



Secretaría
de Obras Públicas



Ministerio
de Economía
República Argentina

INFORME INA

ESPEJOS DE AGUA EN UN SISTEMA DE LAGUNAS SANTAFESINO Geomorfología y Esgurrimiento Superficial

INFORME FINAL

Investigación científica aplicada
Julio / Diciembre 2025

DICIEMBRE de 2025



Subgerencia
Centro Regional Litoral



2025 - “Año de la Reconstrucción de la Nación Argentina”

AUTORIDADES INSTITUTO NACIONAL DEL AGUA

PRESIDENTE (a/c del despacho)

Lic. Bernardo Bartolomé HEREDIA

GERENTE DE PROGRAMAS Y PROYECTOS (a/c del despacho)

Lic. Mercedes CURBELO

SUBGERENTE CENTRO REGIONAL LITORAL (a/c del despacho)

Ing. Jorge COLLINS

PERSONAL PARTICIPANTE EN LA REALIZACIÓN DEL SIGUIENTE TRABAJO

SUBGERENCIA CENTRO REGIONAL LITORAL

Ing. María Rosana MAZZON

Dra. Ing. Silvia RAFAELLI

RESUMEN

El presente trabajo incluye el análisis la dinámica hídrica regional y la variación temporal de los espejos de agua en un sistema lagunar santafesino, integrando información geomorfológica y datos satelitales como base para una futura modelación hidrológica de interés para el manejo de excedentes superficiales. Los espejos de agua analizados son las Lagunas La Cabral, Palos Negros, La Verde y El Dentado ubicadas próximas a la localidad de Huanqueros en el Departamento San Cristóbal de la Provincia de Santa Fe. Esta zona se enmarca dentro de la Cuenca del Río Salado, como parte de la Cuenca del Arroyo Las Conchas.

El contexto geomorfológico permite definir que las lagunas se localizan en depresiones tectónicas dentro de una unidad dominada hoyas de deflación, donde se favorece la acumulación de agua y el comportamiento de cuenca cerrada bajo condiciones naturales. La construcción de canales, caminos y vías ferroviarias han alterado los flujos de escurrimiento, generando conexiones artificiales entre las lagunas y modificando su dinámica hídrica natural

Se integra esta información al esquema de funcionamiento interno de las unidades de almacenamiento, permitiendo comprender cómo se organiza y se transfiere el agua dentro del área de estudio.

Se evalúa la sensibilidad climática de este sistema lacustre, analizando las variaciones interanuales detectadas con datos satelitales de Google Maps que evidencian fluctuaciones de los espejos de agua entre un año seco (2008) y un año húmedo (2016), mostrando que las lagunas responden rápidamente a los pulsos hídricos regionales.

Se profundiza el análisis consultando al Explorador de Aguas Superficiales (GSWE) que utiliza datos de satélite Landsat y la plataforma Google Earth Engine para generar mapas y estadísticas detalladas sobre la presencia y cambios superficiales de los espejos de agua a lo largo del tiempo (entre los años 1984 y 2021). Se verifica que las lagunas combinan sectores permanentes y sectores estacionales. Se identifican núcleos de presencia permanente de agua y zonas periféricas con variabilidad estacional, reflejando la interacción entre la morfología local y la disponibilidad hídrica anual.

El presente trabajo brinda un análisis de base que deberá enriquecerse con información de niveles freáticos, relevamientos de campo y consulta a los pobladores locales, que permitirá validar y complementar la interpretación geomorfológica e hidrológica realizada.

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

Descriptor geográfico: Cuenca del Arroyo Las Conchas en la Provincia de Santa Fe. Argentina.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVO.....	1
3. BREVE DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	1
4. CONTEXTO GEOMORFOLÓGICO	2
4.1 Generalidades	2
4.2 Esquema estructural.....	5
4.3 Cortes estratigráficos	8
4.4 Clasificación geomorfológica	10
4.4.1 Provincias y sistemas geomorfológicos.....	10
4.4.2 Unidades geomorfológicas	10
4.4.3 Elementos geomorfológicos.....	11
4.5 Síntesis de la geomorfología en la zona en estudio.....	14
5. ANALISIS DE ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL Y ESPEJOS DE AGUA	15
5.1 Modelo de escurrimiento superficial natural e imágenes de satélite	15
5.2 Escurrimiento superficial del sistema natural intervenido	17
5.3 Análisis de los espejos de agua en periodos extremos.....	18
5.4 Variación temporal de los espejos de agua con el Explorador de Aguas Superficiales.....	20
6. SINTESIS Y CONSIDERACIONES FINALES	25
BIBLIOGRAFIA.....	26

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. Entre sus desarrollos de ciencia aplicada, se analiza y valora toda la nueva información satelital existente desde distintas fuentes, avanzando en el aprendizaje sobre su disponibilidad y manejo, así como en el conocimiento de nuevos avances. Se profundiza también en procesos de validación de información de sensores remotos, con vistas a enriquecer los datos históricos de mediciones en terreno utilizados en estudios y proyectos relacionados con los recursos hídricos.

El presente trabajo incluye el análisis de escurrimiento superficial y la variación de los espejos de agua seleccionados, integrando información geomorfológica y datos satelitales en un sector santafesino de la Cuenca del Río Salado.

En este sentido, el documento incluye al inicio el objetivo del trabajo y la breve descripción del área de estudio, continua con la descripción geomorfológica de la región para luego analizar el escurrimiento superficial y la variación temporal de los espejos de agua seleccionados, generando en el cierre las consideraciones finales del trabajo.

2. OBJETIVO

Analizar la dinámica hídrica regional y la variación temporal de los espejos de agua en un sistema lagunar santafesino, integrando información geomorfológica y datos satelitales como base para una futura modelación hidrológica de interés para el manejo de excedentes superficiales.

3. BREVE DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

Los espejos de agua de interés para el presente trabajo incluyen las Lagunas La Cabral, Palos Negros, La Verde y El Dentado ubicadas próximas a la localidad de Huanqueros en el Departamento San Cristóbal de la Provincia de Santa Fe. Esta zona se enmarca dentro de la Cuenca del Río Salado, como parte de la Cuenca del Arroyo Las Conchas.

La zona presenta una variación del clima subhúmedo del Este hasta el semiárido del Oeste, con precipitaciones anuales de orden de los 1000 mm/año. Las áreas con bajas pendientes favorecen la permanencia del agua en superficie permitiendo recargas importantes al acuífero y el trabajo UNL FICH - INA CRL - INTA EEA Rafaela (2007) describe el predominio del movimiento vertical frente al movimiento horizontal en lo relativo a la dinámica hídrica subterránea.

Según el Estudio Integral de la Cuenca del Arroyo Las Conchas (CONSULSER S.A.,1994), la zona está ubicada fitogeográficamente dentro de una faja de transición entre la Provincia Chaqueña (Distrito Chaqueño) y la Provincia del Espinal (Distrito de Algarrobo). En gran parte de la cuenca la vegetación natural ha desaparecido prácticamente por completo debido al cambio del uso del suelo generado por la expansión agrícola-ganadera, generando variaciones en la magnitud de las variables del ciclo hidrológico. Por otra parte el sistema natural ha sido modificado por el hombre a través del desarrollo de la red vial, ferroviaria, canalizaciones así como construcciones de alcantarillas y puentes, entre otros que modifican la dinámica hídrica de la región.

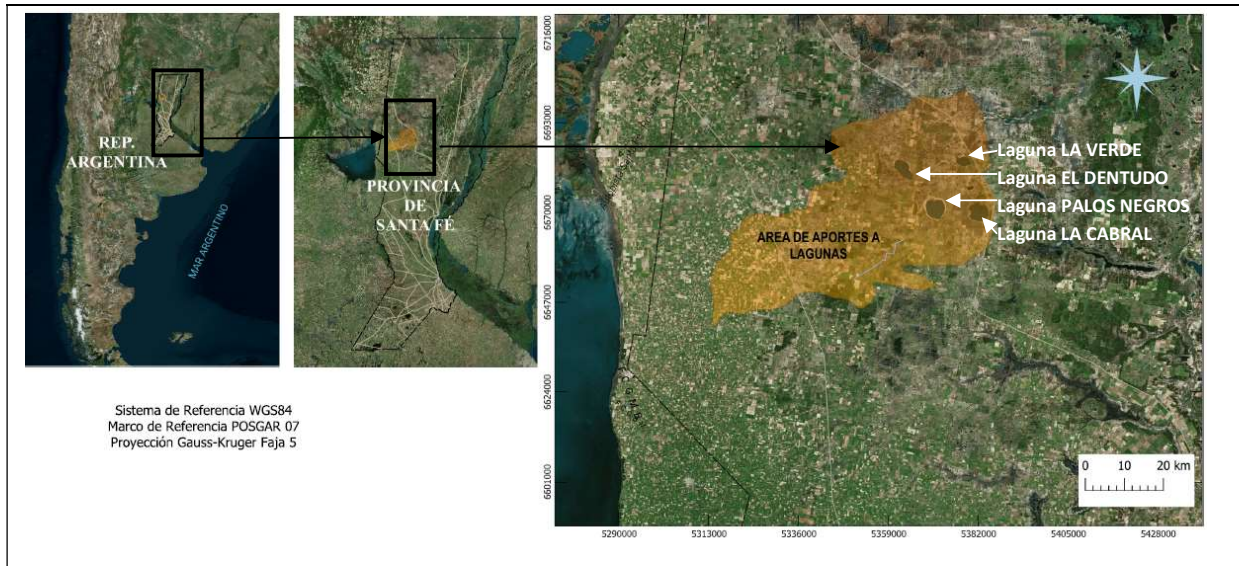


Figura 1: Cuenca del Arroyo Las Conchas y detalle del área de aporte a las lagunas

En 2018 la Provincia de Santa Fe a través del Instituto Nacional del Agua (INA) completó la segunda etapa del Plan Director de los Recursos Hídricos de la Región III "Cuenca del Río Salado y Cuencas Menores" que incluyó una actualización del Diagnóstico de los Recursos Hídricos y el desarrollo de los lineamientos de un Plan de Manejo de los Recursos Hídricos Superficiales (INA CRL, 2018). En este trabajo se incluyó la delimitación de áreas de aportes a las lagunas y los distintos niveles de amenaza a inundaciones para el Arroyo Las Conchas estimados con imágenes de satélite. En la Figura 2 y 3 se incluyen referencias de interés para presente análisis.

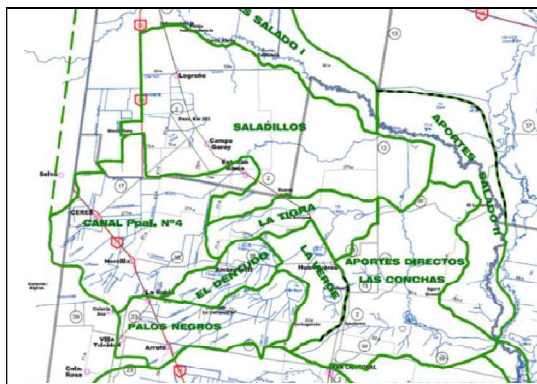


Figura 2: Cuenca del Arroyo Saladillo – Las Conchas

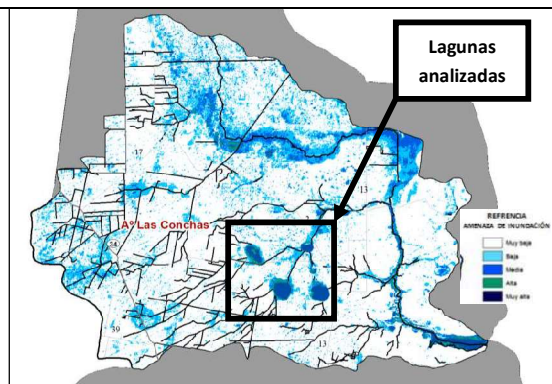


Figura 3: Superficies con amenaza de anegamiento superficial, Cuenca del Arroyo Saladillo – Las Conchas

4. CONTEXTO GEOMORFOLÓGICO

4.1 Generalidades

El contexto geomorfológico nos permite describir las formas del relieve del área de estudio y destacar alguno de los procesos que las han creado, incluida la actividad tectónica. Esta consideración es fundamental para entender la evolución del paisaje, la distribución de los suelos así como las características geológicas y ambientales de una región. El análisis ha considerado de valioso interés los antecedentes teniendo en cuenta la paleohidrología (Pedersen et al. 2022), la cual considera los patrones del sistema hidrográficos a lo largo del tiempo en el contexto del cambio climático global. De todos modos, la dinámica hídrica actual está fuertemente intervenida por canales, carreteras y red ferroviaria, entre otros.

El área de estudio se ubica en la Llanura Pampa Norte (LPN), inmersa en el Complejo Precámbrico Regional (CPR) del Arcaico-Paleoproterozoico, en el sur de Sudamérica (Figura 4). Esta área cratónica experimentó una historia deposicional, metamórfica y magmática posterior, similar a la de los cinturones orogénicos circundantes, durante el Neoproterozoico. La evolución geotectónica acrecional configuró el basamento cristalino actual. Las rocas precámbricas afloran únicamente en diferentes bloques del CPR (Brunetto et al. 2025). En la Figura 5 se presentan mapas del Dr. Martín Iriondo que han sido referencia del tema a nivel regional y en particular de la Provincia de Santa Fe.

Por otra parte, se ha documentado evidencia de deformación activa de la Llanura pampeana durante el Cuaternario Superior a partir de un conocido sistema de formas de relieve de paleocauces paralelas, modificadas tectónicamente, por Pasotti y Castellanos (1963) y Pasotti (1975). Brunetto et al. (2017) dedujeron el control de primer orden de la geomorfología estructural sobre la hidrodinámica de la llanura. Estos autores confirman que la deformación tectónica activa que deformó extensas unidades sedimentarias del Pleistoceno Tardío son representativas de los humedales en una gran área del norte de la Pampa, incluyendo paleocanales fluviales.

La estratigrafía de la Llanura Pampa Norte se caracteriza principalmente por secuencias sedimentarias fluviales, lacustres y eólicas del Pleistoceno tardío-Holoceno (Kröhling e Iriondo 1999, 2003; Iriondo 2010; Kröhling y Brunetto 2013; Kröhling y Carignano 2014; Brunetto et al. 2017).

La geología y la geomorfología juegan un rol muy importante asociado a los recurso hídrico, condicionando –entre otras cosas– la circulación del agua subterránea y la distribución de las áreas de recarga y descarga.

