

## IMPACTOS DE LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA ENSO- EVENTO LA NIÑA 2021-2022, SOBRE HUMEDALES COSTEROS

Impacts of ENSO climate variability - La Niña Event  
2021-2022, on coastal wetlands

*Karenia Córdova Sáez*<sup>\*1</sup>, *Laura Delgado*<sup>2</sup>, *Santiago Ramos*<sup>2</sup>

Universidad Central de Venezuela, <sup>1</sup>Facultad de Humanidades y Educación,  
Instituto de Geografía, <sup>2</sup>Facultad de Ciencias, Instituto de Zoología y Ecología  
Tropical. kareniac@gmail.com

### RESUMEN

Durante los años 2021 y 2022 se registró un evento ENSO frío de alta intensidad, que se sumó al impacto del cambio climático. Este evento en el Parque Nacional Laguna de Tacarigua (PNLT) se acompañó de una temporada lluviosa más larga que el promedio, lo que causó una expansión de la superficie inundada del humedal, por ello, no se observaron bordes de desecación o fragmentación del cuerpo lagunar. Las temperaturas superficiales del agua, registradas a partir de las bandas térmica del sensor OLI (Combinaciones de Bandas 4,3,2 y 6,5,4) y del TIRS (Banda 10) del LANDSAT 8, fueron en este caso, más bajas que las observadas en eventos cálidos anteriores, como fue el evento El Niño 2015-2016. El análisis de imágenes satelitales del año 2022 de; abril (sequía), mayo (transición sequía-lluvia) y octubre (lluvia) en las combinaciones de bandas del espectro visible y del rango térmico, permitió estimar el impacto en el PNLT de esta fase fría del ENSO. Las imágenes con bajo porcentaje de nubosidad se seleccionaron utilizando el ONI (Oceanic Niño Index) para calificar las variaciones de intensidad de La Niña 2021-2022. Este índice es usado por la NOAA para categorizar el ENSO en los océanos, valores de +0.5 o mayores indican El Niño, mientras valores de -0.5 o menores indican La Niña. En el estudio se caracterizaron los impactos del ENSO-La Niña 2021-2022 sobre las lagunas del humedal costero, se pretende así, contribuir a mejorar el manejo, conservación y restauración ecológica del ecosistema lagunar.

**Palabras clave:** variabilidad ENSO-La Niña, temperatura superficial, PNLT, variabilidad climática.

**Keywords:** ENSO-La Niña variability, surface temperature, PNLT, climatic variability.

### INTRODUCCIÓN

Durante los años 2021 y 2022 se registró un evento ENSO frío de alta intensidad, lo que se sumó a la variabilidad global por el cambio climático. Notas de prensa e informaciones de las redes oficiales del INAMEH, reseñaron el fenómeno de La Niña durante el invierno de 2020, este se mantuvo todo el año 2021 y se intensificó en el 2022, lo que ocasionó lluvias por encima del promedio en el territorio nacional, con variaciones en cada región, dependiendo de la climatología de cada una de ellas. Durante el período de estudio se esperaba, primero la expansión de la superficie inundada, luego un aumento en la profundidad de las lagunas

que integran el ecosistema de albufera, en contraste, no se esperarían cambios de coloración significativos en los cuerpos de agua, detectables en las imágenes satelitales, que generalmente, se asocian a variaciones de la profundidad. Tampoco se esperarían bordes de desecación o fragmentación del cuerpo lagunar, como ocurrió en el evento ENSO cálido 2015-2016. Las temperaturas superficiales del agua deberían ser, en este caso, más bajas que las observadas en eventos anteriores de variabilidad cálida, como lo fue el evento El Niño 2015-2016.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se partió del análisis de imágenes satelitales del sensor Landsat 8-OLI, correspondientes a los meses de abril 2022 (período seco), mayo 2022, (transición sequía-lluvia) y octubre 2022 (período lluvioso). Se utilizaron las combinaciones de bandas del espectro visible- VIS (4,3, 2) y (6, 5, 4) del rojo de onda corta, infrarrojo y rojo respectivamente, así como las bandas térmicas-TIRS del sensor (bandas 10 y 11), con estas últimas se calcularon las temperaturas de brillo al nivel del sensor, para ello se utilizaron los números digitales (DN) de cada pixel en la imagen, corregidos a través de la calibración de los valores de radianza al nivel del tope de la atmósfera (TOA), siguiendo la metodología en Chander y Markham (2003) y el Manual de usuarios de datos científicos de LANDSAT 8 (USGS, 2019). La ecuación (1) permitió la conversión de los DN originales, a valores de brillo luego de la corrección al tope de la atmósfera (TOA), invirtiendo la función de Planck (Wang *et al.*, 2015) del rango térmico, solo para la banda 10

