

Caracterización hidrogeomorfológica de los humedales de la cuenca Laguna de los Pozuelos (Jujuy) mediante teledetección

Verónica M. Kwaterna^{a,b} y Diego A. Winocur^{b,c}

^a Instituto de Investigación e Ingeniería Ambiental, EHyS, Universidad Nacional de San Martín, ARGENTINA

^b Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Ciencias Geológicas, ARGENTINA

^c Instituto de Estudios Andinos "Don Pablo Groeber", (UBA-CONICET) ARGENTINA

e-mail: ykwaterna@unsam.edu.ar

INTRODUCCIÓN

Los humedales de la Puna constituyen ecosistemas clave para el sustento de la **biodiversidad y de las comunidades locales**, pero presentan una alta sensibilidad a la variabilidad climática y a las presiones antrópicas. En este trabajo se exploran metodologías de teledetección óptica orientadas a caracterizar los humedales de la cuenca de la Laguna de los Pozuelos (Jujuy), declarada Reserva de Biosfera UNESCO (1990) y Sitio Ramsar (1992), cuya laguna principal forma parte del área protegida **Monumento Natural Laguna de los Pozuelos** gestionado por APN desde 1980. El análisis se enmarca en el enfoque hidrogeomorfológico propuesto por Brinson (1993), que reconoce a la hidrodinámica, la geomorfología y las fuentes de agua como ejes centrales para la comprensión de la **estructura y funcionamiento de los ecosistemas de humedal**. El **objetivo** de la investigación es evaluar los mecanismos de recarga y descarga de la cuenca hidrológica de la Laguna Pozuelos y su relación con la dinámica hidrológica de los humedales presentes en la cuenca.

METODOLOGÍA

Se realizaron dos análisis principales:

- Un mapeo geomorfológico a partir de observaciones de campo, fotointerpretación e interpretaciones geomorfológicas previas (Igarzabal, 1978; Camacho, 2017), y un análisis de la presencia de agua libre en cada geoforma a lo largo del tiempo con la adquisición de imágenes satelitales MODIS con la aplicación del índice óptico de agua MNDWI (Xu, 2006) en la Plataforma Google Earth Engine. De esta forma se obtuvo la variación del índice MNDWI de cada geoforma, con el fin de estimar las variaciones anuales de humedad en cada tipo de humedal.
- Una estimación de la precipitación (recarga) y evapotranspiración (descarga) acumulada mensual para el área total de la cuenca a partir de los registros medidos en la estación meteorológica DAVIS VANTAGE PRO2 (Latitud: 22° 28' 24.00" S, Longitud: 65° 59' 35.00" W, Altitud: 3.675 msnm) administrada por la Administración de Parques Nacionales. El balance hídrico producto de la diferencia entre ingresos y egresos de agua en la cuenca fueron contrastados con las variaciones del perímetro de la Laguna de los Pozuelos, la cual fue calculada a partir de la aplicación del índice óptico de agua MNDWI mediante la cual se extrajo una máscara del agua de la laguna para cada fecha de pasada del satélite LANDSAT 8 y 9.