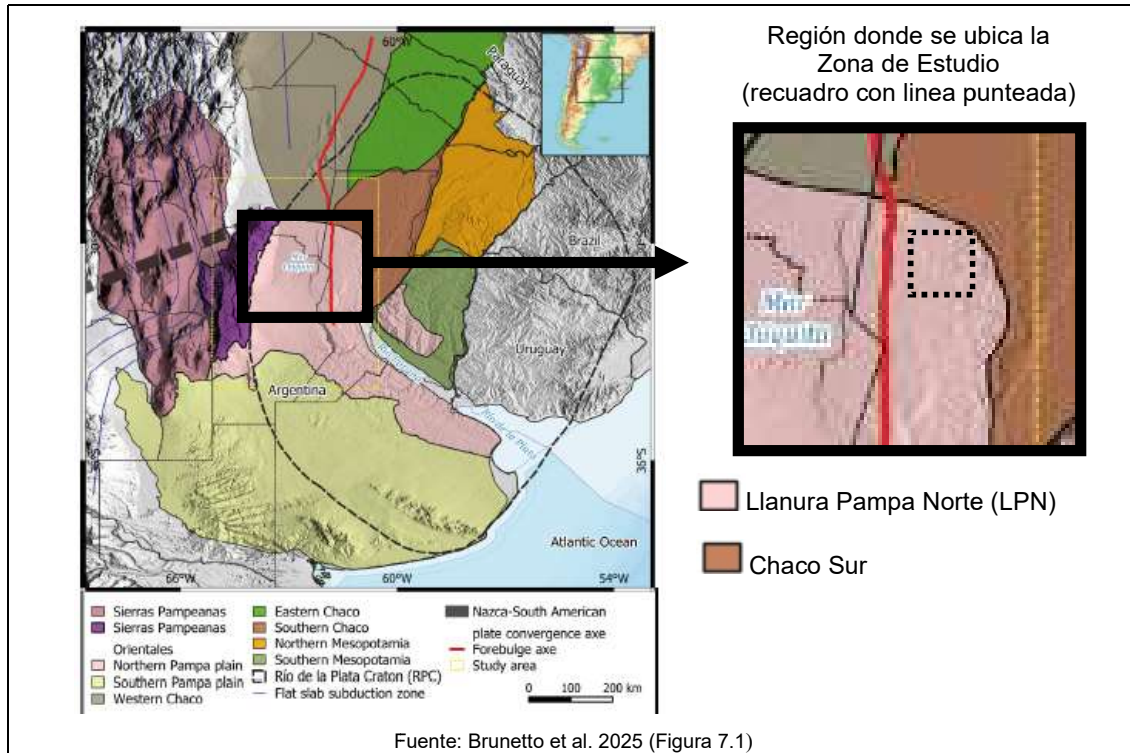


Figura 4: Mapas geológico regional

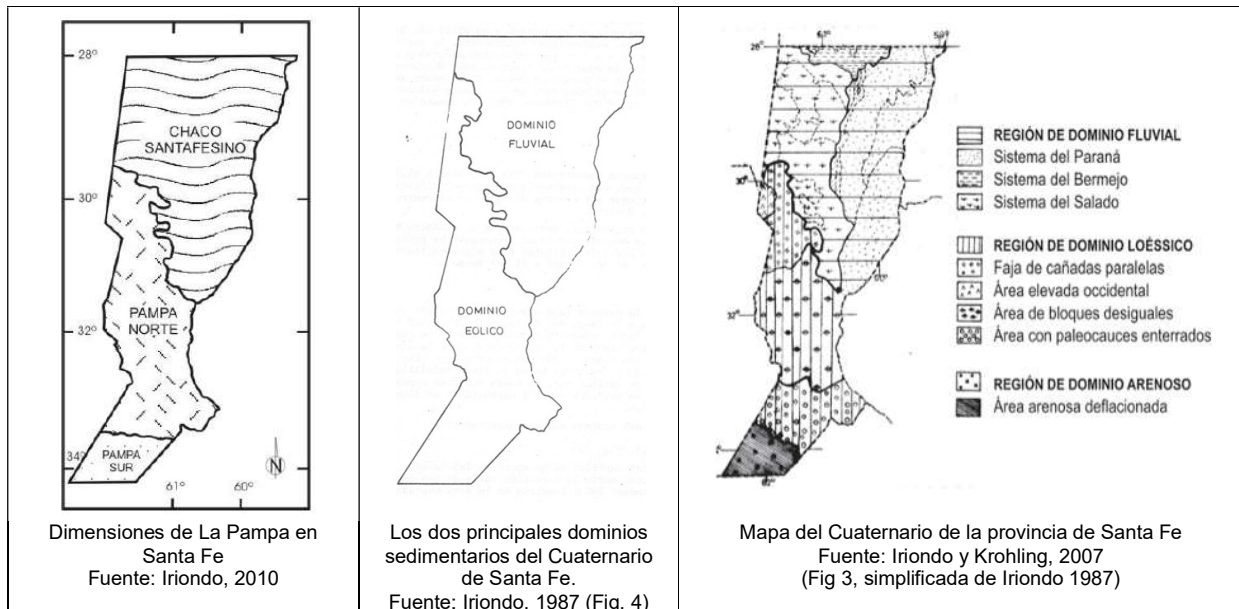


Figura 5: Antecedentes del Dr. Martín Iriondo

4.2 Esquema estructural

En el paisaje existen evidentes controles estructurales. La provincia de Santa Fe está dividida en bloques elevados, hundidos y principalmente basculados, con rechazos de pocos metros. En algunos casos, los movimientos sufridos pueden ser acomodamientos modernos de estructuras antiguas, pero en otros, según Iriondo, 2011, se trata de estructuras cuaternarias (INA, 2012)

La caracterización hidrológica de la Cuenca del Río Salado (INCyTH, 1986) indica que las principales características geomorfológicas de la cuenca del río Salado son de carácter estructural. Existen controles de indudable naturaleza tectónica. La cuenca está compuesta por bloques elevados, hundidos y principalmente basculados con rechazos de pocos metros, pero que en una región tan llana como ésta producen efectos morfológicos de primer orden. Los movimientos sufridos pueden considerarse como acomodamientos modernos, muy leves, de estructuras muy antiguas. En un sentido estricto es un poco difícil saber si las fracturas del basamento alcanzan la superficie en forma de fallas o de flexuras, pues las formas asociadas son muy suaves y generalmente están alteradas por los procesos superficiales.

Los elementos estructurales de primer orden tienen orientación general Norte-Sur. Son básicamente dos: el más importante es la fractura Tostado-Selva, muy cerca del límite Oeste de la cuenca del Río Salado, que la recorre un trecho al entrar desde Santiago del Estero y la atraviesa en Tostado. La otra fractura principal corre aproximadamente de Norte a Sur a lo largo del meridiano 60°45' O, también con trazado algo irregular, el bloque elevado es también el oriental. El Río Salado llega a la fractura desde el Noroeste y la recorre en sentido Norte-Sur, sin atravesarla, hasta desembocar en el Río Paraná.

Las dos grandes fracturas de primer orden están atravesadas por fallas de segundo orden de dirección Este-Oeste, que también tiene expresión morfológica importante. En la confluencia del Río Salado con el Río Calchaquí está ubicada la más visible. Tiene una extensión de por lo menos 75 Km. hacia el Oeste, en el bloque hundido (el Norte) se observa divagación de cauces, extensas zonas inundables y grandes lagunas permanentes (La Blanca, Cabral, Palos Negros). El Arroyo Las Conchas la recorre de Oeste a Este a lo largo de 40 Km. hasta desembocar en el Río Salado, en el mismo lugar de la confluencia con el Río Calchaquí y la Laguna Blanca. Una vez que el Río Salado atraviesa el umbral en ese lugar, ya no se observan cauces abandonados ni lagunas permanentes hacia el Sur.

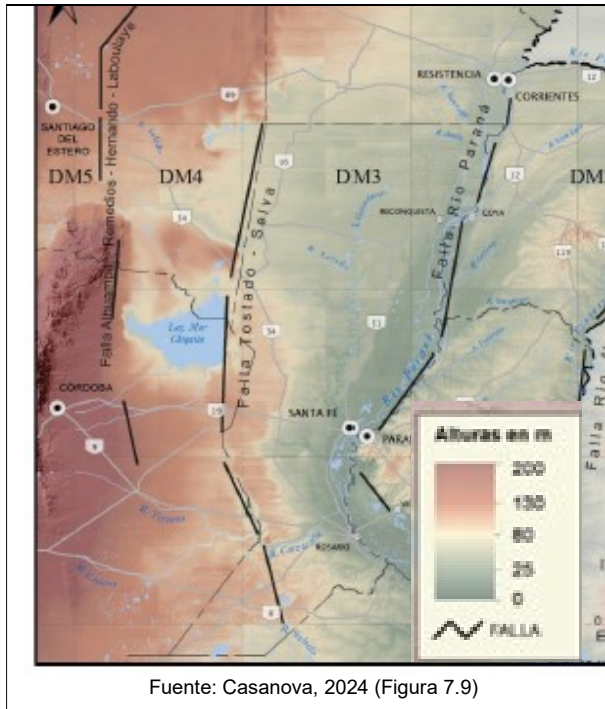
Otro elemento estructural Este-Oeste muy importante, pero que en la cuenca del Río Salado no tiene expresión morfológica grande es la fractura que pasa por Brinckmann y Sunchales y forma el límite Sur de la Laguna Mar Chiquita ya en la Provincia de Córdoba. Afecta a la fractura Tostado-Selva, produciéndole un desplazamiento Este-Oeste de unos 5 Km. en los Altos de Chipión.

Al Sureste de San Cristóbal, el valle fluvial del arroyo San Antonio es ensanchado como consecuencia de una fosa tectónica de aproximadamente 16 Km. de largo por 5 Km. de ancho.

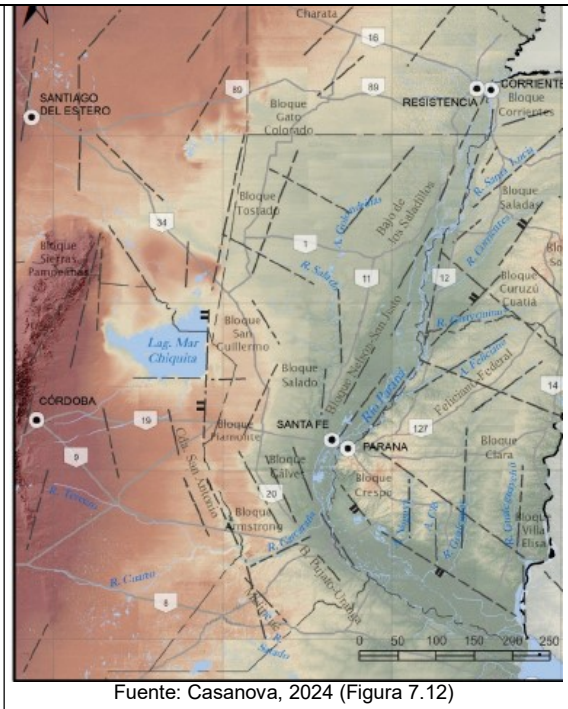
Los lineamientos estructurales menores se reflejan en las cañadas, que son depresiones alargadas poco profundas. Su mayor desarrollo se encuentra en la zona Oeste de la cuenca, sucediéndose en formas subparalelas. Es evidente que éstas están controladas por dos juegos de fracturas que se combinan, uno de rumbo Este-Oeste, son menos frecuentes y disminuyen en intensidad de Sur a Norte, donde prácticamente no se encuentran. El otro juego tiene rumbo Suroeste-Noreste y predomina sobre el anterior aumentando su intensidad en la parte Norte, donde son prácticamente exclusivas. Al Sur de la fractura de la cañada de Sunchales, las cañadas tienen un rumbo predominantemente Este-Oeste.

A fin de sintetizar gráficamente las deformaciones neógenas y cuaternarias de la región, se presentan en la Figura 6 las fallas regionales y en la Figura 7 rasgos estructurales según Casanova 2024. Los rasgos estructurales inferidos de fallas y bloques que son de interés para nuestra zona de estudio y se presentan con un detalle en las Figuras 8 y 9. En particularidad se menciona que bloques dispuestos al norte de los bloques San Guillermo-San Cristóbal y a occidente de la traza de la falla Tostado-Selva ascendidos durante el Pleistoceno tardío-Holoceno (Mon y Gutiérrez 2005), provocando el desvío del Río Salado hacia el este y el endicamiento del Río Dulce, originándose la Laguna Mar Chiquita. En este trabajo se menciona que las

tasas de ascenso estimadas para el área de Palo Negro, localizada al noroeste de la localidad de Selva, son del orden de los 0,28-0,13 mm/a (Brunetto et al. 2014).



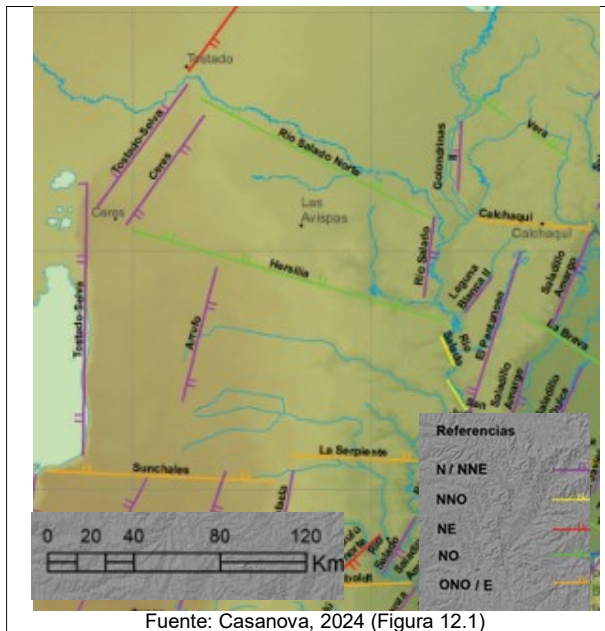
Fuente: Casanova, 2024 (Figura 7.9)



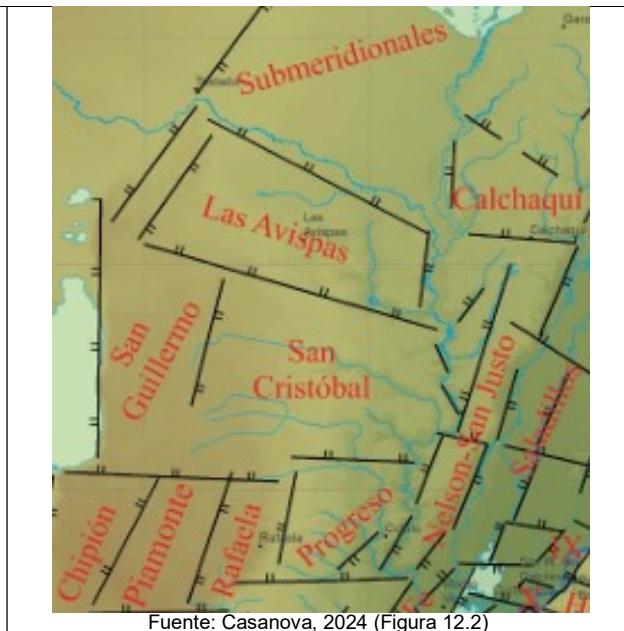
Fuente: Casanova, 2024 (Figura 7.12)

