

Dinámica multitemporal de los espejos de agua principales de El Salvador con datos geoespaciales

Villalobos Velásquez, A. M, ORCID: 0009-0004-1738-2436;

Dirección General del Observatorio de Amenazas y Recursos Naturales del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, San Salvador, El Salvador.

avillalobos@ambiente.gob.sv

Resumen – Este estudio analiza la variación multitemporal de cuerpos de agua, centrándose en los lagos, lagunas y embalses más importantes en El Salvador, pues debido a sus características son sensibles a cambios naturales que los convierten en indicadores ambientales. Utilizando imágenes del satélite Sentinel-2 desde 2018 hasta 2023, el estudio establece una metodología para la generación de máscaras que identifican áreas de agua y no agua, teniendo en cuenta la interferencia de vegetación flotante. Los resultados revelan variaciones significativas en el espejo de agua, con cambios que dependen de factores estacionales y climáticos. El embalse Cerrón Grande presentó la mayor diferencia entre niveles máximos y mínimos, con una variación de hasta 5,930 hectáreas, mientras que lagos de Coatepeque e Ilopango mostraron una dinámica más estable. Asimismo, humedales como El Jocotal y Olomega, Metapán y los embalses evidenciaron sensibilidad a las descargas fluviales y a la expansión de vegetación acuática flotante. Por tanto, es importante la monitorización continua para la gestión de recursos hídricos y la conservación de ecosistemas.

Palabras clave: - Sentinel-2, cuerpos de agua, cambio climático, vegetación flotante, gestión hídrica.

Abstract – This study analyzes the multitemporal variation of water bodies, focusing on the most important lakes, lagoons, and reservoirs in El Salvador. Due to their physical and ecological characteristics, these water bodies are highly sensitive to natural changes, making them valuable environmental indicators. Using Sentinel-2 satellite imagery from 2018 to 2023, a methodology was developed to generate water and non-water masks, accounting for the interference of floating vegetation. The results reveal significant variations in the water surface area of several bodies, driven by seasonal and climatic factors. Cerrón Grande Reservoir showed the largest difference between minimum and maximum levels, with a variation of up to 5,930 hectares. In contrast, lakes such as Coatepeque and Ilopango exhibited more stable surface dynamics. Wetlands like El Jocotal, Olomega, and Metapán, along with various reservoirs, showed clear sensitivity to river inflows and the expansion of floating aquatic vegetation. These findings underscore the importance of continuous monitoring for effective water resource management and ecosystem conservation.

I. INTRODUCCIÓN

Los lagos y ríos son los recursos hídricos más accesibles para el abastecimiento de agua potable de muchas poblaciones en el mundo, estas fuentes hídricas se valoran por su capacidad de almacenar las aguas de inundación, mejorar la calidad de agua y recargar los acuíferos de aguas subterráneas. Las áreas de superficie de un lago son sensibles a los cambios naturales y por lo tanto pueden servir como

importantes indicadores de las variaciones en el medio ambiente regional y las fluctuaciones en el clima mundial (Bai et al., 2011).

El Salvador forma parte del Corredor Seco de Centroamérica, una región con condiciones climáticas particulares y alta vulnerabilidad ante el cambio climático. El aumento de las temperaturas y la alteración de los patrones de precipitación amenazan directamente la disponibilidad hídrica, afectando sectores estratégicos como la agricultura, la generación de energía, la salud y el turismo.

En este contexto, los espejos de agua adquieren una importancia crítica, tanto por su función como fuentes de agua dulce como por su valor ecológico y socioeconómico. Por ello, el estudio de sus variaciones espaciales y temporales es fundamental para anticipar impactos, diseñar estrategias de adaptación y orientar acciones de conservación frente a los efectos del cambio climático (MARN, 2018).

En este estudio se plantea realizar un análisis multitemporal en los principales cuerpos de agua como lagos, lagunas y embalse de El Salvador e identificar las variaciones estaciones mediante las imágenes satelitales. Dichos cuerpos de agua son los siguientes (Fig. 1):

- Lago de Coatepeque
- Laguna El Jocotal
- Lago de Guija
- Laguna de Olomega
- Laguna de Metapán
- Embalse Cerrón Grande
- Embalse 15 de septiembre
- Lago de Ilopango
- Embalse 5 de noviembre



Fig 1. Ubicación de los principales cuerpos de agua de El Salvador.

II. METODOLOGÍA Y DATOS

Los cuerpos de agua a analizar son los lagos, lagunas de grandes dimensiones y los embalses del país. El análisis utilizará las imágenes ópticas del Instrumento Multiespectral (MSI) de Sentinel-2 de la Agencia Espacial Europea, con el nivel de procesamiento L2A, el cual, considera correcciones atmosféricas en el periodo analizado comprendido desde el 2018 hasta

el 2023. Dichas imágenes cuentan con 13 bandas espectrales con resolución espacial entre 10 y 60 m como se muestra en la tabla 1.

TABLA 1: BANDAS ESPECTRALES DEL SATÉLITE SENTINEL-2 CON RESOLUCIÓN ESPACIAL (FUENTE: ESA, 2024)

N° de Banda	Nombre	Longitud de Onda (nm)	Resolución Espacial (m)
1	Azul	490	10
2	Verde	560	10
3	Rojo	665	10
4	Borde Rojo 1	705	20
5	Borde Rojo 2	740	20
6	Borde Rojo 3	783	20
7	NIR	842	10
8	NIR (cercano)	865	10
8A	NIR (cercano)	865	20
9	Vapor de Agua	945	60
10	SWIR 1	1375	60
11	SWIR 2	1610	20
12	SWIR 3	2190	20

La metodología considera varios pasos para la generación de la máscara del cuerpo de agua (ver Fig. 2). Estos pasos son los siguientes:

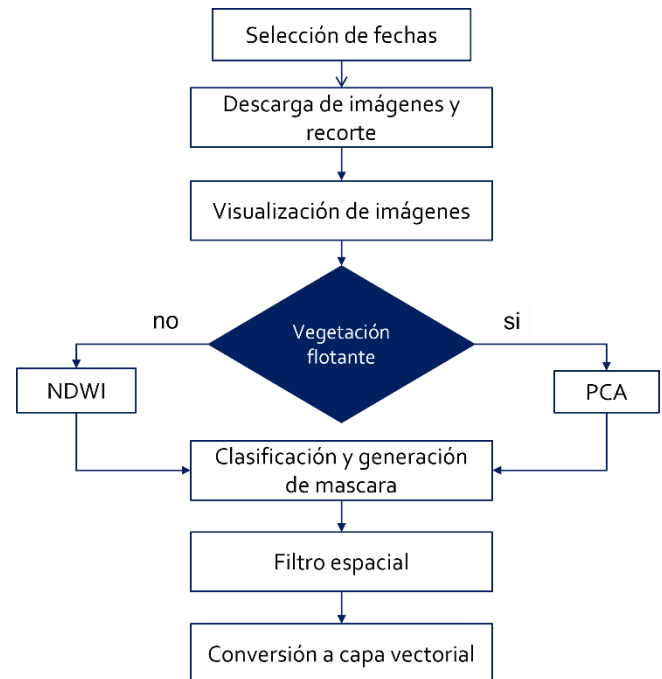


Fig. 2. Flujo de procesos para la generación del espejo de agua de los lagos, lagunas y embalses.

A. Selección de fechas

Este es el primer paso del análisis y uno de los más importantes, pues se eligen las fechas o periodos de búsqueda de las imágenes con el fin que las

imágenes representen el espejo mínimo y máximo por año desde el 2018 hasta el 2023. Aunque la mayoría presenta un espejo o nivel mínimo al final de la época seca (marzo-abril) y el máximo a finales de la época lluviosa (octubre), el periodo es variable para cada cuerpo de agua. Por ejemplo, los embalses 5 de noviembre y 15 de septiembre varían su nivel según las descargas que realiza el embalse cerrón Grande.

Por tanto, para el caso de los embalses se utilizaron los datos de nivel de las estaciones in situ para identificar el periodo donde alcanzan su nivel mínimo y máximo. Mientras que para los otros lagos y lagunas se usó el periodo de final de cada época a partir de la visualización de las imágenes a través de la plataforma de Copernicus Data Space Ecosystem <https://browser.dataspace.copernicus.eu/>.

B. Descarga de imágenes y recorte

La descarga de las imágenes se realizó mediante código python usando la API de Sentinel Hub Process (Sentinel Hub, 2024) y para el recorte de la imagen usando un polígono rectangular sobre el área de cada cuerpo de agua.

C. Visualización de imágenes

Se utilizó un periodo específico para la búsqueda de imágenes que fue elegido en el paso 1, seleccionando aquellas que presentaban las mejores condiciones, es decir, sin nubes, sin fenómenos de sunglint y que cubrieran el área completa. El sunglint es un efecto en las masas de agua de las imágenes satelitales, que se produce cuando la luz solar se refleja en la superficie en el mismo ángulo en que la capta el sensor (NESDIS, 2025).

Para esto, se visualizaban las imágenes en composición RGB de color verdadero, lo que facilitaba la elección de la mejor opción. Un ejemplo de esta visualización se presenta en la Fig. 3 que muestra varias imágenes de Guija para el año 2018, donde se pueden observar imágenes afectadas por nubes, sunglint y vegetación acuática.

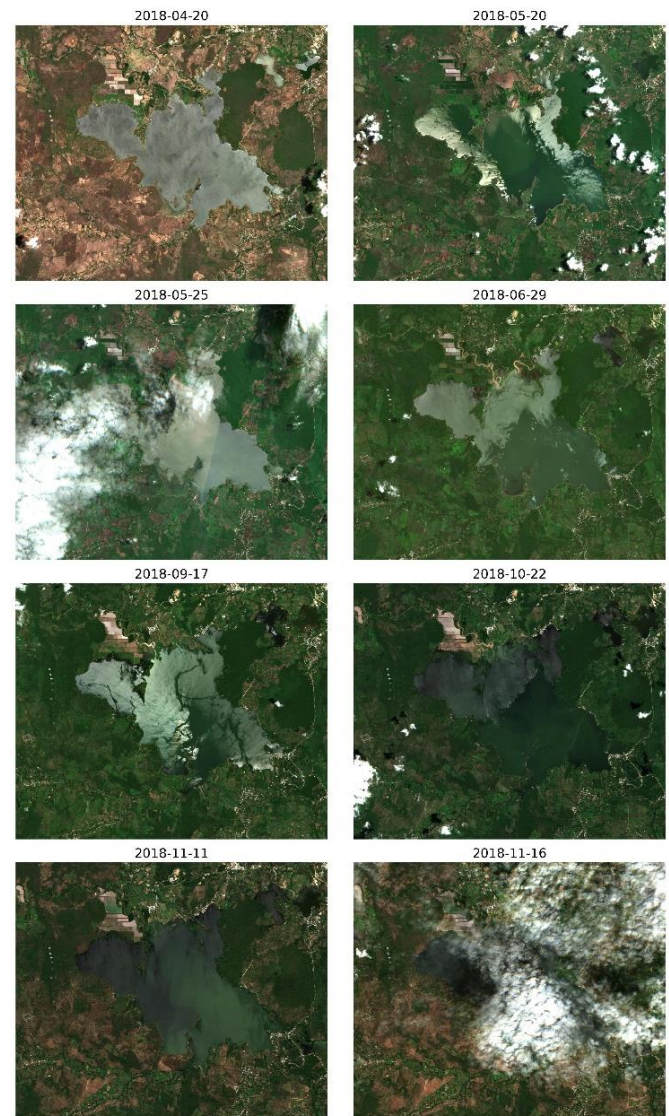


Fig. 3 Composición RGB de color verdadero de Guija para el año 2018, donde se observan imágenes con nubes (imágenes con fecha de 2018-04-20, 2018-05-20, 2018-05-25, 2018-11-16), sunglint ((imágenes con fecha de 2018-05-20, 2018-06-29, 2018-09-17, 2018-10-22) y vegetación acuática flotante observada en laguna de Metapán.

