

Geografía y Sistemas de Información Geográfica (GEOSIG).
Revista digital del Programa de Docencia e Investigación en
Sistemas de Información Geográfica (PRODISIG). Universidad
Nacional de Luján, Argentina.

<http://www.revistageosig.wixsite.com/geosig> (ISSN 1852-8031)

Luján, Año 15, Número 27, 2023, Sección I: Artículos. pp. 1-16

CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL DE HUMEDALES PAMPEANOS MEDIANTE ANÁLISIS MULTITEMPORALES SENTINEL 1

Nicolás E. Vidal Quini – Lucía M. Laffeuillade – Alejandra M. Gernaldi

Universidad Nacional del Sur

nicolasvidalquini@gmail.com

RESUMEN

El procesamiento de imágenes satelitales es un proceso metodológico valioso para el análisis y estudio de la distribución de fenómenos y procesos espacio-temporales en el territorio. Desde una perspectiva sistémica y de Geografía Ambiental, la monitorización permite abordar problemáticas espaciales para la toma de decisiones inteligentes que contribuyan a su resolución. Las imágenes RADAR de apertura sintética en sinergia son un complemento clave para caracterizar y monitorear ambientes, dado que son sensibles a las características estructurales y dieléctricas de los elementos de la superficie terrestre. En este trabajo se propone estudiar la caracterización de un ambiente lagunar y sus humedales a través del parámetro de retrodispersión. Se realizó un análisis de componentes principales en un conjunto de imágenes Sentinel 1 C. Los resultados arrojaron diferencias entre el primer y segundo componente que evidencian potenciales humedales de otros usos de suelo. Esta información territorial es clave para entender la funcionalidad del ambiente del área de estudio en el marco de estudios de riesgo, vulnerabilidades y amenazas.

Palabras clave: Caracterización ambiental, Teledetección, Imágenes SAR, Geografía Ambiental, Humedales.

ABSTRACT

Remote sensing is a valuable methodological process for analyzing and studying the distribution of spatial-temporal phenomena and processes in the territory. From a systemic and Environmental Geography perspective, monitoring allows us to address spatial manifestations with spatial, temporal, and multiscale resolution, which enriches the study of environmental issues. Synthetic Aperture RADAR (SAR) images in synergy allow for the characterization and monitoring of environments, as they are sensitive to the structural and dielectric characteristics of the elements of the Earth's surface. This study proposes to characterize a lagoon environment and its wetlands through the

backscattering parameter. Principal component analysis was performed on a set of Sentinel 1 C images, resulting in differentiation between the first and second components that indicate potential wetlands for other land uses. This territorial information is crucial to understanding the functionality of the study area's environment within the framework of risk, vulnerability, and threat studies.

Keywords: Environmental characterization, Remote Sensing, SAR images, Environmental Geography, Wetlands.

INTRODUCCIÓN

Desde perspectivas sistémicas, el ambiente está constituido por el sistema que interfiere y condiciona las actividades socio-económicas en relación a las organizaciones espaciales de los elementos de la naturaleza (Schuschny, 1998). En este sentido, desde la Geografía, el establecimiento en el énfasis ambiental integra una propuesta en la organización de los diferentes componentes y flujos del territorio donde las sociedades construyen el espacio a medida que ejercen sus actividades sobre el medio (Bocco & Urquijo, 2013). Esto posibilita el análisis relacional entre los elementos y sus interrelaciones en diferentes niveles de escala.

En este sentido, uno de los componentes fundamentales que intervienen en la funcionalidad y dinámica de las interrelaciones ambientales y el paisaje son los humedales (Kandus & Minotti, 2019). Bajo dicha visión sistemática y desde la Geografía Ambiental, los ambientes de humedales se pueden trabajar desde una descripción del paisaje. Estos son reconocibles en el paisaje como unidades ambientales en función de sus dinámicas y características que dotan al territorio de ciertos patrones comunes que lo definen y ecosistemas que lo componen (Canevari *et al.*, 1999). Su presencia y conocimiento espacio-temporal es de suma importancia para valorizar los bienes y servicios que proveen claves para el equilibrio ambiental (Geraldí *et al.*, 2011).

En muchos casos representan áreas de transición entre diferentes ecosistemas y ambientes en las cuales se manifiestan la combinación de fuerzas naturales y fuerzas antropogénicas. Estos aspectos entendidos desde un enfoque espacio-temporal pueden estar representados en las dinámicas de las coberturas superficiales y resultar como indicadores de cambios ambientales. En relación con ello, la teledetección permite comprender los procesos e interacciones que conducen a transformaciones en el ambiente durante un período prolongado (Karszenbaum, 1998) y colabora en la planificación y gestión ambiental.

Los Sistemas de información Geográfica en conjunto con los datos provistos por los sensores remotos permite la aplicación de métodos cuantitativos para realizar modelamientos ambientales (Buzai, 2005; Buzai & Baxendale, 2006) en especial con los sistemas de humedales. Este modelamiento posibilita comprender el funcionamiento en los sistemas complejos como una cuenca hidrográfica.

Para ello, la sinergia de sensores ópticos y de RADAR de Apertura Sintética (SAR) se constituyen como importantes insumos de información. En humedales, dichos insumos son útiles porque constituyen datos claves para modelar y monitorear cambios en la extensión del agua superficial, suelos saturados, vegetación inundada y cambios en la cubierta vegetal de los humedales (Kandus *et al.*, 2001; Salvia *et al.*, 2009; Barragán & Geraldí 2018; Vidal Quini & Geraldí 2021). Las longitudes de las microondas, sensibles a las características estructurales y dieléctricas, permiten su análisis a partir de estudios

multitemporales, multiresolución y multisensor y llevan a un tratamiento complejo de los humedales (Kandus *et al.*, 2019) y de su contexto en el territorio.

Los humedales en ambientes pampeanos carecen de información acerca de su cobertura, dinámica y funcionalidades en contextos ambientales. La incidencia antropogénica es perceptible en las consecuencias derivadas de los diferentes usos, como son los de índole agrícola-ganadera y urbano principalmente (Quirós *et al.*, 2002; Dangavs 2005; Quirós *et al.*, 2006). Estos ecosistemas sufren presiones ambientales serias que derivan no sólo del cambio o la variabilidad climática (Tengroth & Geraldi, 2022) sino del avance del hombre sobre ellos (Geraldi, 2023); siendo altamente alterados en su dinámica, funcionamiento y por ende en los servicios que los mismos brindan.