Figura 6: Falla de extensión regional que delimitan dominios morfoestructurales

Figura 7: Rasgos estructurales



Fuente: Casanova, 2024 (Figura 12.1)



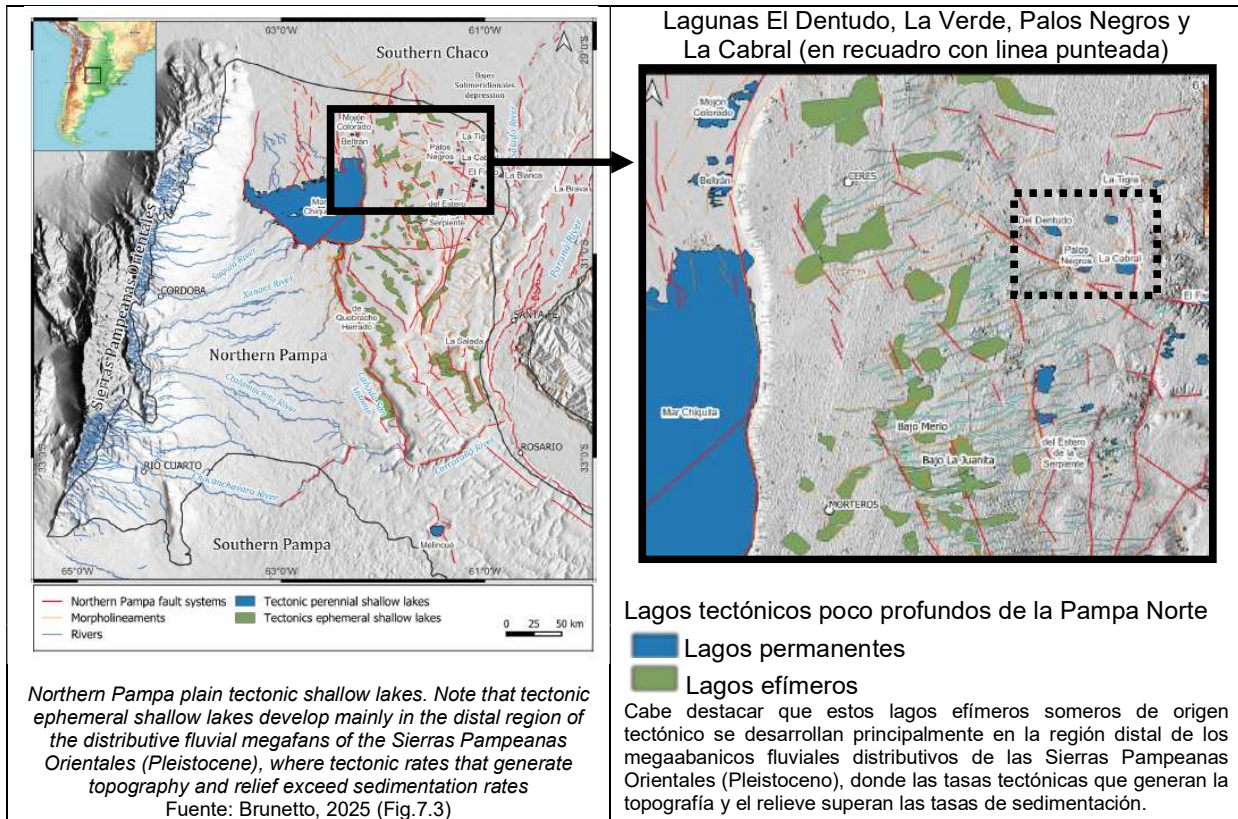
Fuente: Casanova, 2024 (Figura 12.2)

Figura 8: Sistemas de fallas inferidas del centro este de Argentina

Figura 9: Fallas y bloques estructurales inferidos del centro este de Argentina.

Deformación tectónica

Se incluye la referencia de un estudio reciente donde ha documentado una amplia distribución de la deformación tectónica en la llanura pampeana de interés para el presente trabajo (Brunetto et al., 2025). La llanura pampeana septentrional es una extensa región generada por sedimentos eólicos y de abanicos fluviales acumulados en la cuenca de antepaís distal de las Sierras Pampeanas Orientales durante el Cuaternario. La deformación, ampliamente compartimentada, actúa como un control estructural de la escorrentía y la infiltración de agua subterránea, generando numerosos lagos tectónicos someros. En consecuencia, dos tipos de lagos caracterizan típicamente esta región. Las depresiones tectónicas regionales están ocupadas por grandes lagos que almacenan agua de forma permanente y presentan mayores tasas de sedimentación. Los casos más representativos son la Laguna Mar Chiquita (2000–6000 km²) y la Laguna Melincué (103–186 km²). Por otro lado, existen más de cien depresiones estructurales poligonales que se inundan durante las estaciones extremadamente lluviosas. El control geomorfológico estructural de primer orden sobre la hidrodinámica, el registro sedimentario a largo plazo que evidencia condiciones climáticas oscilantes y la prolongada permanencia del agua durante eventos extremos en las últimas décadas justifican su categorización y cartografía como lagos tectónicos efímeros someros. La información geodésica, estratigráfica y geomorfológica sugiere que la deformación tectónica que controla el desarrollo de lagos someros en cuencas de antepaís pericratónicas es un proceso activo, en lugar de un control pasivo a largo plazo, como se suele proponer.



4.3 Cortes estratigráficos

En Casanova (2024) se incluyen perfiles geológicos transversales al cauce del Río Paraná Medio que permitieron definir cinco unidades depositacionales neógeno-cuaternarias; las tres inferiores corresponden a diferentes facies de la Formación Paraná, la cuarta está representada por la Formación Ituzaingó (y equivalentes), y la superior por sedimentos loésicos y loessoides cuaternarios, con diferentes nombres según la región que se considere.

Para el presente trabajo se consideran de interés los perfiles 8 y 9, ubicados en la Figura 11. Los perfiles 8 y 9 se incluyen en las Figuras 12 y 13 respectivamente.

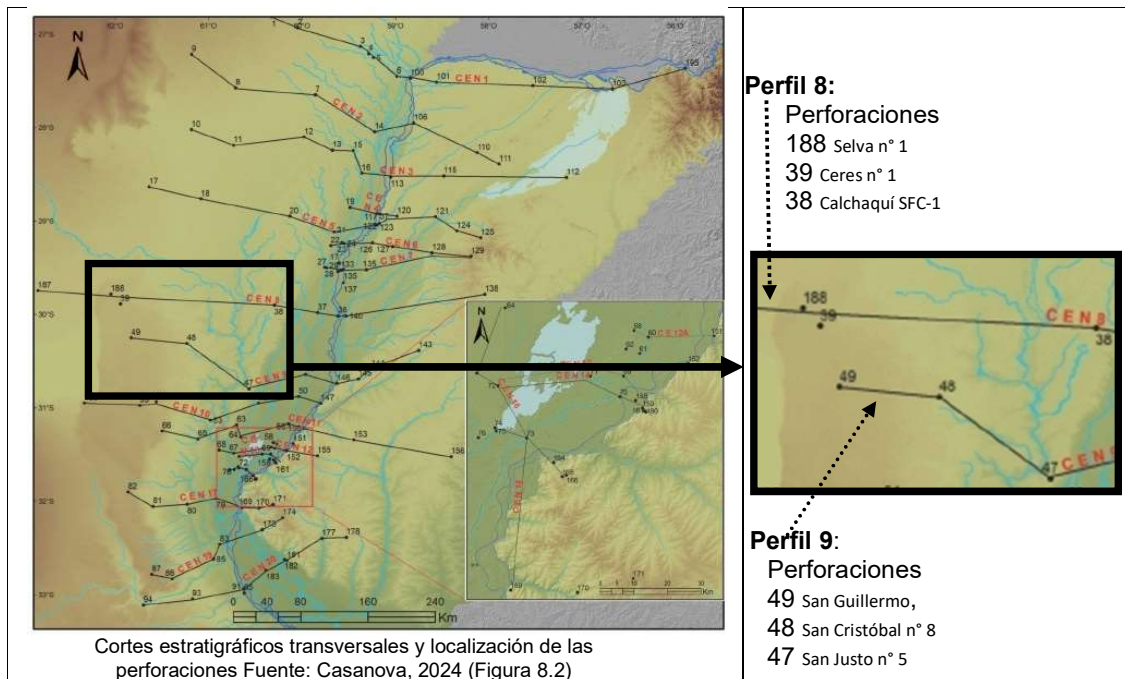


Figura 11: Ubicación de los perfiles de interés

Al oeste del Río Salado, la columna sobre la Formación Paraná se inicia con arcillas verdes palustres asignadas al Plioceno tardío o Pleistoceno temprano (Brunetto e Iriondo 2007), sobreyacidas por depósitos de loess y bañados, cubiertos por sedimentos del Pleistoceno tardío-Holoceno. La cubierta cuaternaria alcanza los 60 m en San Guillermo y 48 m en San Cristóbal, y cotas de 95 m y 72 m, respectivamente; se observa un desplazamiento vertical de unos 24 m entre ambas localidades. Ambas regiones fueron sedimentadas por sedimentos loésicos y de bañados desde finales del Mioceno; la margen oriental de la Laguna Mar Chiquita, a unos 30 km al oeste de San Guillermo, está determinada por un tramo de la falla Tostado-Selva y constituye el límite entre los bloques hundidos occidentales y los elevados orientales, como el de San Guillermo (de Casanova 2024, recorte de la descripción del corte estratigráfico 9).

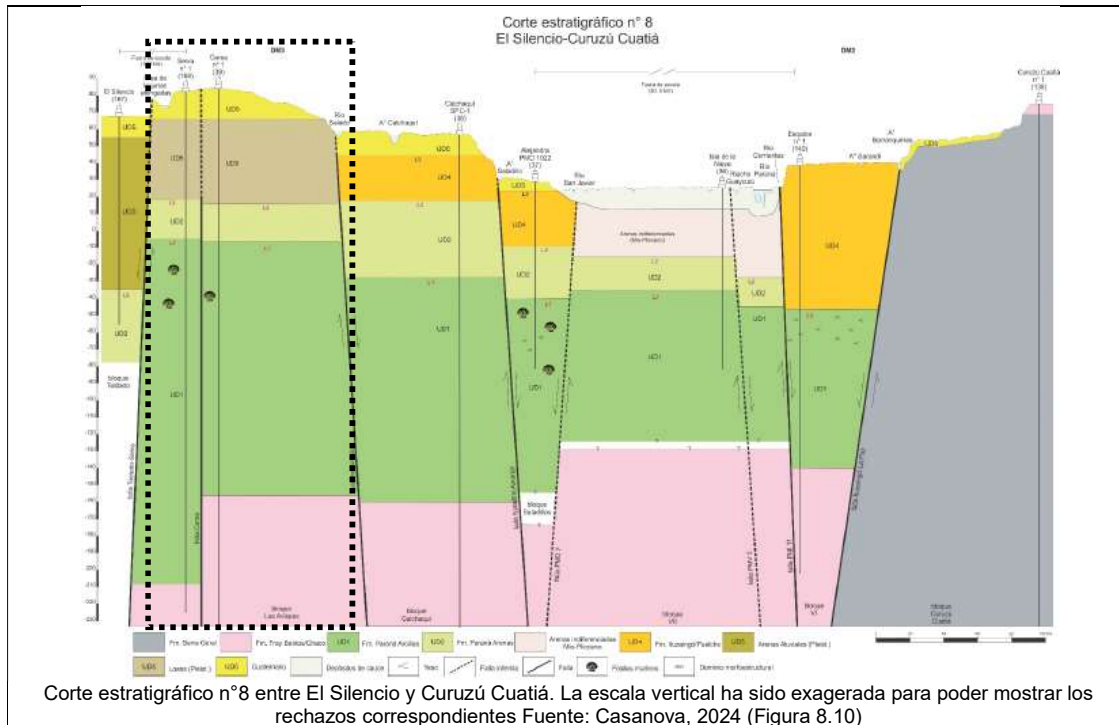


Figura 12: Corte estratigráfico n° 8 (zona de interés en recuadro punteado)

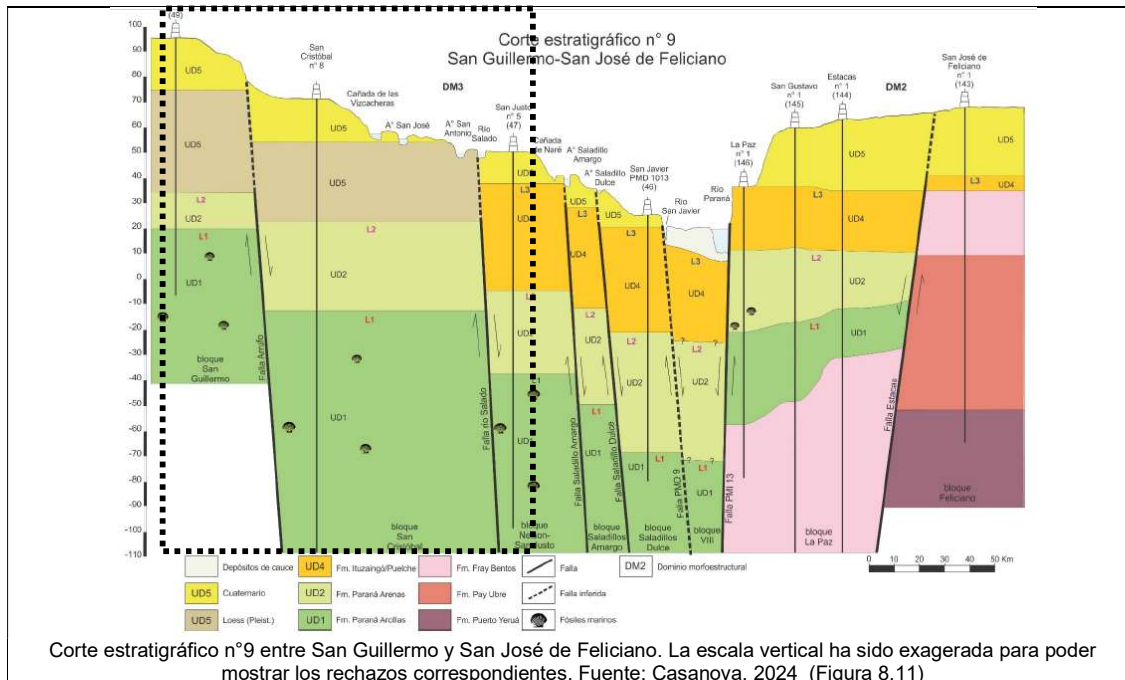


Figura 13: Corte estratigráfico n° 9 (zona de interés en recuadro negro)

4.4 Clasificación geomorfológica

La estructura de la clasificación se basa en niveles que corresponden a las principales categorías, según desarrollos de Iriondo (1987, 1990), Ramonell et al. (1992) y Kröhling e Iriondo (1999). Se integra a continuación conceptos extraídos de diversos estudios, tales como: INCyTH (1986), Consulser SA (1994), INA (2012, 2018) y Petersen et al. (2022).

