorios. Es la voz autorizada del sistema de las Naciones Unidas sobre el estado y el comportamiento de la atmósfera terrestre, su interacción con la tierra y los océanos, el tiempo y el clima que produce y la distribución resultante de los recursos hídricos. Genera una amplia variedad de actividades que abarcan desde la investigación hasta la prestación de servicios relacionados con el tiempo, el clima y el agua. Entre sus iniciativas se cita el Sistema mundial de estado y perspectivas hidrológicas (HydroSOS) que fortalece la capacidad de los países en toda la cadena de valor hidrológico, para ayudar a producir información estandarizada sobre el estado actual de los recursos hídricos y pronosticar la situación para los próximos días o meses.

Además, a nivel internacional y asociado a monitoreo y predicción considerando sensores remotos, **COPERNICUS** es el Programa de Observación de la Tierra de la Unión Europea con un sistema operativo de gestión de emergencia (Global Flood Awareness System - GloFAS) que ofrece servicios de información basados en datos globales procedentes de satélites y sistemas de medición terrestres, aéreos y marítimos para proporcionar información que ayude a los proveedores de servicios, las administraciones públicas y otras organizaciones internacionales. En 2021, se integró en GloFAS un nuevo sistema de monitoreo global de inundaciones (GFM) operativo y casi en tiempo real. El nuevo GFM proporciona un monitoreo continuo de inundaciones en todo el mundo al procesar y analizar de inmediato todos los datos satelitales entrantes del radar de apertura sintética (SAR) Sentinel-1 de Copernicus. Al ser un sistema completamente automatizado, uno de los puntos fuertes del GFM es la alta puntualidad de sus productos. En segundo lugar, la implementación de tres algoritmos de mapeo satelital de inundaciones de última generación desarrollados de forma independiente respalda la solidez y la alta calidad de los mapas de inundaciones y extensión del agua derivados⁸.

5. ÁREA DE ESTUDIO, ESTACIONES HIDROMÉTRICAS Y SENSORES REMOTOS CONSIDERADOS

El área de estudio incluye en Sistema Paraná-Paraguay, dos de los cursos principales que forman parte de la Cuenca del Plata.

Las estaciones hidrométricas utilizadas para la caracterización de los eventos extremos están citadas y ubicadas en la Figura 4. En la Tabla 1 se incluye nombre de estación, ubicación (latitud y longitud), disponibilidad de altura y caudal, cero de escala y su marco de referencia.

Las fuentes de los datos hidrométricos utilizados en el presente estudio provienen de:

- Red Hidrológica Nacional (RHN): Datos de alturas hidrométricas y caudales en las estaciones de Puerto Pilcomayo, Puerto Bermejo, Itá Cajón, Itati, Corrientes y Paraná (Túnel Subfluvial).
- Prefectura Naval Argentina (PNA): Datos de alturas hidrométricas y caudales en la estación de Rosario.

⁷ Recuperado en mayo 2024 de <https://sissa.crc-sas.org/blog/category/productos-sissa/>.

⁸ Recuperado en junio 2024 de <https://global-flood.emergency.copernicus.eu/technical-information/glofas-gfm/> consulta

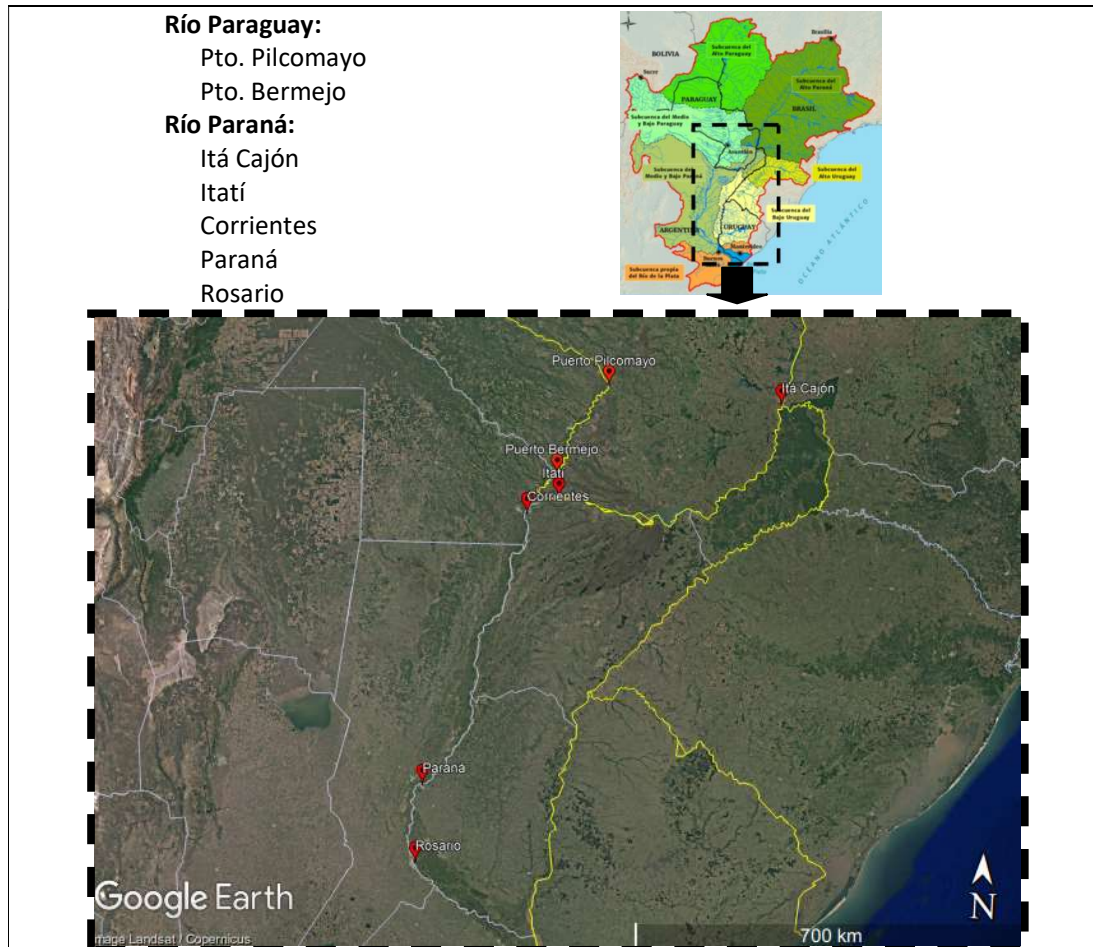


Figura 4: Estaciones hidrométricas para la caracterización general

Tabla 1: Información general de estaciones hidrométricas y disponibilidad de datos⁹

Estación	Latitud	Longitud	Altura	Caudal	Cero escala	Marco de referencia
Puerto Pilcomayo	-25°22'19.20"	-57°39'01.10"	Si	Si	52,29	IGN
Puerto Bermejo	-26°55'33.20"	-58°30'25.30"	Si	Si	45,57	IGN
Itá Cajón	-25°36'14.80"	-54°35'34.30"	Si	No	79,18	IGN
Itatí	-27°15'58.50"	-58°14'39.50"	Si	Si	45,12	IGN
Corrientes	-27°27'35.00"	-58°50'00.00"	Si	Si	41,859	IGN*
Paraná Túnel Subfluvial	-31°43'11.50"	-60°31'03.10"	Si	Si	9,41	IGN
Rosario	-60°37'50.00"	-32°56'35.00"	Si	Si	2,923	IGN

(*): Dato del Sistema MOP transformado a cota IGN.

Al dato del Sistema MOP se restó 0.531 m para pasar el valor a cota IGN¹⁰.

⁹ Fuente: Informe Final - Etapa I "Metodología para estimación perfiles de cotas (IGN) del nivel de agua a lo largo del río Paraná, en diversas condiciones de caudal – análisis de datos hidrométricos río Paraná". Beca de servicio (UTN), estudiante avanzado ingeniería civil, Andrés Obregón Gómez. Directora: María Rosana Mazzón, Co-director: Adolfo Villanueva. INA-SCRL. Diciembre 2024.

¹⁰ Fuente: IGN, Instituto geográfico nacional. (2017). Comparación de orígenes altimétricos en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Instituto geográfico nacional de la República Argentina, Dirección de geodesia. Recuperado en junio de 2024, de https://ramsac.ign.gob.ar/posgar07_pg_web/documentos/Vinculacion_altimetrica_IGN_CABA.pdf

Los sensores remotos utilizados y las fuentes de dicha información son:

- Estimación de precipitación, humedad de suelo y escorrentía para la Cuenca del Plata obtenidos del portal Giovanni¹¹ de NASA:
 - Precipitación: MERRA-2¹² tavgM_2d_flg_Nx: 2d, media mensual, promedio temporal, nivel único, asimilación, diagnóstico de flujo superficial V5.12.4 (M2TMNXFLX)
 - Humedad de suelo: MERRA-2 tavgM_2d_Ind_Nx: 2d, media mensual, promedio en el tiempo, nivel único, asimilación, diagnóstico de la superficie terrestre V5.12.4 (M2TMNXLND)
 - Escorrentía: Modelo de superficie terrestre FLDAS¹³ Noah L4 Global Mensual 0,1 x 0,1 grados (MERRA-2 y CHIRPS¹⁴) (FLDAS_NOAH01_C_GL_M)
 - Mapas de anomalías contiene una serie de parámetros de la superficie terrestre simulados a partir del modelo Noah 3.6.1 en el FLDAS de la Red de Sistemas de Alerta Temprana de Hambruna (FEWS NET).
- Datos de escorrentía mensual (superficial y subterránea) en Corrientes provenientes de GLDAS¹⁵ (Noah Land Surface Model L4 monthly 0.25x0.25 degree V2.1 monthly data). Datos disponibles desde 01 de enero de 2020 hasta 31 de agosto de 2024.
- Estimaciones de precipitación del CHIRPS utilizadas para definir categorías de sequías con el SPI-6. Mapas del sector de América Latina que incluye la Cuenca del Plata. Información extraída del SISSA¹⁶, para período desde 2019 hasta el presente, que incluye la sequía 2019-2022.

6. METODOLOGÍA

La primera parte del trabajo considera las series históricas de **alturas hidrométricas y caudales** en estaciones de referencia mencionadas en el ítem 5. El análisis descriptivo de alturas hidrométricas y caudales en los ríos Paraguay y Paraná, incluyó las siguientes etapas:

- Presentar gráficamente las series de datos de las alturas hidrométricas asociadas a cotas IGN.
- Incluir referencias sobre los máximos y mínimos de alturas-cotas identificados en las series de datos disponibles para cada estación.
- Graficar los caudales medios anuales (estimados en base a alturas hidrométricas), indicando valores medios en estaciones de referencia para el período disponible.
- Determinar la media anual de caudales para la serie completa (período disponible), comparando con la media incluida en el Análisis Diagnóstico Transfronterizo que consideró la serie 1971-2010.
- Identificar los eventos extremos en Corrientes y analizar en primera instancia los caudales medios mensuales, verificando los períodos bajo el fenómeno El Niño-La Niña disponibles a partir de 1950.
- También para los eventos extremos se grafican:
 - Las alturas mínimas diarias anuales, identificando las bajantes históricas.
 - La serie de cotas medias diarias para cada año con bajantes extremas, identificando fecha y registro.
 - Las alturas máximas diarias anuales, identificando las crecientes históricas.
 - La serie de cotas medias diarias para cada año con crecientes extremas; identificando fecha y registro.

¹¹ Giovanni es una aplicación web que se utiliza para visualizar y analizar parámetros geofísicos en datos de teledetección cuyo origen se conoce. Algunos de los servicios que ofrece Giovanni incluyen la creación de mapas promediados en el tiempo, gráficos de comparación, gráficos verticales y animaciones

¹² MERRA-2: Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications

¹³ FLDAS: Sistema de Asimilación de Datos Terrestres

¹⁴ CHIRPS: Climate Hazards InfraRed Precipitation with Station data

¹⁵ GLDAS: Sistema Global de Asimilación de Datos Terrestres

¹⁶ SISSA: Sistema de Información sobre Sequías para el sur de Sudamérica

Para la segunda parte del trabajo se incorpora al análisis **la información satelital**. Se relevan las distintas iniciativas globales y regionales citadas en el ítem 4.3. Posteriormente se analizan algunos de los productos satelitales disponibles, considerando en particular los dos últimos eventos extremos (creciente 2015-2016 y bajante 2020-2022). Este desarrollo ha permitido:

- Caracterizar los últimos eventos extremos con información satelital de precipitación, humedad de suelo y escorrentía considerando la distribución areal en la Cuenca del Plata y la serie de datos de caudales en Corrientes.
- Caracterizar la sequía entre 2019 y 2022, utilizando mapas calculados a partir de de las anomalías de precipitación del CHIRPS para el SPI-6.
- Validar datos de escorrentía estimadas por GLDAS en la estación Corrientes.
- Integrar gráficamente la información de distintas fuentes (datos hidrológicos medidos y datos satelitales), a fin de validarla en forma cualitativa.

7. RESULTADOS

7.1 Análisis basado en alturas hidrométricas y caudales

7.1.1 Análisis de series históricas

A) Alturas-cotas hidrométricas medias diarias

Los datos de alturas hidrométrica medias diarias se han convertido a cotas IGN en aquellas estaciones donde la información está disponible. Los gráficos de las series disponibles se incluyen en el Anexo 1. En la Tabla 2 se presentan para cada estación: período de datos disponibles, fecha-altura-cota máxima registrada y fecha-altura-cota mínima registrada.

Tabla 2: Alturas-cotas máximas y mínimas diarias (medias diarias)

Estación	Período	Fecha del máximo	Altura máxima (m)	Cota máxima (m)	Fecha del mínimo	Altura mínima (m)	Cota mínima (m)
Puerto Pilcomayo	02/ene/1910 31/jul/2024	30/may/1983	9,22	88,40	06/oct/2021	-0,28	78,90
Puerto Bermejo	02/ene/1910 31/ago/2024	29/may/1983	9,76	62,05	25/nov/1916	-0,98	51,31
Itá Cajón	07/nov/1987 09/jun/2014	31/may/1992	47,22	126,40	09/oct/1988	10,84	90,02
Itatí	01/jul/1910 31/mar/2024	17/jul/1983	10,11	55,23	07/oct/1944	-0,84	44,28
Corrientes	01/ene/1904 31/mar/2024	18/jul/1983	9,01	50,87	07/oct/1944	-0,82	41,04
Paraná Túnel Subfluvial	26/ene/1904 04/jun/2024	15/jun/1905	6,95	16,36	03/nov/1944	-1,40	8,01
Rosario	02/ene/1900 27/jun/2024	14/may/1998	6,43	9,35	10/sep/1944	-1,39	1,53

En el caso de las alturas-cotas **máximas** diarias identificadas, ocurrieron: en 1983 en Pto. Pilcomayo, Pto. Bermejo, Itatí y Corrientes, en 1992 en Ita Cajón, en 1905 en Paraná y en 1998 en Rosario.