El área de estudio pertenece a un sector de la cuenca Encadenadas del Oeste ubicada dentro de la región pampeana. Como se expresó anteriormente, existe un desconocimiento del estado y situación de los humedales pampeanos que poseen un rol clave en los procesos ambientales y antrópicos. Por consiguiente, el objetivo de este trabajo es estudiar la caracterización de ambientes de humedales a través del parámetro de retrodispersión. Se pretende relevar y vincular la información espacial de los humedales con otros componentes del paisaje ambiental para definir sus alcances para estudios de vulnerabilidad y riesgo en la región de estudio.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

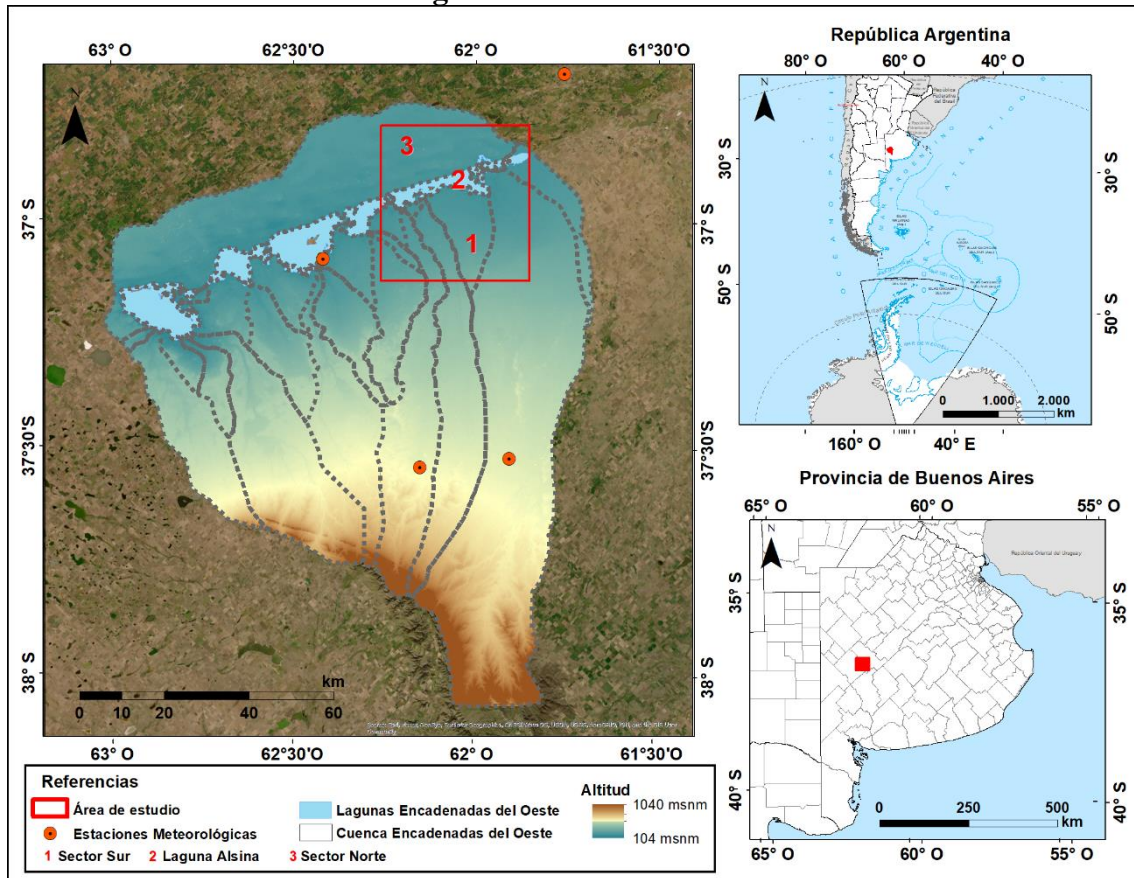
El área de estudio corresponde a un sector representativo de los ambientes de la cuenca endorreica Encadenadas del Oeste ubicada en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires (Figura 1). El área presenta tres ambientes disímiles en sus aspectos geomorfológicos. El primer ambiente comprende al sector sur de la laguna Alsina; una zona extensa de llanura con escasa pendiente y en el tramo final de los arroyos Corto, Cura Malal y Pescado. El arroyo de mayor caudal es el Corto con sus nacientes en el sistema serrano alimentado por el régimen de precipitaciones. Este arroyo fue modificado por varias obras hidráulicas para mantener el control hidrométrico de la laguna. Los arroyos restantes, Pescado y Cura Malal, también nacen en las Sierras, pero contribuyen con menor caudal. Entre la desembocadura de los tres arroyos en la laguna Alsina se forman conos aluviales producidos por la reducción de la pendiente, la consecuente disminución de la velocidad de los escurrimientos y el ensanchamiento del valle, constituyéndose en el lugar de deposición de los materiales aluviales.

El segundo ambiente corresponde a la depresión ocupada por la laguna, en este caso la laguna Alsina. Esta, posee una profundidad media de 4 metros y es la menos profunda de todo el sistema de lagunas encadenadas. Se encuentra a los 110 msnm; tiene forma de parábola elíptica, con una cubeta con perfil más o menos redondeado (Geraldi, 2009). El tercer ambiente se encuentra en el norte de dicha laguna. Se caracteriza por la presencia de médanos; no tiene aportes fluviales de ningún tipo y presenta depresiones intermedanosas y cubetas de deflación.

A pesar de sus diferencias geomórficas, se constituyen en una misma región que presenta una fuerte influencia de la variabilidad climática. Por lo tanto, se definen como escenarios con elevada fragilidad ante eventos de inundaciones dada la incapacidad de evacuarlos como también ante el impacto de sequías de larga duración y diferentes intensidades.

Estas situaciones aumentan la vulnerabilidad de los ecosistemas acuáticos, humedales y también las producciones agrícolas-ganaderas y las dinámicas socio-económicas de la región (Geraldí *et al.*, 2011).

Figura 1. Área de estudio.



Fuente: Elaboración de los autores.

Para alcanzar el objetivo del trabajo se desarrolló un método de análisis multitemporal de imágenes de radar de apertura sintética que se complementa con información geoespacial y datos e información de campo hidrometeorológica. Se realizaron caracterizaciones ambientales bajo el criterio de la detección de cambios mensuales durante el intervalo de tiempo enero 2019 – diciembre 2021. Para ello, se seleccionó una imagen por mes siendo el total 36 imágenes SAR Sentinel 1 de banda C de doble polarización.

Datos de pre-procesamiento

Las imágenes SAR Sentinel 1 C fueron obtenidas de la base de datos pertenecientes al Instituto de geofísica de la Universidad de Alaska Fairbanks, que mantiene el archivo de National Aeronautics and Space Administration (NASA) de datos de radar de apertura sintética (SAR). Sentinel-1 (S1), como la primera constelación de satélites del programa Copernicus de la Agencia Espacial Europea (ESA), proporciona datos independientes de las nubes y las estaciones sobre las características de la superficie terrestre. S1 es un radar de apertura sintética de banda C a bordo de los satélites S1A y S1B, que ofrece imágenes de revisita de 6 a 12 días. La estrategia de observación ESA S1 define el modo Interferometric Wide Swath (IW) como el modo predefinido sobre tierra. Este modo

proporciona imágenes de polarización dual (VV y VH), con una resolución de 10 m, con una franja de 250 km (Tabla 1).

El pre procesamiento fue realizado en el software SNAP y Sentinel1 Toolbox y consistió en la aplicación de un archivo con los datos de órbita, reducción del ruido térmico, calibración radiométrica y corrección del terreno como se detalla en la figura x que incluye el diagrama metodológico. Luego, fueron recortadas al área de estudio y se realizó un apilamiento para el conjunto de imágenes en polarización VV y VH.

