

# Aplicación de índices espectrales para análisis hidro-geomorfológico en ambientes de crestas de playa en Bahía Samborombón, Provincia de Buenos Aires

M Paula Leal<sup>1</sup>, Rosario Acosta<sup>1</sup>, Vanesa Alí Santoro<sup>3</sup>, Santiago Perdomo<sup>4</sup>, Eleonora Carol<sup>1,2</sup>

**Resumen** Los índices espectrales se han utilizado ampliamente en la supervisión del crecimiento de la vegetación, estudio de cuerpos de agua y el análisis del entorno urbano. El objetivo del presente trabajo fue discriminar mediante la utilización del NDWI (Normalized Difference Water Index) y NDMI (Normalized Difference Moisture Index) distintas geoformas y definir el límite presente entre los sectores de crestas influenciadas por la marea y precipitaciones de aquellas que reciben el aporte exclusivamente de lluvias; en el litoral sur de Bahía Samborombón dentro del Partido de General Lavalle. Esto adquiere relevancia hidrológica ya que las crestas de playa pueden alojar lentes de agua dulce y la influencia de aportes desde la marea o las precipitaciones resulta una condicionante en la salinidad del agua subterránea. Con ese fin se seleccionaron imágenes multispectrales Sentinel-2 (Asociación Espacial Europea - ESA) para una etapa húmeda y seca con marea baja y alta; las cuales fueron procesadas y calculados los índices espectrales de interés. Como resultado, el NDWI mostró el alcance de la marea y los canales afectados por la misma, y en las crestas que se desarrollan por debajo de la zona residencial, la ausencia de agua en superficie en cantidades relevantes; por otro lado, el NDMI resultó ser indicativo de las condiciones hídricas de cada etapa y facilitó el reconocimiento de las geoformas. A su vez, ambos índices permitieron delimitar un sector con crestas de playa con influencia mareal ubicadas hacia el norte y un sector al sur con aquellas afectadas por las precipitaciones, y por último, los canales de marea. Se concluye que el uso y aplicación de índices espectrales es una herramienta útil dentro del trabajo de gabinete y previo a la salida de campo. Las crestas de playa constituyen en esta zona rural el principal ambiente hidrogeomorfológico que aloja lente de baja salinidad apta para consumo humano. Identificar los ambientes de crestas de playa influenciados por la marea de aquellos que sólo reciben contribuciones de agua de las precipitaciones aporta bases a la exploración y gestión de los recursos hídricos subterráneos de la región. En este sentido, los resultados obtenidos resultan de utilidad para la exploración de fuentes de agua dulce a escala regional en un área donde las fuentes de agua dulce son escasas.

**Palabras clave** Geomorfología, crestas de playa, geomática.

## INTRODUCCIÓN

En la teledetección las combinaciones aritméticas entre bandas que intentan enfatizar alguna variable de interés (vegetación, agua, etc.) se conocen como índices espectrales. Los métodos basados en índices que se utilizan para identificar una cubierta terrestre específica mediante la combinación de la reflectancia en varias longitudes de onda; se han utilizado ampliamente en la supervisión del crecimiento de la vegetación, estudio de cuerpos de agua y el análisis del entorno urbano (Zhang et al., 2022). Los índices de agua se crearon principalmente para la detección de agua superficial en imágenes de sensores multispectrales de banda ancha y resolución media (Chen et al., 2020). Uno de ellos es el NDWI (Normalized Difference Water Index) (McFeeters, 1996) que fue diseñado para maximizar la reflectancia del agua usando la banda del verde en el espectro visible y minimizar la alta reflectancia del infrarrojo cercano (NIR) en coberturas vegetales y de suelo adyacente (McFeeters, 1996). Por otro lado existen también índices de humedad como el NDMI (Normalized Difference Moisture Index) (Gao, 1996). Este último relaciona las bandas dentro del infrarrojo (NIR y SWIR) y es

<sup>1</sup>Centro de Investigaciones Geológicas, CONICET-UNLP, La Plata, Bs As, Argentina. Email: [mpleal@cig.museo.unlp.edu.ar](mailto:mpleal@cig.museo.unlp.edu.ar)

<sup>2</sup>Facultad de Ciencias Naturales y Museo, UNLP, La Plata, Buenos Aires, Argentina.