D. Clasificación de imagen y generación de máscara

El mapeo del espejo de agua de los diferentes cuerpos de agua se realiza mediante la generación de una máscara. Dicha máscara se obtiene con una previa clasificación binaria de los que es agua y no agua. Para conocer estos valores se utilizan dos metodologías una es el cálculo del Índice de Agua De Diferencia Normalizada (NDWI) que permite identificar la cobertura de agua.

Sin embargo, muchos de los cuerpos de agua analizados presentan diferentes tipos de vegetación flotante e incluso presencia de algas, por lo que el

NDWI no mapea correctamente todo el cuerpo de agua. Para solventar esto se procede con el análisis de componentes principales (PCA). Dichos métodos se describen a continuación:

1) Índice de Diferencia Normalizado del Agua (NDWI)

Este índice permite la identificación del espejo de agua y es posible enmascarar el área de los cuerpos de agua utilizando la banda del Verde y el SWIR (Short Wave Infrared) (EROS, 2023) como se describe en la siguiente ecuación:

$$\text{NDWI} = (\text{Verde} - \text{SWIR}) / (\text{Verde} + \text{SWIR})$$

2) Análisis de Componentes Principales

El análisis de componentes principales (PCA) es una técnica estadística multivariante de simplificación, que permite transformar un conjunto de variables originales correlacionadas entre sí, en un conjunto sintético de variables no correlacionados denominados factores o componentes principales (Deng et al., 2019).

Las nuevas variables son combinaciones linealmente independientes de las variables originales, ordenadas de acuerdo a la representación de dispersión respecto a la nube total de información recogida en las muestras.

En este estudio, se adoptó el método de PCA para cada fecha seleccionada, siendo las variables las 12 bandas de Sentinel-2, debido a que la mayor parte de la información se concentran en las primeras componentes se define un número máximo de 6 para el cálculo las componentes.

E. Filtro espacial y conversión a capa vectorial

Para disminuir el efecto de bordes y valores de píxeles ruidosos se aplica un filtro espacial con una ventana de 5x5 píxeles permitiendo suavizar los datos. Además, los resultados de más mascarar se contrastaron con las imágenes color verdadero para capturar la información real. Finalmente, se convierten los archivos de las máscaras a formato vector, se hace una limpieza final y calcula el área de los espejos de agua.

III. RESULTADOS

Una variable clave en el mapeo del espejo de agua es la presencia de vegetación flotante, ya que su reflectividad puede ser similar a la de áreas terrestres con vegetación. Los cuerpos de agua que presentaron vegetación flotante en diferentes

momentos son: el embalse Cerrón Grande, el embalse 15 de septiembre, la laguna de Metapán, la laguna de Olomega y El Jocotal.

En el análisis de PCA, se observó que la vegetación flotante varía entre los cuerpos de agua. En algunos casos, como el embalse Cerrón Grande, la laguna de Metapán y el embalse 15 de septiembre, fue más fácil diferenciarla de la vegetación terrestre. Sin embargo, en otros casos, la diferenciación resultó ser menos notable.

A. Índice de Diferencia Normalizado del Agua (NDWI)

La clasificación binaria de agua y no agua se realiza mediante un umbral determinado a partir de la visualización del histograma de los datos del NDWI, el cual generalmente presenta un comportamiento bimodal. Un ejemplo de esto se muestra en la Fig. 4 b donde se puede observar la distribución bimodal de los datos. En el histograma del NDWI de la imagen del lago de Coatepeque para el 11 de noviembre de 2028, el umbral que separa las dos curvas se establece en -0.1.

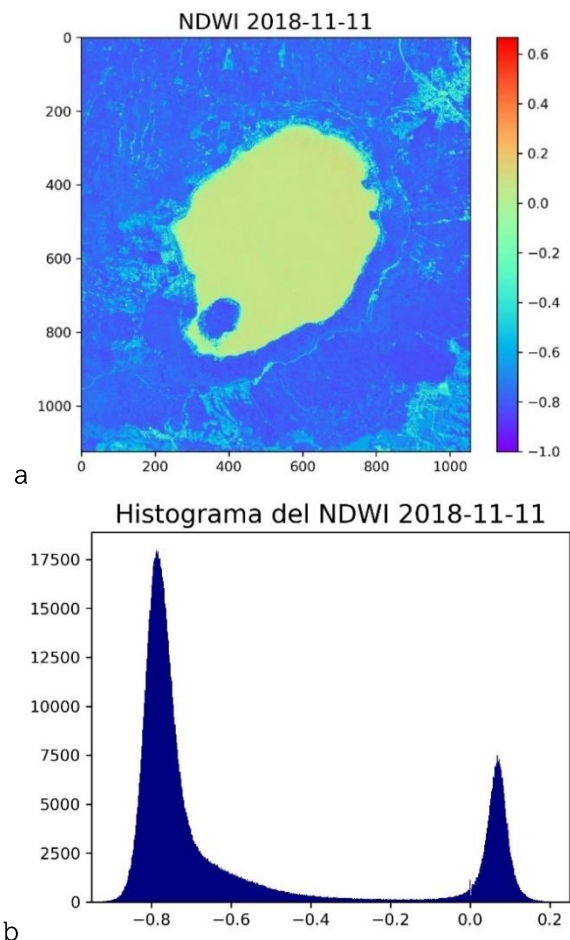


Fig. 4. La figura a muestra el NDWI de la imagen del 11-11-2018 del lago de Coatepeque. En b el histograma de los datos obtenida para la misma fecha.

B. Análisis de Componentes principales

La componente 1 del PCA en la mayoría de los casos representaba la información de la cobertura de agua y de la vegetación acuática, como se muestra un ejemplo en la Fig. 5.

En este caso particular, en el embalse cerrón Grande, la mayor parte del agua del embalse estaba cubierto de vegetación acuática flotante. Siendo, distinguible entre la cobertura del agua y del resto de la vegetación en tierra. En el histograma de PCA 1 de la Fig. 6b se muestran claramente las 3 clases predominantes: la vegetación flotante (la primera curva), el agua (tercera curva) y el resto de la cobertura (la segunda curva). En contraste, el NDWI solo muestra dos distribuciones Fig. 6a.