Tabla 1. Características de las imágenes RADAR de Apertura Sintética Sentinel-1 C según guía de usuario.

Sentinel-1	Características
Modo de antena	Interferometric Wide – Swath mode (IW)
Polarización	VV – VH
Resolución	5 m x 20 m (Single look)
Banda	C
Ancho de barrido	250 km
Tipo de producto	Level 1: Ground Radar Detection
Ángulo de incidencia	31° - 46°

Fuente: Elaboración de los autores.

Imágenes radar en ambiente de humedales

El coeficiente de retrodispersión, sigma, es sensible a las características estructurales y dieléctricas de los elementos de la superficie terrestre, por lo tanto, el análisis de las imágenes SAR debe realizarse teniendo en cuenta los mecanismos por los cuales la onda de radar interactúa con la vegetación y el suelo (Kandus & Minotti, 2019). En el caso de aplicaciones multitemporales en imágenes SAR el Análisis de Componentes Principales (ACP) se utiliza de un modo particular, ya que no se pretende retener la información común sino para indagar los cambios. Es decir, para aplicar esta técnica en la detección de cambios se genera un archivo multitemporal. Los primeros componentes resultantes del análisis no son los más interesantes, ya que recogerán la dimensión de estabilidad en la imagen. Por su parte, los componentes secundarios ofrecen la información no común: el cambio, que es precisamente lo que más interesa en este contexto (Chuvienco, 2002).

Análisis de componentes principales

El carácter digital de las imágenes satelitales como matrices de datos permite generar nuevas imágenes aplicando transformaciones lineales a una o varias imágenes. Como resultado se obtiene nuevas imágenes que representan una descripción alternativa de los

datos, en el cual los nuevos valores de un píxel están relacionados con sus valores originales a través de una operación lineal (Ferrero, 2002).

Dicha síntesis resulta muy conveniente cuando se pretende abordar un análisis multitemporal en imágenes satelitales. La adquisición de imágenes SAR de mismas polarizaciones de manera temporal, implica con frecuencia detectar una información redundante, puesto que los tipos de cubierta tienden a presentar un comportamiento similar en los mecanismos de interacción. Por ello, los nuevos componentes principales generados en la imagen van a ser los que recojan la parte más relevante de la información original. El ACP facilita una primera interpretación sobre los ejes de variabilidad de las imágenes y proporciona una mejor distribución de los datos, frente a esos ejes de variabilidad. En este trabajo se aplican componentes principales para el conjunto de datos temporales de la banda de polarización VV y polarización VH.

La transformación por componentes principales es una técnica utilizada para reducir la dimensionalidad de un conjunto de datos multivariantes. La transformación se realiza encontrando las componentes principales, que son combinaciones lineales de las variables originales que explican la mayor parte de la variabilidad en los datos.

La primera componente principal es la dirección en la que los datos tienen la mayor varianza. La segunda componente principal es la dirección con la mayor varianza restante después de que se ha eliminado la influencia de la primera componente principal y así sucesivamente para las siguientes componentes principales. Cada componente principal es incorrelacionada con las anteriores y tiene la máxima varianza condicionada.

La transformación por componentes principales se puede realizar mediante una matriz de transformación lineal T , cuyas columnas son los vectores de las componentes principales. La transformación lineal se define como $Y = XT$, donde Y es la matriz de datos transformados y X es la matriz de datos originales. La transformación por componentes principales se utiliza comúnmente en análisis de datos, aprendizaje automático y otras áreas en las que es necesario reducir la dimensionalidad de los datos.

Análisis temporal de la retrodispersión, precipitaciones y datos hidrométricos

Del conjunto de imágenes también se evaluó el comportamiento temporal del coeficiente de retrodispersión. Se seleccionaron áreas claves consideradas como potenciales humedales para cada tipo de ambiente y se observó su comportamiento con relación a la variación en los mecanismos de interacción durante el lapso de tiempo del estudio. A su vez, los muestreos de las áreas claves en el ambiente de laguna Alsina fueron correlacionados con datos hidrométricos mensuales y comparados con datos mensuales de precipitaciones acumuladas de cuatro estaciones meteorológicas cercanas al área de estudio provenientes de la bolsa de cereales y productos de Bahía Blanca y del Servicio Meteorológico Nacional.

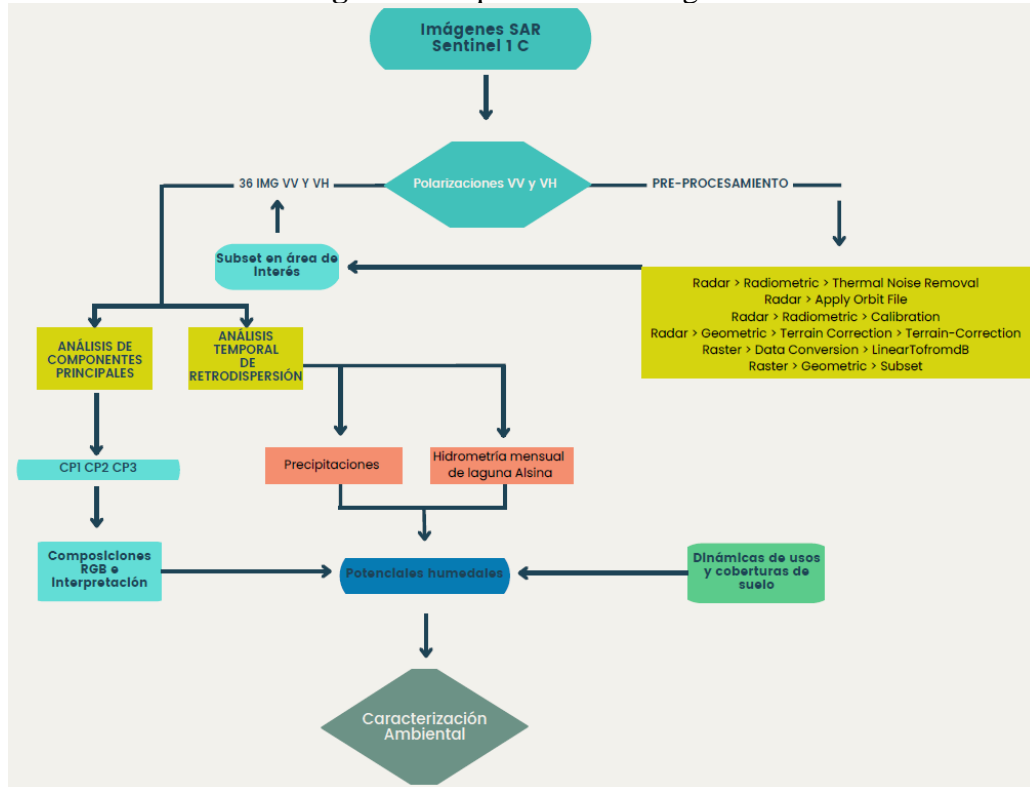
Usos y coberturas de suelo

Se utilizaron los mapas de cultivos provistos por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) (Abelleyra *et al.*, 2021) entre las temporadas de verano e invierno 2019-2021, conforme a la variación estacional de las actividades agrícolas-ganaderas en la región. Estos productos espaciales fueron recortados mediante las entidades geométricas del área de estudio seleccionada. Se extrajo la información de cada cultivo

presente en el área mediante geoprocesos QGIS 3.18.2. A su vez, se utilizó información vectorial de drenajes superficiales en la cuenca obtenidos de Geraldí (2009).

