

# ANÁLISIS DE ÍNDICES ESPECTRALES (NDVI, NDMI, MNDWI, NDPI) EN UN CASO DE INUNDACIÓN EN EL TRAMO INFERIOR DEL RÍO URUGUAY DURANTE MAYO DE 2024.

Analia Pereyra<sup>1</sup>, Agustina Carranza<sup>1</sup>.

[anapereyra.met@gmail.com](mailto:anapereyra.met@gmail.com). Autora correspondiente

<sup>1</sup>Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos. Buenos Aires, Argentina.

**Palabras clave:** inundación, río Uruguay, índices espectrales.

## 1) INTRODUCCIÓN

Durante el mes de abril y la primera semana de mayo de 2024 se produjeron intensas precipitaciones al sur de Brasil y en la provincia de Misiones, Argentina. Esto llevó a un importante aumento del caudal en el tramo inferior del río Uruguay llegando a niveles de alerta y evacuación de cientos de personas en diversas localidades ribereñas del litoral, siendo Concordia, Entre Ríos, una de las más afectadas. Frente a este contexto, se analizó el cambio en la humedad del suelo y los cuerpos de agua en regiones aledañas al tramo inferior del río Uruguay a partir de observaciones satelitales. Para ello, se compararon cuatro índices espectrales: el Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), Índice de humedad de diferencia normalizada (NDMI), Índice de agua modificado de diferencia normalizada (MNDWI) y el Índice de Diferencia Normalizada de Polarización (NDPI). Finalmente, a partir de la información obtenida de los índices NDMI y MNDWI se determinaron umbrales que permitieron identificar píxeles como zonas inundadas para comparar su variación.

## 2) DATOS Y METODOLOGÍA

En este trabajo se eligieron dos fechas para representar la situación antes y durante la inundación a partir de productos de nivel de agua del Instituto Nacional del Agua (INA) en Concordia, informes del INA (Boletín de Perspectivas Hidroclimáticas en la Cuenca Del Plata, junio 2024, INA) y el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) (Boletín climatológico mensual, junio 2024, SMN), y noticias en distintos medios de comunicación. Se seleccionó el día 8 de mayo como el *día no inundado* para estudiar los índices antes de la inundación debido a que presenta un menor nivel de agua y caudal en el periodo estudiado, y el día 15 de mayo como el *día inundado* ya que se observa un máximo en el nivel de agua y caudal. Además, para la selección se consideró que ambas fechas presenten cielos despejados en horas diurnas en la región de estudio.

Se utilizaron datos captados por el sensor Advanced Baseline Imager (ABI) del satélite GOES-16 para calcular los índices NDVI, NDMI, y MNDWI, y datos del radiómetro GPM Microwave Imager (GMI), a bordo del satélite GPM Core Observatory, para calcular el índice NDPI.

El índice NDVI (Rouse et al., 1973) se define en la Ecuación 1, donde RED y NIR corresponden a las bandas 2 (0.65  $\mu\text{m}$ ) y 3 (0.86  $\mu\text{m}$ ) respectivamente.

$$\text{NDVI} = \frac{\text{NIR} - \text{RED}}{\text{NIR} + \text{RED}} \quad (1)$$

El índice NDMI (Gao, 1996) se define en la Ecuación 2, donde SWIR corresponde a la banda 5 (1,61  $\mu\text{m}$ ).

$$\text{NDMI} = \frac{\text{NIR} - \text{SWIR}}{\text{NIR} + \text{SWIR}} \quad (2)$$

El índice MNDWI (Xu, 2006) se define en la Ecuación 3, siendo GREEN la banda centrada en 0.55  $\mu\text{m}$ . Dado que el sensor ABI no tiene esta banda, esta fue generada mediante la Ecuación 4 (Bah et al., 2018) donde donde BLUE corresponde a la banda 1 (0.47  $\mu\text{m}$ ).

$$\text{MNDWI} = \frac{\text{GREEN} - \text{SWIR}}{\text{GREEN} + \text{SWIR}} \quad (3)$$

$$\text{GREEN} = 0,45 \cdot \text{RED} + 0,10 \cdot \text{NIR} + 0,45 \cdot \text{BLUE} \quad (4)$$