$$TOA = M * DN + B \quad (1)$$

donde M es el multiplicador de radianza y B es la suma de radianzas. Los valores M, B son tomados del archivo de metadatos de cada imagen, en el sitio Web; <http://earthexplorer.usgs.gov> del USGS. La Tabla 1 muestra los valores de los parámetros señalados. Para el estudio se utilizó la configuración de alta ganancia al calibrar radiométricamente los valores de la banda térmica B10 del sensor, para lo cual se utilizaron las constantes K1, K2 cuyos valores están incluidos la tabla1. Los datos de temperatura de las bandas TIRS (°K) del sensor, se calcularon mediante la ecuación (2):

$$T = k2 / \ln\left(\frac{k1}{L\lambda} + 1\right) \quad (2)$$

donde  $L\lambda$  = radiancia espectral al nivel de apertura del sensor [W/ (m<sup>2</sup> sr pm)]. Finalmente, se convirtieron los valores de temperatura a grados Celsius °C, restando 273.15 de los valores en grados °K para obtener los valores de la temperatura nivel del suelo (*Land surface temperature*-LST). Debido a la gran incertidumbre en los valores de la Banda 11, se utilizó un

algoritmo de monocanal que corresponde solo a los datos de banda 10, (Barsi y col., 2014). El uso de la ecuación 3, permitió la recuperación de LST de los datos de la Banda 10 según o descrito en Wang y col., (2015):

$$T_s = [a_{10} (1 - C_{10} - D_{10}) + (b_{10} (1 - C_{10} - D_{10}) + C_{10} + D_{10}) T_{10} - D_{10}T_a]/C_{10} \quad (3)$$

donde  $T_s$  es el valor LST recuperado de los datos de la Banda 10;  $T_a$  es la temperatura atmosférica media efectiva;  $T_{10}$  es la temperatura de brillo en la Banda 10;  $a_{10}$  y  $b_{10}$  son las constantes utilizadas para aproximar la derivada de la función de radianza de Planck (Wang y col., 2015). Después de la calibración radiométrica y la corrección atmosférica, se desarrollaron correcciones geométricas para reproyectar la banda TIRS (B10) del sensor LANDSAT 8, muestreada en una resolución de 30 m, de UTM/WGS 1984 a LAT/LONG/WGS84, para que concordara con la capa vectorial utilizada. Con esta data se realizó el análisis del impacto de la fase fría de alta intensidad de la variabilidad climática ENSO, en el PNLT (Figura 1). La Tabla 2 resume la información de las imágenes seleccionadas.

**Tabla 1.** Constantes físicas para la corrección de valores de las bandas térmicas - TIRS del sensor L8.

Metadata of Landsat 8- TIR	Band 10
Radiance Multiplier(M)	0.0003342
Radiance Add(B)	0.1
K1	774.89
K2	1321.08

Fuente: LANDSAT 8 Science Data Users Handbook (USGS, 2019).



**Figura 1.** Mapa Imagen referencial de los sectores del PNLT (Área de Estudio). Fuente: Imagen del USGS-Glovis, Landsat 8-OLI. Colección Cartográfica del IGVSB.

**Tabla 2.** Listado de Imágenes seleccionadas para el estudio.

Imagen LANDSAT 8	PAHT/ROW	Bandas del visible	Bandas del térmico
Abril, 2022	LC08_L1TP_003053_20220410_20220419_02_T1	Combinaciones de bandas del espectro visible 4,3,2 / 6,5,4	B10
Mayo, 2022	LC08_L1TP_003053_20220512_20220519_02_T1	Combinaciones de bandas del espectro visible 4,3,2 / 6,5,4	B10
Octubre, 2022	LC08_L1TP_003053_20221003_20221012_02_T1	Combinaciones de bandas del espectro visible 4,3,2 / 6,5,4	B10

**Índice ONI. Episodios fríos y cálidos por valores estacionales.** Para la selección de las imágenes se tomó en consideración, el indicador Oceanic Niño Index (ONI), que muestra las variaciones en la intensidad del evento La Niña 2021-2022. Adicionalmente, se tomó en consideración la calidad de las imágenes con bajo porcentaje de nubosidad del año 2022, cuando se registró el evento frío con mayor intensidad. Los valores del ONI delimitan la dinámica térmica que caracteriza cada época estudiada, tal como se aprecia en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Fuente: NOAA/ Servicio Meteorológico Nacional, Centros Nacionales de Predicción Ambiental, Centro de Predicción del Clima. [https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ONI\\_v5.php](https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php).

Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
2010	1.5	1.2	0.8	0.4	-0.2	-0.7	-1.0	-1.3	-1.6	-1.6	-1.6	-1.6
2011	-1.4	-1.2	-0.9	-0.7	-0.6	-0.4	-0.5	-0.6	-0.8	-1.0	-1.1	-1.0
2012	-0.9	-0.7	-0.6	-0.5	-0.3	0.0	0.2	0.4	0.4	0.3	0.1	-0.2
2013	-0.4	-0.4	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.4	-0.3	-0.3	-0.2	-0.2	-0.3
2014	-0.4	-0.5	-0.3	0.0	0.2	0.2	0.0	0.1	0.2	0.5	0.6	0.7
2015	0.5	0.5	0.5	0.7	0.9	1.2	1.5	1.9	2.2	2.4	2.6	2.6
2016	2.5	2.1	1.6	0.9	0.4	-0.1	-0.4	-0.5	-0.6	-0.7	-0.7	-0.6
2017	-0.3	-0.2	0.1	0.2	0.3	0.3	0.1	-0.1	-0.4	-0.7	-0.8	-1.0
2018	-0.9	-0.9	-0.7	-0.5	-0.2	0.0	0.1	0.2	0.5	0.8	0.9	0.8
2019	0.7	0.7	0.7	0.7	0.5	0.5	0.3	0.1	0.2	0.3	0.5	0.5
Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
2020	0.5	0.5	0.4	0.2	-0.1	-0.3	-0.4	-0.6	-0.9	-1.2	-1.3	-1.2
2021	-1.0	-0.9	-0.8	-0.7	-0.5	-0.4	-0.4	-0.5	-0.7	-0.8	-1.0	-1.0
2022	-1.0	-0.9	-1.0	-1.1	-1.0	-0.9	-0.8	-0.9	-1.0	-1.0	-0.9	

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las LST correspondientes a La Niña, 2021-2022 en el PNLT fueron más bajas que las observadas en años neutros o en los de fase cálida (Figura 2). Durante el mes de abril (Figuras 3 y 4) se observaron LST más frescas

alrededor de la zona de la boca que persistieron hacia la zona de El Placer, efecto favorecido aún más, por el barrido de los vientos alisios que también facilitaron la penetración del mar, lo que a su vez aumentó la salinidad en las aguas de la laguna, en particular en el sector de El Placer. En Laguna Arena y El Cazote los valores de LST fueron más bajos que el promedio durante el mes de abril (Figuras 5, 6), en estas localidades los vientos alisios pueden haber causado surgencia con mezcla de aguas, aun cuando estos sectores son de baja profundidad, sería interesante verificar en campo estos hallazgos detectados en las imágenes. En los sectores desforestados dentro del parque, al sur entre El Placer y Laguna Grande, en El Cazote, y en las zonas adyacentes al parque con parcelamientos agrícolas, prevalecieron temperaturas más altas (28-34°C).

El único sector prácticamente inalterado en términos de variaciones en las LST y la profundidad, fue la zona de Laguna Grande, con valores promedio estables entre 24-27°C. Los cambios de profundidad en el ecosistema lagunar solo fueron perceptibles, por los cambios de coloración en los sectores de El Guapo, La Boca, Laguna Arena y El Cazote, observables en la combinación de bandas del visible (4, 3, 2), que corresponden a zonas someras que presentaron este efecto durante los meses de abril y mayo. No se observaron franjas de desecación ni fragmentación del cuerpo lagunar, por el contrario, las lagunas mantuvieron la lámina de agua aún durante la estación seca, a diferencia de lo ocurrido durante el evento ENSO cálido 2015-2016, donde sí se observó desecación total en algunos sectores y una disminución significativa de la conectividad entre sectores dentro del cuerpo lagunar (Figura 2). En el periodo analizado, por el contrario, se observa una buena conectividad a través de los canales y vasos que comunican los diferentes sectores de la laguna, y la extensión del cuerpo acuático con la formación de pequeñas lagunas al norte del sector del El Guapo. La mancha de inundación alrededor del humedal fue detectable utilizando la combinación de bandas 6,5,4, la extensión del área inundada, se observó durante todos los meses analizados (Figuras 7,8,9), incluyendo los meses de la temporada seca, como el mes de abril y durante la transición sequía-lluvia, en el mes de mayo, solo que esta zona de expansión fue menos extensa, con una coloración más clara en este periodo, lo que sugiere menor profundidad, mientras fue más extensa y oscura durante el mes de octubre que corresponde a un mes lluvioso. Este contraste se observa al comparar las Figuras 7, 8 y 9.