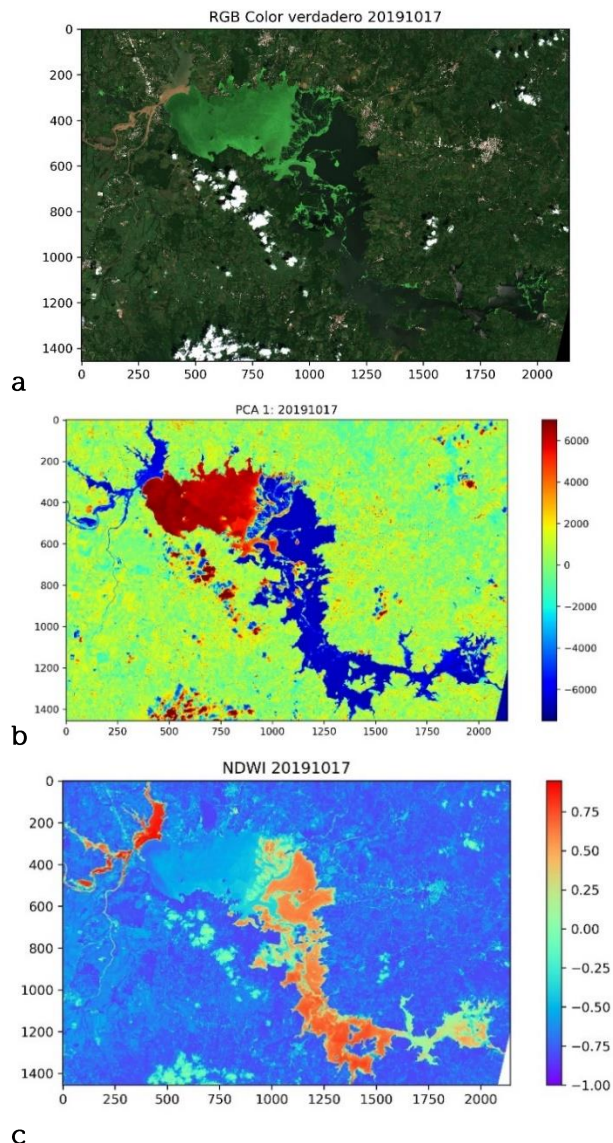
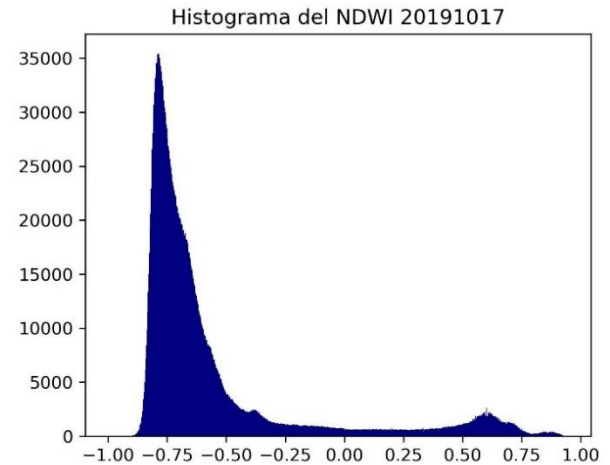


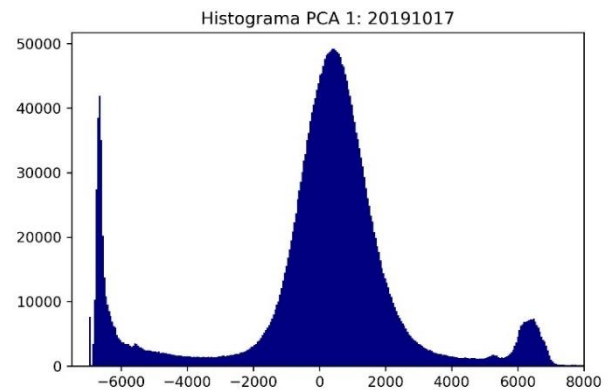
Fig. 5. La figura a muestra una imagen RGB en color verdadero del embalse cerrón Grande del 17-10-2019. En b la

componente 1 del PCA y c el NDWI obtenidos para la misma fecha.

Para el cálculo de la máscara de agua, en la mayoría de los casos se utilizó la componente 1. Sin embargo, en algunas situaciones se emplearon junto a la componente 1 las componentes 2 o incluso la 5, dependiendo de la zona analizada. Mientras que los umbrales para la clasificación binaria variaron según cada componente, generalmente para la componente 1 se utilizó un umbral menor a -2000.



a



b

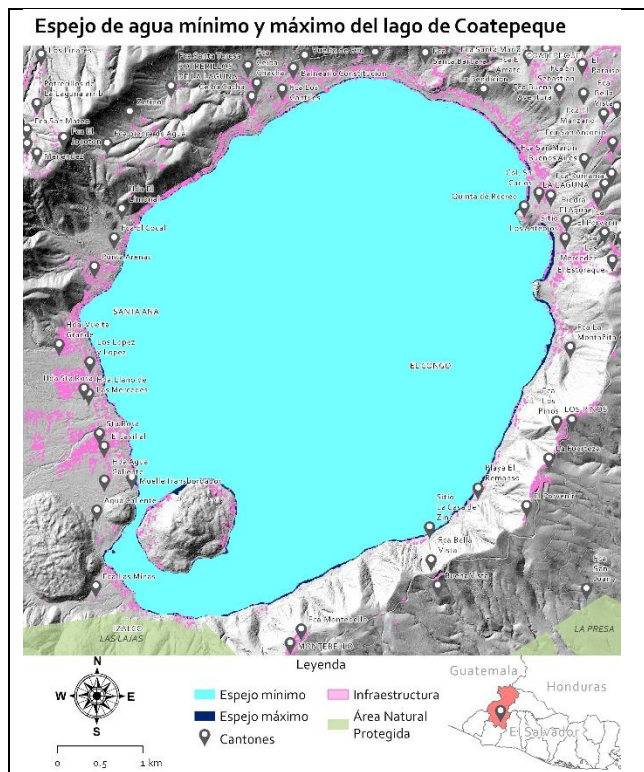
Fig. 6 La figura a muestra el el histograma de los datos del NDWI de la imagen del 17-10-2019 del cerrón Grande. En b el histograma de los datos obtenida de la componente 1 de PCA para la misma fecha