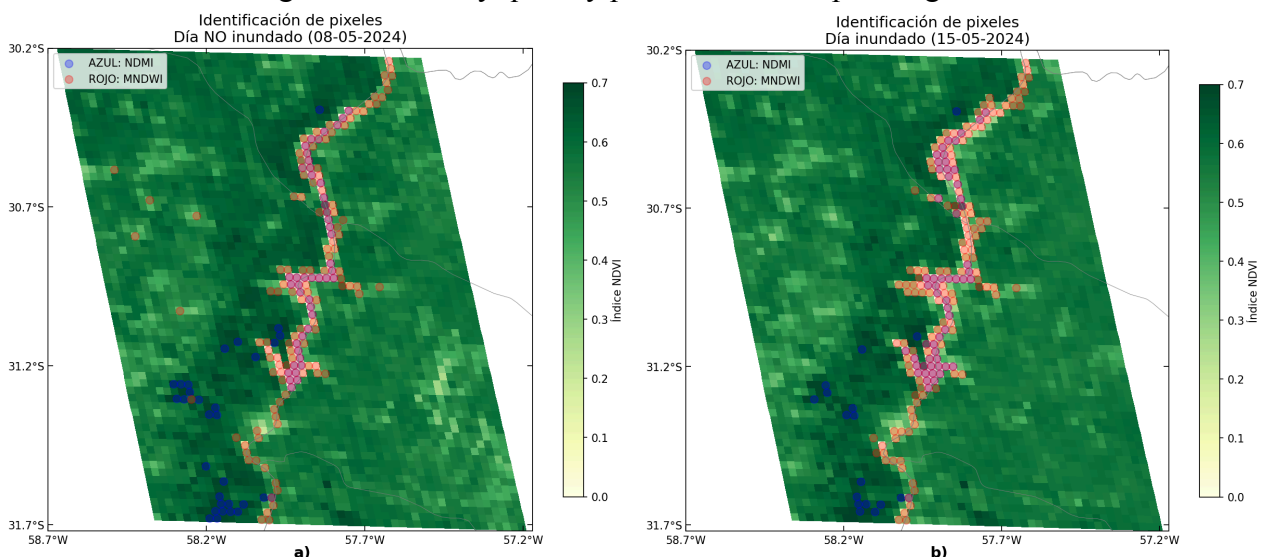
El índice NDPI (Paloscia et al., 1988) combina mediciones de temperaturas de brillo con diferentes polarizaciones dentro del espectro de las microondas. Se define en la Ecuación 5, donde  $TB_V$  y  $TB_H$  corresponden a la temperatura de brillo de la polarización vertical y horizontal respectivamente para una determinada frecuencia. En este trabajo fue calculado para las frecuencias 10.65 GHz y 18.70 GHz.

$$\text{NDPI} = \frac{TB_V - TB_H}{0,5 \cdot (TB_V + TB_H)} \quad (5)$$

### 3) RESULTADOS

En primer lugar se analizaron las diferencias calculadas entre el día inundado y el día no inundado de los índices NDVI, NDMI y MNDWI (Figuras no mostradas) para estudiar sus cambios en la región del río. Se observó una disminución del índice NDVI, debido al aumento del caudal y a los posibles daños ocasionados en la vegetación por la inundación, y un aumento en los índices NDMI y MNDWI ante el incremento de humedad en el suelo y contenido de agua, consistente con los registros del SMN-INA. El análisis de histogramas de estos índices para el día con y sin inundación permitió identificar valores extremos y un aumento en sus frecuencias, lo que indica condiciones más húmedas en la región del río. Esta información fue utilizada para caracterizar regiones inundadas. Se procedió a identificar los píxeles del área de estudio a partir de umbrales definidos para los índices NDMI y MNDWI. Para el índice NDMI se consideraron valores mayores a 0.4 asociados a suelo sin estrés hídrico o suelo inundado (Agricolus, 2019) y para el índice MNDWI se consideraron valores mayores a cero para indicar superficies con presencia de agua (Xu, 2006).

En la Figura 1, se identificaron los píxeles donde el  $\text{NDMI} \geq 0.4$  con círculos azules y donde el  $\text{MNDWI} \geq 0$  con círculos rojos. Por consiguiente, los píxeles donde ocurren ambas condiciones, círculos violetas, fueron considerados como indicativo de inundación ya que se cumple que existe un alto contenido de agua en el suelo y que hay presencia de cuerpo de agua.