4.4.1 Provincias y sistemas geomorfológicos

La Provincia Geomorfológica (PG) agrupa varios sistemas geomorfológicos considerando la dimensión geológica. Se trata de la influencia más extensa en área y tiempo. El área de estudio se encuentra en la Provincia Geomorfológica Pampa Norte – Llanura loésica, en el Sistema del Bloque Huanqueros, según se presenta en la Figura 14.

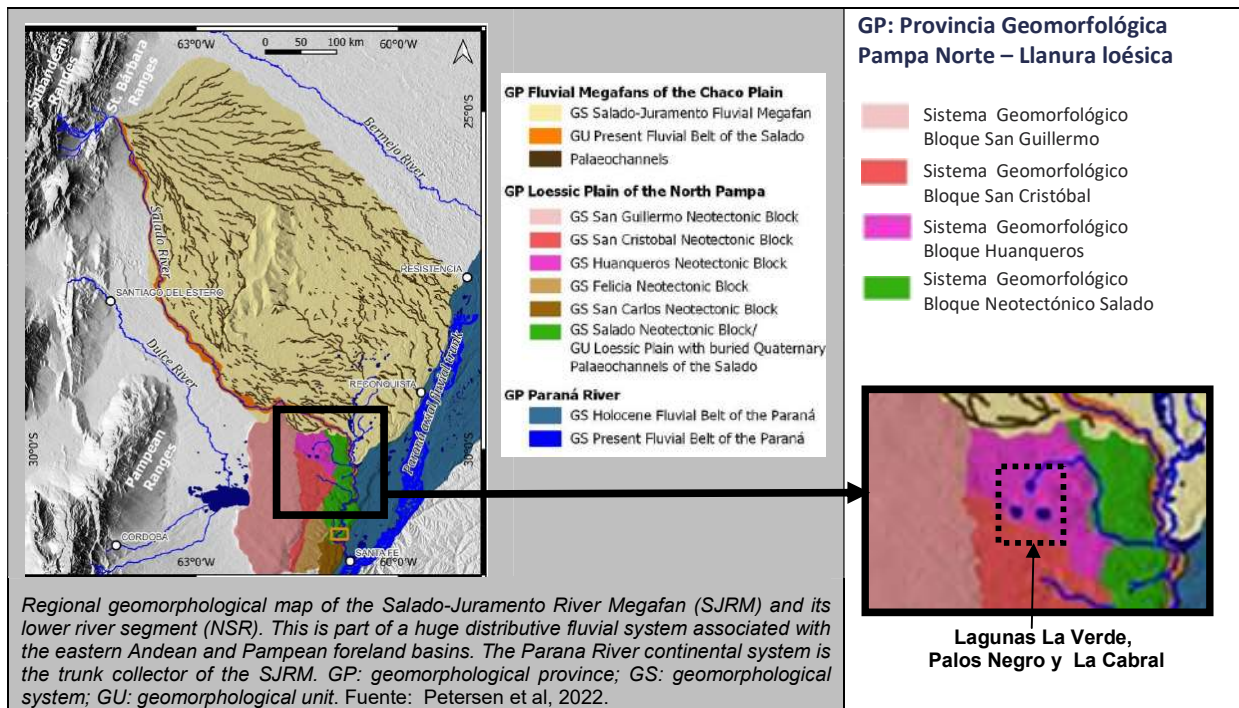


Figura 14: Mapa regional geomorfológico con detalle en la zona de interés

4.4.2 Unidades geomorfológicas

Las Unidades Geomorfológicas (UG) abarca un área o grupo de áreas caracterizadas por uno o más tipos de conjuntos de elementos geomorfológicos, los cuales Corresponde a la geoforma unitaria con identidad morfogénica propia, sin consideraciones de su grado de conservación y funcionalidad. Este nivel identifica los componentes básicos del paisaje.

Basadas en estudio de Iriondo, en el Arroyo Las Conchas se discretizaron en grandes unidades, válidas para nuestra área de estudio:

- I. Faje elevada occidental: Zona más elevada de la cuenca, ubicada al oeste con una suave pendiente Oeste-Este.
- II. Faja de cañadas subparalelas: Se extiende desde Tostado al sur y su ancho varía entre los 20 y 70 km. Su morfología obedece a que existe una pendiente definida de rumbo suroeste-noreste en toda su unidad. Las cañadas están ubicadas de 1 a 3 km una de la otra. Al sur de Hercilia

- hay un trecho de mayor cota sin cañada y luego reaparecen. En épocas de lluvia las cañadas transportan considerable cantidad de agua.
- III. Área de hoyas de deflación: unidad de forma irregular que abarca las grandes Lagunas Palos Negro, La Cabral, La Verde y del Dentado, cuerpos de agua de origen probablemente tectónico, de forma redondeada y alrededor de 5 km de diámetro. La cantidad de depresiones hace que en su estado natural casi toda la superficie se comporte como una cuenca cerrada por lo menos para ciertos estados hidrológicos. En la realidad, el Canal Principal 3 atraviesa el área en sentido de la pendiente regional, trasvasando desde el oeste hacia el Arroyo Las Conchas por la conexión de la Laguna La Verde con la Laguna La Tigra, captando escurrimientos de la zona.
 - IV. Complejo fluvial Arroyo Saladillo – Arroyo Las Conchas: Zona de divagación del Río Salado en la Provincia de Santa Fe, abarcando los Arroyos Saladillo y Las Conchas

Estudios posteriores y basados en Iriondo 2011, presentaron las unidades geomorfológicas según se incluye en la Figura 15, con el detalle en la zona de interés del presente estudio.

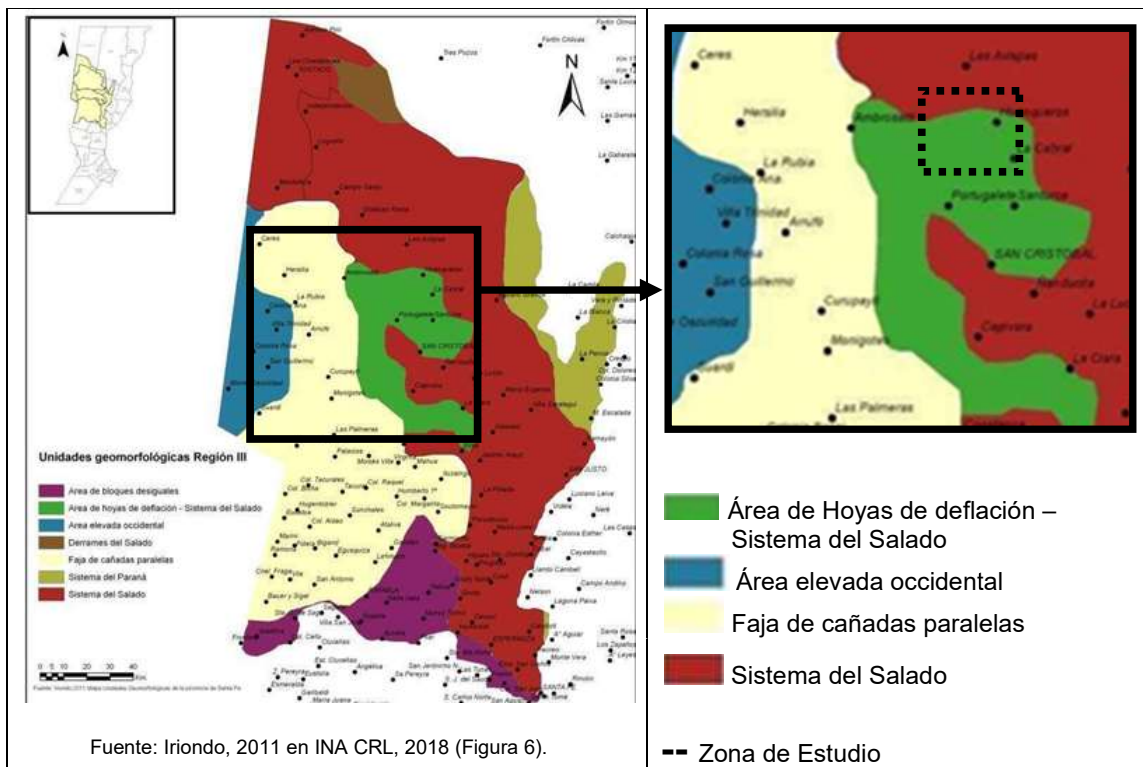


Figura 15: Unidades Geomorfológicas Región III con detalle en la zona de estudio

4.4.3 Elementos geomorfológicos

El Dr. Martín Iriondo realizó un claro inventario de los elementos que modelan el paisaje del Río Salado, tipificándolos en base a su origen en el marco de las Unidades Geomorfológicas previamente identificadas.

I. Elementos Geomorfológicos de Origen Hídrico

Los elementos geomorfológicos de origen hídrico constituyen un sistema subordinado del esquema tectónico regional, que ha sido formado durante los episodios climáticos húmedos y parcialmente borrado durante los períodos secos de dinámica predominantemente eólica. Los principales elementos en la cuenca son los siguientes:

- **Llanuras Aluviales:** Son fajas deprimidas asociadas a un cauce y constituidas por depósitos del mismo cauce, cuyas crecientes las inundan periódicamente. En particular el río Salado desarrolla albardones en su recorrido.

- **Depresiones:** Zonas bajas cuyo origen no está vinculado al cuerpo de agua y son atravesadas y rellenadas por derrames y paleocauces del río Salado.

- **Paleocauces:** el río cambia de cauce, abandona un trecho y toma por otro camino de pendiente más favorable. Aguas abajo de Tostado hay dos paleocauces; probablemente el Arroyo Saladillo y el Arroyo Las Conchas escurran por esos paleocauce paralelo al curso actual del Río Salado.

- **Lagunas:** Existen en la cuenca varias lagunas permanentes.

En la zona de Huanqueros se encuentran las Lagunas La Cabral, Palos Negros, La Verde y El Dentado; las dos primeras de 5 a 6 Km. de diámetro y las otras algo menores. Son de forma redondeada y presentan lunetas ("dunas de arcilla", Dangaus, 1980). El origen de estas lagunas es tectónico, la fractura Este-Oeste que corre por la confluencia Salado-Calchaquí las limita hacia el Sur. La Laguna La Cabral está vinculada con la Laguna La Verde mediante una depresión de 2 a 3 Km. de ancho rellena con depósitos lacustres, que sigue rumbo al Norte para conectarse con el Río Saladillo. La depresión formaba sin duda el lecho de un lago parcialmente colmatado en la actualidad, cuyos restos son las dos lagunas. La Laguna Palos Negros está desconectada de la Laguna La Cabral y su nivel es por lo menos 2,50 m más alto, también tiene depósitos lacustres asociados. La Laguna El Dentado también forma una cuenca con depósitos lacustres o palustres asociados.

Estos sistemas lagunares son independientes de la cuenca del Salado hasta cierto nivel hidrológico, superado el cual las aguas atraviesan umbrales topográficos y entran en la Cuenca del Arroyo Saladillo, en el Norte. La edad del sistema lagunar por ahora no puede afirmarse, es probable que sea preholoceno, porque se trata de cuerpos de agua limnológicamente evolucionados.

Otro tipo de lagunas permanentes son las que se encuentran en la llanura aluvial del Río Salado y la más importante de ellas es la Laguna La Blanca.

- **Áreas de Erosión Generalizada:** Los mecanismos que la producen son:

* Flujo no encauzado: agua de lluvia que fluye formando una lámina de agua sobre la llanura y transporta sedimentos en suspensión.

* Flujo hipodérmico: generado por diferencia de permeabilidad en el perfil y el agua fluye por la base de limos (Formación San Guillermo).

* Creciente extraordinaria de los cauces principales: erosión generalizada en la llanura aluvial, por desbordes.

Como característica general para toda la cuenca debe señalarse que la erosión produce la desaparición de la Formación San Guillermo, cuya granulometría y fábrica tienen gran sensibilidad a estos fenómenos.

II. Elementos Geomorfológicos de Origen Estructural

- **Pendientes:** De acuerdo a lo referido anteriormente sobre control estructural, las pendientes regionales (y aún las locales en ciertos casos) son debidas a fenómenos tectónicos, principalmente de basculamiento. La gran simetría de la cuenca es un resultado de este fenómeno, el Río Salado corre por el extremo hundido del gran bloque determinado por las fracturas de primer orden. Este bloque está a su vez dividido en compartimientos menores que han sufrido movimientos relativos entre sí. En el Noroeste de la cuenca, es evidente el basculamiento del bloque de Tostado, que se hunde hacia la depresión del Saladillo. La subcuenca del arroyo San Antonio muestra un comportamiento similar en prácticamente toda su superficie.

- **Cañadas:** Son depresiones lineales poco profundas de la llanura, de traza generalmente recta y bordes definidos, que suelen coleccionar agua y servir como vías de escurrimiento permanente o temporario. Las cañadas pueden o no tener cauce definido. Las cañadas de la cuenca del Salado son lineamientos de origen tectónico que se suceden en forma paralela a intervalos más o menos irregulares. Las cañadas de la cuenca del Salado han sufrido la influencia de procesos hídricos y

eólicos en forma variable. Se las puede agrupar en tres tipos: a)-Cañadas simples. Carecen de modelado interno debido a procesos exógenos. b)-Cañadas con hoyas de deflación. En períodos climáticos áridos las cañadas constituyeron ambientes favorables para la formación de hoyas de deflación. Muchas de ellas aparecen ahora alineadas en los lechos de las cañadas formando largas hileras. c)- Cañadas con cauce. Son las que han sufrido modelado hídrico más avanzado. El cauce suele ser muy pequeño en relación al ancho de la cañada. Funcionan como colectores locales del escurrimiento superficial e hipodérmico. Tienen casi todas régimen temporario o intermitente, conduciendo agua solamente en los periodos lluviosos del año o después de las tormentas importantes. La rugosidad, sumada a la escasa pendiente retarda considerablemente la evacuación del agua. En el clima húmedo actual, las cañadas tienden a evolucionar hacia un paisaje fluvial, integrándose en las redes hidrográficas de las principales subcuencas.