<sup>3</sup>Instituto de Investigación e Ingeniería Ambiental, UNSAM, Buenos Aires, Argentina.

<sup>4</sup>Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, UNLP, La Plata, Buenos Aires, Argentina.

utilizado para monitorear el contenido de agua de las hojas y correlaciona la biomasa vegetal con el estrés hídrico (Gao, 1996; Jin & Sader, 2005).

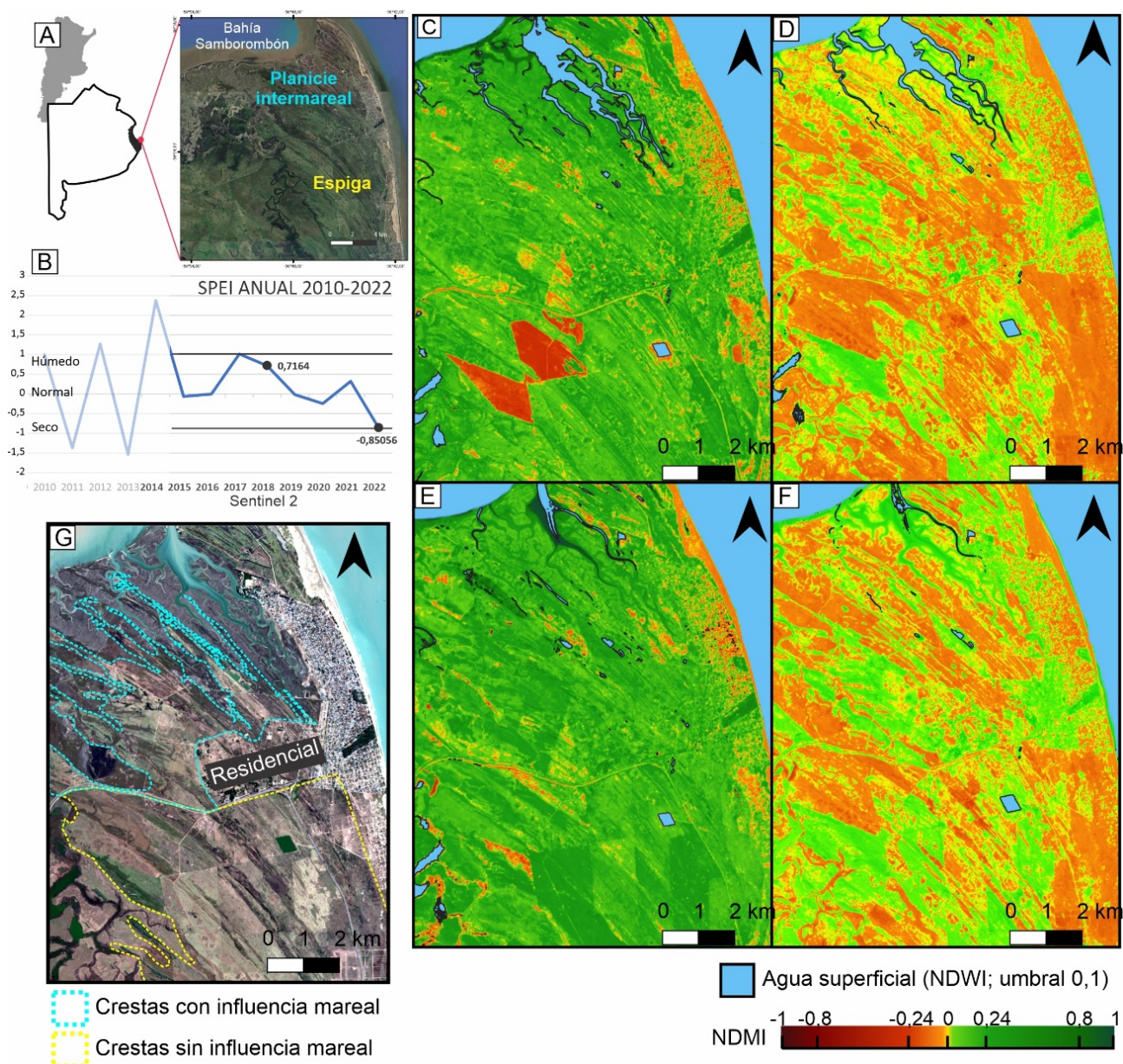
En el litoral sur de Bahía Samborombón localizado dentro del Partido de General Lavalle, provincia de Buenos Aires, se desarrollan dos unidades geomorfológicas principales: una llanura o planicie de marea y espigas arenosas (Violante et al., 2001) (Fig. 1A). En esta región, los principales aportes de agua se dan por dos variables, el ingreso de la marea y las precipitaciones. La planicie de marea se ubica hacia el norte y oeste y está conformada por canales de marea influenciados por la acción mareal. Por otro lado, las espigas arenosas están formadas por crestas de playa con orientación noroeste-sureste, subparalelas a la línea de costa marítima y están separadas entre sí por bajos intercrestales. Estas crestas se encuentran divididas entre, aquellas ubicadas hacia el norte que se extienden de forma aislada hacia la planicie intermareal y cuentan con bajos inundables surcados por canales de marea activos; y aquellas ubicadas en zonas continentales (San Martín et al., 2014). El objetivo del presente trabajo es discriminar, mediante la utilización de los índices espectrales NDWI y NDMI, las distintas geoformas, y a su vez, definir el límite presente entre los sectores de crestas influenciadas por la marea y precipitaciones, de aquellas que reciben el aporte exclusivamente de la última variable mencionada. Esto adquiere relevancia hidrológica ya que las crestas de playa pueden alojar lentes de agua dulce y la influencia de aportes desde la marea o las precipitaciones resulta una condicionante en la salinidad del agua subterránea (Carol et al., 2022).