En relación a las alturas-cotas **mínimas** diarias se observan: en 1944 en Itatí, Corrientes, Paraná y Rosario, en 2021 en Pto. Pilcomayo, en 1916 en Pto Bermejo y en 1988 en Ita Cajón.

Según este análisis de máximas y mínimas, la crecida ocurrida en 1983 se refleja en todo el Sistema Paraná-Paraguay, en cambio la bajante extrema de 1944 es más evidente en el río Paraná que en el río Paraguay.

B) Caudales medios anuales

En el análisis diagnóstico transfronterizo de la Cuenca del Plata (2017)¹⁷ se tomaron como referencia los caudales medios para el período 1971-2010:

- Río Paraguay en Puerto Bermejo aguas arriba de la desembocadura en el río Paraná, está estimado en 4.696 m³/s, drenando un área de aporte de 1.135.624 km².
- Río Paraná en Itatí aguas arriba de la desembocadura del río Paraguay, está estimado en 13.916 m³/s (Itatí), drenando un área de 953.950 km².
- Río Paraná aguas abajo de la confluencia Paraná-Paraguay, en Corrientes estimado en 18.989 m³/s, drenando un área de aporte de 1.950.000 km².

La información en la estación Corrientes refleja la situación de la confluencia de los ríos Paraná y Paraguay, donde aproximadamente el 75% del caudal proviene del Alto Paraná, mientras que el 25% del caudal proviene del río Paraguay. La misma relación se observa en el análisis de la serie actualizada hasta 2022, según se refleja en la Tabla 3.

Tabla 3: Caudales medios anuales en estaciones que disponen datos

Estación	Período	Q medio de la serie (m ³ /s)	Q medio desde 1970 hasta el último valor disponible (m ³ /s)	Q medio del ADT Cuenca del Plata Período 1971-2010
Puerto Pilcomayo	1910-2022	3537	Serie con faltante	-
Puerto Bermejo	1911-1994 2016-2022	3874 4310	Serie con faltante	4696
Itatí	1911-1920 1929-2022	10036 12583	13573	13916
Corrientes	1904-2022	17087	18805	18989
Paraná	1904-2021	14161	15580	-
Rosario	2015-2023	16919	Sin dato	-

En el Anexo 2 se incluyen los gráficos de los datos disponibles de las series de caudales medios anuales en las estaciones de referencia y se destaca que desde 2019 los caudales medios anuales estuvieron por debajo de los valores medios en todas las estaciones, coincidente la sequía registrada en la Cuenca del Plata. A modo de ejemplo se incorpora en la Figura 5 los registros para la estación Corrientes.

Durante las últimas décadas se ha considerado que desde el año 1970 se reflejaba un cambio significativo en la serie de caudales (con medias superiores en un 10% aproximadamente) y por tal motivo en la Tabla 1 se incluyen los valores promedios para la serie completa y para la serie a partir de 1970. Durante la sequía 2019-2022 se registran valores mínimos comparables con la bajante de 1944 pero la tendencia antes mencionada se mantiene.

¹⁷Recuperado en enero de 2024 de CIC-OEA (2017) – ADT de la Cuenca del Plata. https://cicplata.org/wp-content/uploads/2017/09/analisis_diagnostico_transfronterizo_de_la_cuenca_del_plata.pdf

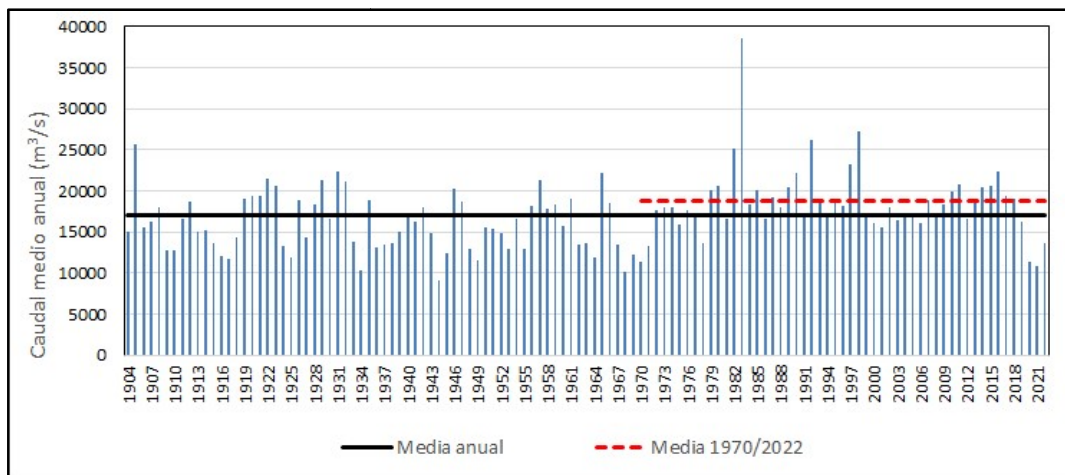


Figura 5: Caudales medios anuales en Corrientes

7.1.2 Análisis de eventos extremos en la estación Corrientes¹⁸

Para realizar el análisis se despliega con mayor detalle los eventos hidrológicos en la serie de la estación Corrientes (suma de los caudales de los ríos Paraguay y Paraná en su confluencia) que representa el ingreso al tramo medio inferior del río Paraná. Los datos incluyen los máximos y mínimos desde el año 1905 hasta 2023.

A) Alturas medias diarias

Se analizó la serie de alturas medias diarias y se identificaron las bajantes y crecientes históricas anuales detalladas en las Figuras 7 y 8 respectivamente. En cada caso se incluyó un gráfico con las alturas mínimas y máximas diarias anuales, destacando los años con eventos extremos. Luego se graficaron los datos diarios para dichos años utilizando cotas hidrométricas. En las Tablas 4 y 5 se resumen la fecha, altura, cota y caudal para cada evento extremo citado anteriormente.

Sobre bajantes históricas identificadas, se destaca que el reciente nivel mínimo de enero de 2022 le antecede el mínimo en septiembre de 1969 (distante más de 50 años).

Con relación a las crecientes históricas en la estación Corrientes, la mayor frecuencia ocurre durante los últimos 50 años, identificando la más reciente en 2015-2016.

¹⁸ Tomando como antecedente: Informe de avance. Proyecto interinstitucional PITES: “Socioecosistema fluvial Paraná-Paraguay estudio argentino en el escenario de cambios globales. Objetivo 2.4 Relación de las bajantes y las crecientes de los ríos Paraná y Paraguay con su impacto sobre los servicios ecosistémicos . Equipo de trabajo: Silvia Rafaelli, Rosana Mazzon, María José Müller, Micaela Milano. INA-SCRL Febrero 2023.

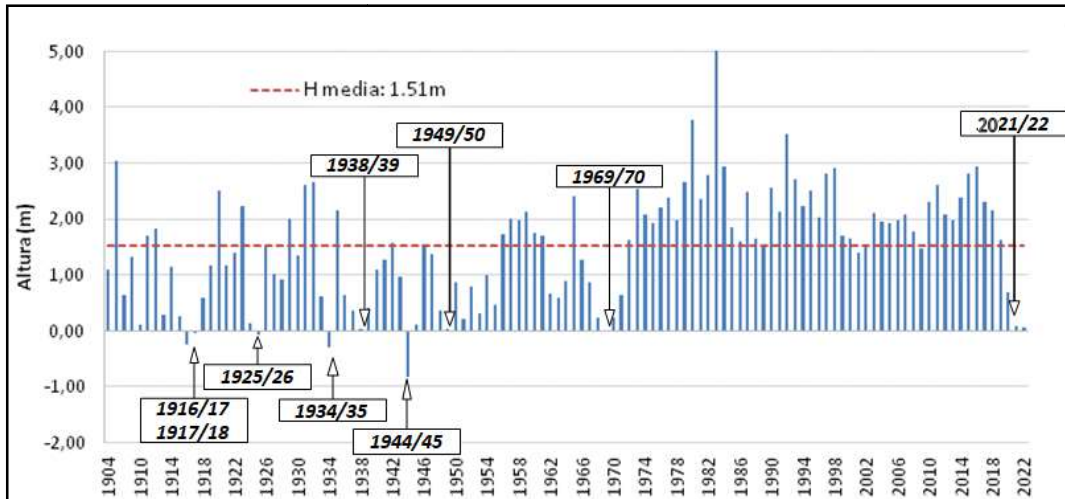


Figura 7a: Bajantes históricas – Alturas mínimas diarias anuales de cada año hidrológico

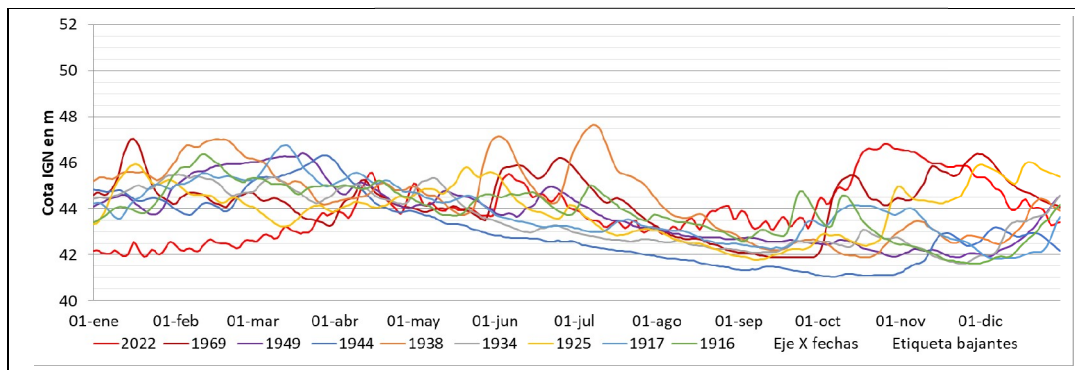


Figura 7b: Bajantes históricas – Cotas medias diarias para cada año con bajantes extremas

Tabla 5: Valores de eventos extremos - Bajantes históricas

Fecha	Altura (m)	Cota (m snm)	Caudal (m ³ /s)
07/oct/1944	-0.82	41.0	3945
24/nov/1934	-0.27	41.6	5151
27/nov/1916	-0.24	41.6	5221
08/sep/1925	-0.08	41.8	5600
06/dic/1917	-0.03	41.8	5721
14/sep/1969	0.01	41.9	5981
17/oct/1938	0.02	41.9	5818
22/nov/1949	0.03	41.9	5867
20/ene/2022	0.06	41.9	7336

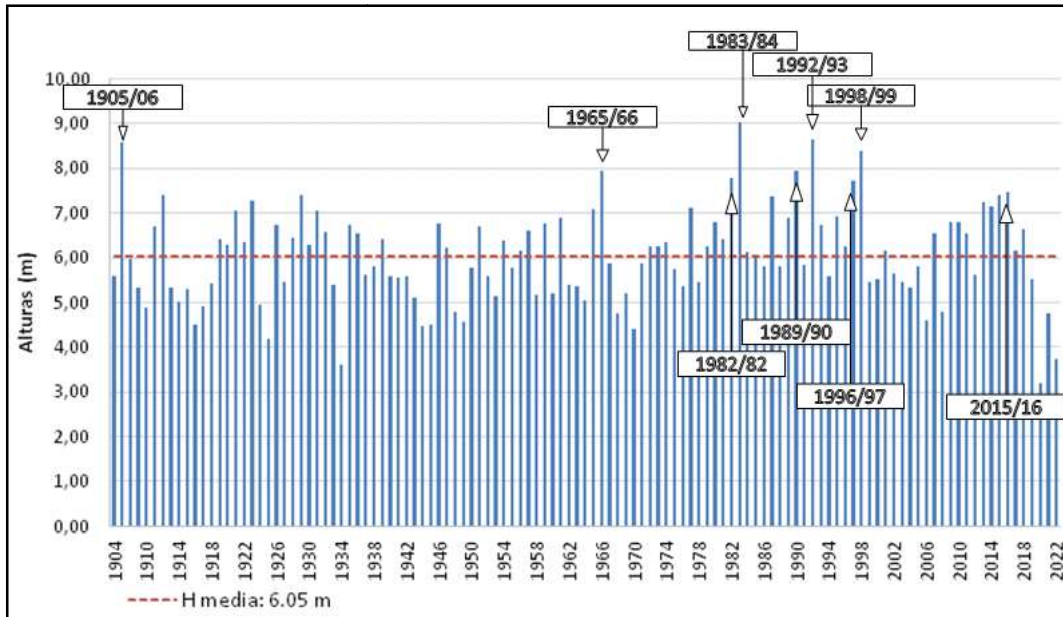


Figura 8a: Crecientes históricas - Alturas máximas diarias anuales de cada año hidrológico