III. Elementos Geomorfológicos de Origen Eólico

- **Hoya de deflación** Los procesos eólicos han influido considerablemente en la morfología de la región en estudio. Debido a las características geológicas regionales y a la limitada capacidad del viento de modificar sustancialmente las grandes formas de la tierra, la influencia eólica se refleja en una gran cantidad de formas menores, las hoyas de deflación. Las hoyas de deflación son depresiones circulares, a veces elípticas, de escasa profundidad, excavadas por el viento durante un clima seco. Prácticamente en toda la cuenca se observan antiguas hoyas de deflación, ahora transformadas en lagunas o lugares de acumulación transitoria de agua. Estas hoyas de deflación se han formado en una época de clima más seco que el actual (árido o más bien semiárido) mediante un mecanismo llamado "efecto de salina". En regiones de clima seco y suelos arcillosos el viento no consigue erodar directamente la superficie debido a la consolidación que sufren las arcillas al secarse. Las lluvias que esporádicamente caen en la región producen acumulación de agua en las partes deprimidas del paisaje. Al evaporar se, los cristales rompen la cohesión de la arcilla, formándose fragmentos de tamaño variable, casi siempre entre 0,1 y 0,5 mm de diámetro, que son arrastrados por el viento fuera de la depresión. Cuando el clima no presenta condiciones extremas de aridez, el mecanismo efectivo de deflación no es el viento propiamente dicho, sino los remolinos que se forman en las horas más calientes del día sobre las superficies libres de vegetación por diferencia de albedo. En estos casos tienden a formarse depresiones circulares, como en la cuenca del Río Salado. En la Cuenca del Arroyo Las Conchas, las hoyas de deflación tienden a ser de mayor tamaño, llegando a los 500 y 600 metros de diámetro. La profundidad de las hoyas es variable, generalmente presentan un borde de 20 a 40 cm de altura y fondo de profundidad variable (en el orden de los dm) originado por el rellenamiento irregular durante la época actual.

IV. Elementos Geomorfológicos de Origen Edáfico

- **Áreas con eflorescencias salinas:** Son zonas caracterizadas por la presencia de costras de sal en la superficie. Las costras se originan en el movimiento vertical del agua en el suelo; al evaporarse la humedad de la superficie, la humedad del suelo asciende arrastrando sales disueltas, que cristalizan al secarse el suelo. En la cuenca hay numerosas áreas con eflorescencias salinas. La importancia hidrológica de estas áreas radica en que probablemente proveen la mayor parte de las sales disueltas en los colectores y en el Río Salado. Si esta hipótesis es correcta las áreas salinas son las responsables de la salinidad de las aguas del sistema en una gran medida

En la Figura 16 se incluye el mapa de elementos geomorfológicos y estructurales cuya fuente es el Informe INA CRL (2018) - Figura N° 3 que a su vez toma como referencia el informe “Caracterización hidrológica de la cuenca del Río Salado”, INCyTH CRL Vol. 2 Año 1986 (mapa N° 8), basado en desarrollos del Dr. Iriondo.

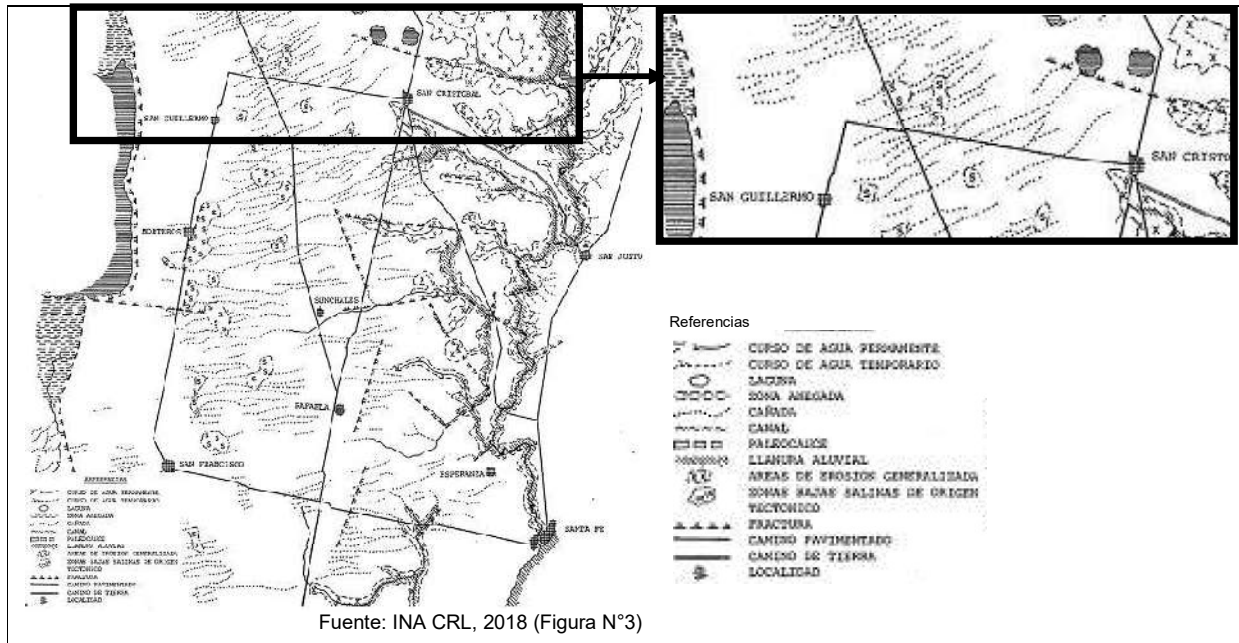


Figura 16: Mapa de elementos geomorfológicos y estructurales

4.5 Síntesis de la geomorfología en la zona en estudio

El área de estudio correspondiente a las cuatro lagunas (El Dentado, La Verde, Palos Negros y La Cabral) se localiza dentro el Sistema Geomórfológico Bloque Huanquero, en un sector caracterizado por bloques hundidos y vinculado a unidades estructurales vecinas como el bloque San Cristóbal al sur y el bloque San Guillermo al oeste (Figura 14).

El área corresponde a la unidad geomorfológica denominada “hoyas de deflación” (Figura 15). Esta unidad de forma irregular definida por Iriondo (2011) abarca las grandes lagunas de Palos Negro, La Cabral, La Verde y del Dentado, cuerpos de agua de origen probablemente tectónico, de forma redondeada y alrededor de 5 km de diámetro. En la región se identifican elementos geomorfológicos de diversos orígenes, destacando los de origen hídrico (depresiones, paleocauces y lagunas) así como de origen estructural y eólico.

El paisaje regional presenta elementos geomorfológicos y estructurales diversos, entre ellos depresiones, paleocauces, lagunas, estructuras tectónicas y formas eólicas. En condiciones naturales, el sistema funcionaría como una cuenca cerrada, aunque la fuerte intervención antrópica —canales artificiales, caminos y ferrocarril— ha modificado sustancialmente la dinámica superficial. El Canal Principal 3 constituye el principal colector transportando escurrimientos desde el oeste hacia la Laguna La Verde que luego descarga hacia la Laguna La Tigra, para finalmente drenar hacia el Arroyo Las Conchas.

5. ANALISIS DE ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL Y ESPEJOS DE AGUA

5.1 Modelo de escurrimiento superficial natural e imágenes de satélite

La dinámica hídrica superficial de una cuenca resulta de las relaciones que se desarrollan en el sistema como la geológica, geomorfológica y el clima. En el caso de las cuencas de llanura (planas) sus divisorias son débiles y la dirección de escurrimiento se modifica de acuerdo a las precipitaciones producidas o a factores antrópicos (rutas, camino, canales) produciendo un efecto de transferencia de flujos entre las distintas subcuencas. Estas divisorias de aguas superficiales difusas e indeterminadas pueden presentarse en largos trechos y sufren permanentes modificaciones por acción del hombre, fundamentalmente a través de las obras de canalizaciones y viales.

En este sentido, para describir el funcionamiento hídrico superficial del área de estudio, se consideraron como antecedentes importantes el "Estudio de la dinámica hídrica superficial en cuencas de llanura" (Gandolfo, 2010) donde se desarrolla una metodología para determinar la dinámica hídrica superficial en las cuencas de llanura localizadas en el Centro de la Provincia de Santa Fe y Centro Este de la Provincia de Córdoba, basada en la identificación de patrones básicos del funcionamiento del escurrimiento.

En este desarrollo, se determinó que la estructura del escurrimiento superficial está compuesto por patrones de funcionamiento denominadas Unidades de Almacenamientos (UA), las cuales están compuestas por Elementos Básicos del funcionamiento del escurrimiento superficial (EB) representadas en la Figura 17.

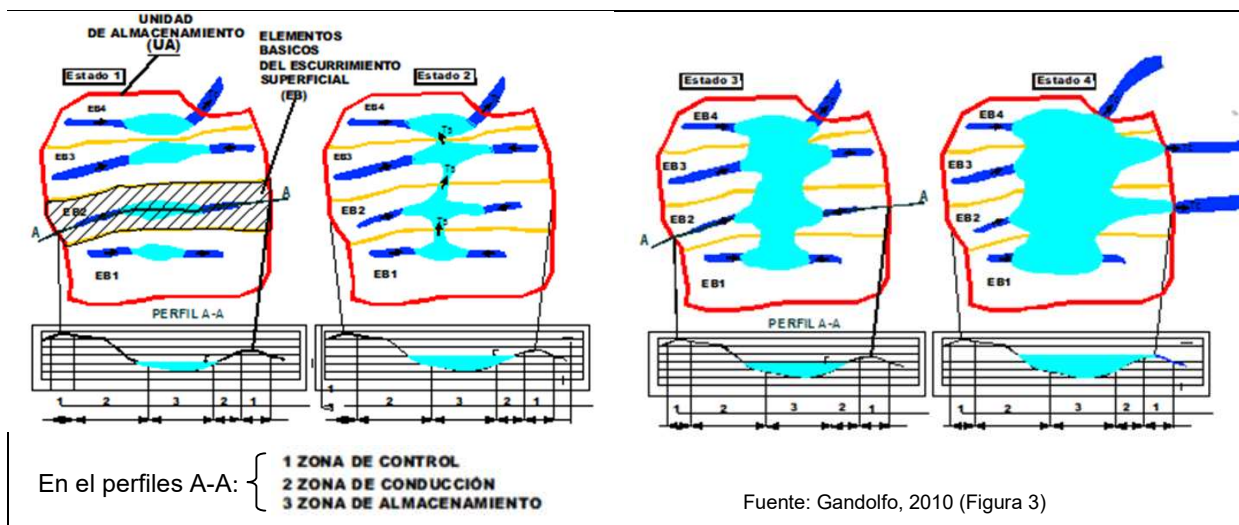


Figura 17: Esquema de funcionamiento de los elementos básicos de escurrimiento superficial (EB) y las unidades de almacenamiento (UA)

El esquema del funcionamiento analizado es que, ante una entrada de precipitación que genere excesos hídricos en el área de aporte que abarca el EB, las zonas de conducción concentran el escurrimiento en la zona de almacenamiento, y según el nivel interno del mismo y la magnitud de los controles de salida, transfieren los excedentes aguas abajo. La transferencia puede realizarse para niveles medios hacia la zona de almacenamiento del EB contiguo (Ts) y para niveles de almacenamiento altos, hacia la zona de conducción del EB aguas abajo (Tc). A medida que crece el almacenamiento en cada EB, los mismos se unifican formando un almacenamiento común, el cual caracteriza a la unidad de almacenamiento (UA) a la que pertenecen.

En la Figura 18 se incluyen sectores de la zona de estudio con un detalle de alguna de las unidades de almacenamiento activa durante el período húmedo de abril 2016, asociando los conceptos del esquema de funcionamiento antes mencionado en el área de aporte a las lagunas analizadas.

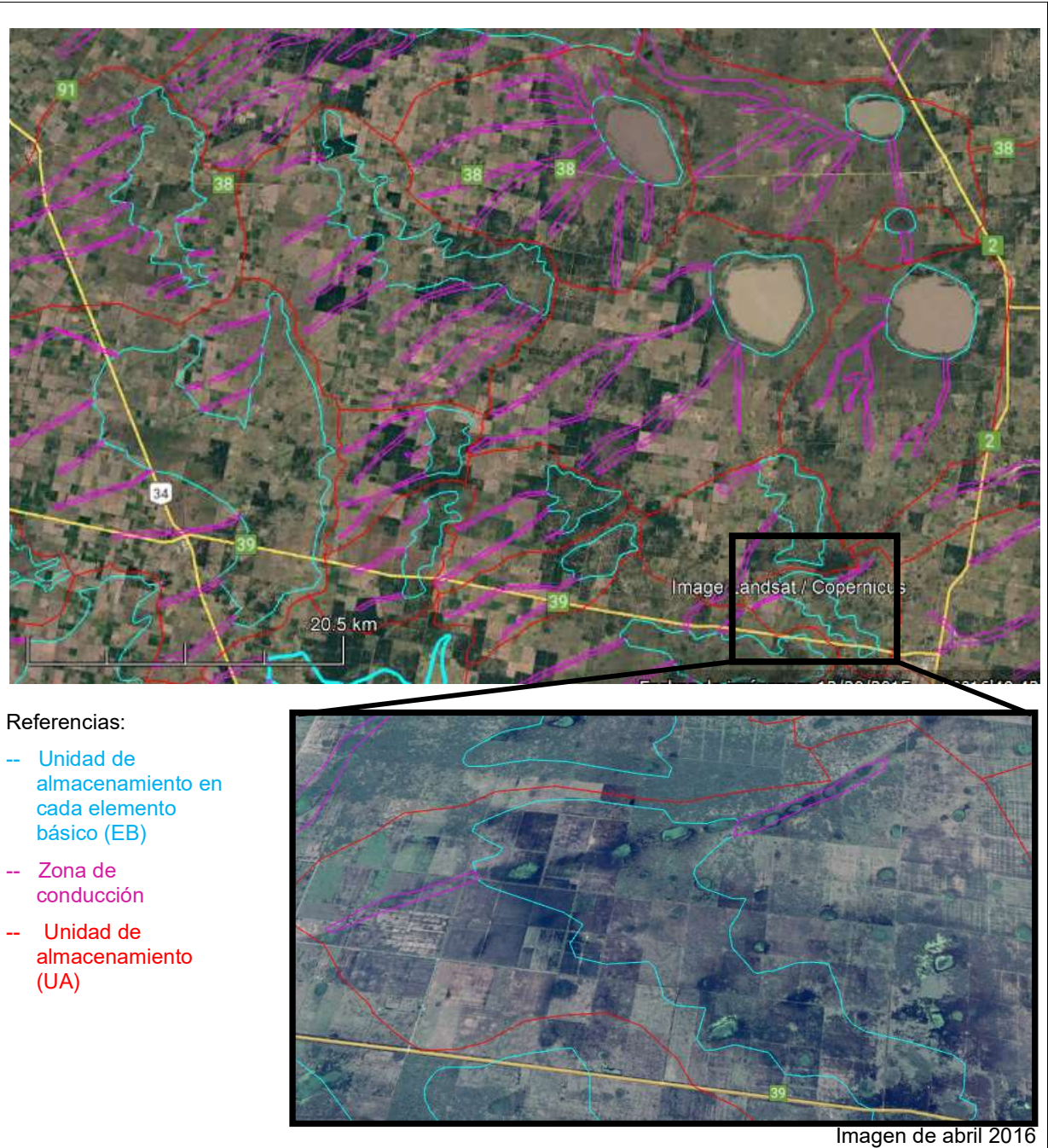


Figura 18: Zona de estudio con esquema de funcionamiento del escurrimiento superficial

5.2 Esguerrimiento superficial del sistema natural intervenido

En la zona de estudio se desarrolla una red de canales superficiales que modifican la dinámica hídrica natural y tienden a conectar las unidades de almacenamiento, produciendo una disminución del tiempo de concentración de la cuenca y una menor permanencia del agua en superficie.