A continuación, se presenta el esquema metodológico del estudio (Figura 2):

Figura 2. Esquema metodológico.



Fuente: Elaboración de los autores.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

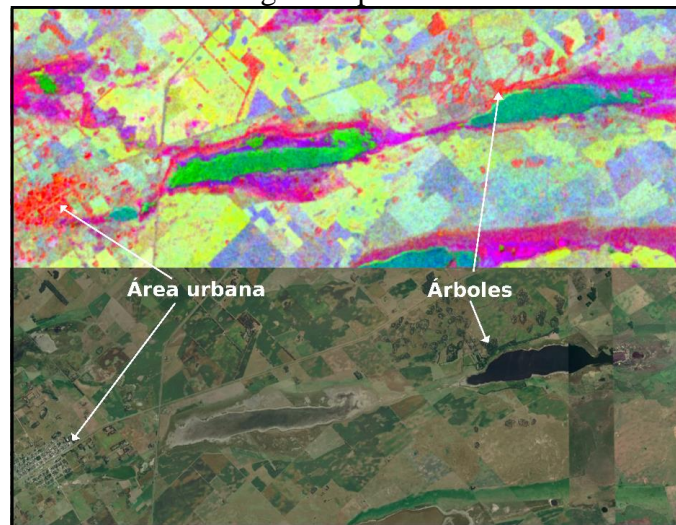
La síntesis multitemporal de las imágenes SAR a partir de los componentes principales permitió simplificar la información o datos redundantes referidos en este caso a características estructurales y dieléctricas de las coberturas del área seleccionada. En primera instancia, se observó que cada polarización proporcionó información diferente acerca de la distribución espacial de la cobertura según su señal retrodispersada, en especial de aquellas áreas o sectores que podrían ser definidos con potencial a ser humedales y/o ecosistemas acuáticos.

Con relación al ACP los datos explicativos de la primera componente de polarización VH presentó una varianza explicada de 59,94% y una varianza acumulativa con respecto a la segunda componente de 68,22%. Para la polarización VV significó una varianza explicada de 55,61% de la primera componente y una varianza acumulativa respecto de la segunda de 63%. En la interpretación visual cada polarización deduce una gran complejidad espacio-temporal y sugiere que el cúmulo de datos del primer componente se concentra en los datos en común de la serie multitemporal. En su interpretación lo denominamos como lo estable correspondiente a coberturas y usos de suelo agrícolas y cuerpos de agua someros permanentes donde algunos de ellos podrían catalogarse como potenciales humedales. El segundo componente explica una menor varianza referida a el

cambio que ocurre en el cúmulo de datos y se puede interpretar información acerca del hidroperíodo de humedales como drenajes y escurrimientos intermitentes.

En esta línea, en la interpretación visual de las componentes surgieron dificultades en la diferenciación visual entre la infraestructura urbana, vial y áreas con vegetación alta en cercanías o entornos de potenciales humedales (Figura 3). En estos casos, sería conveniente emplear análisis de texturas mediante la matriz de co-ocurrencia de niveles de grises (Haralick *et al.*, 1973) para obtener una caracterización más eficiente, tal como se ha observado en otros estudios relacionados con áreas de humedales (Rajngewerc *et al.*, 2021) y coberturas agrícolas (Caballero *et al.*, 2020).

Figura 3. Composición RGB de componentes principales SAR polarización VV y composición RGB en imágenes ópticas en un sector de la cuenca.

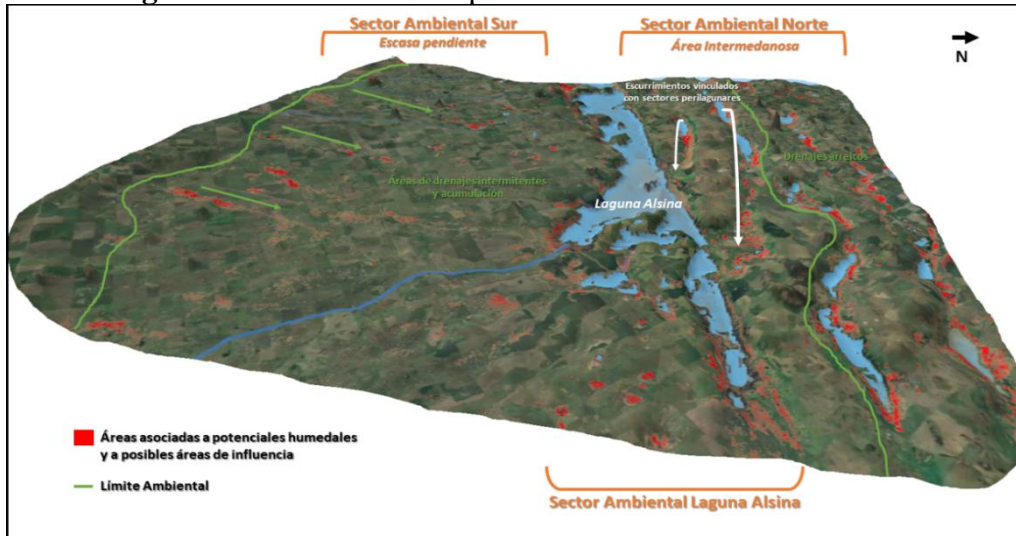


Fuente: Elaboración de los autores.

En este trabajo se enfatiza la importancia de considerar los cambios ambientales en lugar de la cantidad potencial de humedales. Se destaca la necesidad de examinar el contexto espacial en el que se encuentran dado que su funcionalidad y dinámica están condicionadas por factores antropogénicos y la variabilidad climática (Quirós *et al.*, 2002; Quirós *et al.*, 2006). En la figura 4 se observa la geomorfología del área definida como fluvioacustre compuesta por drenajes y escurrimientos intermitentes, cuerpos de agua de tamaños diferentes y sectores de acumulación de formas irregulares, que en conjunto forman un patrón de drenajes complejo con tres ambientes bien diferenciados. El límite entre los dos ambientes definidos como Sur y Norte lo marca el eje lagunar (Figura 4). Dicho patrón posee impactos diferenciales lo que se refleja en las manifestaciones espaciales de la retrodispersión y que podrían referirse a diferentes regímenes de inundación.

Es importante mencionar que el mayor ingreso de precipitaciones de la cuenca Encadenadas del Oeste ocurren en el sector seleccionado como área de estudio. Sin embargo, a pesar de ello, se registran algunas deficiencias críticas, debidas al aumento de la evapotranspiración con relación a parámetros de viento y temperatura (Geraldí, 2009). A su vez, el mayor almacenaje de agua en el suelo se produce en el invierno (Scoppa & Giacomo, 1998), por lo tanto, gran cantidad de humedales estarían presentes de forma estacional en el corte temporal. Esto podría estar explicado en los resultados de la segunda componente principal (Figuras 5 y Figura 6). Dichas observaciones coinciden con las realizadas en Vidal Quini & Geraldí (2021) para la misma unidad ambiental.