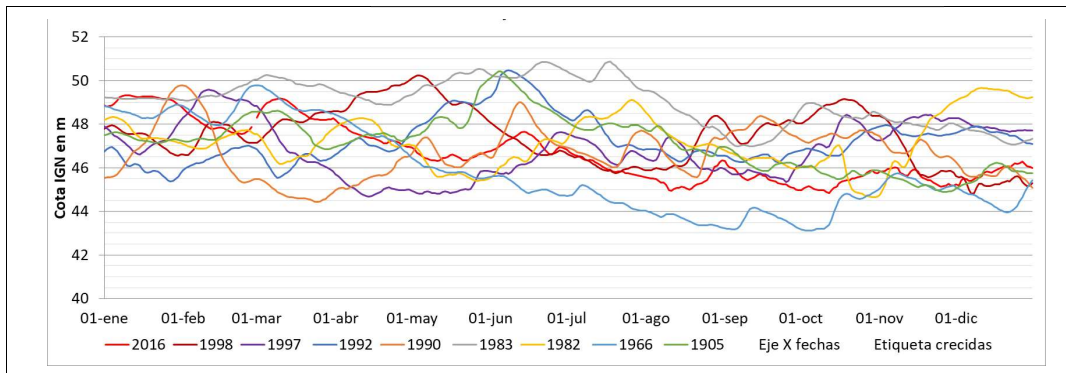


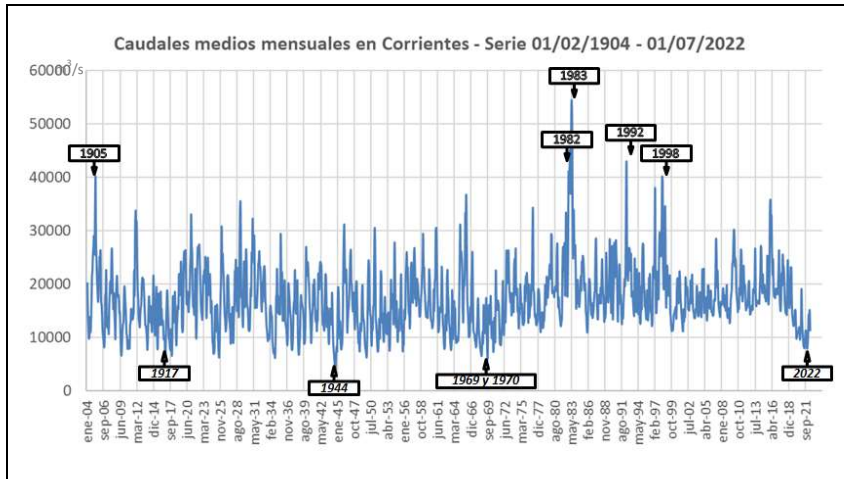
Figura 8b: Crecientes históricas – Cotas medias diarias para cada año con máximas crecidas

Tabla 5: Valores de eventos extremos - Crecientes históricas

Fecha	Altura (m)	Cota (m snm)	Caudal (m ³ /s)
18/jul/1983	9.01	50.9	60215
08/jun/1992	8.61	50.5	54000
04/jun/1905	8.56	50.4	49941
04/may/1998	8.38	50.2	48161
01/feb/1990	7.93	49.8	43829
01/mar/1966	7.93	49.8	43829
11/dic/1982	7.8	49.7	43252
11/feb/1997	7.72	49.6	41884
09/ene/2016	7.47	49.3	36927

B) Caudales medios mensuales

El análisis de los caudales mensuales en Corrientes permite identificar los meses críticos extremos que se presentan en la Figura 9. Además se identificaron a paso mensual el fenómeno El Niño-La Niña, utilizando como referencia meses Niño en rojo y meses Niña en azul, según el Centro de Predicción Climática de la NOAA. (https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php)



Bajantes		
Año	Mes	Q m ³ /s
1944	oct	4.093
1969	sep	6.108
1917	dic	6.581
1970	ago	7.391
2022	ene	7.933
Crecientes		
Año	Mes	Q m ³ /s
1983	jun	54.473
1992	jun	42.882
1982	dic	40.961
1905	jun	40.213
1998	abr	40.141

Figura 9: Eventos extremos considerando caudales mensuales en Corrientes

Tabla 6: Eventos extremos históricos en Corrientes considerando caudales mensuales
6a: Bajantes históricas -Caudales mensuales en m³/s

Año	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Q MedioAnual
1916	12371	18571	15640	15235	12442	13288	12629	9691	10028	10232	6128	7709	11997
1917	13419	16799	18865	16282	13349	10014	9540	8284	7738	11582	9277	6581	11811
1918	9662	17743	17386	14227	13002	18506	15959	11235	8541	11765	14051	15977	14005
1943	17083	21868	21600	17173	11995	15656	13280	10452	8823	11983	15401	15202	15043
1944	13928	12593	18389	14172	9988	7952	6700	5343	4616	4093	6760	8381	9410
1945	7462	15768	19454	18532	12891	9823	13022	9009	7776	8257	9243	12740	11998
1968	14083	17380	14731	10963	9841	8244	7688	7081	6575	8082	11082	8972	10394
1969	16043	12577	11093	12621	10919	17420	12473	7569	6108	12724	16037	14825	12535
1970	12522	15268	17738	12056	9847	10023	12933	7391	8108	13716	9329	9115	11504
1971	22436	16674	15174	15256	16900	16509	15988	11743	8791	10139	8549	10238	14033
2018	25268	23757	23170	21290	17416	15541	14562	14914	14232	19203	24443	21547	19612
2019	19028	15656	16612	18769	23148	23105	16883	13995	13061	12065	12206	12529	16421
2020	15058	15193	12902	9811	10166	10702	11214	11024	11959	11348	9593	11402	11698
2021	12672	19107	13653	11261	9631	8474	8094	8032	9411	11257	11082	9445	10859
2022	7933	8717	10657	14278	13235	15142	11340	11676	11550	18814	19829	13949	13562
2023	11942	17354	23667	18937	17062	13253	13553	13568	15947*	19383*	s/d	22424*	17008*

Nota1: (*) Para 2023 se estiman caudales curva altura/caudal para sept., oct. y dic.. El promedio anual es calculado con 11 meses.

Nota2: A partir de 1950 se incluye la referencia del fenómeno El Niño (Meses Niño en rojo y Meses Niña en azul)

6b: Crecientes históricas- Caudales mensuales en m³/s

Año	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Q MedioAnual
1904		20188	15329	11944	9788	10029	13866	11018	12286	16169	21132	22655	14946
1905	25589	27324	29049	25548	31805	40213	28300	24561	20698	18660	16684	18497	25577
1906	22364	25206	25058	26251	16698	16095	14042	11145	10061	9312	8158	9719	16176
1982	26959	24699	22464	27629	17950	21441	33406	25162	20275	17857	25511	40961	25359
1983	38790	40817	45098	36931	47838	54473	51271	34023	24797	33889	28794	25953	38556
1984	27297	22904	15584	17629	19573	20683	16394	16796	15711	16879		21475	19175
1991	13003	19682	16320	23591	20947	17090	17936	14081	12536	15379	13556	16360	16707
1992	18843	20993	19656	23282	34228	42882	27252	21426	20663	23537	26778	26520	25505
1993	22656	23567	25543	17708	18260	18597	16665	14742	14087	24778	17716	16025	19195
1997	24708	38034	23247	14585	14782	20783	22409	20890	17265	25962	29648	27999	23359
1998	25214	26037	29941	40141	39279	23809	19020	22584	27621	34511	21469	15603	27102
1999	19690	23476	20447	20090	17829	18448	21625	15007	13613	11985	11220	12030	17122
2015	19872	17476	18673	16752	18155	19658	25337	20673	16278	17599	22207	34113	20566
2016	35797	28906	32906	26092	21731	24703	20092	17708	18022	17403	18360	19199	23410
2017	18767	18094	18165	19568	23182	26227	18303	15610	15002	17866	22031	19862	19390

Nota: A partir de 1950 se incluye la referencia del fenómeno El Niño (Mes Niño en rojo y Mes Niña en azul)

De las Tablas 6a y 6b se observa claramente que las crecidas identificadas se enmarcan en períodos El Niño y las bajantes en períodos La Niña, cada una ocurriendo luego de varios meses bajo esa situación.

7.2. Análisis incorporando información satelital durante eventos extremos recientes: crecida 2015-2016 y bajante 2019-2023

7.2.1 Información de sensores remotos utilizados para el análisis

A) Escorrentía de GLDAS en Corrientes

El Sistema Global de Asimilación de Datos Terrestres (GLDAS) genera productos a partir de observación satelitales y terrestres, utilizando técnicas avanzadas de asimilación de datos y modelado de la superficie terrestre, para generar campos óptimos de estados y flujos de la superficie terrestre (Rodell et al., 2004¹⁹). En el marco de la Cuenca del Plata y considerando información de GLDAS se publicó recientemente un estudio caracterizando la bajante 2019-2021, examinando la variabilidad espacial y temporal de las anomalías hidrológicas en toda la cuenca antes y durante el evento de sequía (Besnier et al., 2024²⁰).

Considerando el mencionado antecedente, se relevaron datos de escorrentía mensual (superficial y subterránea) provenientes de GLDAS (Noah Land Surface Model L4 monthly 0.25x0.25 degree V2.1 monthly data), tomando en cuenta como sección de cierre a la Confluencia Paraná-Paraguay (Beaudoing et al. 2020²¹ 2020; Rodell et al., 2004). La información fue brindada gentilmente por la Sra Jessica Besnier de

¹⁹ Rodell, M., P.R. Houser, U. Jambor, J. Gottschalck, K. Mitchell, C. Meng, K. Arsenault, B. Cosgrove, J. Radakovich, M. Bosilovich, J.K. Entin, J.P. Walker, D. Lohmann, and D. Toll, 2004: The Global Land Data Assimilation System, Bull. Amer. Meteor. Soc., 85, 381-394, doi:10.1175/BAMS-85-3-381

²⁰ Besnie, J., Getirana A., Beaudoing H., Lakshmi V. (2024). Characterizing the 2019-2021 drought in La Plata River Basin with GLDAS and SMAP Journal of Hydrology: Regional Studies. Elsevier. Vol. 52. e-ISSN: 2214-5818. DOI: 10.1016/j.ejrh.2024.101679

²¹ Beaudoing, H. and M. Rodell, NASA/GSFC/HSL (2020), GLDAS Noah Land Surface Model L4 monthly 0.25 x 0.25 degree V2.1, Greenbelt, Maryland, USA, Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center (GES DISC), Accessed: [12/10/2024], 10.5067/SXAVCZFAQLNO

la Universidad de Virginia. La serie incluye información desde el 01 de enero de 2020 hasta 31 de agosto de 2024. Estos datos serán referenciados a continuación como "Escorrentía-GLDAS".

Los datos de GLDAS fueron analizados y comparados con la serie de caudales en Corrientes. La serie incluye información para el mismo período de datos satelitales, datos de caudales publicados de la Red Hidrológica Nacional (RHN) hasta octubre 2023 y estimados con curva H-Q disponible para el período reciente excepto para noviembre 2023 donde la ecuación no aplica por la magnitud de la altura. Estos datos serán referenciados a continuación como "caudal-RHN".

En la Figura 10 se presenta la comparación gráfica de las dos series de tiempo (Escorrentía-GLDAS y Caudales-RHN). Se estima además las anomalías de Escorrentía GLDAS, calculadas del mismo modo que Besnier et al. (2024) considerando el valor mensual menos la media mensual. Los resultados se presentan en la Figura 11.

Si bien se observa una correspondencia entre las fluctuaciones de las series presentadas, se requiere un mayor análisis de detalle identificando –entre otras– las causas de las mismas respuestas de GLDAS ante eventos registrados de diferente magnitud.

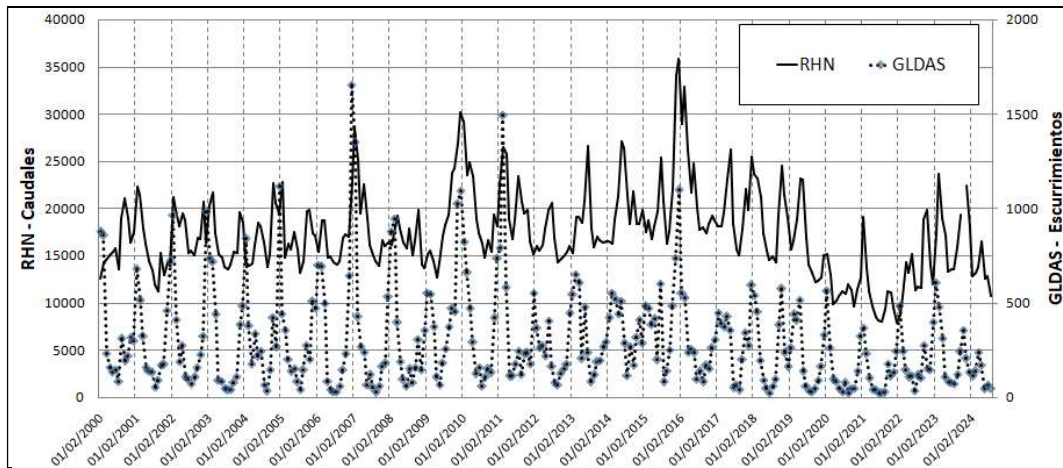


Figura 10: Datos de la RHN (m^3/s) y satelitales de GLDAS ($kg/m^2/s$)

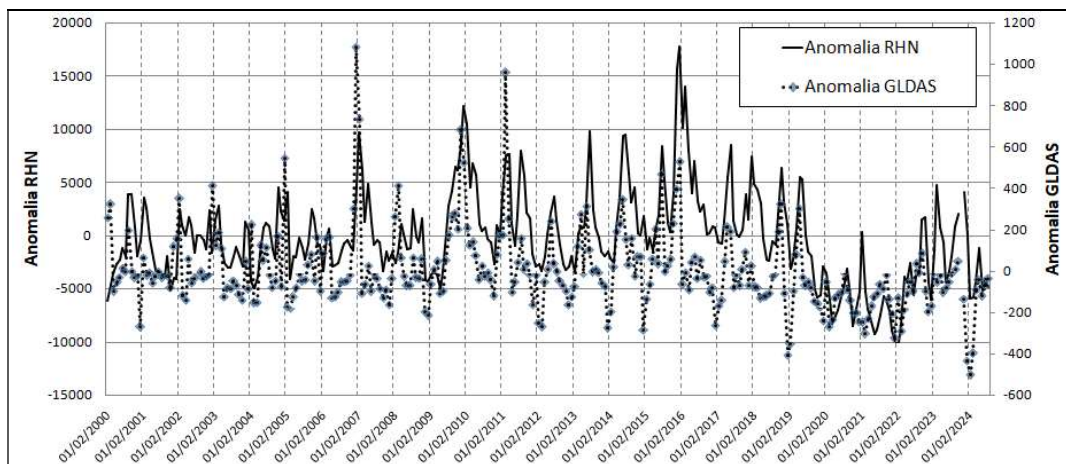


Figura 11: Anomalías de datos de RHN (m^3/s) y satelitales de GLDAS ($kg/m^2/s$)

Se realizó además un análisis de pendientes, verificando si la respuesta de datos satelitales de GLDAS reaccionan del mismo modo que las mediciones RHN (Figura 12). Se verifica que el 64 % de los casos, el satélite refleja igual tendencia que los valores observados.