A modo de ejemplo, en la Figura 19 se incluye una imagen con la traza de un canal construido, siguiendo el funcionamiento natural del sistema, mostrando una parte de la intervención antrópica en la zona de estudio.

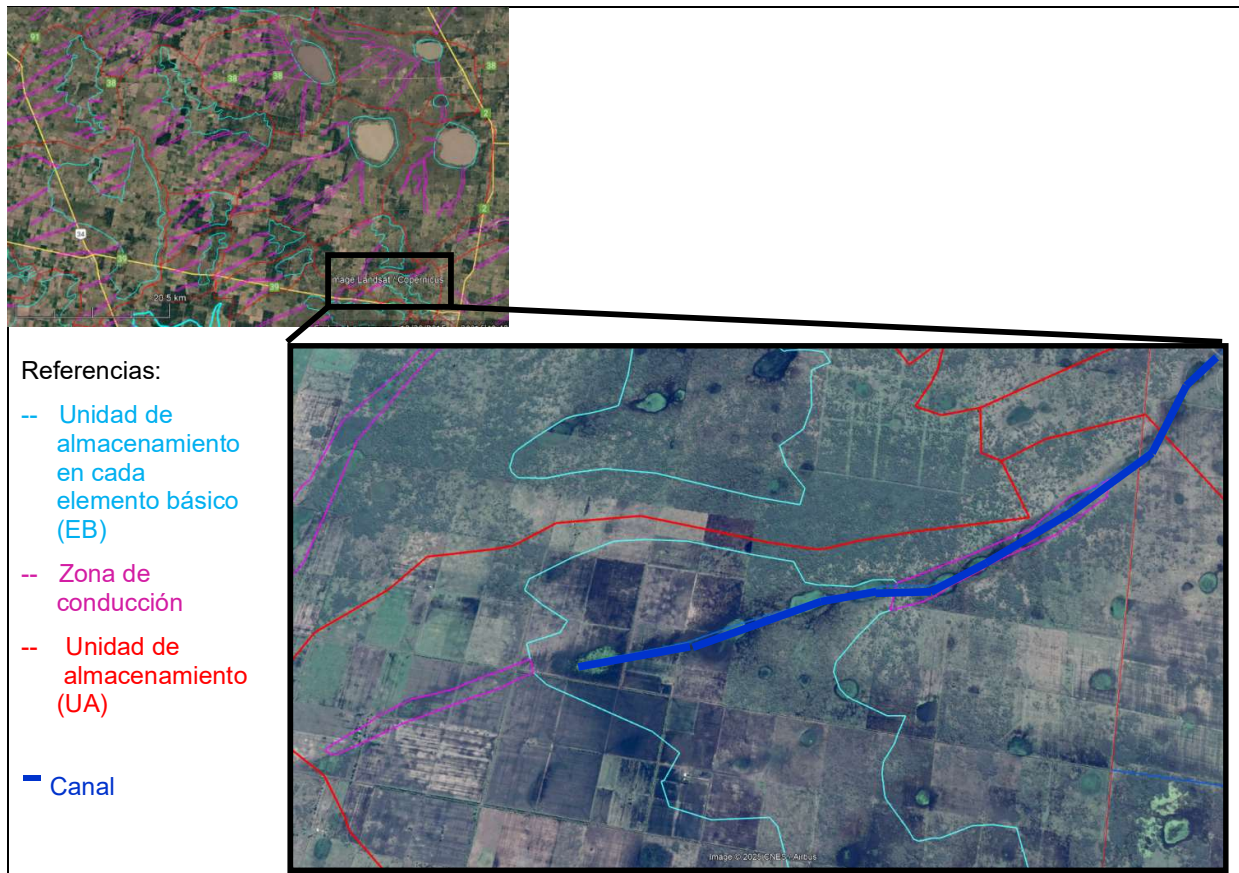


Figura 19: Zona de estudio con esquema de funcionamiento del esguerrimiento superficial y canal

En la Figura 20 se presentan fotos del área de estudio ilustrando el paisaje típico de llanura incluidas intervenciones del hombre al sistema natural.



Figura 20: Ejemplo de un paisaje típico de cuencas de llanura en el área de estudio

5.3 Análisis de los espejos de agua en periodos extremos

Con vistas a analizar la variación temporal de los espejos de agua de las cuatro lagunas, se realizó en primera instancia el análisis de las precipitaciones para identificar los extremos (años más secos y más húmedos), enriqueciendo luego este análisis con información satelital disponible. Se graficó la serie de precipitaciones medias anuales en la estación ubicada en la ciudad de San Cristóbal (Serie 1960-2024), según se presenta en la Figura 21.

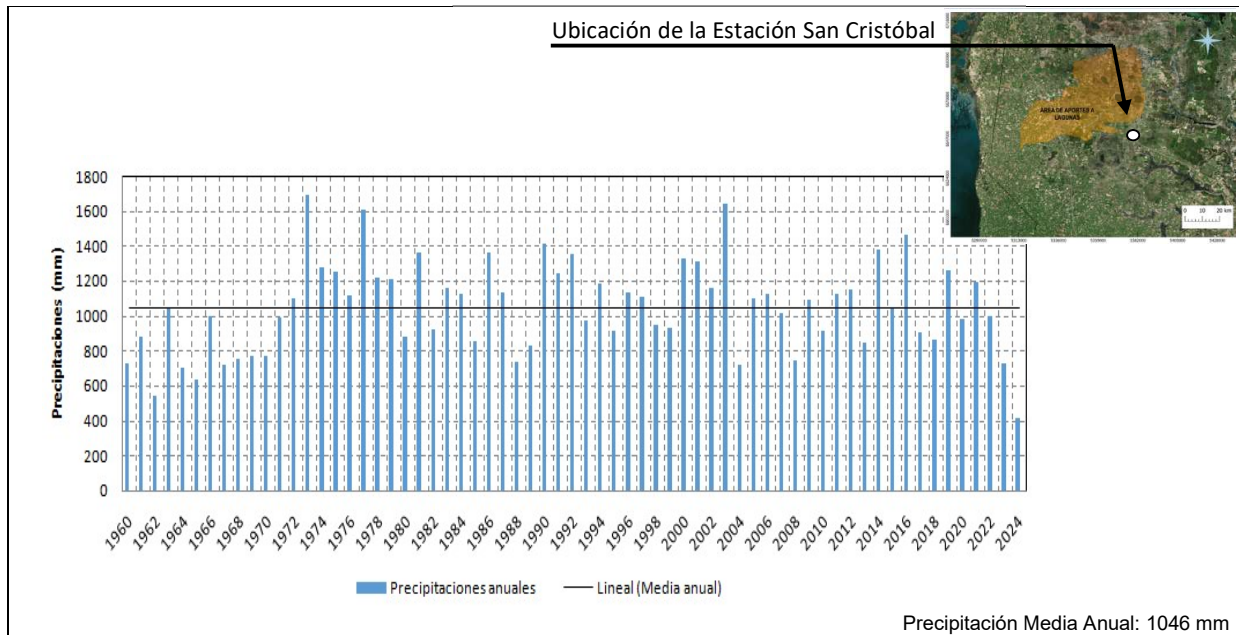


Figura 21: Precipitaciones anuales en San Cristóbal. Datos del INTA.

Se realizó un contraste temporal entre las imágenes de satélite de Google Maps y las mencionadas precipitaciones anuales en el período 2000 – 2020. Se consideraron en particular los años extremos 2008 y 2016 con precipitaciones anuales de 744 mm y 1459 mm respectivamente. El año 2008 (seco) fue seleccionado porque las precipitaciones anuales antecedentes estuvieron próximas a la precipitación media (2005: 1099mm, 2006: 1122mm 2007: 1015mm). El año 2016 (húmedo) fue seleccionado porque además de registrar una precipitación anual extrema, contó con la máxima precipitación mensual registrada de toda la serie (715 mm en San Cristobal en el mes de abril).

En la Figura 22 se visualiza las imágenes satelitales para los mencionados años. Esta información permite realizar comparaciones y estimar la variación de la superficie del espejo de agua cada laguna, cuantificando áreas máximas y mínimas. Este trabajo será enriquecido en el futuro con datos de niveles freáticos, relevamiento de campo, consultas a lugareños y referentes de los Comité de Cuencas.

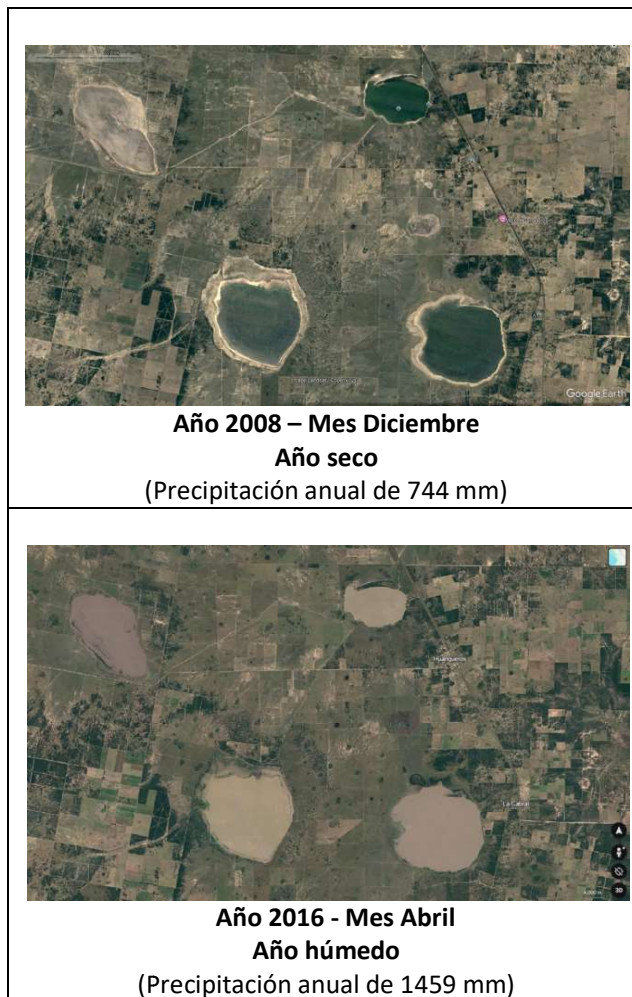


Figura 22: Visualización de imágenes de satélite en años extremos de precipitación anual en San Cristóbal

5.4 Variación temporal de los espejos de agua con el Explorador de Aguas Superficiales

Para profundizar el análisis de la variación de los espejos de agua en cada laguna se consultó el Explorador de Aguas Superficiales (GSWE – en inglés Global Surface Water Explorer). El GSWE es una herramienta web creada por la Comisión Europea que proporciona mapas y estadísticas detalladas sobre la presencia y cambios de superficiales en la tierra a lo largo del tiempo. Utiliza datos de satélite Landsat y la plataforma Google Earth Engine para crear una "máquina del tiempo virtual" que muestra la ubicación y distribución del agua en la superficie terrestre desde el año 1984 hasta el año 2021.

Este análisis de la información satelital histórica nos permite observar las máxima y mínimas áreas ocupadas por agua, así como los estados intermedios, pudiendo además generar gráficos temporales de esta información en sitios puntuales (identificando años con y sin agua). Se pueden observar distintas zonas: agua permanente – *permanent* (en azul), estacional – *seasonal* (en celeste), de permanente a estacional – *permanent to seasonal* (en amarillo), efímero estacional – *ephemeral seasonal* (en gris), entre otros.

En la Figura 23 se ilustra una vista del mapa con transiciones hídricas en las lagunas, que documenta los cambios en la presencia de agua entre el primer y último año de observación publicado (1984-2021). En particular se observan en Laguna El Dentado la condición de “permanente a estacional” (en inglés: *permanente to seasonal*). Esto significa que estacionalmente, esta laguna pierde el espejo de agua superficial y queda sin agua en períodos secos.

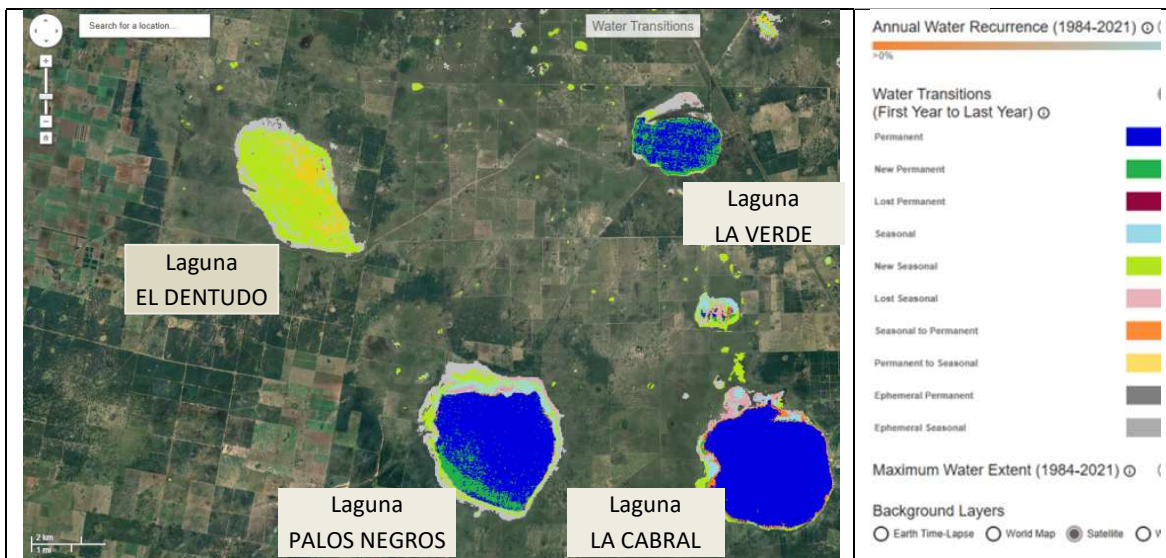


Figura 23: Mapa con transiciones hídricas en las Lagunas El Dentado, La Verde, Palos Negros y La Cabral

En las Figuras 24, 25, 26 y 27 se incluye para cada laguna, los gráficos temporales sobre la presencia de agua en un sitio puntual en cada una de ellas.