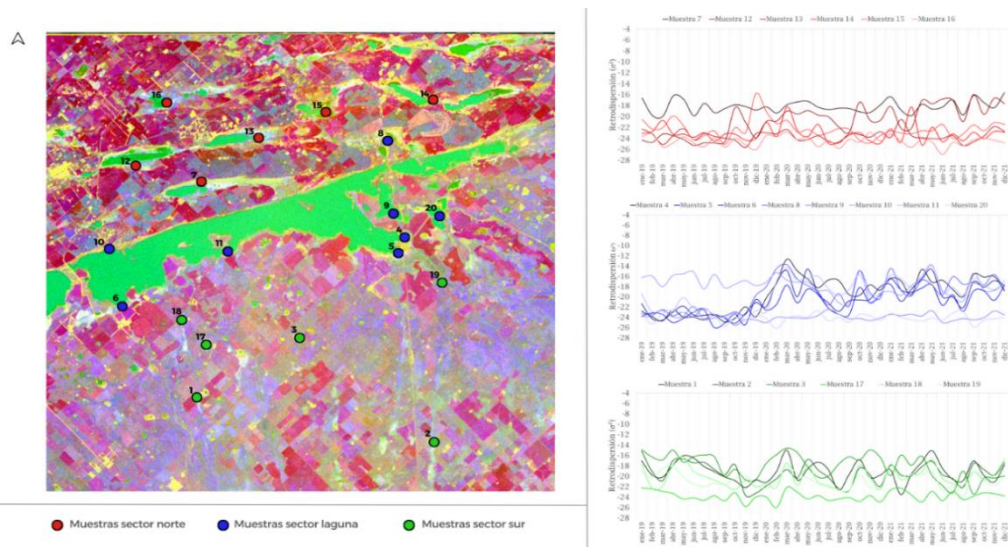
Figura 4. Modelo de descripción ambiental en área de estudio.



Fuente: Elaboración de los autores.

Los resultados de los muestreos de agua (Figura 5), en las series temporales indican que hay cambios significativos en la retrodispersión por la entrada de precipitaciones, con tendencias hacia la disminución de la señal. Según Kandus *et al.*, (2001), una inundación puede tener un efecto variable sobre la señal retrodispersada, ya sea aumentando o disminuyendo, según el tipo de cobertura, el mecanismo de interacción y la altura del agua. Sin embargo, la dinámica del sistema hídrico de la cuenca está afectada además de por las precipitaciones, por los cambios de temperatura que determinan las pérdidas por evapotranspiración y por la regulación que el hombre lo hace a través de las obras hidráulicas.

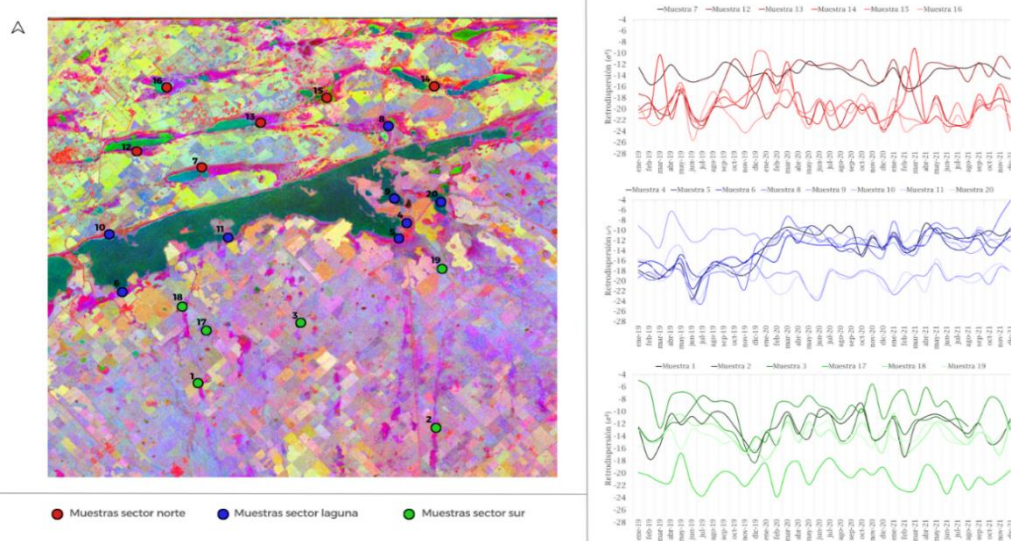
Figura 5. Composición RGB de Componente 1, Componente 2 y Componente 3, polarización VH. Puntos de muestreo de firmas de retrodispersión en potenciales humedales.



Fuente: Elaboración de los autores.

En cuanto a los comportamientos temporales de la retrodispersión, las áreas de muestreo implican variación con marcada diferencia en el sector de humedales. Ambas polarizaciones indican la misma tendencia donde las muestras en potenciales humedales presentan un comportamiento bajo de retrodispersión (Figura 4 y Figura 5) con decrecimiento y mínimos durante los meses fríos y con máximos durante meses cálidos. La polarización VV enuncia la retrodispersión a valores más bajos y hace más visible dichos patrones. Las áreas agrícolas en tonalidades rojas (Figura 4 y Figura 5) poseen gran variación dado su ciclo de cultivo asociada a sus etapas de evolución y posterior cosecha con lo cual los valores decrecen de manera abrupta. Ante estos resultados la variación de la retrodispersión podría funcionar como indicador de cambios ambientales.

Figura 6. Composición RGB de Componente 1, Componente 2 y Componente 3, polarización VV. Puntos de muestreo de firmas de retrodispersión en potenciales humedales.



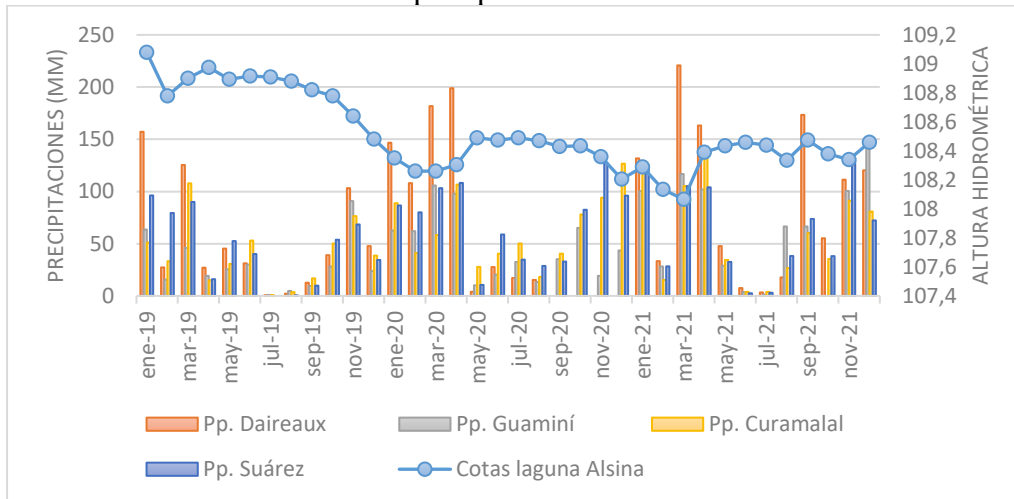
Fuente: Elaboración de los autores.