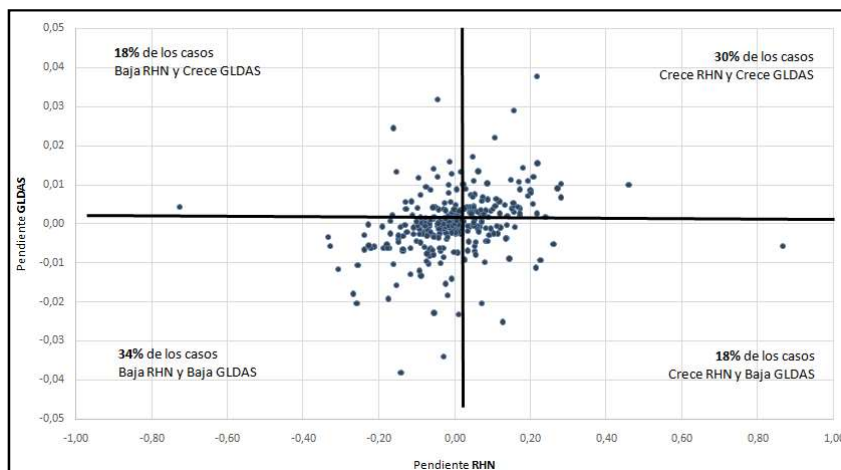


Figura 12: Relación entre pendientes de datos RHN y GLDAS

B) Precipitación, humedad de suelo y escurrentía para la Cuenca del Plata

Giovanni es una plataforma web del Centro de Archivo Activo Distribuido (DAAC) del Centro de Servicios de Información y Datos de Ciencias de la Tierra Goddard de la NASA (GES DISC) que proporciona una forma simple e intuitiva de visualizar, analizar y acceder a datos de teledetección de ciencias de la Tierra, particularmente de satélites, sin tener que descargar los datos.

El análisis realizado para los eventos extremos incluyó generación de mapas medios areales de precipitación, humedad de suelo y escurrimiento por trimestre con la información satelital de la NASA obtenida a partir de Giovanni, según detalle incluido en el ítem 5 del presente informe.

En el Anexo 3 se presenta la definición de cada variable analizada, sus parámetros geofísicos, el resumen del producto relevado y la cita correspondiente. En la Figura A3.1 de dicho anexo, se presentan los trimestres desde dic2015-febrero2016 a sep2016-nov2016 y se visualiza con mejor definición la mayor humedad de suelo y escurrentía durante el primer trimestre presentado, coincidente con el evento extremo de crecida observada. En la Figura A3.2 se presentan los trimestres desde dic2020-febrero2021 a sep2021-nov2021 y se visualiza con mayor definición los valores mínimos en el último trimestre de 2021, previo al mínimo observado en enero de 2022.

Se analizaron además las anomalías de precipitación en los trimestres previos a las máximas y mínimos observados en la estación Corrientes. Los mapas de anomalías contienen una serie de parámetros de la superficie terrestre simulados a partir del modelo Noah 3.6.1 en el Sistema de Asimilación de Datos Terrestres (FLDAS) de la Red de Sistemas de Alerta Temprana de Hambruna (FEWS NET). El conjunto de datos consta de archivos mensuales, cada uno de los cuales representa una comparación del mes con la climatología mensual de 35 años desde 1982, basada en los datos mensuales del Modelo de Superficie Terrestre Noah L4 Global Monthly 0.1 x 0.1 degree (MERRA-2 y CHIRPS) V001 (FLDAS_NOAH01_C_GL_M_001) de FLDAS. Los datos tienen una resolución de 0,10 grados y la cobertura espacial es global (60S, 180W, 90N, 180E).

Con relación a los mapas de anomalías incluidos en la Figura 13:

- Para la crecida 2015-2016, se visualiza claramente anomalías positivas de precipitación en el trimestre previo al período con valores máximos en diciembre 2015-enero 2016.
- En el caso de la bajante 2020-2022, se refleja anomalías negativas en la cuenca media baja y el análisis se complementa con la clara referencia de déficit en los mapas medios areales de precipitación y humedad de suelo incluidos en la Figura A3.2 del Anexo 3.

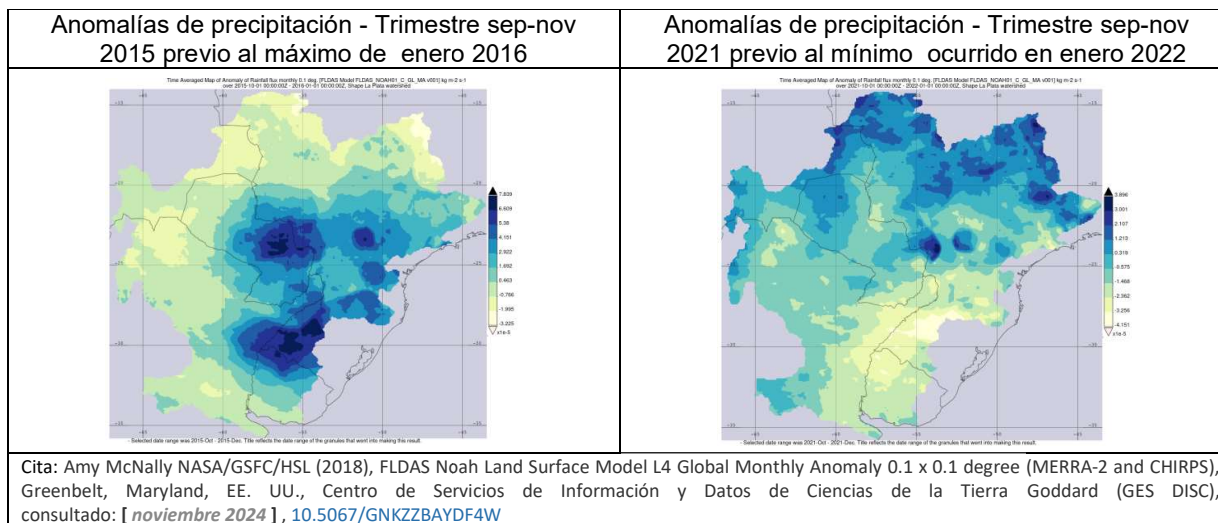


Figura 13: Anomalías de precipitación en los trimestres previos a los eventos extremos analizados

C) Categoría de sequías SISSA para Cuenca del Plata

El Sistema de Información sobre Sequías para el sur de Sudamérica (SISSA) que funciona en el marco del Centro Regional del Clima para el sur de América del Sur (CRC-SAS) y la Organización Meteorológica Mundial (OMM) genera mapas de categorías de sequía calculados a partir de las estimaciones de precipitación del CHIRPS (Climate Hazards InfraRed Precipitation with Station data), estimados en una cuadrícula aproximada de 5 x 5 km.

Para contar con una visión regional de la sequía ocurrida durante 2019-2022, se destaca como referencia el análisis de la evolución y situación de la sequía que afecta a la Cuenca del Plata desde 2019 hasta 2021 (incluido en Naumann et al., 2022²²) realizado por Centro Común de Investigación (JRC) de la Comisión Europea, el Centro Nacional de Monitoreo y Alertas de Desastres Naturales (CEMADEN) de Brasil.

En el citado trabajo se representó la evolución temporal de las sequías en la Cuenca del Plata utilizando mapas de categorías de sequía calculados a partir de las estimaciones de precipitación del CHIRPS. Para el análisis, las estimaciones de precipitación del CHIRPS se acumulan a lo largo de períodos de seis meses en las fechas indicadas en la esquina superior derecha de cada mapa y se toma la parte de América del Sur que incluye a la Cuenca del Plata.

²²Naumann, G., Podestá, G., Marengo, J., Luterbacher, J., Bavera, D., Arias Muñoz, C., Barbosa, P., Cammalleri, C., Chamorro, L., Cuartas, A., de Jager, A., Escobar, C., Hidalgo, C., Leal de Moraes, O., McCormick N., Maetens, W., Magni, D., Masante, D., Mazzeschi, M., Seluchi, M., Skansi, M. M., Spinoni, J., Toreti, A.: «El episodio de sequía extrema de 2019-2021 en la Cuenca del Plata», EUR 30833 ES, Oficina de Publicaciones de la Unión Europea, Luxemburgo, 2022, ISBN 978-92-76-47671-9 (en línea), doi:10.2760/346183 (en línea), JRC126508.

Recuperado en marzo 2024 de <https://sisssa.crc-sas.org/wp-content/uploads/2022/02/Informe-bajante-Parana-Espanol.pdf>

En el presente trabajo se replicaron los gráficos comparativos en categorías de sequías derivadas de las anomalías de precipitación del CHIRPS para el SPI-6 en el área de la Cuenca del Plata y se amplió el período hasta la actualidad (15 de marzo de 2019 hasta 15 de septiembre de 2024), tomando como fuente la información de SISSA. Esta información se incluye en el Anexo 4.

En la Figura 14 se destaca las anomalías de precipitación (6 meses) y las categorías de sequías (6 meses)²³ para julio-diciembre de 2021, período inmediato anterior al mínimo de caudales ocurrido en Corrientes en enero de 2022. Esta información refleja el déficit hídrico ocurrido en la región.

Este sistema incluye además pronósticos del estado esperado de la precipitación y la sequía (caracterizada a través del índice SPI) para el período de 3 meses que termina en los próximos 15 días. <https://sissa.crc-sas.org/pronosticos-de-lluvia-y-sequia/pronostico-de-sequia-a-15-dias-chirps-gefs/>

Este material presentado en manera gráfica en el contexto de América Latina brinda una información de referencia para sumar al análisis de eventos extremos desarrollado en este trabajo.

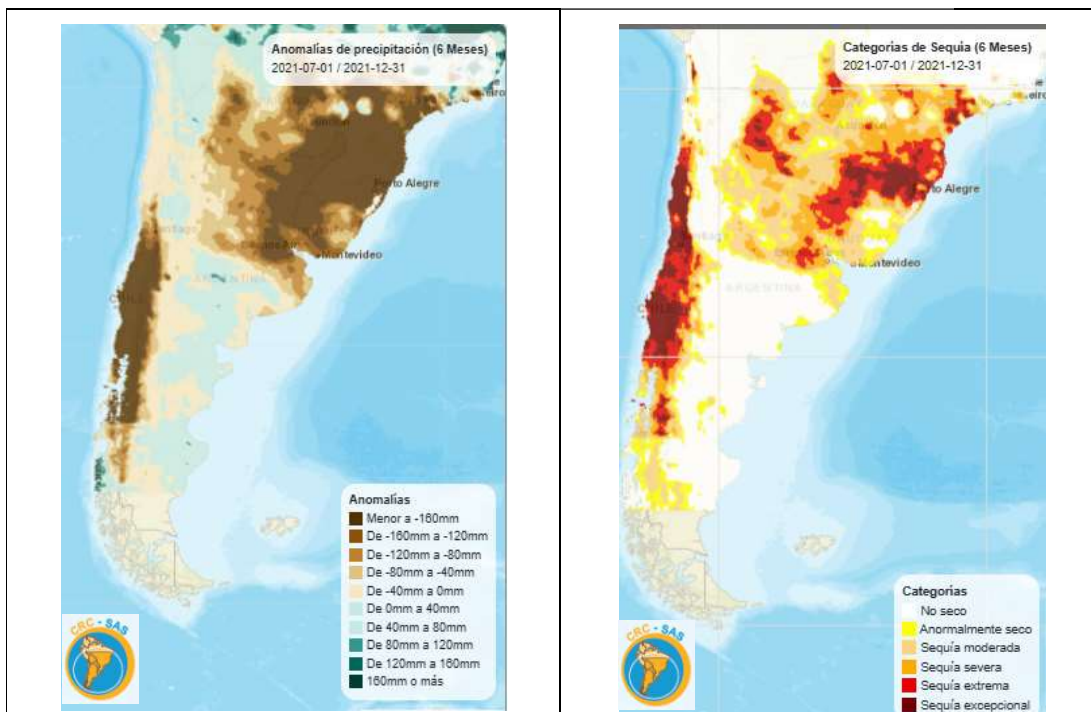


Figura 14: Anomalías de precipitación y las categorías de sequías para julio-diciembre de 2021

²³ Recuperado en octubre 2024 de <https://sissa.crc-sas.org/monitoreo/precipitacion-estimada-por-satelite/>

7.2.2 Integración de información

A fin de visualizar en forma integrada el proceso de análisis de la información recopilada (datos hidrométricos y satelitales) para los dos últimos eventos extremos, se presenta en las Figuras 15 y 16:

- Comparación gráfica de datos mensuales de caudales de la Red Hidrológica Nacional (RHN) y datos de escurrimiento estimados por GLDAS para la estación Corrientes.
- Mapas con información de sensores remotos del Centro de Servicios de Información y Datos de Ciencias de la Tierra Goddard de la NASA (GES DISC):
 - Anomalías de precipitación – dato trimestral previo al evento extremo.
Cita: Amy McNally NASA/GSFC/HSL (2018), FLDAS Noah Land Surface Model L4 Global Monthly Anomaly 0.1 x 0.1 degree (MERRA-2 and CHIRPS), Greenbelt, Maryland, EE. UU., Centro de Servicios de Información y Datos de Ciencias de la Tierra Goddard (GES DISC), consultado: [noviembre 2024] , 10.5067/GNKZZBAYDF4W
 - Precipitación – dato trimestral previo al evento extremo (Incluido solo para el evento de crecida 2015-2016).
Cita: Oficina de Modelado y Asimilación Global (GMAO) (2015), MERRA-2 tavgM_2d_flux_Nx: 2d, media mensual, promedio temporal, nivel único, asimilación, diagnóstico de flujo superficial V5.12.4, Greenbelt, MD, EE. UU., Centro de Servicios de Información y Datos de Ciencias de la Tierra Goddard (GES DISC), consultado: [noviembre 2024] , 10.5067/0JRLVL8YV2Y4
 - Humedad de suelo – dato trimestral previo al evento extremo.
Cita: Oficina de Modelado y Asimilación Global (GMAO) (2015), MERRA-2 tavgM_2d_ind_Nx: 2d, Promedio mensual, Promedio temporal, Nivel único, Asimilación, Diagnóstico de la superficie terrestre V5.12.4, Greenbelt, MD, EE. UU., Centro de Servicios de Información y Datos de Ciencias de la Tierra Goddard (GES DISC), Consultado: [noviembre 2024] , 10.5067/8S35XF81C28F
 - Escorrentía – dato trimestral previo al evento extremo.
Cita: Amy McNally NASA/GSFC/HSL (2018), FLDAS Noah Land Surface Model L4 Global Monthly 0.1 x 0.1 degree (MERRA-2 and CHIRPS), Greenbelt, MD, EE. UU., Centro de Servicios de Información y Datos de Ciencias de la Tierra Goddard (GES DISC), consultado: [noviembre 2024] , 10.5067/5NHC22T9375G.
- Mapas con categorías de sequía Sistema de Información sobre Sequías para el sur de Sudamérica (SISSA), calculados a partir de las estimaciones de precipitación del CHIRPS (Climate Hazards InfraRed Precipitation with Station data). Disponible solo para la bajante 2020-2022.