## METODOLOGÍA

Para comenzar a analizar las imágenes multiespectrales se definió una escala de trabajo que permitiera abarcar toda la zona de estudio. Al tratarse de una escala media se decidió utilizar imágenes Sentinel 2 que cuentan con bandas de resolución espacial de 10 metros por píxel en el espectro visible y son de libre acceso a través de la plataforma Copernicus de la Agencia Espacial Europea (ESA).

Por otra parte, las fechas de interés se establecieron por medio del análisis del índice Estandarizado de Precipitación – Evapotranspiración SPEI (Vicente-Serrano et al., 2010) a escala anual. Así se seleccionaron dos años representativos de condiciones hídricas contrastantes (seco y húmedo) dentro del período de años de disponibilidad de las imágenes Sentinel 2 (2014-actualidad) principalmente para poder comparar las respuestas de los índices espectrales en cada uno. A su vez con los datos de precipitaciones diarias brindados por la Sociedad Rural de General Lavalle para cada período se calcularon las precipitaciones mensuales y la media de las mismas y se definió el mes más húmedo y seco de cada año. Establecidos los períodos de importancia se seleccionaron las imágenes disponibles con un porcentaje de nubosidad menor al 30 % para que la capa de nubes no interfiera en el análisis multiespectral. Como una variable más a considerar es el nivel de la marea se seleccionaron para cada etapa una imagen con marea alta y otra con marea baja.