- Laguna El Dentado:** En la Figura 24, el análisis temporal con GSWE permite observar en la mayor parte de la laguna, una variación del espejo de agua de permanente a estacional (tonos amarillos). Observando la serie temporal de GSWE en un punto en el sector sur, se detecta que los años 1984, 2008, 2009 y 2013 no presentan señales de agua. Comparando esta información con la imagen de satélite de Google Earth (Figura) se observa que en el año 2008 la superficie de agua se redujo drásticamente quedando la laguna prácticamente seca (año seco). En cambio, en el año 2016 (año húmedo), se observa el área máxima con presencia de agua (1540 has aproximadamente).

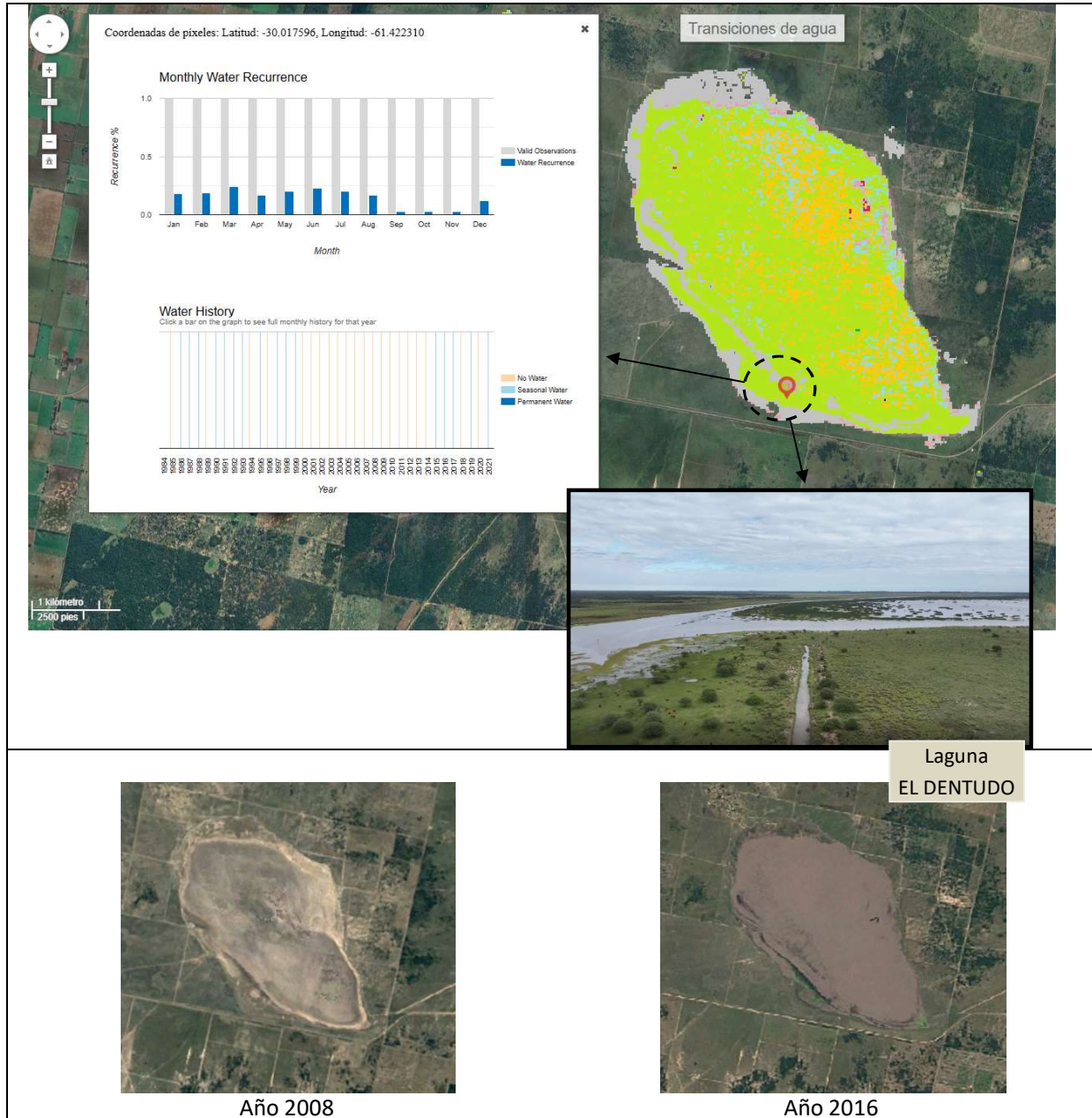


Figura 24: Laguna El Dentado

- Laguna La Verde:** En la Figura 25, el análisis temporal con GSWE permite observar presencia permanente de agua en la zona central de la laguna, variando en la zona de la perilaguna (bordes). Observando la serie temporal de GSWE en un punto - en el sector central- siempre presenta señales de agua. Comparando esta información con la imagen de satélite de Google Earth (Figura) se observa que en el año 2008 la superficie de agua se redujo - el área mínima observada es de 685 has aprox. En cambio, en el año 2016 (año húmedo), se observa el área máxima con presencia de agua de 700 has aproximadamente.

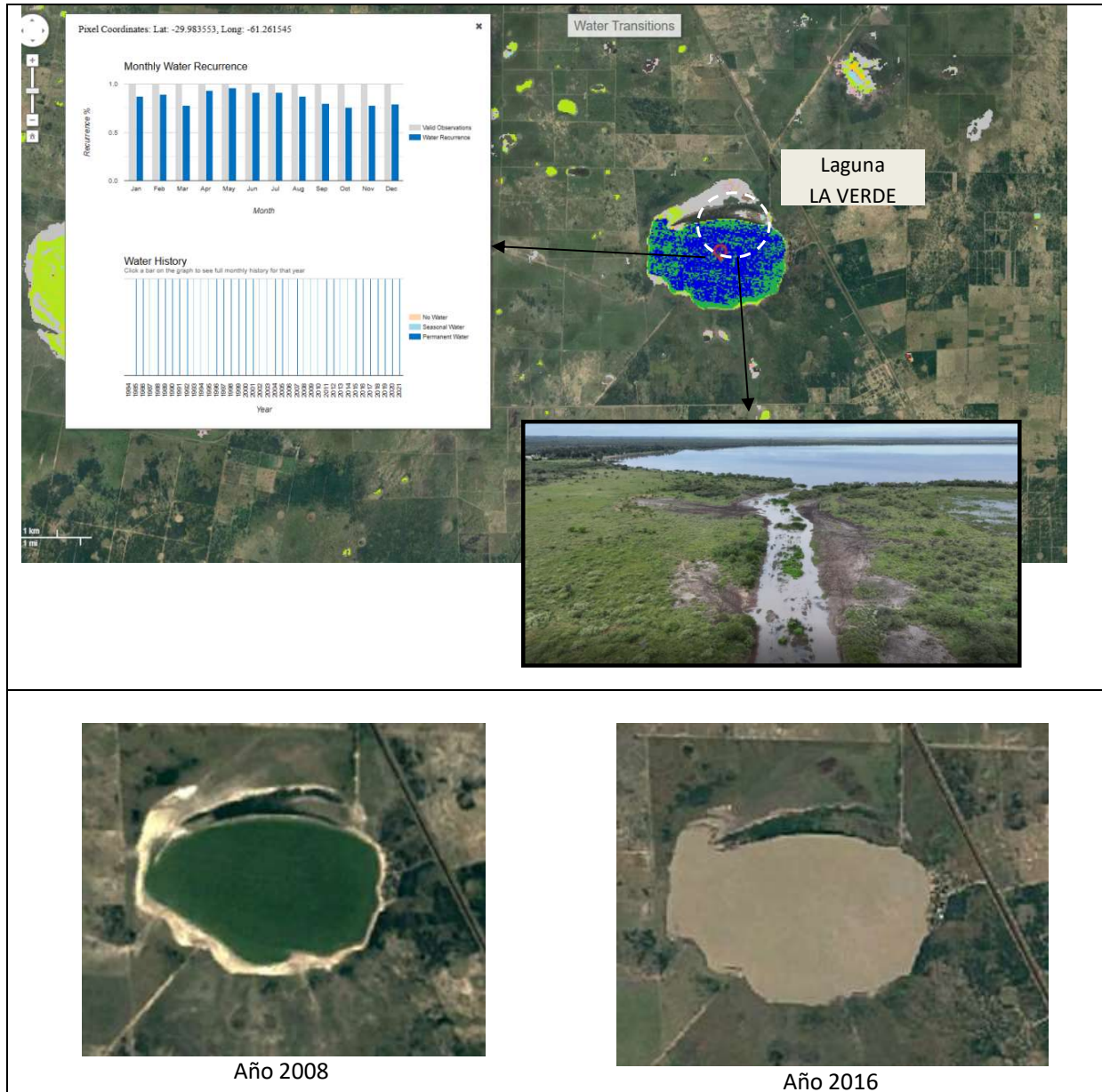


Figura 25: Laguna La Verde

- Laguna Palo Negros:** En la Figura 26, el análisis temporal con GSWE permite observar presencia permanente de agua en la zona central de la laguna, variando en la zona de la perlaguna (bordes). Observando la serie temporal de GSWE en un punto - en el sector central- siempre presenta señales de agua. Comparando esta información con la imagen de satélite de Google Earth (Figura) se observa que en el año 2008 la superficie de agua se redujo - el área mínima observada es de 1880 has aprox. En cambio, en el año 2016 (año húmedo), se observa el área máxima con presencia de agua de 2600 has aproximadamente.

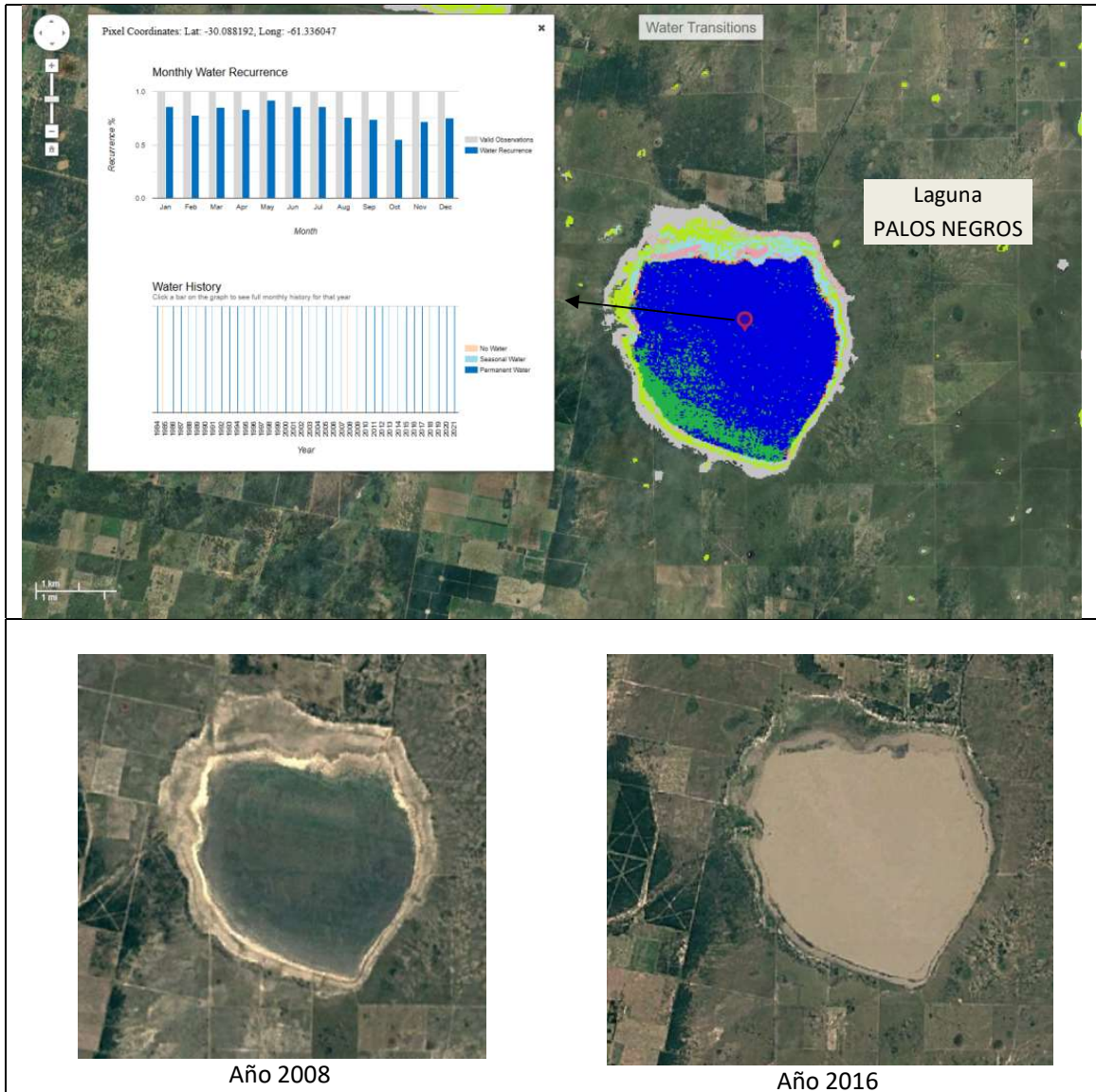


Figura 26: Laguna Palos Negros

- Laguna La Cabral:** En la Figura 27, el análisis temporal con GSWE permite observar presencia permanente de agua en la zona central de la laguna, variando en la zona de la perilaguna (bordes). Observando la serie temporal de GSWE en un punto - en el sector central- siempre presenta señales de agua. Comparando esta información con la imagen de satélite de Google Earth (Figura) se observa que en el año 2008 la superficie de agua se redujo - el área mínima observada es de 2000 has aprox. En cambio, en el año 2016 (año húmedo), se observa el área máxima con presencia de agua de 2400 has aprox. También se observa presencia de agua en épocas húmedas en los bajos existentes al norte de dicha laguna.