Para la crecida 2015-2016, se visualiza en la Figura 15:

- Una correspondencia entre los datos del satélite (GLDAS) y los caudales observados.
- Los mapas medios areales trimestrales de precipitación y humedad de suelo previos al evento reflejan valores por encima de las medias en el área de aporte del río Paraná en Brasil, reflejando el sistema más saturado previo al evento máximo observado.
- En el caso de escorrentía se observan valores medio-altos tanto en el río Paraná como en el río Paraguay previo al evento máximo registrado.

En lo que se refiere a la bajante 2020-2022, la información incluida en la Figura 16 permite comentar que:

- La información de GLDAS se visualiza en coincidencia en todo el período excepto durante el mínimo absoluto, lo cual debe ser analizado con mayores detalles;
- Los mapas medios areales trimestrales previos al evento reflejan la situación de déficit regional, que deriva en la bajante observada en el río Paraná.

Como síntesis se remarca que este primer análisis integrado cualitativo constituye una metodología para el seguimiento de eventos extremos, consolidando y validando datos satelitales con mediciones in-situ. Este trabajo es un eslabón inicial de un proceso de investigación aplicada con nueva información disponible que cada día incluye nuevos desafíos tecnológicos.

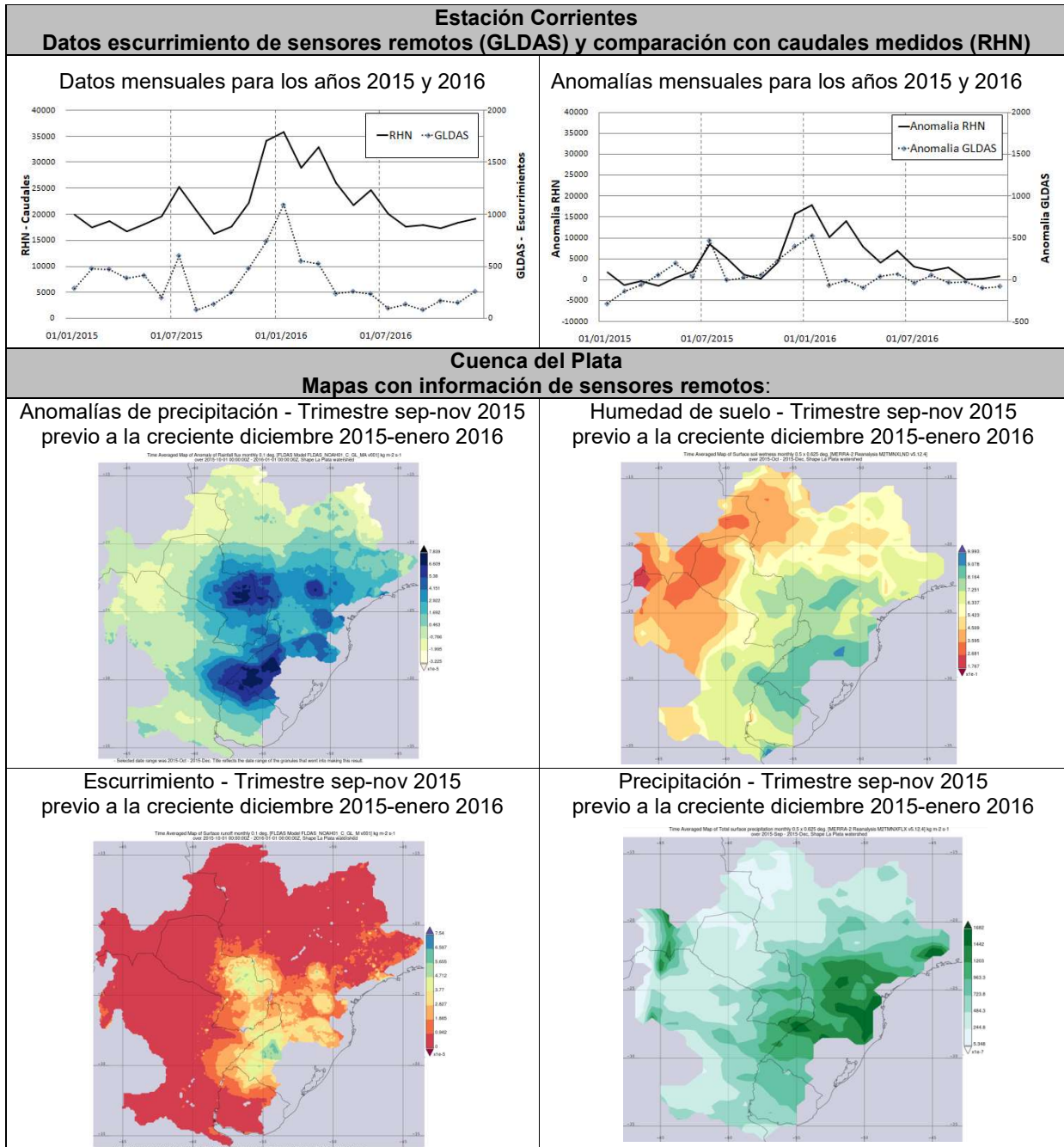


Figura 15: Análisis del evento extremo de crecida 2015-2016

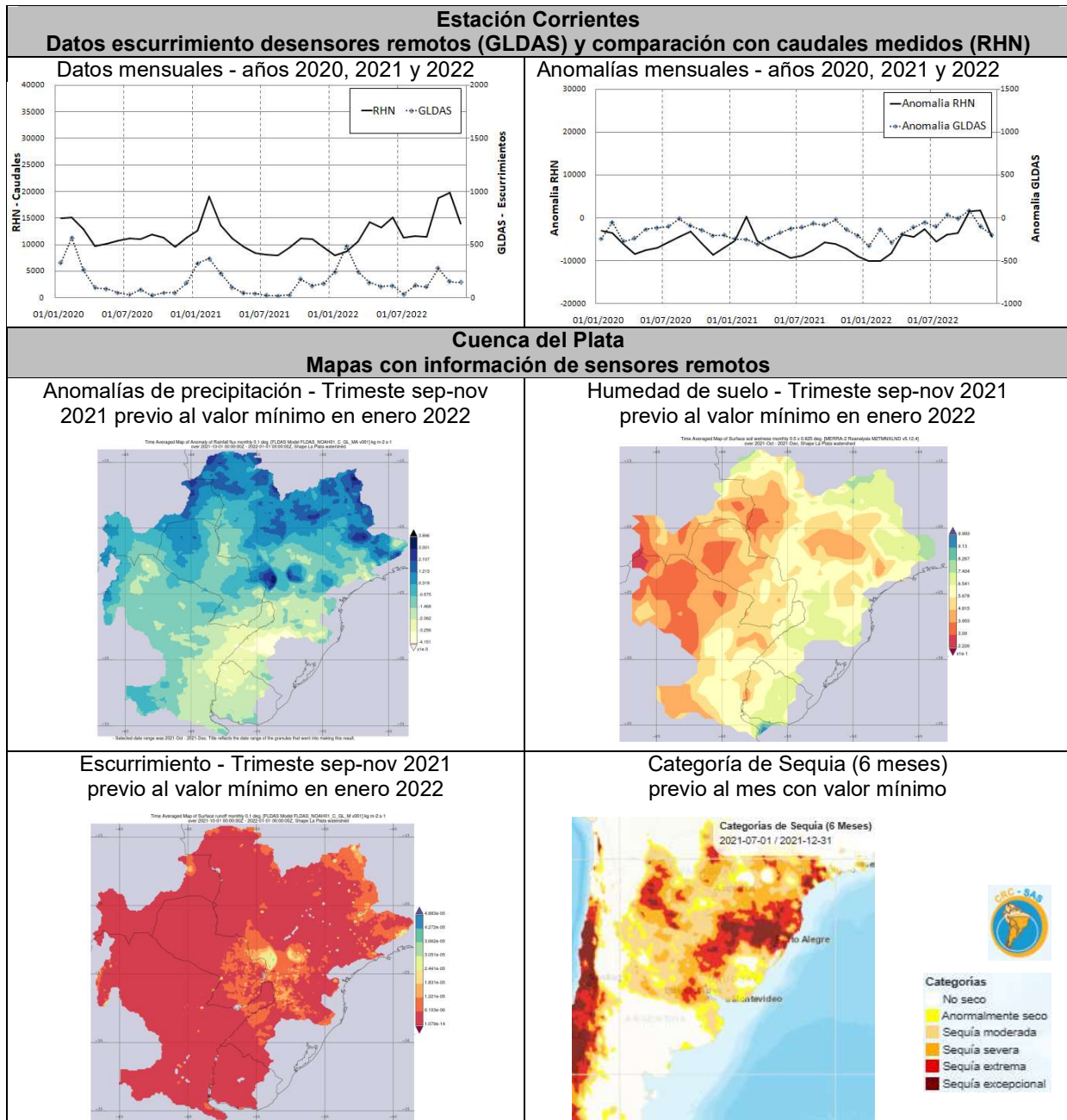


Figura 16: Análisis del evento extremo de bajante 2020-2022

8. CONSIDERACIONES FINALES Y PRÓXIMOS PASOS

Se ha avanzado en el análisis de datos satelitales y se continúa profundizando la investigación para validar la información de sensores remotos con mediciones in-situ utilizando métodos cuantitativos, con vistas a avanzar en la utilización de esta información integrada en modelos de pronósticos como herramientas para la gestión.

En este sentido, en la Figura 17 se visualiza la interacción de los datos globales de las observaciones de la percepción remota y las mediciones in-situ, que interaccionan con modelos tierra-atmósfera para facilitar aplicaciones y actividades de la toma de decisiones en la planificación relacionada a asignaciones del agua, gestión de inundaciones y sequías, gestión agrícola, gestión de embalses/represas, umbrales para navegación, entre otros.

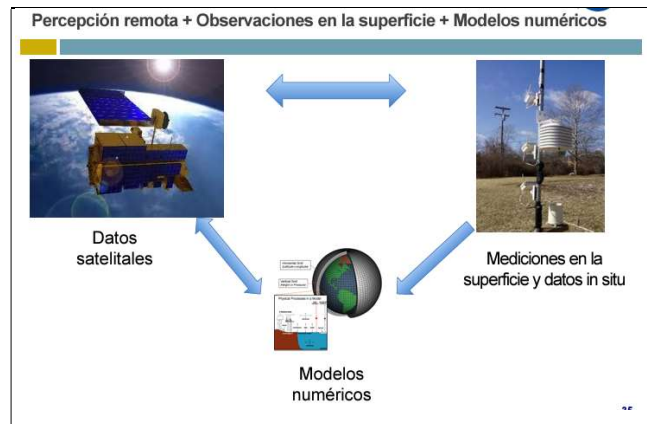


Figura 17: Sensores remotos, mediciones de campo y modelos numéricos²⁴

Se han identificado modelos que generan pronósticos hidrológicos, que constituyen la línea de desarrollo a seguir desde nuestro Instituto. En particular, se menciona un avance significativo para la ciencia del clima y la meteorología, anunciado por IBM con el lanzamiento de un nuevo modelo de inteligencia artificial (IA); este modelo desarrollado en colaboración con la NASA y con contribuciones del Laboratorio Nacional Oak Ridge, estará disponible como código abierto para la comunidad científica, de desarrolladores y empresarial, como herramientas avanzadas para el estudio y predicción del clima²⁵.

Los pronósticos hidrológicos considerando la inteligencia artificial (IA) como un elemento más en el desarrollo actual y futuro, sumado a los avances de diversos grupos de investigación y desarrollo alrededor del mundo, incentivan al INA a seguir el camino de la ciencia aplicada al servicio de la comunidad.

²⁴ Recuperado en diciembre 2024 de <https://www.nasa.gov/stem/nextgenstem/climate-science-stem-toolkit.html>

²⁵ Recuperado en diciembre 2024 <https://revistacloud.com/ibm-y-nasa-lanzan-innovador-modelo-de-ia-de-codigo-abierto-para-revolucionar-aplicaciones-meteorologicas-y-climaticas/>

ANEXOS

Anexo 1: Alturas –cotas medias diarias

Anexo 2: Caudales medios anuales

Anexo 3: Datos satelitales - mapas medios areales por trimestre de precipitación, humedad de suelo y escurrimiento

Anexo 4: Sequías en la Cuenca del Plata desde 2019 hasta 2024

ANEXO 1

ALTURAS Y COTAS MEDIAS DIARIAS

- Río Paraguay:
 - Puerto Pilcomayo
 - Puerto Bermejo
- Río Paraná
 - Itá Cajón
 - Itatí
 - Corrientes
 - Paraná
 - Rosario