C. Análisis multitemporal de los espejos de agua

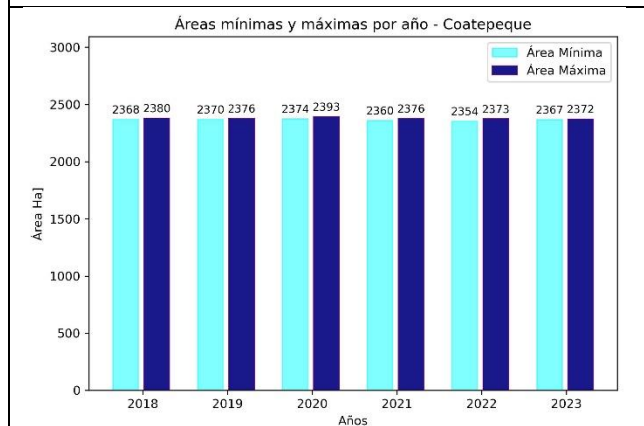
Con base en las máscaras de los espejos de agua, se calculó el área de cada cuerpo de agua, obteniendo dos mediciones por año: una para el nivel mínimo y otra para el nivel máximo. A partir de estos datos, se identificaron las variaciones estacionales y anuales para cada uno de ellos, las cuales se describen a continuación:

1) Lago de Coatepeque

El lago de Coatepeque es un lago ubicado en una caldera. El análisis temporal del lago de Coatepeque revela variaciones de superficie entre 6 y 19 hectáreas, con una media de 15 hectáreas, durante el periodo de 2018 a 2023. Estas variaciones son bastante pequeñas en comparación con el espejo total de agua del lago. El espejo de agua mínimo se registró en 2022, con un área de 2,354 hectáreas, mientras que el valor máximo se observó en 2020, alcanzando un área de 2,393 hectáreas. Esta información se ilustra en el mapa y la gráfica de la Fig. 7 a y b.



a



b

Fig. 7 La figura a el mapa con el espejo máximo y mínimo de Coatepeque. En b el gráfico con las variaciones en área del espejo de agua del lago.

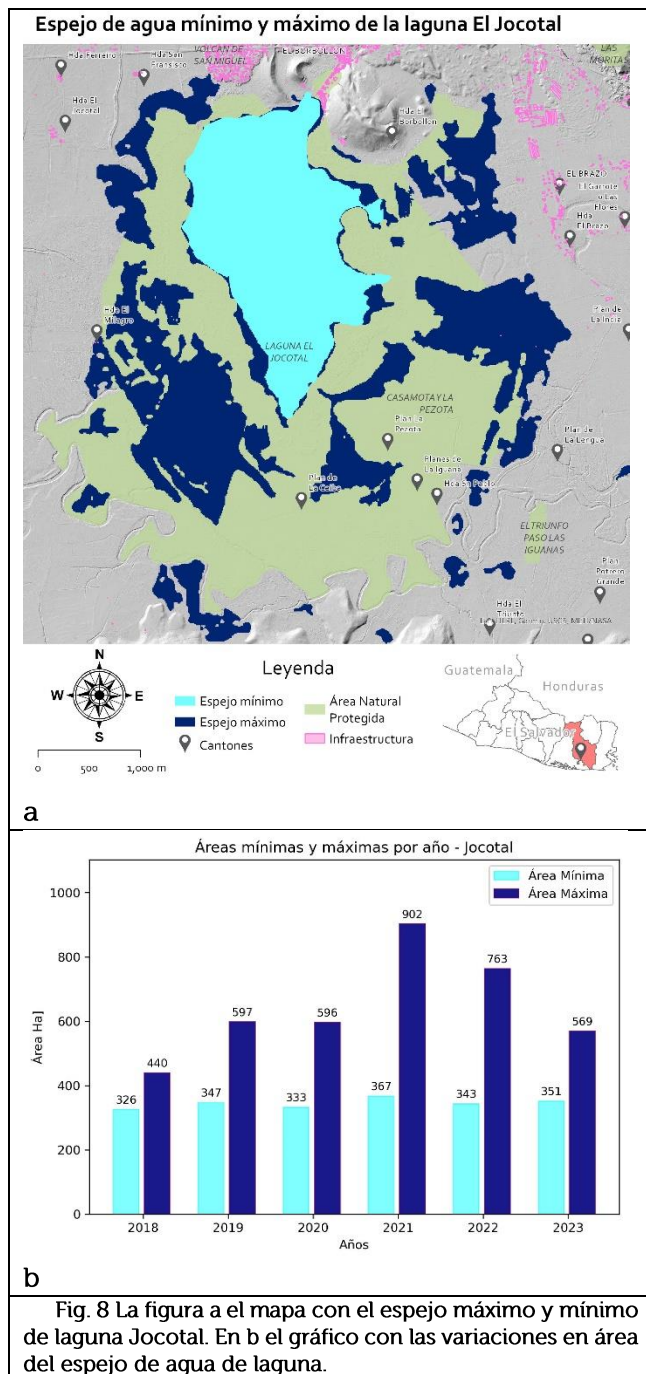
2) Laguna El Jocotal

La laguna El Jocotal es un humedal de importancia internacional según la Convención Ramsar. En su espejo de agua, se observa vegetación flotante de forma perenne en su cuerpo principal. Sin embargo, debido a su afluente, el río Grande de San Miguel (RGSM), sus niveles fluctúan con la recarga que este aporta durante la época lluviosa. En 2018, se identificó un área mínima de 326 hectáreas, mientras que el espejo máximo analizado durante la época lluviosa se registró en 2021, con un área de 902 hectáreas. Este aumento se debe a que las zonas circundantes de la laguna presentan agua adicional por la recarga del RGSM. Esta información se muestra en el mapa y la gráfica de la Fig. 8.