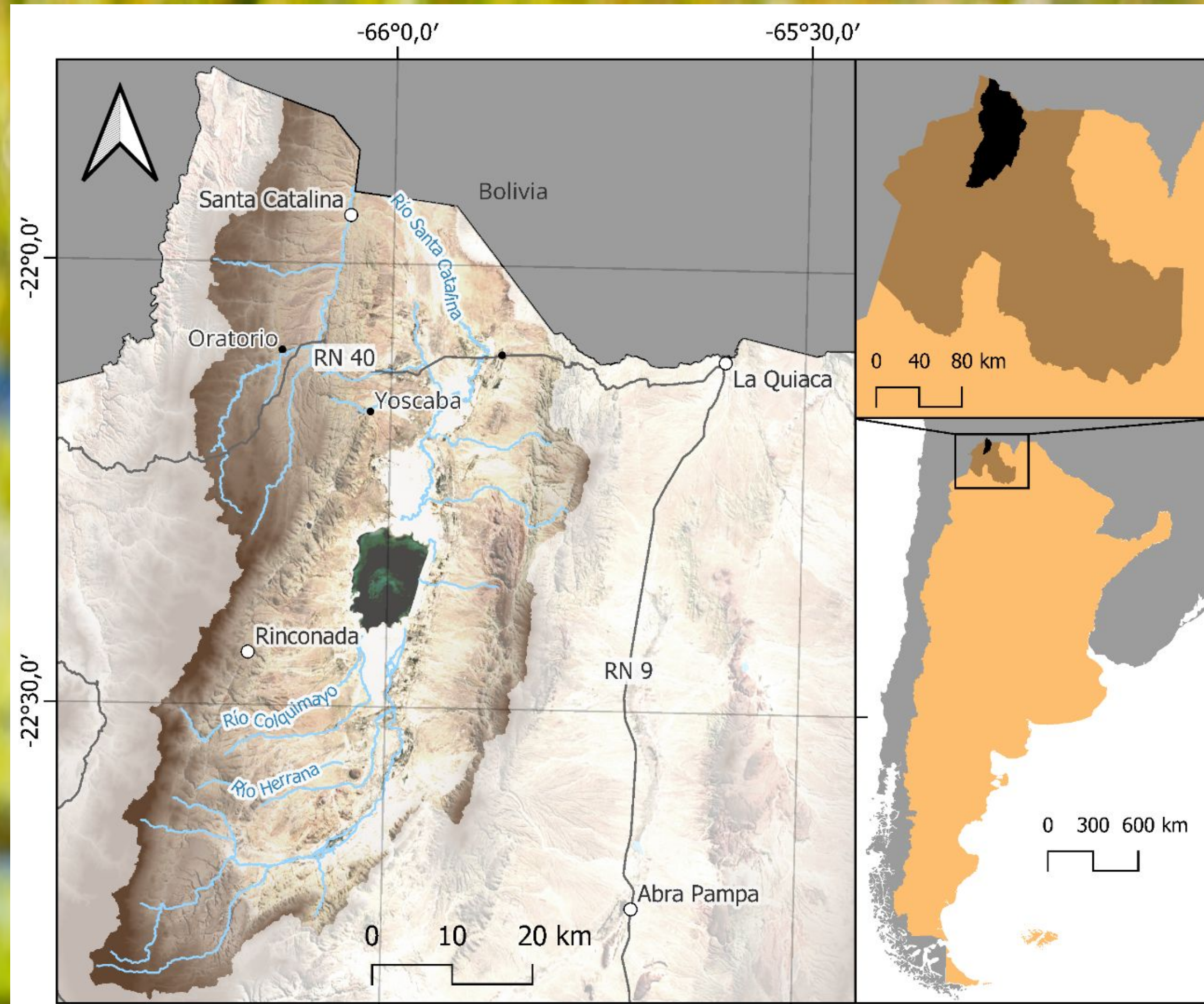
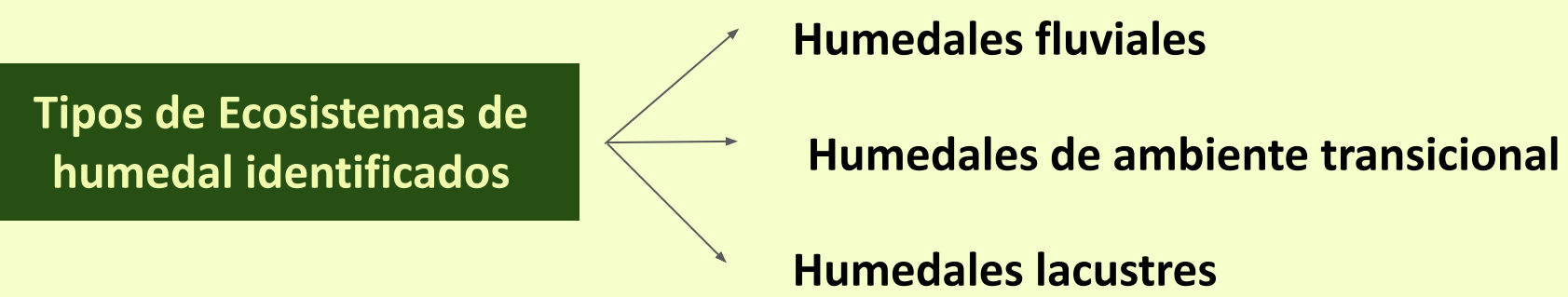


Figura 1: Ubicación del área de estudio de la cuenca Laguna de los Pozuelos en Jujuy, Argentina.