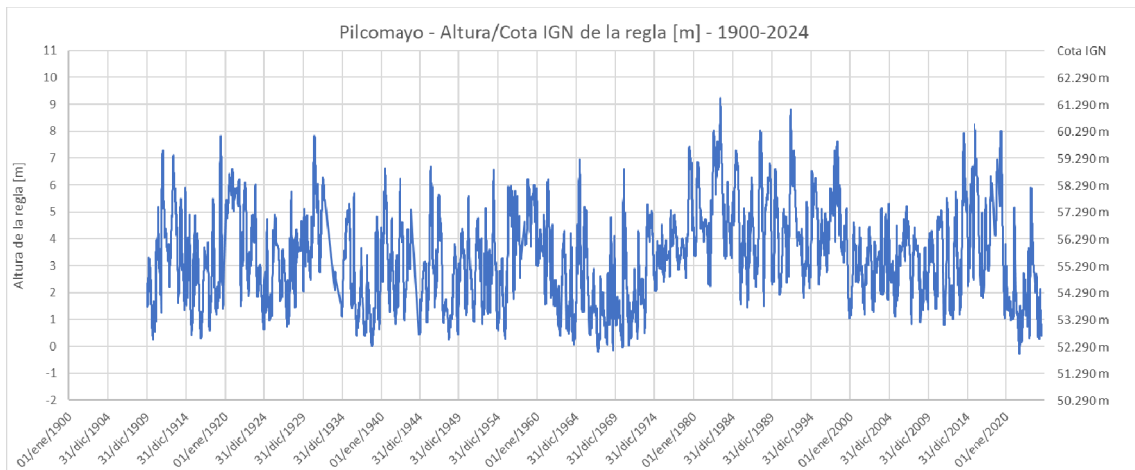


Figura A1_1: Alturas y cotas hidrométricas en Puerto Pilcomayo

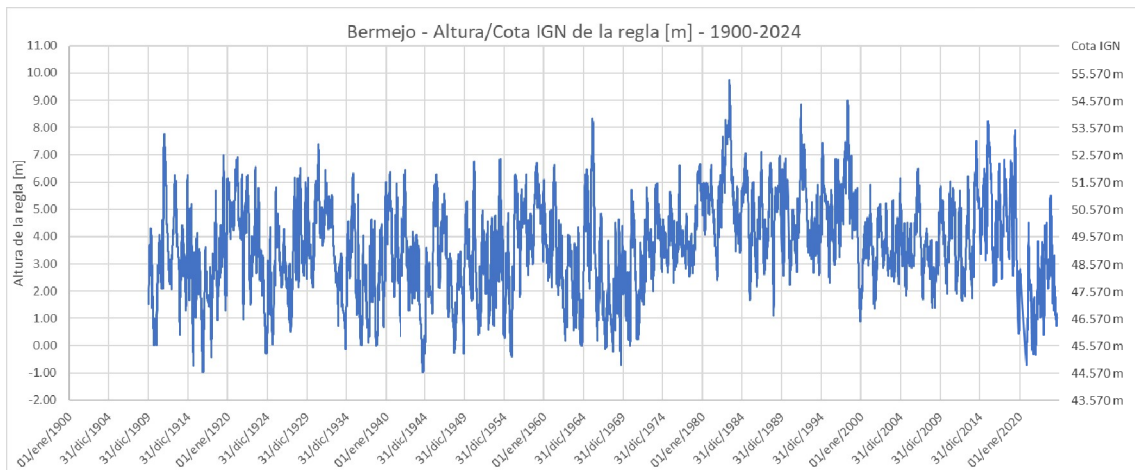


Figura A1_2: Alturas y cotas hidrométricas en Puerto Bermejo

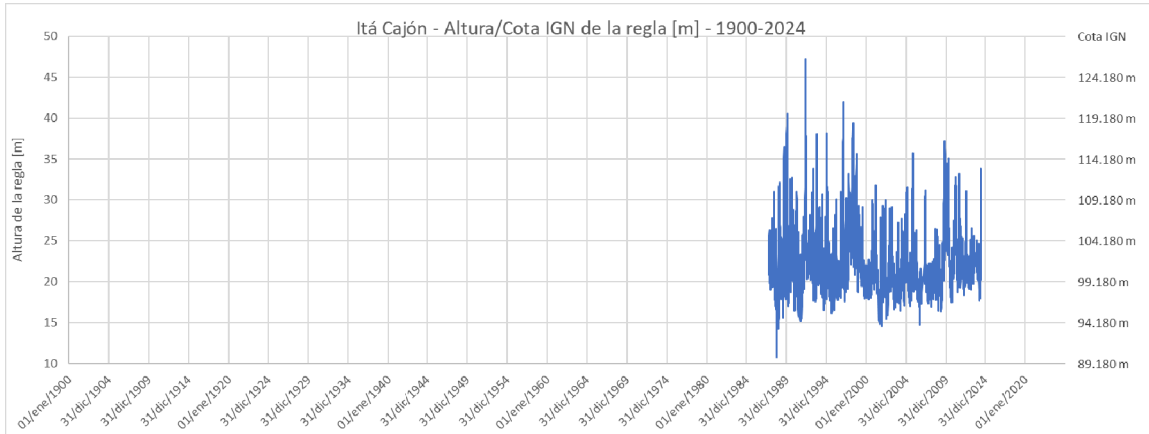


Figura A1_3: Alturas y cotas hidrométricas en Itá Cajón

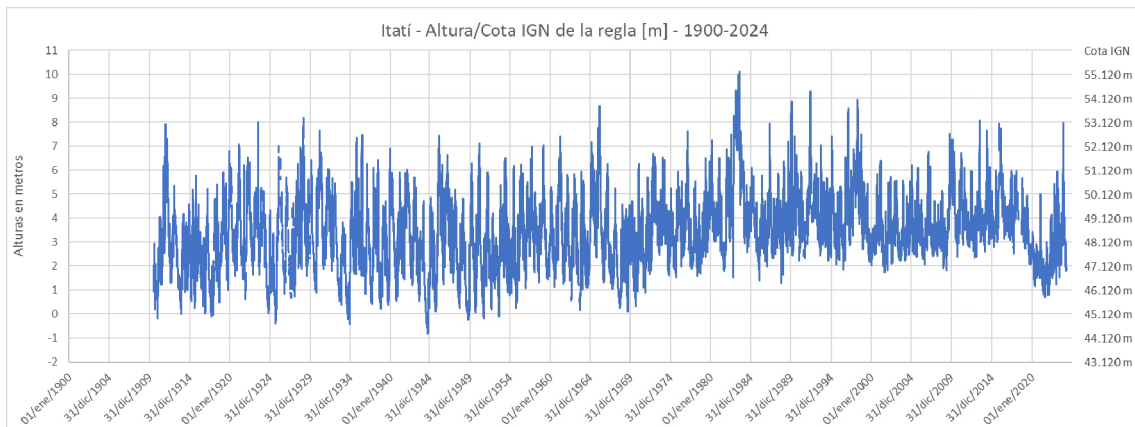


Figura A1_4: Alturas y cotas hidrométricas en Itatí

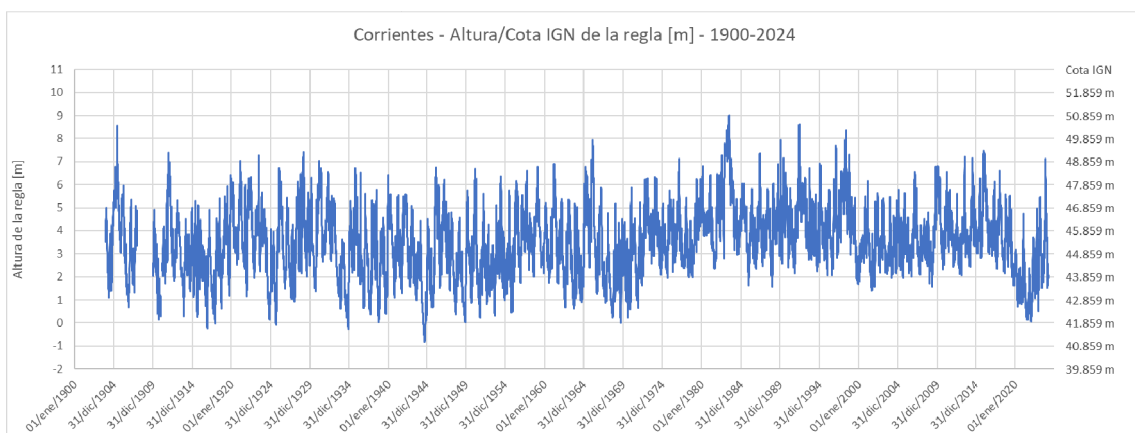


Figura A1_5: Alturas y cotas hidrométricas en Corrientes

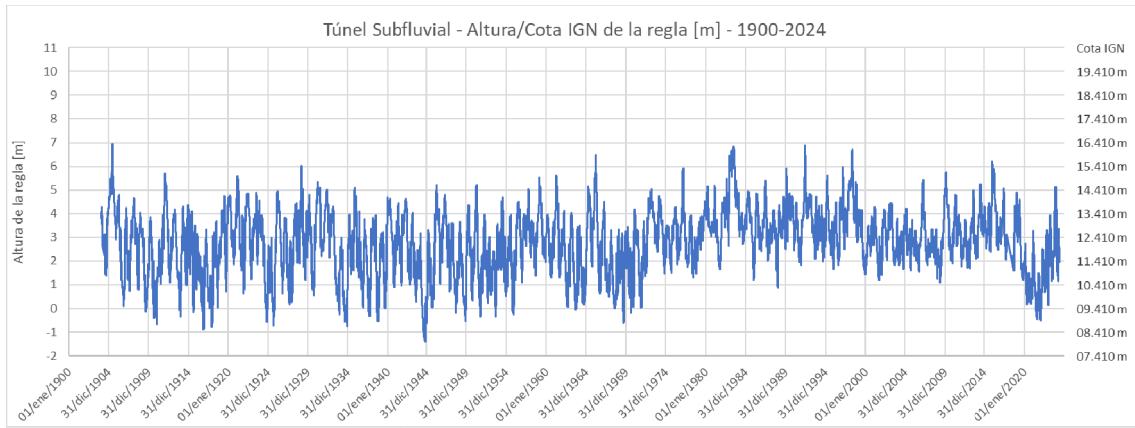


Figura A1_6: Alturas y cotas hidrométricas en Paraná (en Túnel Subfluvia)

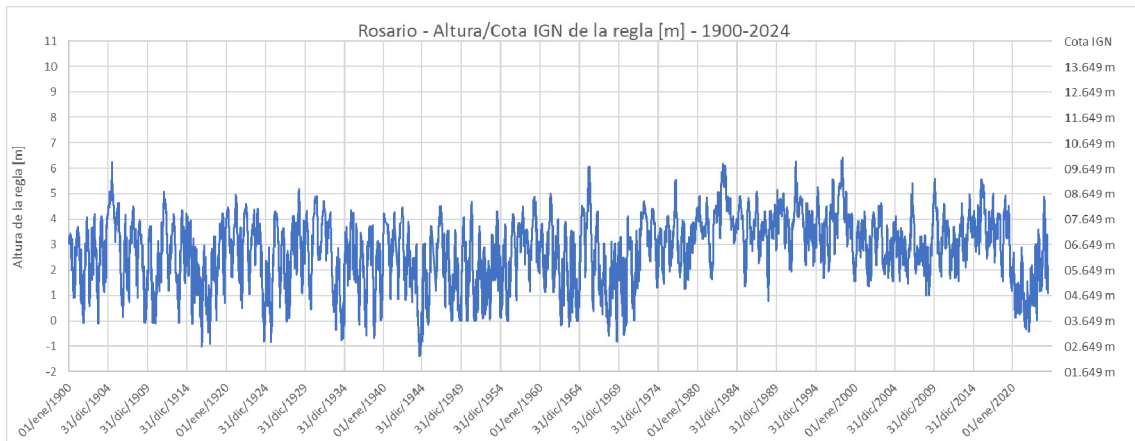


Figura A1_7: Alturas y cotas hidrométricas en Rosario

ANEXO 2

CAUDALES MEDIOS ANUALES

- Río Paraguay:
 - Puerto Pilcomayo
 - Puerto Bermejo
- Río Paraná
 - Itatí
 - Corrientes
 - Paraná
 - Rosario