Para el sector de lagunas las firmas espectrales indican una importante variación en el aumento de la retrodispersión a partir del 2020. Dicho comportamiento se encontraría asociado a cambios en los mecanismos de interacción sobre estas áreas dado la reducción de la laguna y que dejaría su paso suelo descubierto y comunidades de hidrófilas como ocurre en los puntos 4 y 5. Cuando el ingreso de agua es tal, el mecanismo de interacción dominante es la retrodispersión proveniente de la superficie de agua (reflexión especular, esto pasa en la laguna), la cual genera una retrodispersión mucho menor que otras coberturas. Esta afirmación podría justificarse con la reducción de los niveles hidrométricos de la laguna Alsina donde se enmarca un retroceso de las aguas que comienza en verano 2020 y que continúan con tendencias de decrecimiento (Figura 7 y Figura 8).

A su vez, las correlaciones entre polarizaciones respecto de la altura hidrométrica enmarcan un $R^2 = 0.439$ para polarización VH y $R^2 = 0.541$ para polarización VV (Figura 8), lo que indica que esta última polarización funcionaría como mejor indicador ante el aumento o reducción de los niveles hidrométricos. Esta información resulta clave dado que históricamente la cuenca ha padecido períodos prolongados de sequías de diferentes intensidades (). Además de funcionar como centinelas del cambio climático (Adrian *et al.*, 2009), resultan claves para el manejo, planificación y gestión de la cuenca dado que la reducción o degradación de estos ecosistemas, conllevaría a importantes consecuencias

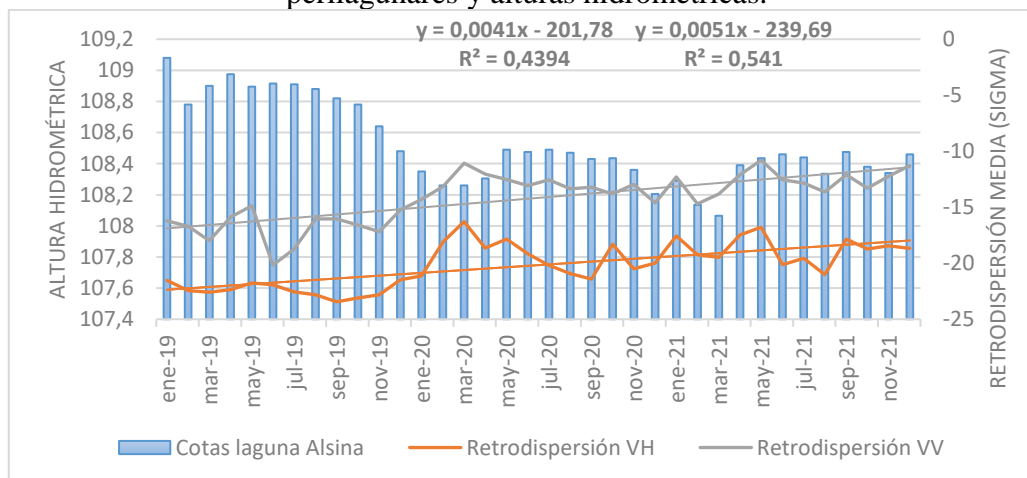
ambientales, sociales y económicas, ya que la pérdida global por evaporación se acelerará en el futuro debido al calentamiento global (Zhao *et al.*, 2022). Dichas consecuencias estarían explicadas en Gerald *et al.*, 2011 que resalta la importancia socio-económica de estos tipos de ecosistemas en la cuenca.

Figura 7. Alturas hidrométricas de la laguna Alsina (2019-2021) e ingreso de precipitaciones.



Fuente: Elaboración de los autores.

Figura 8. Evolución de retrodispersión de polarización VH y VV en sectores perilagunares y alturas hidrométricas.

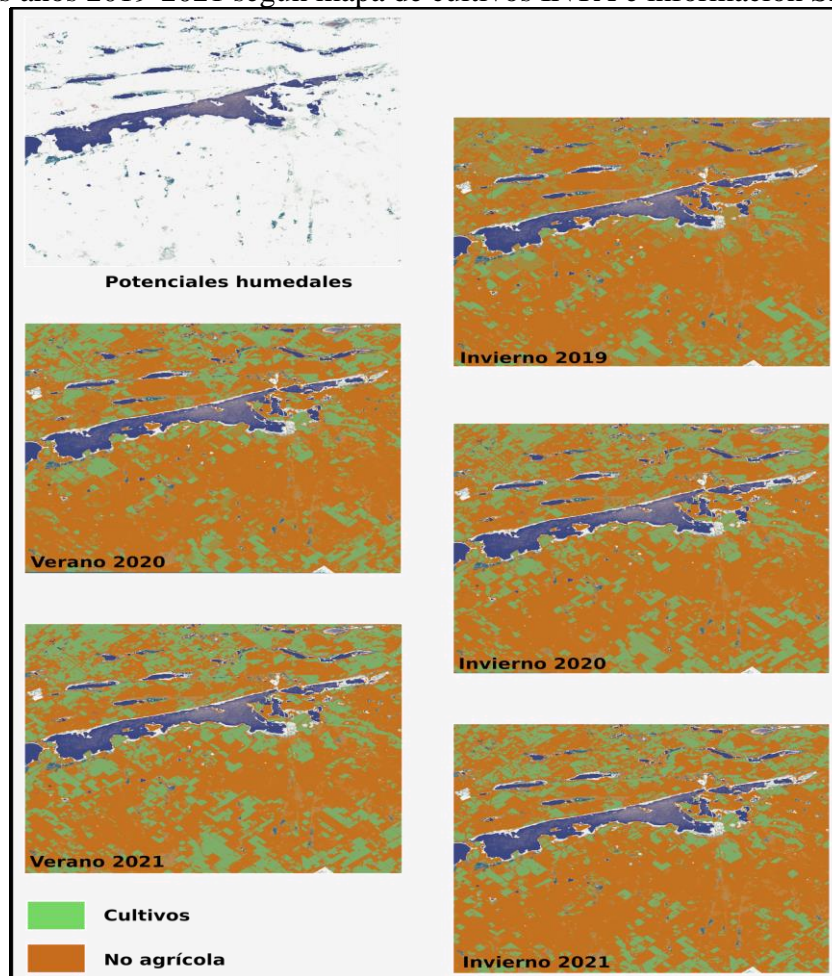


Fuente: Elaboración de los autores.

Usos de suelo en el área de estudio

Los cambios de cobertura y usos del suelo (Figura 9) resultan significantes en el análisis detallado de los elementos que configuran el espacio geográfico y la comprensión de las interrelaciones que surgen entre ellos (Bocco & Urquijo, 2013). Se constituyen un sistema de relaciones que se proyectan y provocan efectos sobre el espacio expresado en 3705 ha de coberturas referidas a drenajes y escurrimientos de carácter intermitente inmersos en la dinámica agrícola-ganadera. Las áreas mencionadas están estrechamente relacionadas con cuerpos de agua poco profundos y su interconexión. Esta condición conlleva a un aumento de la fragilidad del sistema ambiental.