## **CONCLUSIONES**

Durante el evento la Niña 2021-2022, la precipitación sobre la región del PNLT, mantuvo la lámina de agua en niveles normales en todas las lagunas integrantes del ecosistema, con alguna pérdida de profundidad en

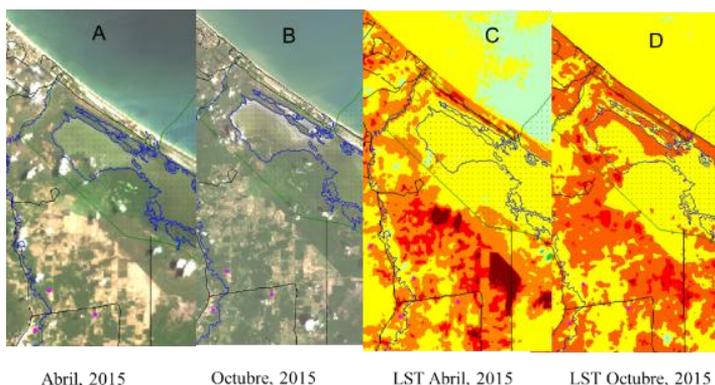
las regiones de El Guapo, Laguna Arena y El Cazote, pero manteniendo la integridad del sistema y sin afectar su conectividad.

El área inundada del humedal se extendió, sobre todo alrededor de los sectores del El Guapo y El Placer, esta condición persistió aún durante la temporada seca, y se amplió alrededor de todo el ecosistema lagunar durante la temporada de lluvias. La imagen correspondiente al mes de octubre de 2022, permite observar una saturación de toda el área del humedal, con surgimiento de pequeñas lagunas y múltiples canales y vasos que se comunican entre sí.

El mantenimiento de la lámina de agua y la extensión del área inundada del humedal puede ser beneficioso para el ecosistema lagunar. Sería importante verificar los parámetros fisicoquímicos y biológicos, porque el aumento de las precipitaciones asociadas al evento ENSO frío pudo favorecer el arrastre de desechos urbanos y contaminantes.

Las combinaciones de bandas del espectro visible y del rango térmico (4,3,2/6,5,4) respectivamente y la banda específica del sensor TIR para temperatura (B10) resultaron herramientas útiles para determinar los cambios estacionales y el efecto de la variabilidad ENSO cálidos/fríos, tanto para las variaciones de profundidad, la mancha de inundación, como de las temperaturas superficiales, sobre el PNLT.

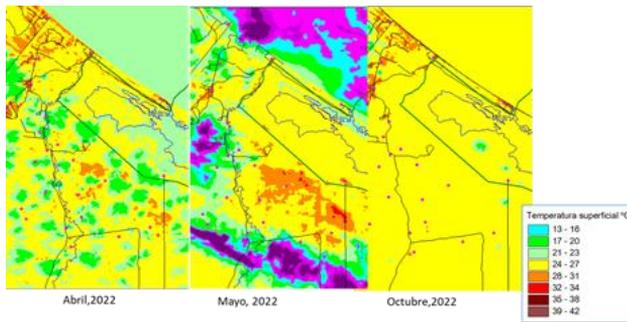
La banda del espectro térmico (B10), del sensor Landsat 8-OLI, sirvió para mostrar las temperaturas más frescas en todo el ecosistema lagunar, aún durante la temporada seca, con pequeñas áreas críticas al sur de Laguna Grande y en El Cazote, que parecen estar relacionadas a la deforestación para actividad agrícola.



**Figura 2.** Comparación de las imágenes en dos tiempos diferentes del ciclo estacional. A la izquierda (A y B) imágenes del sensor OLI en combinación (4, 3, 2) color real. A la derecha (C y D) imágenes de la banda térmica (B10) del sensor OLI en dos (2) fechas analizadas. Sector El Guapo y La Boca-PNLT.