RESULTADOS 1 Análisis hidrodinámico por geoformas

En la zona de estudio se emplazan **tres tipos principales de humedales**: Dentro de los humedales fluviales se identificaron vegas asociadas a abanicos aluviales activos, inactivos y reactivados, planicies aluviales, terrazas fluviales, cárcavas, canales efímeros; los humedales de ambiente transicional fluvio-lacustre se relacionan a los deltas y abanicos-deltaicos; mientras que los humedales lacustres se encuentran sobre la playa-lake y terrazas lacustres. Mediante el **análisis de teledetección óptica** realizada con MODIS, se pudo diferenciar que estos tres tipos de humedales presentan una hidrodinámica distinta a lo largo del año, aunque los subtipos dentro de cada grupo presenta comportamientos semejantes.

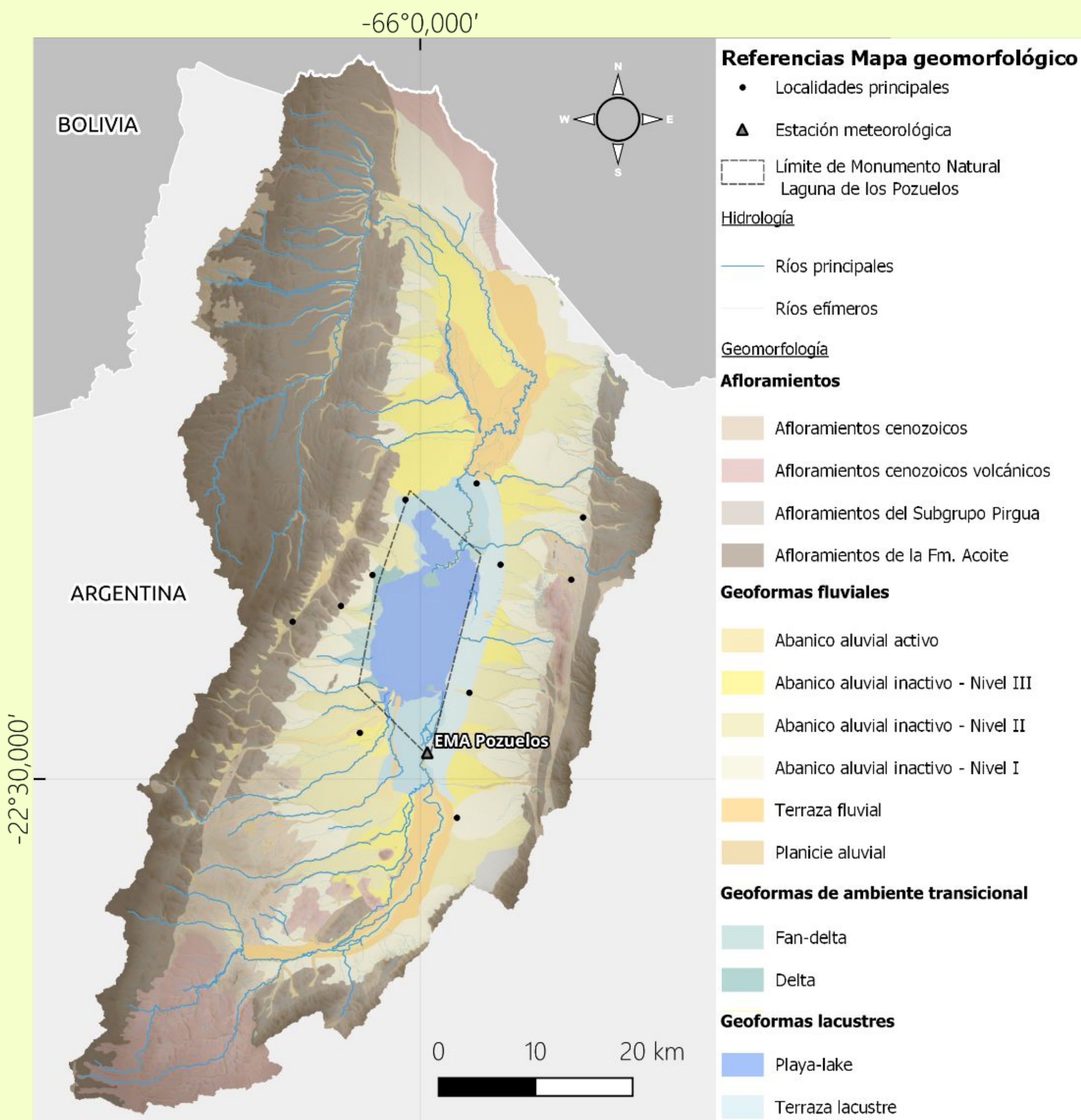
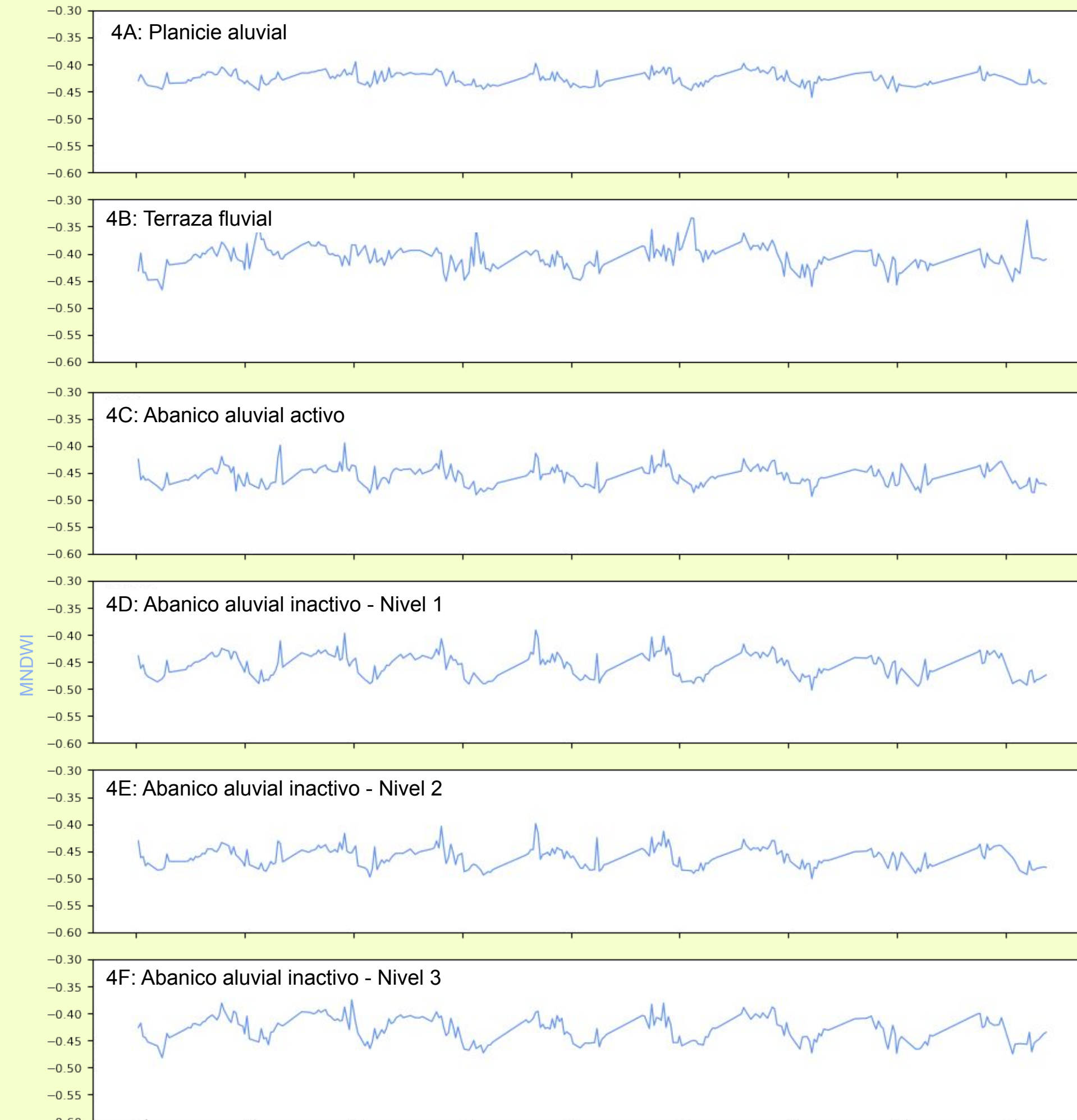


Figura 2: Mapa geomorfológico de la cuenca Laguna de los Pozuelos. Modificado de Igarzabal (1978) y Camacho (2007).