El estudio de las imágenes se realizó por medio del software SNAP (9.0.0) - ESA (<https://step.esa.int/main/download/snap-download/>). En primer lugar se aplicaron correcciones para convertir las imágenes de nivel 1C a 2A. Luego se realizó un remuestreo para adaptar todas las bandas disponibles a una misma resolución espacial y se recortaron las imágenes a la zona de interés. En conjunto con el software QGIS (Prizren 3.34) se calcularon los índices espectrales NDWI y NDMI. El primero se utilizó como método para detectar el agua en superficie. Aunque en imágenes de resolución espacial media un valor óptimo del umbral para separar los píxeles con presencia de agua pura es 0 o muy cercano a 0 (Ji et al., 2009), se empleó un umbral de valor de píxel de 0.1. Con una binarización del resultado se confeccionaron los polígonos representativos del agua superficial. El segundo índice reflejó el agua absorbida por la vegetación con coberturas que presentan valores de NDMI con estrés hídrico entre -0.2 y +0.4 y valores sin estrés hídrico entre +0.4 y 1. Dado que esta herramienta brinda la información de la respuesta de la vegetación a las condiciones hídricas todas ellas se compararon con una imagen composición color real con el fin de discriminar el sector influenciado por la marea y el sector influenciado exclusivamente por las precipitaciones.



**Figura 1.** A) Ubicación del área de estudio. B) Gráfico de SPEI Anual (2010-2022). C) NDMI para el año 2018 (húmedo) con marea alta. D) NDMI para el año 2022 (seco) con marea alta. E) NDMI para el año 2018 (húmedo) con marea baja. F) NDMI para el año 2022 (seco) con marea baja. G) Imagen Sentinel 2 en color real con resultados geomorfológicos.

## RESULTADOS

Como resultado del análisis de SPEI el año 2018 presentó valores positivos del índice siendo estos valores indicativos de un periodo húmedo mientras que el año 2022 registró valores negativos característicos de un periodo seco (Fig. 1 B). Luego dentro de cada año se seleccionaron imágenes de marea alta y de marea baja contemplando la nubosidad para que la misma no interfiriera en el análisis.

Una vez corregidas y transformadas a un nivel 2A se calcularon los índices espectrales. En el caso del NDWI brindó información del alcance de la marea y los canales afectados por la misma. Las crestas que se desarrollan por debajo de la zona residencial, los caminos y rutas se encuentran desconectadas y no presentan agua en superficie en cantidades relevantes; esto se observa tanto en las imágenes de marea alta y marea baja en las dos condiciones hídricas estudiadas. Las figuras de agua superficial

que no modifican su dimensión y morfología en las cuatro fechas analizadas corresponden a cuerpos de agua generados por acción antrópica como canteras (Fig. 1 C – F). En cuanto al NDMI resultó ser indicativo de las condiciones hídricas de cada etapa y facilitó el reconocimiento de las geoformas. Se logra distinguir que en las imágenes correspondientes a etapas húmedas (Fig. 1 C y E) los valores son mayormente superiores a +0.24 con tonalidades verdosas. Los valores representativos del índice para cada morfología fueron: para los canales de marea 0.75 en promedio; las crestas de playa presentaron valores entre 0.25 y 0.4; mientras que los bajos intercrestales mostraron valores entre 0.04 y 0.1. En cambio en las imágenes de etapas secas (Fig. 1 D y F) predominan las tonalidades correspondientes a valores negativos del índice y cercanos a 0.2. En el caso de los canales de marea los valores máximos fueron de 0.2; en las crestas de playa se presentaron valores positivos por debajo de 0.19; y en los bajos intercrestales los valores fueron negativos entre -0.18 y 0. En resumen el NDMI de la etapa húmeda resaltó la posición de los canales de marea mientras que en la etapa seca se diferencian con facilidad las crestas de las intercrestas.

Los análisis de los dos índices permitieron obtener a la Fig. 1 G como resultado de este trabajo, en donde se distinguen, por un lado, los canales de marea, por otro las crestas de playa con influencia mareal ubicadas hacia el norte del área de estudio, y las que solo están afectadas por las precipitaciones, en el sector sur.