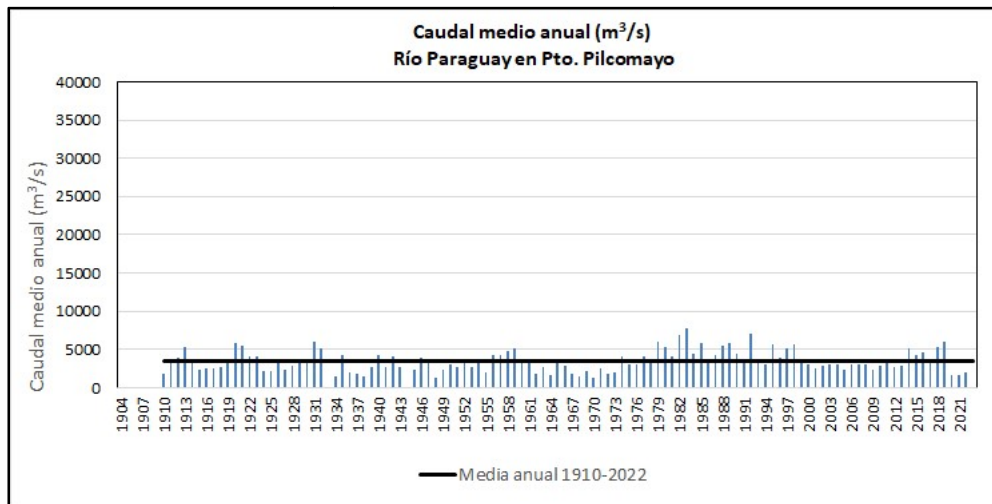


Figura A2_1: Caudal medio anual en Puerto Pilcomayo

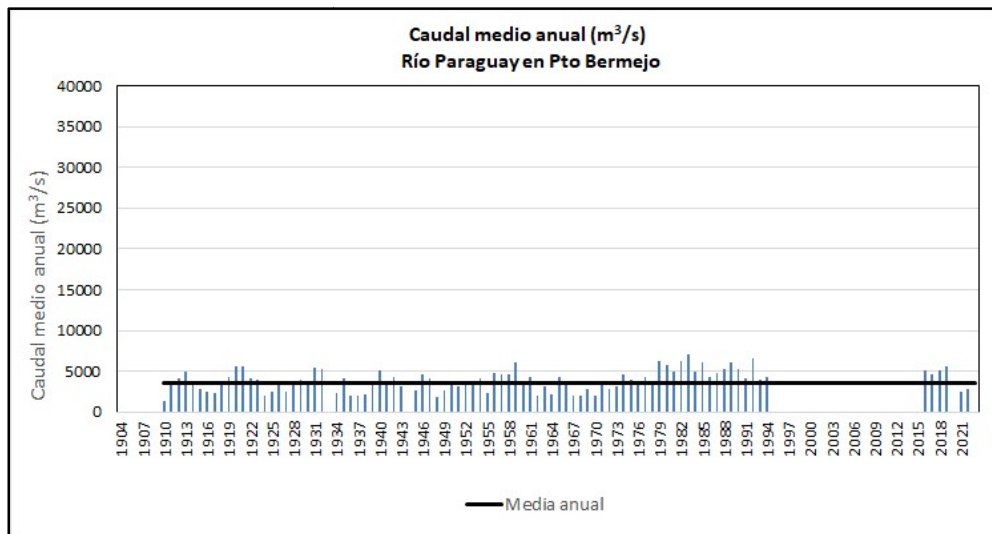


Figura A2_2: Caudal medio anual en Puerto Bermejo

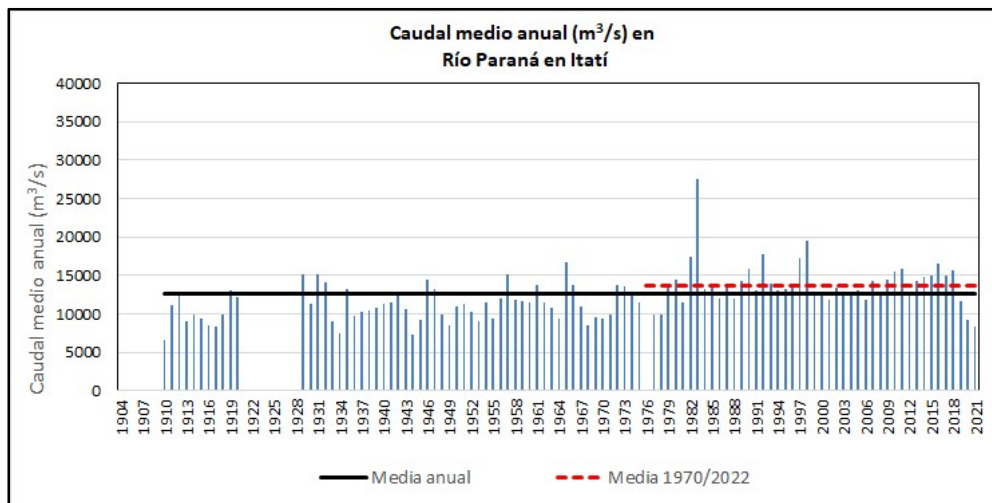


Figura A2_3: Caudal medio anual en Itatí

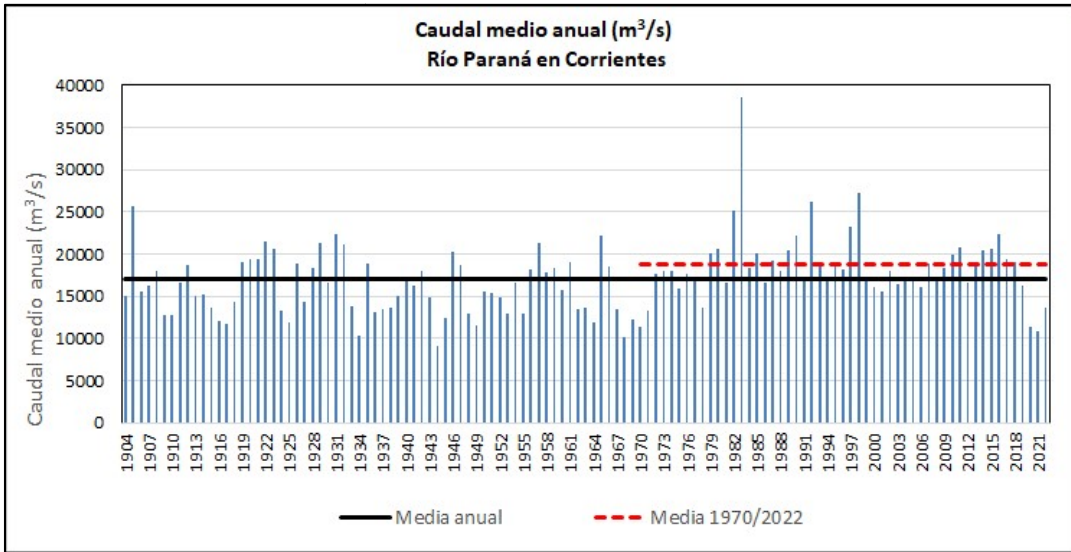


Figura A2_4: Caudal medio anual en Corrientes

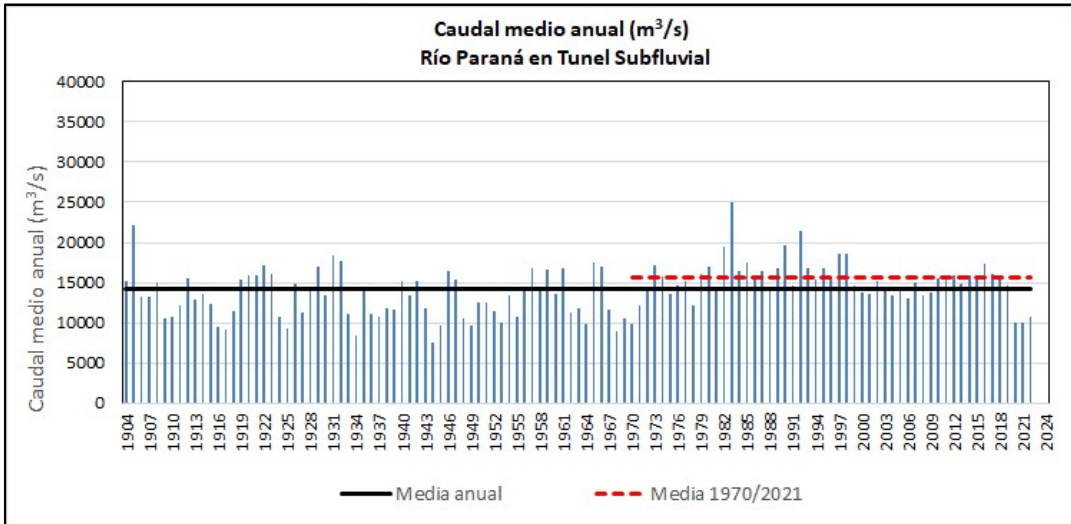


Figura A2_5: Caudal medio anual en Paraná

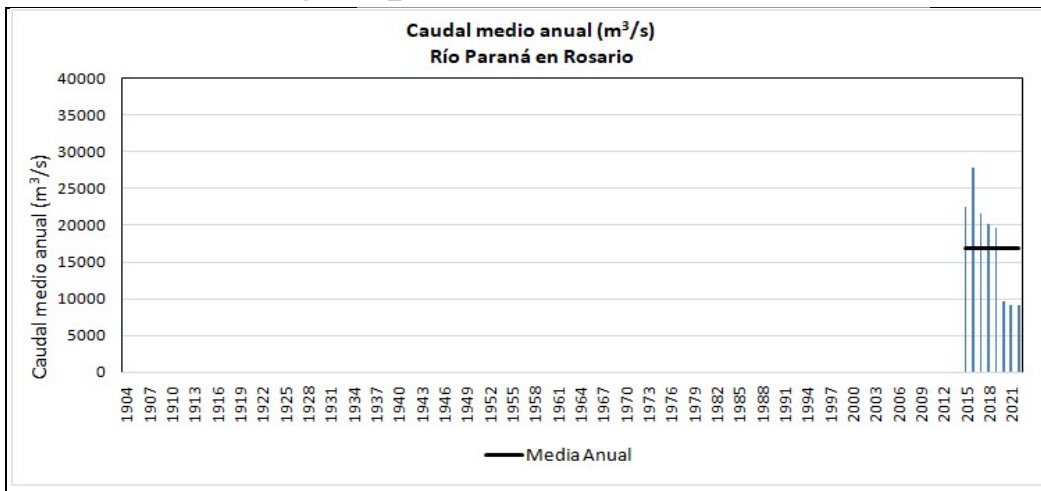


Figura A2_6: Caudal medio anual en Rosario

ANEXO 3

DATOS SATELITALES - MAPAS MEDIOS AREALES POR TRIMESTRE

PRECIPITACIÓN, HUMEDAD DE SUELO Y ESCURRIMIETO

Se incluye la información satelital en columnas, según referencia:

Columna 1:

Definiciones de medición de Giovanni: Precipitación

La precipitación es el proceso por el cual el vapor de agua se condensa en la atmósfera para formar gotitas de agua que caen a la Tierra en forma de lluvia, aguanieve, nieve y granizo. La "precipitación" abarca todas las formas de agua que caen sobre la superficie de la Tierra desde la atmósfera

Los mapas de la columna 1 corresponden a:

MERRA-2 tavgM_2d_flux_Nx: 2d, media mensual, promedio temporal, nivel único, asimilación, diagnóstico de flujo superficial V5.12.4 (M2TMNXFLX)

M2TMNXFLX (o tavgM_2d_flux_Nx) es una recopilación de datos de media mensual bidimensional promediados en el tiempo en el Análisis retrospectivo de la era moderna para investigación y aplicaciones versión 2 (MERRA-2). Esta recopilación consta de diagnósticos de flujo superficial asimilados, como precipitación total, precipitación total corregida por sesgo, temperatura del aire en la superficie, humedad específica de la superficie, velocidad del viento en la superficie y evaporación por turbulencia. La "superficie" en esta recopilación de datos es la capa superficial del modelo. Las alturas de la capa superficial del modelo (HLML) varían con el tiempo y la ubicación, con un valor de ~60 metros sobre el suelo. La recopilación también incluye la varianza de ciertos parámetros.

MERRA-2 es la última versión del reanálisis atmosférico global para la era satelital producido por la Oficina de Modelado y Asimilación Global (GMAO) de la NASA utilizando el Modelo del Sistema de Observación de la Tierra

Resumen del producto:

Nombre corto:	M2TMNXFLX
Nombre largo:	MERRA-2 tavgM_2d_flux_Nx: 2d, media mensual, promedio en el tiempo, nivel único, asimilación, diagnóstico de flujo superficial V5.12.4
Nombre del artículo:	10.5067/0JRLVL8YV2Y4
Versión:	5.12.4
Formato:	CDF de red
Cobertura espacial:	-180.0,-90.0,180.0,90.0
Cobertura temporal:	1 de enero de 1980 a 31 de octubre de 2024
Tamaño del archivo:	380 MB por archivo
Resolución de datos	
Espacial:	0,5° x 0,625°
Temporal:	1 mes

Cita:

Oficina de Modelado y Asimilación Global (GMAO) (2015), MERRA-2 tavgM_2d_flux_Nx: 2d, media mensual, promedio temporal, nivel único, asimilación, diagnóstico de flujo superficial V5.12.4, Greenbelt, MD, EE. UU., Centro de Servicios de Información y Datos de Ciencias de la Tierra Goddard (GES DISC), consultado: [noviembre 2024] , 10.5067/0JRLVL8YV2Y4

Columna 2:

Definiciones de medición de Giovanni: humedad del suelo

La humedad media del suelo por capas es la cantidad de agua presente en una capa específica del suelo debajo de la superficie, promediada en profundidad. El contenido de humedad del suelo se puede medir como humedad gravimétrica del suelo (GSM). GSM es la masa de agua comparada con la masa de materiales sólidos por unidad de volumen de suelo. La humedad del suelo también se puede expresar como humedad volumétrica del suelo (VSM), que es el volumen de agua por unidad de volumen de suelo. Como el agua tiene una densidad conocida, la masa de agua por unidad de volumen de suelo (g/cm3) se puede determinar fácilmente.

El almacenamiento de agua se refiere a la cantidad de agua retenida en una división hidrológica (como una cuenca hidrográfica, una capa de suelo o una región geográfica), en contraste con el agua en movimiento, que es la escorrentía superficial o subterránea o el agua subterránea.

En los sistemas de asimilación de datos terrestres (LDAS), la cantidad de niveles verticales para la humedad del suelo es específica del modelo. Siga la tabla a continuación para conocer las profundidades correctas de las capas del suelo. Capas verticales

Los mapas de la columna 2 corresponden a:

MERRA-2 tavgM_2d_Ind_Nx: 2d, media mensual, promedio en el tiempo, nivel único, asimilación, diagnóstico de la superficie terrestre V5.12.4 (M2TMNXLND)

M2TMNXLND (o tavgM_2d_Ind_Nx) es una recopilación de datos de media mensual bidimensional promediados en el tiempo en el Análisis retrospectivo de la era moderna para investigación y aplicaciones versión 2 (MERRA-2). Esta recopilación consta de diagnósticos de la superficie terrestre, como flujo de caudal base, escorrentía, humedad del suelo superficial, humedad del suelo en la zona de raíces, agua en la capa superficial, agua en la capa de la zona de raíces y temperatura del suelo en seis capas. La recopilación también incluye la varianza de ciertos parámetros.

MERRA-2 es la última versión del reanálisis atmosférico global para la era satelital producido por la Oficina de Modelado y Asimilación Global (GMAO) de la NASA utilizando el Modelo del Sistema de Observación de la Tierra Goddard (GEOS) versión 5.12.4. El conjunto de datos cubre el período de 1980 a la actualidad con una latencia de aproximadamente 3 semanas después del final de un mes.

Reprocesamiento de datos: consulte los “Registros de reprocesamiento de datos MERRA-2 y cambios en el servicio” en el vínculo de la pestaña “Documentación” de esta página. Tenga en cuenta que el nombre del archivo de datos reprocesados es diferente del nombre del archivo original.

Resumen del producto

Nombre corto:	M2TMNXLND
Nombre largo:	MERRA-2 tavgM_2d_Ind_Nx: 2d, media mensual, promedio en el tiempo, nivel único, asimilación, diagnóstico de la superficie terrestre V5.12.4
Nombre del artículo:	10.5067/8S35XF81C28F
Versión:	5.12.4
Formato:	CDF de red
Cobertura espacial:	-180.0,-90.0,180.0,90.0
Cobertura temporal:	1 de enero de 1980 a 31 de octubre de 2024
Tamaño del archivo:	196 MB por archivo
Resolución de datos	
Espacial:	0,5° x 0,625°
Temporal:	1 mes

Cita:

Oficina de Modelado y Asimilación Global (GMAO) (2015), MERRA-2 tavgM_2d_Ind_Nx: 2d, Promedio mensual, Promedio temporal, Nivel único, Asimilación, Diagnóstico de la superficie terrestre V5.12.4, Greenbelt, MD, EE. UU., Centro de Servicios de Información y Datos de Ciencias de la Tierra Goddard (GES DISC), Consultado: [noviembre 2024], 10.5067/8S35XF81C28F

Columna 3:

Definiciones de medición de Giovanni: Escorrentía

La escorrentía superficial es el agua proveniente de la lluvia, el deshielo, etc., que fluye sobre la superficie terrestre. La escorrentía que se produce en las superficies antes de llegar a un canal también se denomina flujo superficial .

La escorrentía subterránea es el agua que se infiltra en la zona vadosa (zona no saturada), proveniente de la lluvia, el deshielo u otras fuentes, y se desplaza lateralmente hacia los arroyos. La zona vadosa se extiende desde la parte superior de la superficie del suelo hasta el nivel freático. Es

uno de los principales componentes del ciclo del agua. La escorrentía subterránea se puede expresar en volumen (o masa) de agua por unidad de área por unidad de tiempo.

El caudal representa el volumen de agua que fluye en el canal de un arroyo o río.