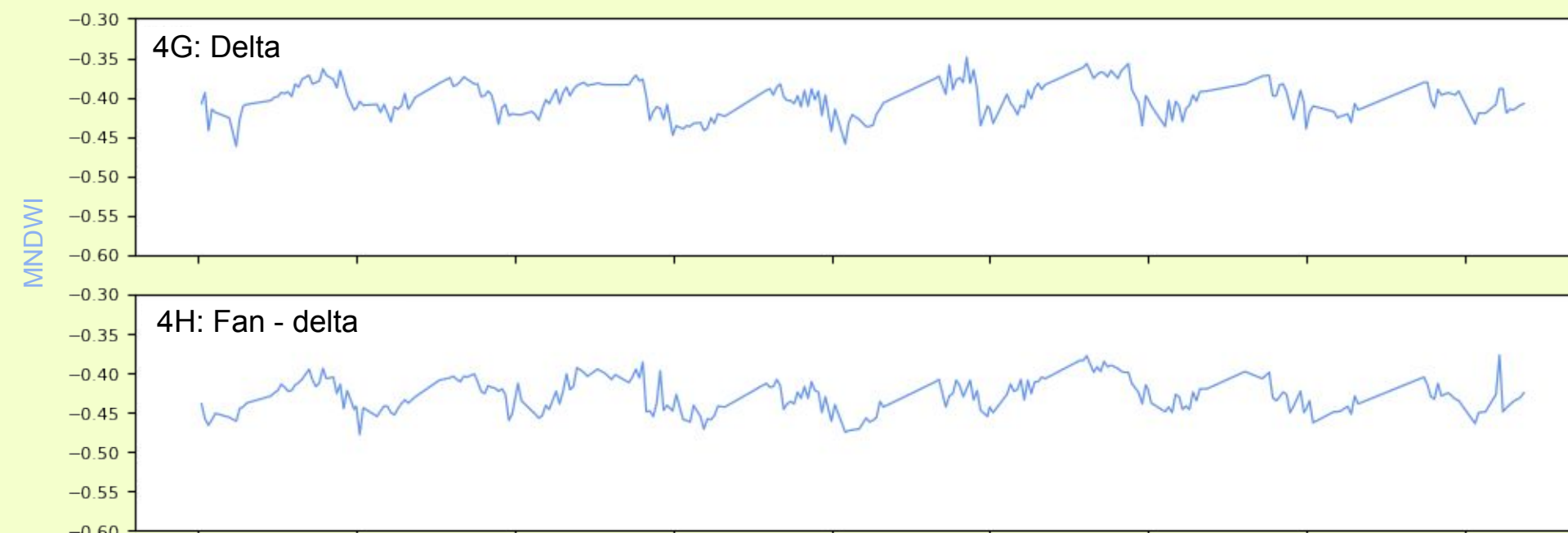


Figura 3: fotografías de distintas geoformas donde se emplazan los humedales de la cuenca Laguna de los Pozuelos. (A) Ojos de agua (manantial); (B) Cárcavas fluviales (C) Canal fluvial inactivo, (E) Delta, (F) P-L: Playa-lake.

Humedales fluviales:



Humedales de ambiente transicional



Humedales lacustres

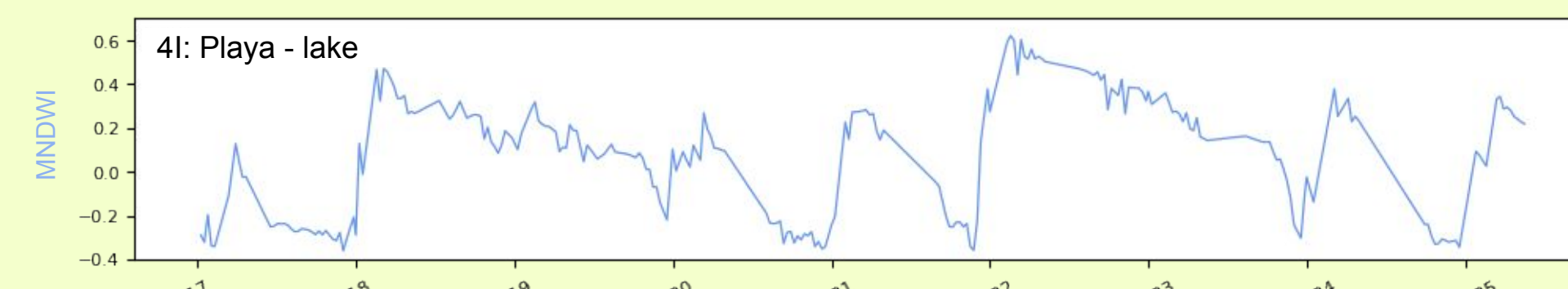


Figura 4: Variación del índice MNDWI a lo largo del tiempo en distintas geoformas: (A) Planicie aluvial; (B) Terraza fluvial; (C) Abanico aluvial inactivo - Nivel 1 ; (E) Abanico aluvial inactivo - Nivel 2 ; (F) Abanico aluvial inactivo - Nivel 3; (G) Delta; (H) Fan -delta; (I) Playa - lake .

2 Balance Hídrico

A partir de los registros analizados se observa que la salida de agua mediante **evapotranspiración potencial** es más elevada que el volumen de agua ingresado por **precipitaciones**, lo que resulta en una tendencia general de la cuenca al **déficit hídrico**. La curva calculada para la diferencia mensual de agua entre evapotranspiración potencial y precipitaciones presenta un comportamiento semejante a la variación del tamaño de la laguna (Figura 6). Dentro del período se reconocen dos temporadas con mayor disponibilidad hídrica dentro : 2018–2021 y 2022–2024, en los cuales la Laguna de los Pozuelos no llegó a desecarse completamente como en otras temporadas.

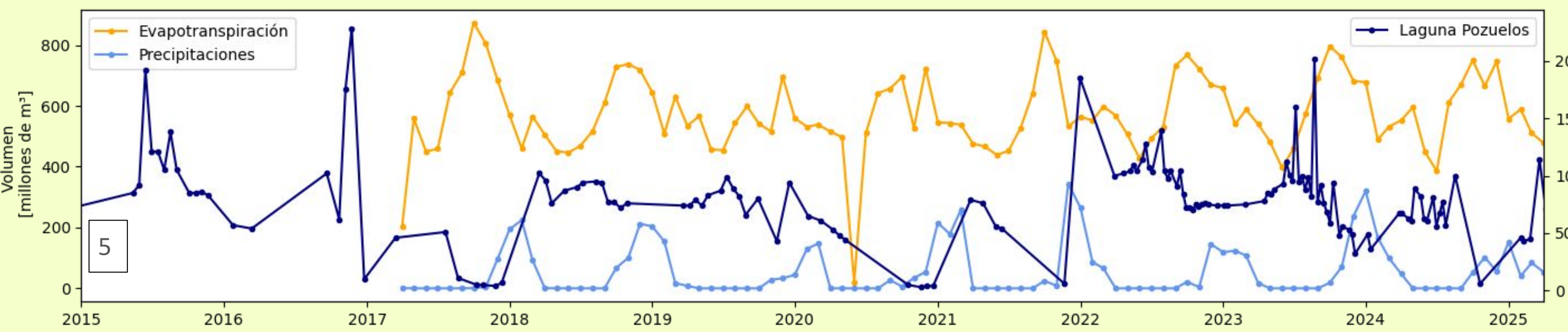


Figura 5: Gráfico del volumen de precipitaciones acumuladas mensuales y cálculo de evapotranspiración acumulada mensual para la cuenca completa a partir de los registros de la estación meteorológica (EMA) en relación a la variación del perímetro de la laguna a lo largo del tiempo.