3) Lago de Guija

El Lago de Guija cuenta con tres ríos tributarios importantes: el río Angue, el río Cuzmapa y el río Ostúa. El agua del lago se vierte al cauce principal del río Lempa a través del río Desagüe, que recorre una distancia de 8 km, donde se encuentra la Central Hidroeléctrica de Guajoyo (Organización del Sector Pesquero y Acuícola del Istmo Centroamericano, 2021).

La dinámica del lago depende en gran medida de la recarga de los ríos que drenan hacia él. En el análisis realizado, se observa que el espejo de agua mínimo varía poco, oscilando entre 3,622 y 4,059 hectáreas. En contraste, el espejo de agua máximo muestra un aumento significativo, alcanzando un área de entre 4,567 y 5,403 hectáreas. El máximo se registró en 2022, mientras que el mínimo más bajo se observó en 2023, como se muestra en la figura del apéndice A1.



4) Laguna de Olomega

La laguna de Olomega, un humedal Ramsar, es el mayor cuerpo de agua dulce en la región oriental de El Salvador. Está conectada a la cuenca del río Grande de San Miguel y recibe agua durante la estación lluviosa (MARN, 2019).

Las áreas máximas y mínimas obtenidas en la laguna de Olomega son variables entre años. Por lo que en el gráfico de la figura del apéndice A2, se muestran los valores de área de una imagen de la época seca y otra de la lluviosa debido a que en

algunos casos el nivel máximo se registra en la época seca. En este caso es importante mencionar que sea identificado el espejo hidrométrico de la laguna, el cual varía entre 2307 y 2569 Ha en el periodo analizado.

5) Laguna de Metapán

La laguna de Metapán presenta cambios importantes entre las época seca y lluviosa, su espejo aumenta casi el doble. Siendo su área máxima de 554 Ha en el año 2022 y el mínimo obtenido de 204 en el 2020. Además, esta laguna presenta vegetación flotante variable a lo largo del año, la cual ha sido importante en el 2021 (MARN, 2023). Ver el mapa y grafico de la figura del apéndice A3.

6) Embalse Cerrón Grande

El embalse cerrón Grande presenta un espejo de agua diferente en cada momento del año, influido por las recargas de lluvia. Aunque generalmente el mínimo y el máximo se registran en los meses de julio y octubre, respectivamente. Esto podría cambiar si se registra un evento de lluvias tipo temporal.

De hecho, el embalse presenta tierras fluctuantes que corresponden a las orillas del embalse que quedan expuestas en la época seca; son tierras con un alto valor productivo debido a su grado de fertilidad y humedad. Solo el 25% de estas tierras se utiliza para la agricultura (1,891 manzanas), mientras que el 75% restante se destina a la ganadería (Escobar, 2023).

La diferencia entre el espejo máximo (7,617 Ha en el 2021) y mínimo (13,547 Ha, en el 2020) encontrado en el embalse es de 5930 Ha en el periodo analizado. Por tanto, este embalse es uno de los que más variaciones presenta a lo largo del tiempo (fig. del apéndice A4). Además, un aspecto importante es la presencia de vegetación flotante en el embalse, esta se presenta en gran cantidad y cubre gran parte del embalse anualmente.

7) Embalse 15 de septiembre

El embalse 15 de septiembre esta influenciada por las descargas que se realizan en los embalses que se encuentran aguas arriba (cerrón Grande y 5 de noviembre). Por tanto, presenta variaciones en el tiempo del nivel no de forma estacional sino más aleatoria. Aun así, se ha observado que las variaciones del espejo de agua tienden a ser más

pequeñas en el año, 529 Ha identificadas en el periodo. El valor mínimo encontrado es de 2214 Ha en, en 2023 y el máximo es de 2743 en 2020 (fig. del apéndice A5),

8) Lago de Ilopango

El Lago de Ilopango es el lago natural más grande de El Salvador y su origen es de tipo volcánico, 72 km² de espejo de agua y una profundidad que varía entre los 240 a 260 metros; su cuenca es compartida por 14 municipios y alrededor de 600 mil pobladores (UNES, 2023).

Las máscaras de espejo de agua obtenidas en el periodo de 7 años muestran que el área del lago varía entre 7005 Ha y 7088 Ha, con una diferencia de 83 Ha. En este caso, dichas variaciones son pequeñas con respecto al espejo total del lago (fig. del apéndice A6).

9) Embalse 5 de noviembre

El embalse 5 de noviembre, el primer embalse del país, ubicado en el sitio La Chorrera del Guayabo, sobre el río Lempa, presenta variaciones en el área del espejo agua durante el año de forma no estacional debido a que su nivel es también afectado por las descargas en el embalse cerrón Grande.

En el periodo analizado, se encontró que su espejo de agua variaba entre 745 Ha (en el año 2019) y 1083 (en el año 2020) Ha, con una diferencia de 338 Ha (fig. del apéndice A7)

10) Embalse de la Central Hidroeléctrica 3 de febrero

La presa El Chaparral, actualmente denominada Central Hidroeléctrica 3 de febrero, fue inaugurada en octubre de 2023, quince años después de la colocación de su primera piedra.

En septiembre de 2022 se inició el llenado del embalse; sin embargo, este proceso fue revertido de manera urgente debido a **graves filtraciones** en el dique y otras áreas de la infraestructura. Para atender estas fallas, se suscribieron varios contratos de reparación (El Salvador, 2023). De acuerdo con la Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa (CEL), el proyecto fue diseñado con un embalse de almacenamiento anual de 10.8 km² de superficie, cuya función principal es regular el caudal del río Torola.

El análisis de imágenes satelitales Sentinel-2 ha permitido monitorear la evolución del embalse. Para julio de 2024, se estimó un área inundada de 8,534,654.04 m² (8.53 km²), como se muestra en la Fig. 9 y en la Fig. A9 del Apéndice.