Los mapas de la columna 3 corresponden a:

Modelo de superficie terrestre FLDAS Noah L4 Global Mensual 0,1 x 0,1 grados (MERRA-2 y CHIRPS) (FLDAS_NOAH01_C_GL_M)

Este conjunto de datos contiene una serie de parámetros de la superficie terrestre simulados a partir del modelo Noah 3.6.1 en el Sistema de Asimilación de Datos Terrestres (FLDAS) de la Red de Sistemas de Alerta Temprana de Hambruna (FEWS NET). Los datos tienen una resolución de 0,10 grados y abarcan desde enero de 1982 hasta la actualidad. La resolución temporal es mensual y la cobertura espacial es global (60S, 180W, 90N, 180E). Los conjuntos de datos mensuales regionales de FLDAS ya no estarán disponibles y han sido reemplazados por el conjunto de datos mensuales globales.

La simulación fue forzada por una combinación de los datos del Análisis retrospectivo de la era moderna para investigación y aplicaciones versión 2 (MERRA-2) y los datos de precipitaciones de 6 horas del Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station (CHIRPS) que se han reducido de escala utilizando el kit de herramientas de datos terrestres de la NASA.

La simulación se inicializó el 1 de enero de 1982 utilizando la humedad del suelo y otros campos de estado de una climatología del modelo FLDAS/Noah para ese día del año.

En noviembre de 2020, todos los datos de FLDAS se procesaron posteriormente con la máscara terrestre MODIS MOD44W. Anteriormente, algunas casillas de la cuadrícula sobre aguas continentales se consideraban sobre tierra y, por lo tanto, no tenían valores faltantes. El posprocesamiento corrigió este problema y ocultó todos los datos de salida del modelo sobre aguas continentales; el posprocesamiento no afectó las variables de forzamiento meteorológico. Puede encontrar más información sobre esto en el documento README de FLDAS, y la máscara terrestre MODIS MOD44W está disponible en el sitio del Proyecto FLDAS. Si había descargado datos de FLDAS antes de noviembre de 2020, descargue los datos nuevamente para recibir los datos posprocesados.

Resumen del producto

Nombre corto:	FLDAS_NOAH01_C_GL_M
Nombre largo:	Modelo de superficie terrestre FLDAS Noah L4 Global Mensual 0,1 x 0,1 grados (MERRA-2 y CHIRPS)
Nombre del artículo:	10.5067/5NHC22T9375G
Versión:	001
Formato:	CDF de red
Cobertura espacial:	-180.0,-60.0,180.0,90.0
Cobertura temporal:	1 de enero de 1982 a 31 de octubre de 2024
Tamaño del archivo:	117 MB por archivo
Resolución de datos	
Espacial:	0,1° x 0,1°
Temporal:	1 mes

Cita:

Amy McNally NASA/GSFC/HSL (2018), FLDAS Noah Land Surface Model L4 Global Monthly 0.1 x 0.1 degree (MERRA-2 and CHIRPS), Greenbelt, MD, EE. UU., Centro de Servicios de Información y Datos de Ciencias de la Tierra Goddard (GES DISC), consultado: [noviembre 2024] , 10.5067/5NHC22T9375G

Tabla A3_1: Crecida 2015-2016

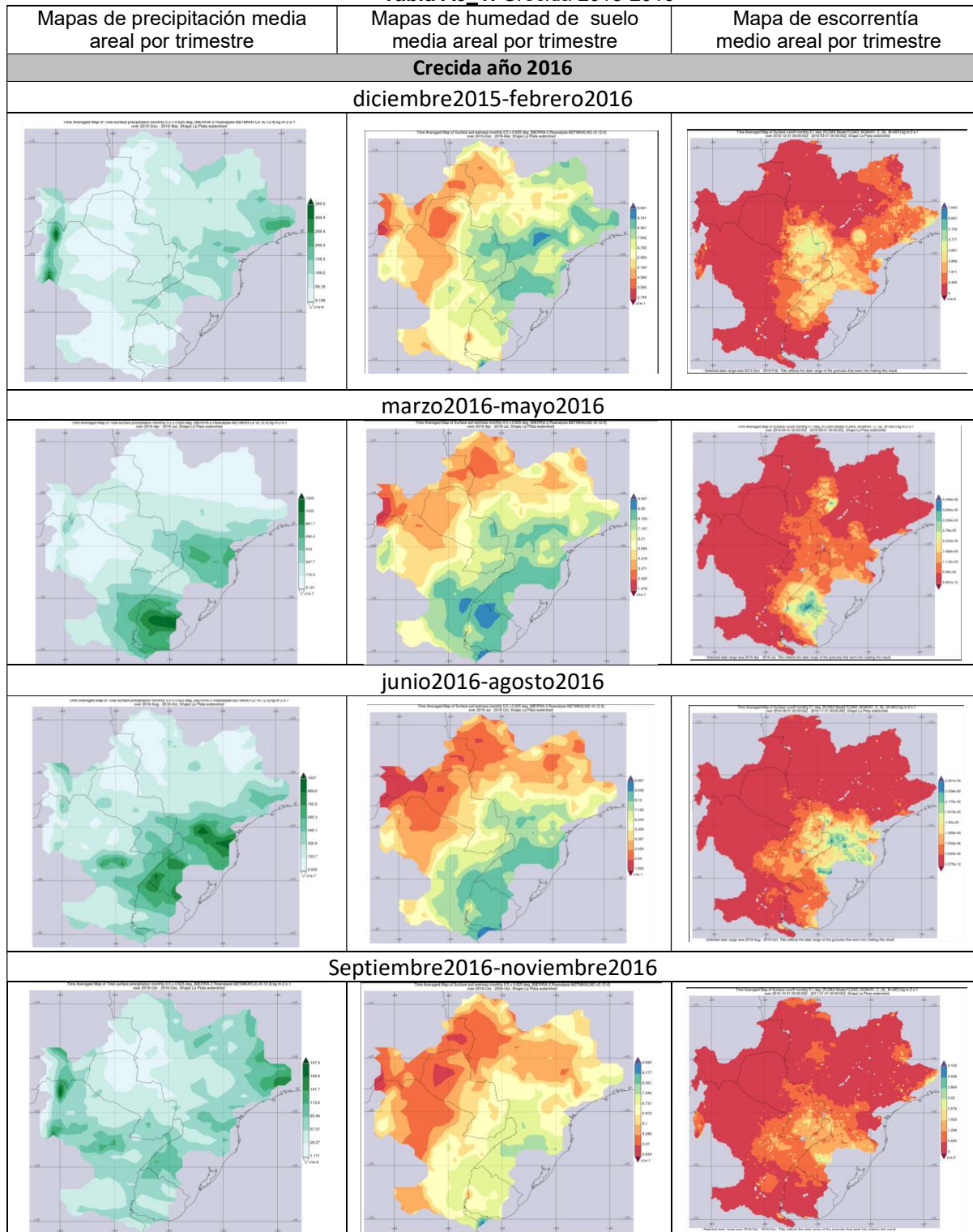
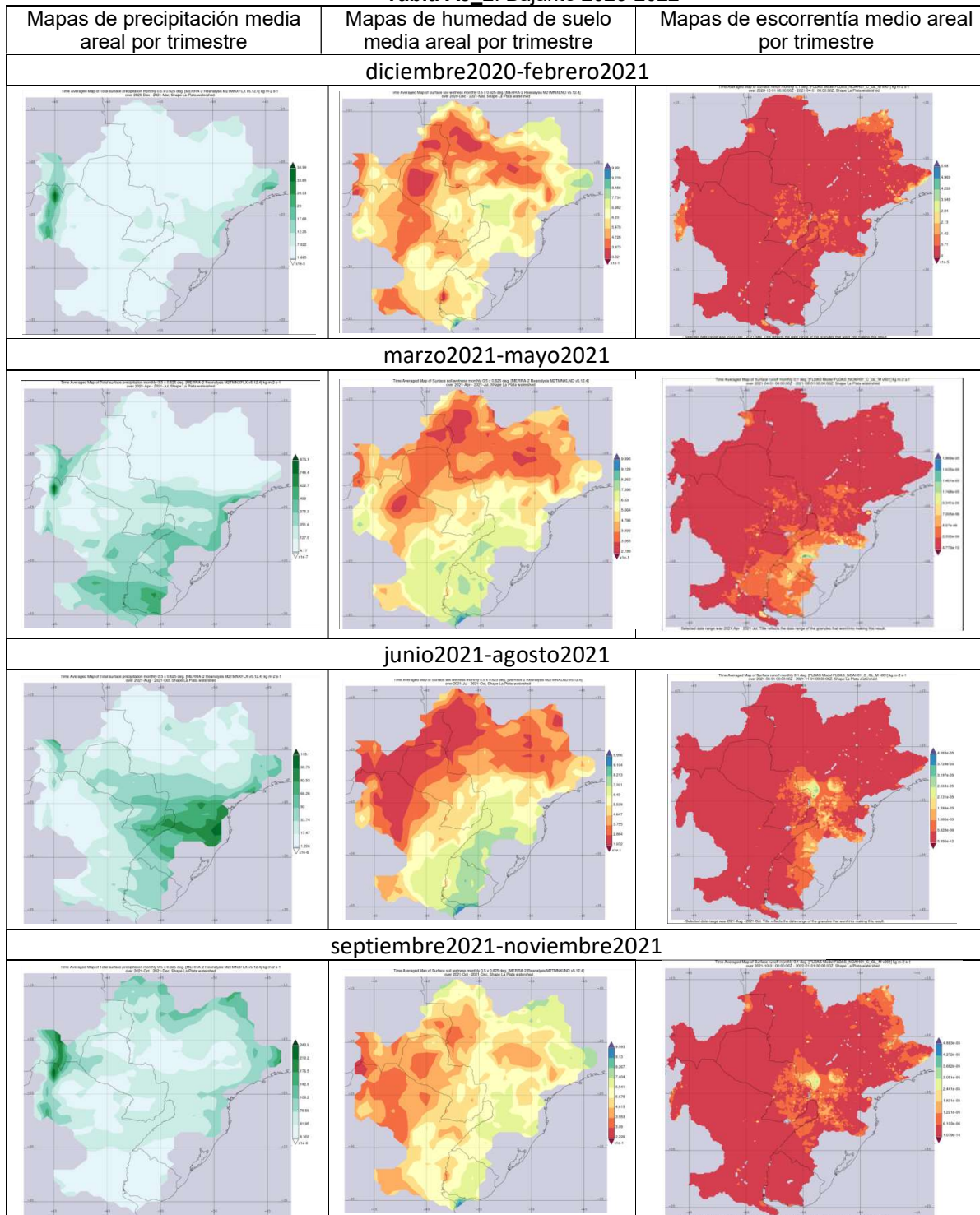


Tabla A3_2: Bajante 2020-2022



ANEXO 4
SEQUIAS EN LA CUENCA DEL PLATA DESDE 2019 HASTA 2024

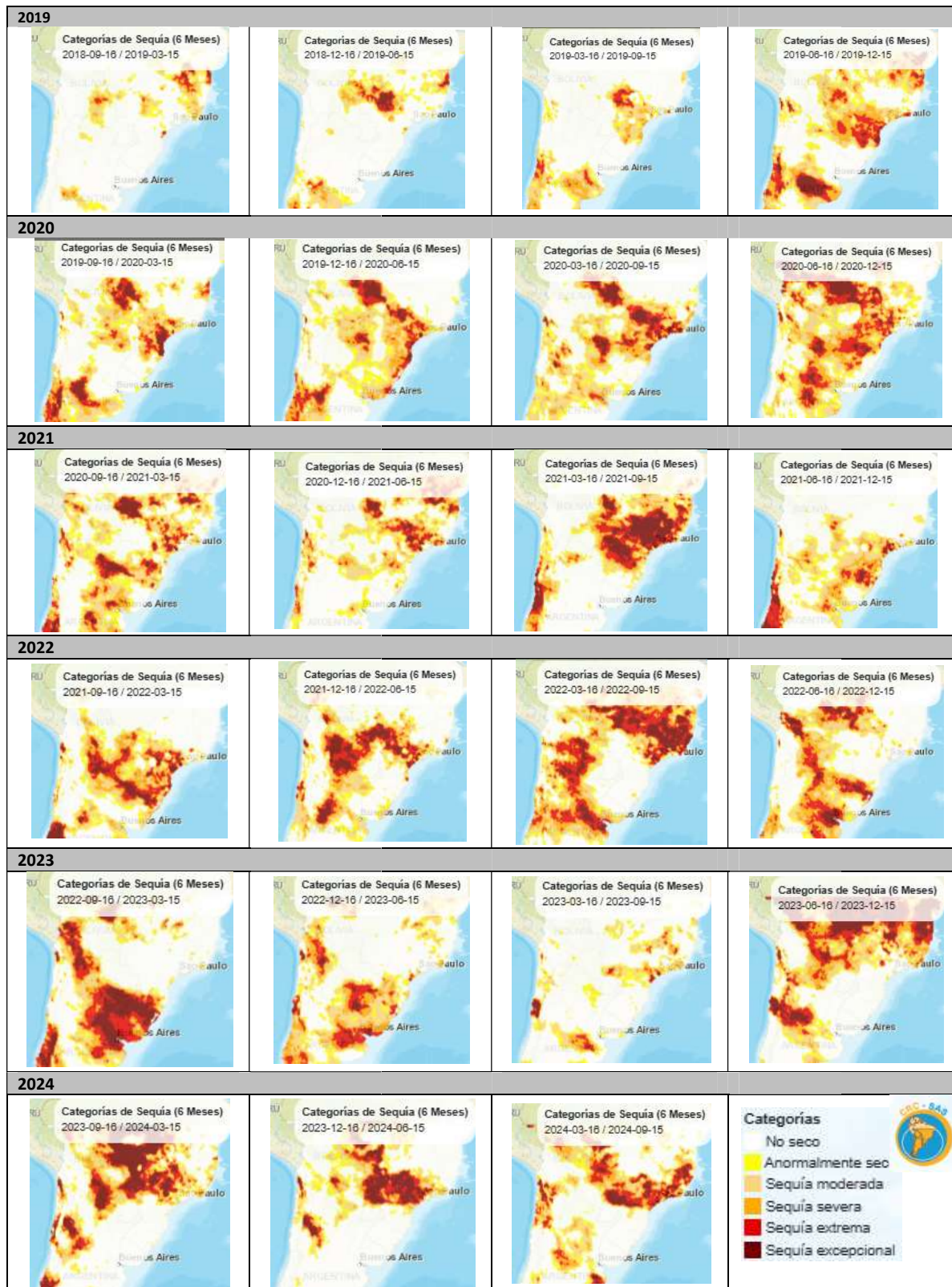


Figura A4.1: Categorías de sequías derivadas de las anomalías de precipitación del CHIRPS para el SPI-6. Fuente: SISSA