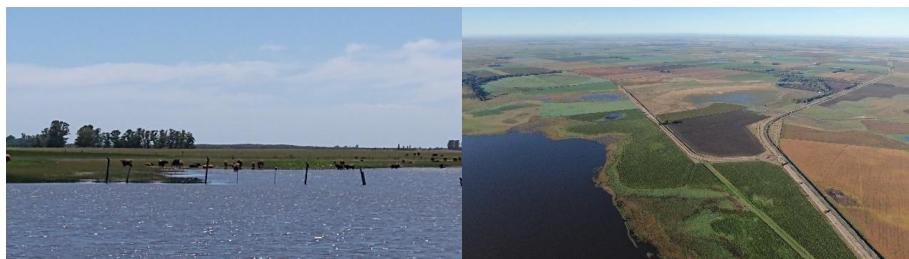
Figura 9. Evolución espacial-estacional de usos y coberturas agrícolas -ganaderas en los años 2019-2021 según mapa de cultivos INTA e información SAR.



Fuente: Elaboración de los autores.

La configuración espacial de estos entornos desempeña un papel estructurante en las manifestaciones espaciales del territorio con características hidrogeomorfológicas definidas. Así, se puede observar que dichos espacios impactan de manera diferencial en la vulnerabilidad de las áreas agrícolas-ganaderas ante procesos de inundaciones (Acreman & Holden 2013), anegamientos y sequías. En este último aspecto, se hace referencia a la capacidad de almacenamiento de agua y contención de humedad para el ambiente teniendo en cuenta proyecciones futuras donde las tasas de evaporación de estos ecosistemas aumentarían en relación con el cambio climático (Zhao *et al.*, 2022).

Figura 10. Observaciones de actividades agrícolas-ganaderas sobre humedales perilagunares de Laguna Alsina en salidas de campo.



Fuente: Elaboración de los autores.

En cuanto a las llanuras de inundación de laguna Alsina, se ha registrado una ocupación por actividades agrícolas-ganaderas, lo que las convierte en uno de los sistemas de humedales con mayor riesgo de degradación (Figura 10). Es importante destacar que el eje de lagunas someras a la cual pertenece funciona como límites marcados tanto a nivel ecológico como territorial. Este fenómeno puede explicarse a partir de las condiciones que influyen en la estructuración de los cuerpos de agua someros y humedales, los cuales generan diferentes paisajes.

CONSIDERACIONES FINALES

La caracterización ambiental de este trabajo mediante información geoespacial adquiere un importante valor para el entendimiento de los elementos y manifestaciones espaciales que componen y configuran el paisaje ambiental. Estas evidencian patrones vinculados con la actividades agrícolas-ganaderas, humedales, drenajes, escurrimientos y la laguna y, pueden funcionar como indicadores de la situación ambiental y de la dinámica que ocurre en los tres ambientes de análisis. En este sentido, se destaca a la laguna Alsina como un límite estructural entre diferentes condicionamientos geomorfológicos que existen en cada ambiente y con lo cual los humedales disponen diferentes configuraciones espaciales y funcionalidades. Al considerarlos como uno de los principales elementos del paisaje, generan efectos en la configuración espacial.

En otros aspectos técnicos-metodológicos, las imágenes SAR resultaron claves dado que proporcionaron información de los elementos constitutivos del paisaje. La síntesis lograda en el análisis de componentes principales evidenció información geoespacial de los cambios ambientales en especial, de la dinámica espacial y temporal de la hidrografía del área de estudio. Esta información colabora en la detección de aquellas áreas expuestas ante factores de estrés como la variabilidad climática y las acciones antropogénicas sobre el sistema hídrico. A su vez, resulta útil para las acciones de manejo del área, ya que brinda información para evaluar las zonas de mayor vulnerabilidad ambiental como los sectores perilagunares de la laguna Alsina. En estos casos la evolución de los valores de retrodispersión se establece como guías de la situación territorial dado que cuentan como indicadores de la variación que ocurre en el desarrollo de las prácticas agrícolas de cultivos y de la respuesta estacional de los humedales.

FINANCIAMIENTO

El trabajo pertenece al Proyecto de Investigación PGI: “Aplicación de Tecnologías de la información Geográfica al estudio integral y comparativo de problemáticas ambientales. Segunda Parte”.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a los revisores anónimos sus comentarios, observaciones y sugerencias que han contribuido a mejorar la versión final del trabajo por parte de los miembros del Laboratorio de Geotecnologías del Departamento de Geografía y Turismo de la Universidad Nacional del Sur y, a la Bolsa de Cereales de Bahía Blanca por el

otorgamiento de los datos meteorológicos que fueron utilizados para el desarrollo del presente trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

Acreman, M. & Holden, J. (2013). How Wetlands Affect Floods. *Wetlands*, 33(5), 773–786. <https://doi.org/10.1007/s13157-013-0473-2>

Adrian, R., O'Reilly, C. M., Zagarese, H., Baines, S., Hessen, D., Keller, W., Livingstone, D., Sommaruga, R., Straile, D., Van Donk, E., Weyhenmeyer, G. y Winder, M. (2009). Lakes as sentinels of climate change. *Limnology Oceanography*, 54(6, part 2), 2283-2297. https://doi.org/10.4319/lo.2009.54.6_part_2.2283

Barragán, F. G. & Geraldi, A. M. (2018). Aplicación de teledetección para la determinación de zonas inundadas en la llanura Pampeana de Argentina. X Congreso Internacional Geomática 2018. Recuperado de <http://www.informaticahabana.cu/sites/default/files/ponencias2018/GEO143.pdf>

Bocco, G. & Urquijo, P. S. (2013). Geografía ambiental: reflexiones teóricas y práctica institucional. *Región y Sociedad*, XXV (56),75-101. [fecha de Consulta 25 de abril de 2023]. ISSN: 1870-3925. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=10225596001>

Buzai, G. (2005). Los sistemas de información geográfica y sus métodos de análisis en el continuo resolución-integración. En X Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica (X CONFIBSIG) (pp. 1-17). San Juan de Puerto Rico.

Buzai, G. & Baxendale, C. (2006). Análisis socioespacial con sistemas de información geográfica. Buenos Aires: Lugar Editorial.

Caballero, G. R., Platzeck, G., Pezzola, A., Casella, A., Winschel, C., Silva, S. S. & Ludueña, E., *et al.* (2020). Assessment of Multi-Date Sentinel-1 Polarizations and GLCM Texture Features Capacity for Onion and Sunflower Classification in an Irrigated Valley: An Object Level Approach. *Agronomy*, 10(6), 845. MDPI AG. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.3390/agronomy10060845>

Canevari, P., Blanco, D. E., Bucher, E., Castro, G. y Davidson, I. (Eds.). (1999). Los humedales de la Argentina. Clasificación, situación actual, conservación y legislación. *Wetlands International*, 46, 1-208.

Chuvieco Salinero, E. (2002). Teledetección Ambiental: La Observación de la Tierra desde el Espacio. Ariel Ciencia.