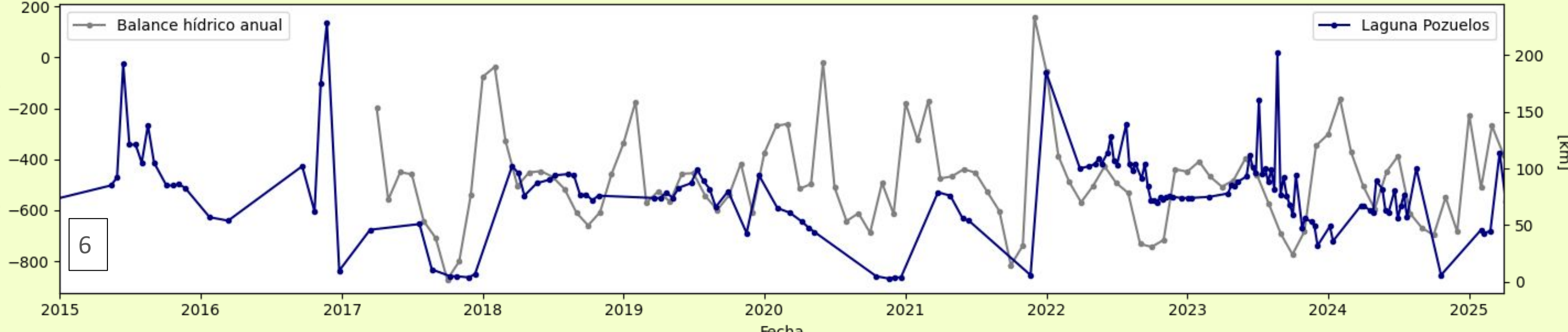


Figura 6: Gráfico de la diferencia acumulada mensual del volumen de agua ingresado por precipitaciones y la evapotranspiración en relación a la variación del perímetro de la laguna a lo largo del tiempo.

CONCLUSIONES

A partir de las metodologías propuestas, que integran datos satelitales y registros meteorológicos in situ en la cuenca de la Laguna de los Pozuelos, fue posible caracterizar las dinámicas hidrológicas de humedales desarrollados sobre diferentes geoformas. En cuanto al **balance hídrico** a escala de cuenca, se comprobó que la estimación sobre los ingresos y egresos de agua en la cuenca basada en registros meteorológicos in situ permite interpretar el comportamiento hidrodinámico de la Laguna de los Pozuelos. Los humedales identificados en campo se agruparon en **tres tipos principales: humedales fluviales, humedales de ambiente transicional y humedales lacustres**. Los humedales fluviales (vegas) incluyen abanicos aluviales activos, inactivos y reactivados, planicies aluviales, terrazas fluviales, cárcavas, canales efímeros; las vegas de ambiente transicional fluvio-lacustre se relacionan con deltas y fan-deltas; mientras que los humedales lacustres se encuentran sobre la playa-lake y terrazas lacustres. Mediante el **análisis de teledetección óptica** realizada con MODIS, se pudo diferenciar que estos tres tipos de humedales presentan una hidrodinámica distinta a lo largo del año, aunque los subtipos dentro de cada grupo presenta comportamientos semejantes. No obstante, no se identificaron cambios durante los años más húmedos en el resto de los humedales a partir de las herramientas exploradas, posiblemente debido a la baja resolución espacial del sensor de MODIS o a la implementación del Índice óptico MNDWI. A futuro se explorarán otras combinaciones de índices ópticos de agua con imágenes de otras misiones satelitales.

BIBLIOGRAFÍA

- Igarzabal, A. P. (1978). La laguna de Pozuelos y su ambiente salino (dep. de Rinconada, prov. de Jujuy). Acta geológica lilloana, 15(1), 79-103.
- Brinson, M., (1993). A hydrogeomorphic classification for wetlands. U.S. Army Corps of Engineers, Technical Report WRP - DE - 4. Washington, DC.
- Xu, H. (2006) Modificación del Índice de Diferencia Normalizada de Agua (NDWI) para mejorar las características de aguas abiertas en imágenes de teledetección. Revista Internacional de Teledetección, 27, 3025-3033.
- Camacho, M., y Kulemeyer, J. J. (2017). The Quaternary of the Laguna de los Pozuelos Basin, northern Puna, Argentina. In Advances in Geomorphology and Quaternary Studies in Argentina: Proceedings of the Sixth Argentine Geomorphology and Quaternary Studies Congress (pp. 237-259). Springer International Publishing.