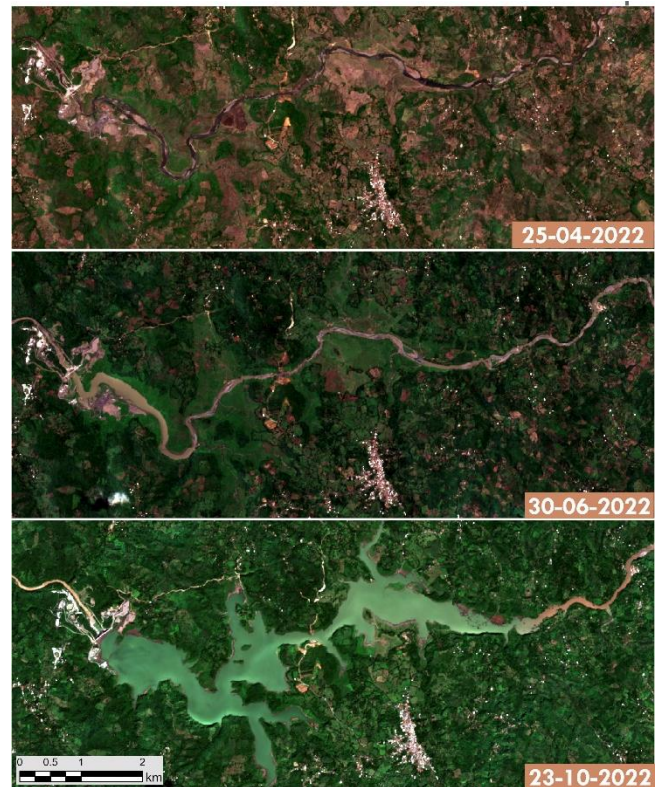


Fig. 9. Formación del embalse "03 de febrero" en 2022.

IV. CONCLUSIONES

Este estudio muestra la importancia del monitoreo continuo de los cuerpos de agua en El Salvador para entender las variaciones estacionales y climáticas que los afectan. Los métodos combinados de NDWI y PCA demostraron ser efectivos en la identificación precisa de áreas de agua, incluso en cuerpos con vegetación flotante.

Donde, el embalse Cerrón Grande mostró la mayor variación en área, con una diferencia de 5,930 hectáreas entre su nivel máximo y mínimo, la laguna El Jocotal, registró una variación de más de 570 hectáreas, influenciada por la recarga del río Grande de San Miguel. Mientras que otros cuerpos como el lago de Ilopango y el lago de Coatepeque evidenciaron cambios menores en superficie, lo que sugiere una mayor estabilidad hidrológica. El embalse 3 de febrero, recién inaugurado, alcanzó un espejo de agua de 8.53 km² en julio de 2024, lo que permite sentar una línea base para su monitoreo futuro.

Esto tiene implicaciones significativas para la gestión sostenible de recursos hídricos, sugiriendo la

necesidad de políticas que protejan estos ecosistemas.

REFERENCIAS

Agencia Espacial Europea (ESA). (2024). Sentinel-2 Mission Overview. https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-2/Sentinel-2_Mission_Overview

Bai, J., Chen, X., Li, J., Yang, L., & Fang, H. (2011). Changes in the area of inland lakes in arid regions of Central Asia during the past 30 years. *Environmental Monitoring and Assessment*, 178, 247–256. <https://doi.org/10.1007/s10661-010-1686-y>

Deng, J., Huang, Y., Chen, B., Tong, C., Liu, P., Wang, H., & Hong, Y. (2019). A methodology to monitor urban expansion and green space change using a time series of multi-sensor SPOT and Sentinel-2A images. *Remote Sensing*, 11(10), 1230. <https://doi.org/10.3390/rs11101230>

Escobar, E., et al. (2023). Estudio agroambiental de las tierras fluctuantes del Humedal Cerrón Grande (Documento de trabajo). Programa Salvadoreño de Investigación sobre Desarrollo y Medio Ambiente.

Earth Resources Observation and Science (EROS) Center, U.S. Geological Survey. (2023, 21 de junio). *USGS EROS Archive – Vegetation Monitoring – eVIIRS Global NDWI*. U.S. Geological Survey. <https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-vegetation-monitoring-eviirs-global-ndwi>

elsalvador.com. (2023, octubre 19). *Bukele inaugura represa 3 de Febrero, antes El Chaparral*. <https://www.elsalvador.com/noticias/nacional/bukele-inaugura-represa-3-febrero-chaparral/1097852/2023/>

Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN). (2018). *Inventario Nacional de Bosques*. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN). (2018). *Inventario nacional de humedales, El Salvador*. BioSistemas S.A. de C.V

Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN). (2019). *Plan de manejo del humedal sitio Ramsar Laguna de Olomega* (Primera edición, diciembre 2019). Documento financiado por JICA.

Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN). (2023). *Avanzan labores de extracción de jacinto de agua en laguna de Metapán*. <https://www.ambiente.gob.sv/avanzan-labores-de-extraccion-de-jacinto-de-agua-en-laguna-de-metapan/>.

National Environmental Satellite, Data, and Information Service (NESDIS). (s.f.). *Sunlint*. U.S. Department of Commerce, NOAA. Recuperado el 8 de septiembre de 2025, de <https://www.nesdis.noaa.gov/our-environment/solar-phenomena/sunlint>.

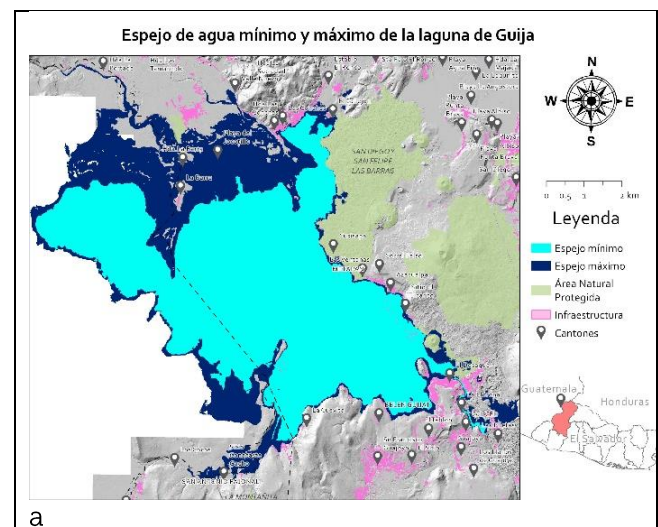
Organización del Sector Pesquero y Acuícola del Istmo Centroamericano. (2021). *Caracterización del Lago de Güija con énfasis en la pesca y la acuicultura* (Informe ejecutivo).