**Figura 1:** Identificación de humedad del suelo (NDMI) con círculos azules y cuerpos de agua (MNDWI) con círculos rojos, sobre el campo de NDVI para a) día no inundado y b) día inundado.

Se observó en ambos días que tanto los círculos azules como los círculos rojos se concentran a lo largo del río Uruguay. En el día inundado se identificó una mayor cantidad de píxeles asociados con presencia de cuerpos de agua principalmente en los márgenes del río indicando una mayor extensión del cuerpo de agua, consistente con el desborde del río. Los píxeles asociados a humedad

del suelo predominan a lo largo del río donde se superponen con los píxeles asociados a cuerpos de agua (círculos violetas). Por lo tanto, la cantidad de píxeles identificados como inundación a partir de los umbrales definidos (círculos violetas) aumentó un 21.8% entre los días elegidos.

Por último se comparó el índice NDPI del día no inundado con el inundado en las frecuencias 10.65 GHz y 18.70 GHz observándose valores más altos para el día inundado en el entorno del río (Figuras no mostradas). Esto se debe a una mayor diferencia de emisividades en la superficie inundada entre la polarización vertical y horizontal que se traduce en una mayor diferencia de temperaturas de brillo, produciendo un aumento del índice.

#### 4) CONCLUSIONES

A través de los índices espectrales se identificaron cambios en la extensión de los cuerpos de agua y humedad del suelo debido a la inundación alrededor del río Uruguay. La disminución detectada en el índice NDVI en esta zona puede atribuirse a los daños ocasionados en la vegetación por la inundación y a la mayor presencia de agua. Mientras que los aumentos del MNDWI, NDMI y NDPI están relacionados al aumento del contenido de agua en el suelo y a una mayor presencia de cuerpos de agua. Se encontró una consistencia en la región de estudio entre lo obtenido con los índices espectrales calculados con información del sensor ABI del satélite GOES-16 y el índice calculado con información del radiómetro GMI del satélite GPM Core Observatory. Por último, los umbrales establecidos de NDMI y MNDWI permitieron observar un aumento del 21.8% en los píxeles identificados con presencia de cuerpos de agua y suelos húmedos entre los días analizados.

#### Agradecimientos

Este trabajo fue realizado en el contexto de la materia de grado “Sensoramiento Remoto para el Sistema Terrestre 1” dictado por el Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires. Las autoras agradecen a las docentes Paola Salio y Maite Cancelada por la enseñanza de los contenidos aplicados, así como por sus correcciones y el acompañamiento brindado durante la realización del trabajo.

#### REFERENCIAS

- Agricolus, 14 de diciembre de 2018:** “NDVI and NDMI vegetation indices: instructions for use” <https://www.agricolus.com/en/vegetation-indices-ndvi-ndmi/>
- Bah, M. K., Gunshor, M. M., Schmit, T. J., 2018** Generation of GOES-16 true color imagery without a green band. *Earth and Space Science*, 5, 549–558.
- Gao, Bo-Cai., 1996:** "NDWI – A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space." *Remote Sensing of Environment* 58, 257–266.
- Instituto Nacional del Agua y Servicio Meteorológico Nacional, 14 de junio de 2024:** Boletín de Perspectivas Hidroclimáticas en la Cuenca Del Plata. [https://www.ina.gov.ar/archivos/alerta/boletin\\_hidroclim\\_2024\\_06.pdf](https://www.ina.gov.ar/archivos/alerta/boletin_hidroclim_2024_06.pdf)
- Paloscia, S., Pampaloni, Paolo., 1988:** Microwave Polarization Index for Monitoring Vegetation Growth. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, 26, 617-621.
- Rouse, J. W., Jr., Haas, R. H., Schell, et al., 1974:** Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS (NASA Conference Paper PAPER-A20). NASA Goddard Space Flight Center. <https://ntrs.nasa.gov/citations/19740022614>
- Servicio Meteorológico Nacional, junio 2024:** Boletín Climatológico mensual. Boletín de vigilancia del clima en la Argentina., XXXVI (5), 4-6. <http://hdl.handle.net/20.500.12160/2840>
- Xu, H., 2006:** Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 27(14), 3025–3033.