## CONCLUSIONES

Se concluye que el uso y aplicación de índices espectrales es una herramienta útil dentro del trabajo de gabinete y previo a la salida de campo. Teniendo acceso a imágenes multiespectrales de mediana resolución espacial y teniendo el conocimiento del comportamiento espectral de las distintas variables presentes en la superficie del terreno la selección de los índices a utilizar será eficaz para la distinción de morfologías y cubiertas dentro de nuestra zona de estudio.

Los índices utilizados permitieron distinguir por un lado las geoformas y por otro las zonas afectadas sólo por las precipitaciones y las influenciadas a su vez por la marea. En el caso del NDWI empleado para detectar agua en superficie es una herramienta práctica y resolutive. Los umbrales sugeridos en la bibliografía contemplan agua pura por lo que el umbral a seleccionar depende de las características de cada ambiente; la presencia de sedimentos y turbidez del agua pueden enmascarar la discriminación de los cuerpos de agua. Sin embargo permitió identificar el área de avance de la marea en la planicie mareal.

Por otra parte el NDMI es un índice que responde a las condiciones hídricas del ambiente permitió distinguir claramente las imágenes de una etapa seca de una húmeda. En las etapas con mayor humedad en el suelo no es una herramienta muy útil para discriminar morfologías pero en etapas secas permitió diferenciar crestas de playa de intercrestas y dentro de la planicie mareal los canales de marea.

Las crestas de playa constituyen en esta zona rural el principal ambiente hidrogeomorfológico que aloja lente de baja salinidad apta para consumo humano. Identificar los ambientes de crestas de playa influenciados por la marea de aquellos que sólo reciben contribuciones de agua de las precipitaciones aporta bases a la exploración y gestión de los recursos hídricos subterráneos de la región. En este sentido los resultados obtenidos resultan de utilidad para la exploración de fuentes de agua dulce a escala regional en un área donde las fuentes de agua dulce son escasas.

## REFERENCIAS

Carol, E., Cellone, F., Tanjal, C., & Galliari, M. J. (2022). Role of the geologic-geomorphic setting of the Río de la Plata estuary coastal landscape in controlling freshwater lenses shape and distribution. *Journal of South American Earth Sciences*, 116, 103832.

- Chen, F., Chen, X., Van de Voorde, T., Roberts, D., Jiang, H., & Xu, W.** (2020). Open water detection in urban environments using high spatial resolution remote sensing imagery. *Remote Sensing of Environment*, 242, 111706.
- Gao, B. C.** (1996). NdwI—a normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment*, 58(3), 257–266.
- Ji, L., Zhang, L., & Wylie, B.** (2009). Analysis of dynamic thresholds for the normalized difference water index. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 75(11), 1307–1317.
- Jin, S. & Sader, S. A.** (2005). Comparison of time series tasseled cap wetness and the normalized difference moisture index in detecting forest disturbances. *Remote Sensing of Environment*, 94(3), 364–372.
- McFeeters, S. K.** (1996). The use of the normalized difference water index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, 17(7), 1425–1432.
- San Martín, L., González, E., González Trilla, G., Cavallotto, J. L., & Kandus, P.** (2014). Interpretación geomorfológica en el marco de un inventario de humedales: El caso de la llanura costera de Ajó. *Actas del E-ICES10*.
- Vicente-Serrano, S. M., Beguería, S., & López-Moreno, J. I.** (2010). A multiscalar drought index sensitive to global warming: The standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of Climate*, 23(7), 1696–1718.
- Violante, R. A., Parker, G., & Cavallotto, J. L.** (2001). Evolución de las llanuras costeras del este bonaerense entre la Bahía Samborombón y la Laguna Mar Chiquita durante el Holoceno. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 56(1), 51–66.
- Zhang, P., Du, P., Guo, S., Zhang, W., Tang, P., Chen, J., & Zheng, H.** (2022). A novel index for robust and large-scale mapping of plastic greenhouse from Sentinel-2 images. *Remote Sensing of Environment*, 276, 113042.