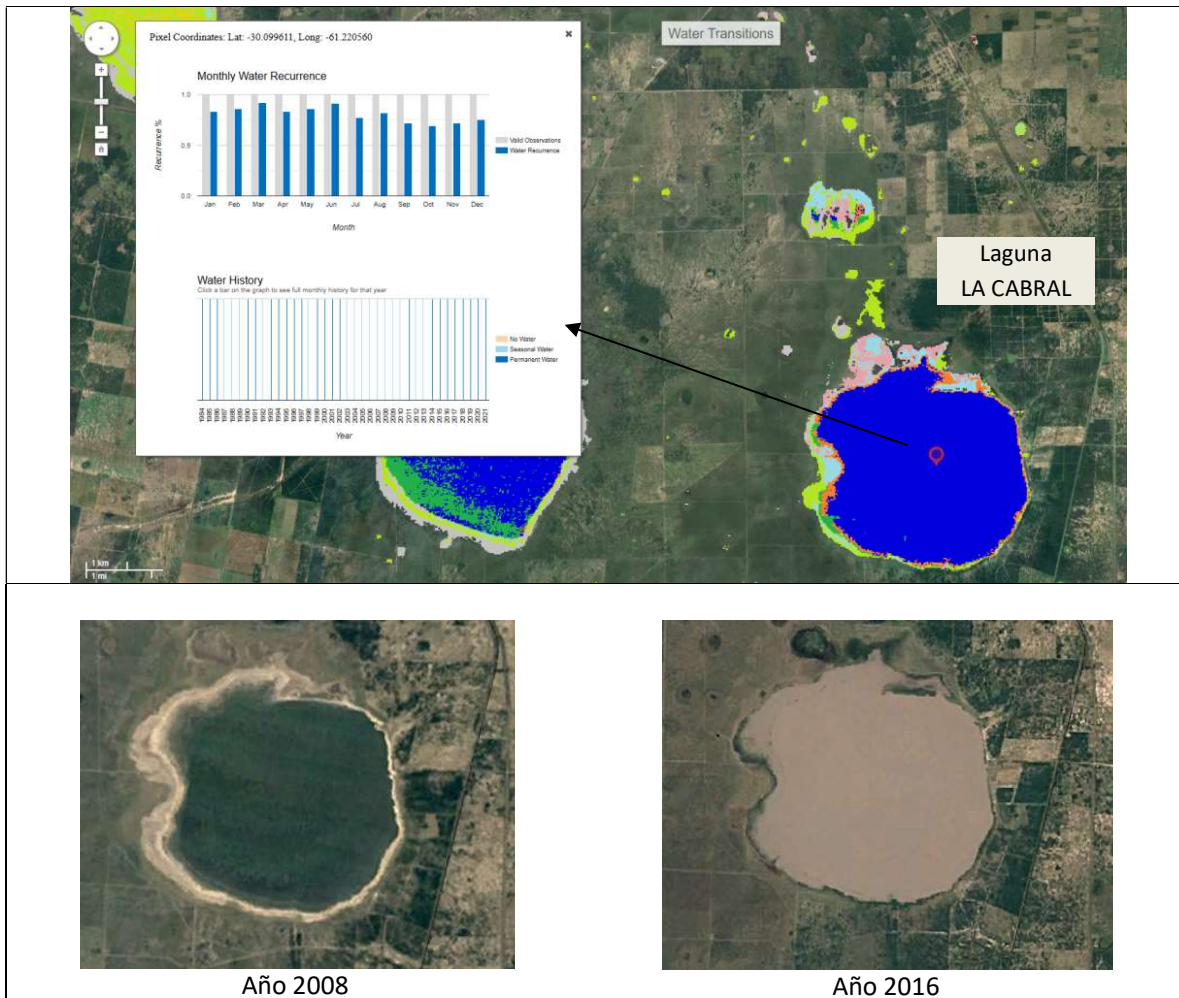


Figura 27: Laguna La Cabral

Resumen análisis variación espejos de agua

Denominación Laguna	Superficie con agua en el año 2008 (has)	Superficie con agua en el año 2016 (has)	Variación de superficie con agua en %
El Dentado	0	1540	100.0
La Cabral	685	700	2.2
Palos Negros	1880	2600	38.0
La Verde	2000	2400	20.0

El análisis temporal de los espejos de agua con GSWE e imágenes satelitales muestra variaciones interanuales ligadas a la disponibilidad hídrica regional, siendo más evidente los cambios en la Laguna El Dentado. Las Lagunas La Cabral, Palos Negros y La Verde presentan zonas centrales con presencia permanente de agua y bordes con comportamiento estacional. El año 2008 se identificó como un período seco generalizado, con reducciones en la superficie de agua en todas las lagunas, mientras que el año 2016 representó un año húmedo, con máximas expansiones superficiales del agua. Las áreas máximas estimadas fueron: El Dentado (~1540ha), La Verde (~2400ha), Palos Negros (~2600ha) y La Cabral (~700ha). En esta última también se identificó la activación de bajos periféricos en años húmedos.

6. SINTESIS Y CONSIDERACIONES FINALES

Se realizó un análisis que integra la geomorfología regional con el esquema funcionamiento interno de las unidades de almacenamiento y datos obtenidos desde sensores remotos (GSWE / imágenes satelitales) para entender la dinámica hídrica y construir una base sólida con vista a realizar una modelación hidrológica orientada al manejo de excedentes superficiales en el sistema lagunar analizado. El presente trabajo no incluye aún la relación de los espejos de agua con los niveles freáticos.

Síntesis:

- 1- La geomorfología regional condiciona la hidrología.
Las lagunas se localizan en depresiones tectónicas dentro de una unidad dominada hoyas de deflación, donde se favorece la acumulación de agua y el comportamiento de cuenca cerrada bajo condiciones naturales.
- 2- La integración del análisis geomorfológico regional (macro) y el esquema de funcionamiento interno de las unidades de almacenamiento (micro – Gandolfo, 2010) permite comprender cómo se organiza y se transfiere el agua dentro del área de estudio. Ante eventos de precipitación que generen excesos hídricos en el área de aporte de un elemento básico de escurrimiento superficial (EB), las zonas de conducción concentran y dirigen el escurrimiento hacia las zonas de almacenamiento.
- 3- La intervención antrópica ha modificado el funcionamiento hidrológico del sistema.
La construcción del Canal Principal 3, la presencia de canales secundarios/terciarios, caminos y vías ferroviarias han alterado los flujos de escurrimiento, generando conexiones artificiales entre las lagunas y modificando su dinámica hídrica natural.
- 4- El sistema lacustre presenta sensibilidad a las variaciones climática.
Las variaciones interanuales detectadas utilizando datos satelitales de Google Maps evidencian fluctuaciones de los espejos de agua entre años secos (como 2008) y húmedos (como 2016),

mostrando que las lagunas responden rápidamente a los pulsos hídricos regionales. Se evidencia mayor fluctuación en la Laguna El Dentado.

Se profundiza el análisis consultando el Explorador de Aguas Superficiales (GSWE) que utiliza datos de satélite Landsat y la plataforma Google Earth Engine para generar mapas y estadísticas detalladas sobre la presencia y cambios de superficiales en la tierra a lo largo del tiempo (entre los años 1984 y 2021). Se verifica que las lagunas combinan sectores permanentes y sectores estacionales. En tres cuerpos de agua (Palos Negros, La Cabral y La Verde) se identifican núcleos de presencia permanente y zonas periféricas con variabilidad estacional, reflejando la interacción entre la morfología local y la disponibilidad hídrica anual. En años húmedos se observó en la laguna La Cabral que también se activan bajos periféricos, ampliando temporalmente la superficie inundada y evidenciando conexiones superficiales adicionales.

El presente trabajo brinda un análisis de base sobre la dinámica hídrica regional y la variación temporal de los espejos de agua seleccionados. Los próximos pasos deberán incluir la relación con los acuíferos, que seguramente actúan en algún momento como influentes o afluentes de las lagunas analizadas. También se deberá enriquecer el estudio con relevamientos de campo y consulta a los pobladores locales, lo que permitirá validar y complementar la interpretación geomorfológica e hidrológica realizada.

BIBLIOGRAFIA

Brunetto E., Iriondo M. (2007). Neotectónica de la Pampa norte (Argentina). *Revista de la Sociedad Geológica de España* 20(1-2): 17-29

Brunetto E., Kröhling D., Franciosconi C. (2014). La geomorfología de una región representativa de Pampa norte y sur de la Mesopotamia en el contexto de los procesos endógenos. *Aportes para el mapeo de áreas de llanura. XIX Congreso Geológico Argentino*, 2 p., Córdoba.

Brunetto E, Kröhling D., Zalazar M., Francisconi M. (2017). Analysis of the interaction between neotectonic and surface processes in a low-land intracratonic setting of South America. *Quat Int* 438:141–159. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2016.06.018>

Brunetto E., Kröhling D., Cello P., Thalmeier M., Zalazar M. (2025). Tectonic Shallow Lakes of the Northern Pampa Plain. In book: *Pampean Lakes* Chapter: 7 Publisher: Springer Nature Switzerland DOI: 10.1007/978-3-031-86028-7_7

Casanova M. (2024). Estudio de las deformaciones neógenas y cuaternarias en el valle del Paraná Medio : aproximación cuantitativa y cualitativa. Tesis Doctoral, Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/download/tesis/tesis_n7493_Casanova.pdf

CONSULSER S.A. (1994). Estudio Integral de la Cuenca del Arroyo Las Conchas. Provincia de Santa Fe. Diagnóstico.

Gandolfo N. (2010). Estudio de la dinámica hídrica superficial en cuencas de llanura. I Congreso Internacional de Hidrología de Llanura. Azul. Buenos Aires. Argentina.

Kröhling D., Iriondo M. (1999). Upper Quaternary Paleoclimates of the Mar Chiquita Area, North Pampa, Argentina. In: Partridge, T., Kershaw, A., Iriondo, M. (Eds.), *Quaternary Palaeoclimates of Southern Hemisphere. Quaternary International*, 57-58: 149–163. Pergamon Press.

Kröhling D, Iriondo M. (2003). El loess de la Pampa Norte en el Bloque de San Guillermo. *Revista de la Asociación Argentina de Sedimentología (AAS)* 10(2):57–70. La Plata

Kröhling D., Brunetto E. (2013). Marco geológico y geomorfología de la cuenca del Arroyo Cululú, provincia de Santa Fe. Bases Conceptuales y Metodológicas para el Ordenamiento Territorial 178 E. Brunetto et al. en el Medio Rural – Región Centro, Argentina. In: Giayetto O, Plevich J, Lallana V, Pilatti M (eds) Parte 3: Territorio Santafesino. 1^{ra} Ed., Libroclíc Ediciones, Río Cuarto, pp 483–512

Kröhling D., Carignano C. (2014). La Estratigrafía de los depósitos sedimentarios cuaternarios. En: Martino R, Guerreschi A (eds) Relatorio del XIX Congreso Geológico Argentino Geología y Rec. Naturales de la Prov. de Córdoba; Asociación Geológica Argentina (AGA). 1a Ed. Córdoba, pp 673–724

Mon R., Gutiérrez A. (2005). The neotectonic origin of the natural dam of Mar Chiquita, Córdoba, Argentina. Abstract En: Holocene environmental catastrophes in South America: from the lowlands to the Andes; ICSU Dark Nature-IGP 490-Third Joint Meeting, Mar Chiquita, p.33, Córdoba.

INA CRL (2012). Plan Director de los Recursos Hídricos de la Provincia de Santa Fe. Región III. . ETAPA I. 4 tomos. Publicación Inédita.

(2018). Plan Director de los Recursos Hídricos de la Provincia de Santa Fe. Región III Etapa II. Cuenca Inferior del Río Salado y menores. Convenio Ministerio de Infraestructura y Transporte de la Provincia de Santa Fe – Instituto Nacional del Agua. Informe inédito.

INCyTH CRL (1986). Caracterización hidrológica del Río Salado. Vol 1 y Vol 2.

Iriondo M. (1987). Geomorfología y Cuaternario de la Provincia de Santa Fe. https://www.researchgate.net/publication/320404165_Geomorfologia_y_Cuaternario_de_la_provincia_de_Santa_Fe

(1990). A late Holocene dry period in the Argentine plains. En: Rabassa, J (Ed.), Quaternary of South America and Antarctic Peninsula, A. A. Balkema Publication 7: 197-218, Rotterdam

(2010). Geología del Cuaternario en la Argentina. Museo Provincial de Ciencias Naturales Florentino Ameghino, 437 p., Santa Fe ISBN: 978-987-24637-1-7. https://www.researchgate.net/publication/293172825_Geologia_del_Cuaternario_en_la_Argentina

(2011). Aguas subterráneas y superficiales de la provincia de Santa Fe, ISBN N° 978-987-24637-2-4, MARZO 2011 Museo Provincial de Ciencias Naturales Florentino Ameghino

Iriondo M., Krohling D. (2007). Geomorfología y Sedimentología de la cuenca superior del Río Salado (sur de Santa Fe y noroeste de Buenos Aires, Argentina). Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis | Vol. 14 (1) 2007, 1-23 (C) Asociación Argentina de Sedimentología - ISSN 1669 7316. <https://www.redalyc.org/pdf/3817/381740359001.pdf>

Pasotti P., Castellanos A. (1963). El relieve de la llanura santafesino-cordobesa comprendida entre los paralelos 32°y 32°30'S desde 62°45'W hasta el Río Paraná, vol. 47. Publicaciones del Instituto de Fisiografía y Geología de la Universidad Nacional de Rosario, pp. 1–79.

Pasotti P. (1975). Nuevo aporte a la Neotectónica de la llanura Chaco-Pampeana. In: Segundo Congreso Ibero-Americano de Geología Económica 4, Buenos Aires, pp. 301–314.

Pedersen O., Brunetto E., Krohling D., Thalmeier M., Zalazar M. (2022). Palaeohydrology from the Northern Salado River, a lower Parana river tributary (Argentina); Pergamon-Elsevier Science Ltd; Journal of South American Earth Sciences; 120; 9-2022; 1-44 <http://hdl.handle.net/11336/207700>

Ramonell C., Iriondo M., Krömer R. (1992^a). Guía de Campo N° 1: “Centro este de Argentina”. 5° Reunión de Campo de CADINQUA (Comité Argentino de Investigación del Cuaternario). 30 pp. San Luis.

Ramonell, C., Iriondo M., Latrubesse E., Krömer R. (1992^b). Los climas del cuaternario superior en el centro oeste de Argentina: Registro geológico de ocho estadíos climáticos. Actas 4° Reunión del PICG 281 “Climas Cuaternarios de América del Sur”. 146- 149. Manaus. Brasil.

UNL FICH - INA CRL - INTA EEA Rafaela (2007). Influencia de los cambios físicos y climáticos en el régimen de escurrimiento del Río Salado Tramo inferior- Informe Final del Convenio Ministerio de Asuntos Hídricos de la Provincia de Santa Fe - Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas de la Universidad Nacional del Litoral. Informe inédito.