Dangavs, N. (2005). Los ambientes acuáticos de la provincia de Buenos Aires en Barrio, R. E., Etcheverry, R. O., Caballé, M. F. y Llambías, E. (Eds.), *Geología y recursos minerales de la provincia de Buenos Aires* (Cap. XIII, 219-235).

De Abelleira, D., Verón, S., Bancharo, S., Iturralde Elortegui, M., Valiente, S., Puig, O., Murray, F., Martini, J. P., Zelaya, K., Maidana, D., Varlamoff, N., Peiretti, J., Benedetti, P., Portillo, J., Melilli, M., Maidana, E., Goytía, Y., Sapino, V., Regonat, A., Cracogna, F., Espíndola, C., Parodi, M., Colombo, F., Scarel, J., Ayala, J., Martins, L., Basanta, M., Rausch, A., Almada, G., Boero, L., Calcha, J., Chiavassa, A., López de Sabando, M.,

Kurtz, D., Marini, F., Sarrailhe, S., Petek, M., Propato, T., Ferraina, A., Pezzola, A., Winschel, C., Muñoz, S., Mesa, J., & Volante, J. (2021). Mapa Nacional de Cultivos campaña 2020/2021. Colección 1. Versión 1.0. Informe. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Argentina.

Ferrero, S. B. (2002). Análisis de componentes principales en teledetección. Consideraciones estadísticas para optimizar su interpretación. *Revista de Teledetección*, 17, 43-54.

Geraldi, A. M. (2009). Estudio geoambiental de la cuenca lagunar las encadenadas del oeste. [Tesis doctoral, Universidad Nacional del Sur] Bahía Blanca, Argentina. Repositorio Institucional del Departamento de Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur. <http://repositoriodigital.uns.edu.ar/handle/123456789/2233>.

Geraldi, A. M., Piccolo, M. C. & Perillo, G. M. E. (2011). El rol de las lagunas bonaerenses en el paisaje pampeano. *Asociación Civil Ciencia Hoy; Ciencia Hoy*; 21; 123; 8-2011; 9-14. <http://www.cienciahoy.org.ar/ch/ln/hoy123/lagunas.htm>

Geraldi, A. M. (2023). Patrimonio natural y cultural de cuerpos lagunares. El origen del turismo en Carhue, Buenos Aires. Argentina. *Revista Pasos* Vol. 21 N.o 1. Págs. 177-193. enero-marzo 2023 <https://doi.org/10.25145/j.pasos.2023.21.012>

Haralick, R.M., Shanmugam, K. & Dinstein, I. (1973). Textural features for image classification. *IEEE Trans Syst Man Cybern*, vol. 3, no. 6, pp.610–621.

Kandus P., Karszenbaum H., Pultz T., Parmuchi G. & Bava J. (2001). Influence of flood conditions and vegetation status on the radar backscatter of wetland ecosystem. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 27 (6): 561-662.

Kandus, P. & Minotti, P. (2019). Conceptos y enfoques metodológicos para un inventario de humedales a escala nacional: el paisaje como organizador. *Revista de la Asociación Argentina de Ecología de Paisajes*, 9(1). 84-89. [https://asadep.com.ar/_files/200000102-a9dc7a9dc9/21_Kandus_CAEP_inventario%20\(1\).pdf](https://asadep.com.ar/_files/200000102-a9dc7a9dc9/21_Kandus_CAEP_inventario%20(1).pdf)

Karszenbaum H. (1998). Procesamiento de imágenes satelitales para la gestión ambiental. *In: Matteucci SD, GD Buzai ed. Sistemas ambientales complejos: herramientas de análisis espacial*. Eudeba. Buenos Aires, Argentina, p. 197-217.

Rajngewerc, M., Grimson, R., Bali, J. L., Minotti, P. & Kandus, P. (2021). Land-cover classification using freely available multitemporal SAR data. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLVI-4/W2-2021, 133-138. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVI-4-W2-2021-133-2021>

Salvia, M., Karszenbaum, H., Kandus, P. & Grings, F. (2009). Datos satelitales ópticos y de radar para el mapeo de ambientes en macrosistemas de humedal. *Asociación Española de Teledetección. Revista de Teledetección*, 31, 35-51. <http://hdl.handle.net/11336/20682>

Schuschny, A.R. (1998). “Estudio del medio ambiente desde las ciencias de la complejidad”, en Matteucci, S.D.; Buzai, G.D. (comp.). *Sistemas ambientales complejos: herramientas de análisis espacial*. Colección CEA N° 21, EUDEBA, Buenos Aires.

Scoppa, C. O. & Di Giacomo R. M. (1998). Edafogénesis pampeana. *Anales de la ANAV*, LII, 7-38. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/30629>

Tengroth, C., & Geraldi, A.M. (2022). Assessment of climate change and prospective analysis on shallow lakes, Las Encadenadas del Oeste watershed, Buenos Aires - Argentina. *Investigaciones Geográficas*, (77), 221-237. <https://doi.org/10.14198/INGEO.18640>

Quirós, R., Rennella A., Boveri M., Rosso J., & Sosnovsky A. (2002). Factores que afectan la estructura y funcionamiento de las lagunas pampeanas. *Ecología Austral*, 12, 175-185. http://ojs.ecologiaaustral.com.ar/index.php/Ecologia_Austral/article/view/1556

Quirós, R., Boveri M.B., Petracchi C.A., Rennella A.M., Rosso J.J., Sosnovsky A. & Von Bernard H.T. (Eds.). (2006). Los efectos de la agriculturización del humedal pampeano sobre la eutrofización de sus lagunas (p: 1-16). En J.G. Tundisi, T. Matsumura-Tundisi, C. SidagisGalli. *Eutrofização na América do Sul: Causas, conseqüências e tecnologias de gerenciamento e controle*, Instituto Internacional de Ecologia, Instituto Internacional de Ecologia e Gerenciamento Ambiental, Academia Brasileira de Ciências, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, Inter - Academy Panel on International Issues, InterAmerican Network of Academies of Sciences. 531p. <https://www.agro.uba.ar/users/quiros/Eutrofizacion/Quirosetal2006EUTROSUL.pdf>

Vidal Quini, N.E. & Geraldi, A.M. (2021). Estudio de la situación hídrica de la cuenca Encadenadas del Oeste (2015-2019) mediante sensores remotos y sistemas de información geográfica. III Jornadas Internacionales y V Nacionales de Ambiente; Hurlingham. <https://jornadasambiente.ar/>

Zhao, G., Li, Y. & Zhou, L. *et al.* (2022). Evaporative water loss of 1.42 million global lakes. *Nat Commun* 13, 3686. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-31125-6>

© Nicolás E. Vidal Quini, Lucía M. Laffeuillade y Alejandra M. Geraldi.

Vidal Quini, N; Laffeuillade, L.; Geraldi, A. (2023). Caracterización ambiental de humedales pampeanos mediante análisis multitemporales Sentinel I. ***Geografía y Sistemas de Información Geográfica (GeoSIG)***. 12(17) Sección I:1-16

On-line: www.revistageosig.wixsite.com/geosig

Recibido: 11 de abril de 2023

Aceptado: 26 de agosto de 2023