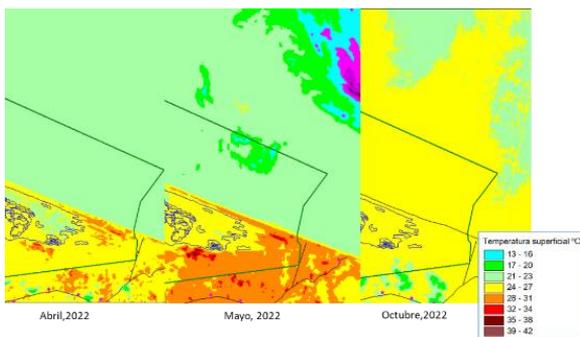
**Figura 3.** Secuencia de imágenes, en las tres (3) fechas analizadas, Sectores El Guapo y La Boca del PNLT. En combinación de bandas en el rango visible 4, 3, 2.



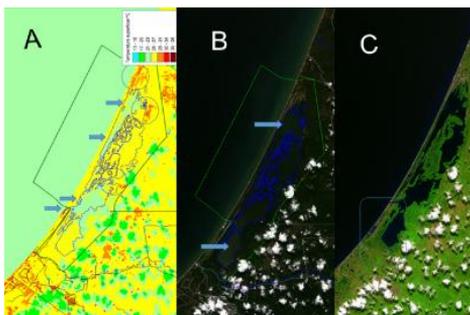
**Figura 4.** Secuencia de imágenes Landsat 8, banda térmica (B10) en las tres (3) fechas analizadas del Sector El Guapo y La Boca del PNLT.



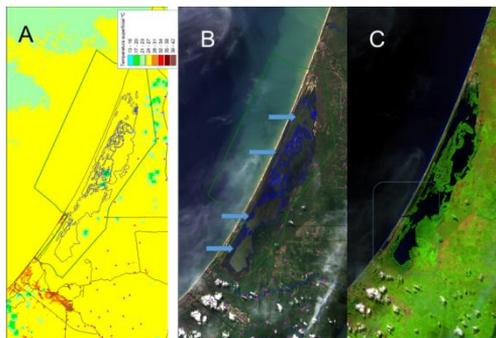
**Figura 5.** Secuencia de imágenes Landsat 8 en las tres (3) fechas analizadas de los sectores Laguna Arena y El Cazote del PNLT. Combinación bandas 4,3,2 en el rango visible.



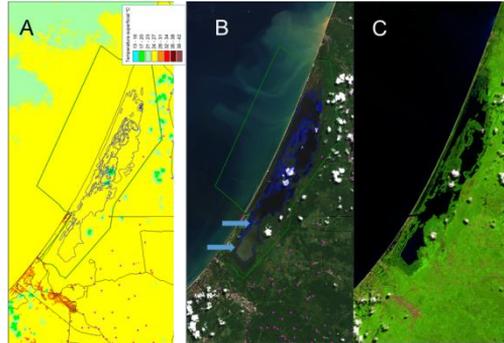
**Figura 6.** Secuencia de imágenes Landsat 8, banda térmica (B10) en las tres (3) fechas analizadas de los sectores Laguna Arena y El Cazote del PNLT.



**Figura 7.** Secuencias de imágenes Landsat 8, abril 2022. A.- Imagen térmica (B10). B.- combinación 4, 3, 2 del visible para determinación de cambio en la profundidad. C.- combinación de bandas 6,5,4, para la detección de la mancha de inundación, PNLT.



**Figura 8.** Secuencia de imágenes Landsat 8, mayo 2022. A.- LST- Banda (10) térmica. B.- Detección cambios en la profundidad de las lagunas. Combinación bandas del visible 4,3,2. C.- combinación bandas 6,5,4 para detección de la mancha de inundación, PNLT.



**Figura 9.** Secuencias de imágenes Landsat 8, octubre 2022. A- LST banda térmica (B10). B- detección de cambios en la profundidad de las lagunas, combinación 4,3,2 de bandas en el espectro visible. C.- combinación bandas 6,5,4 para detección de la mancha de inundación, PNLT.

## LITERATURA CITADA

- Chander, G., B.L. Markham y D.L. Helder. 2009. Summary of Current Radiometric Calibration Coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI Sensors. (In Press, Remote Sensing of Environment, Manuscript Number: RSE-D-08-00684) Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI Sensors.
- USGS. 2019. LANDSAT 8 (L8) Data Users Handbook. Versión 5.0. Consultado en: Febrero, 2023, disponible en: <https://www.usgs.gov/media/files/LANDSAT-8-data-users-handbook>.
- Wang, F., Z. Qin, C. Song, L. Tu, A. Karnieli y S. Zhao. 2015. An Improved Mono-Window Algorithm for Land Surface Temperature Retrieval from LANDSAT 8 Thermal Infrared Sensor Data. *Remote Sensing* 7(4): 4268-4289.