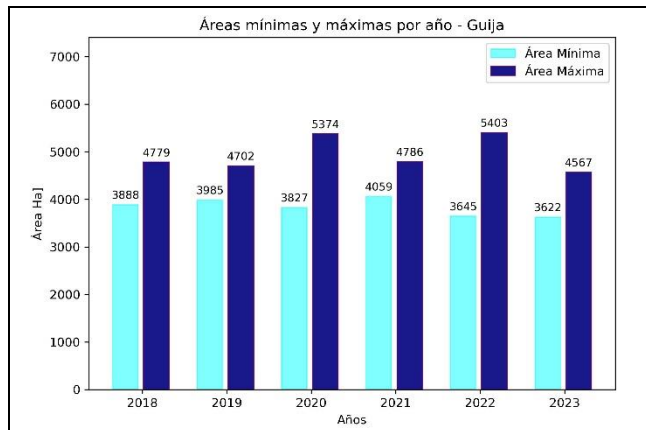
Sentinel Hub. (2024). *Sentinel Hub API Documentation*. <https://docs.sentinel-hub.com/api/latest/api/process/>

UNES. (2023). *La contaminación del lago de Ilopango*. <https://unes.org.sv/2023/03/11/la-contaminacion-del-lago-de-ilopango/>

V. APÉNDICES

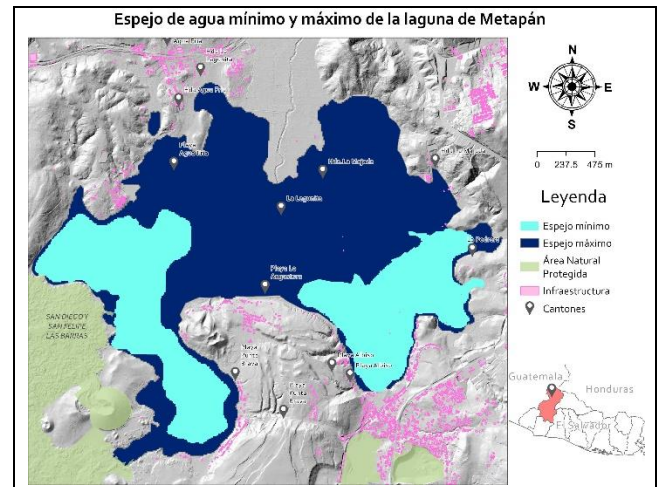
A. Mapas y gráficos de los espejos de agua mínimo y máximo desde 2018 a 2023.



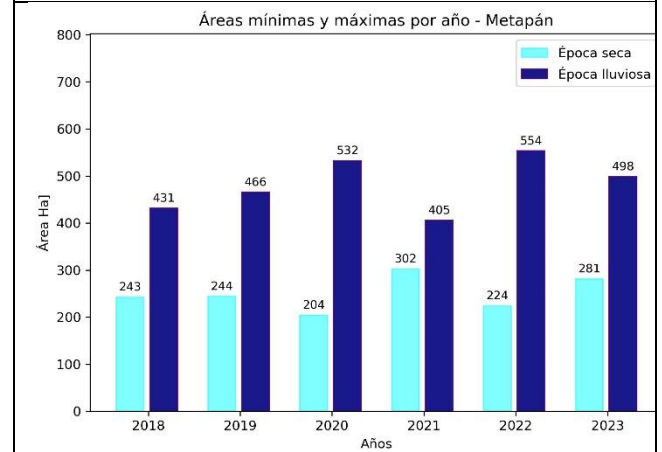


b

Fig. A1 La figura a Mapa con el espejo máximo y mínimo de Metapán. En b el gráfico con la las variaciones en área del espejo de agua de Metapán .



a



b

Fig. A3 La figura a el mapa con el espejo máximo y mínimo de Metapán. En b el gráfico con la las variaciones en área del espejo de agua de Metapán .

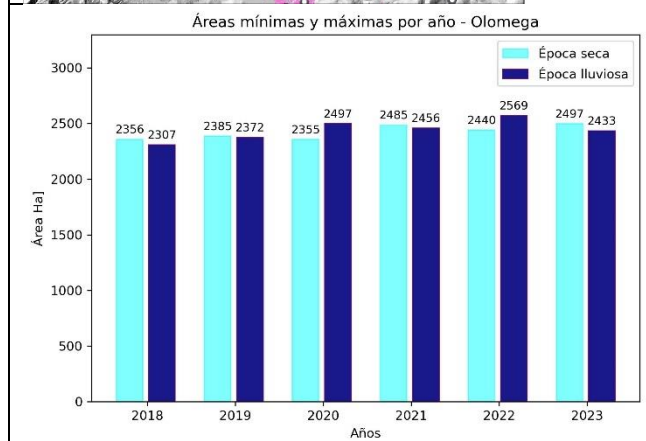
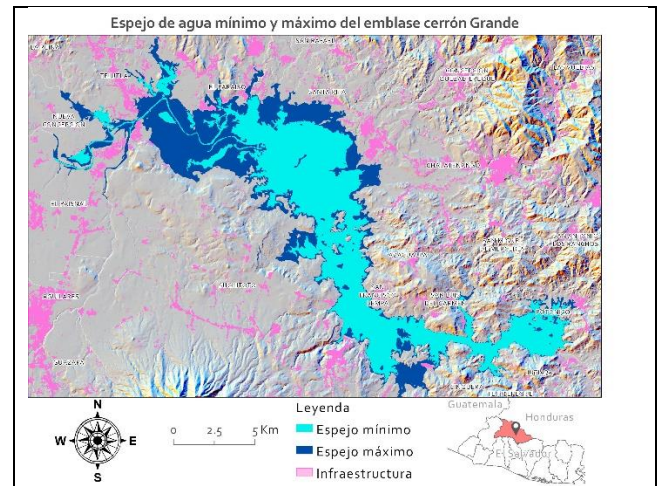
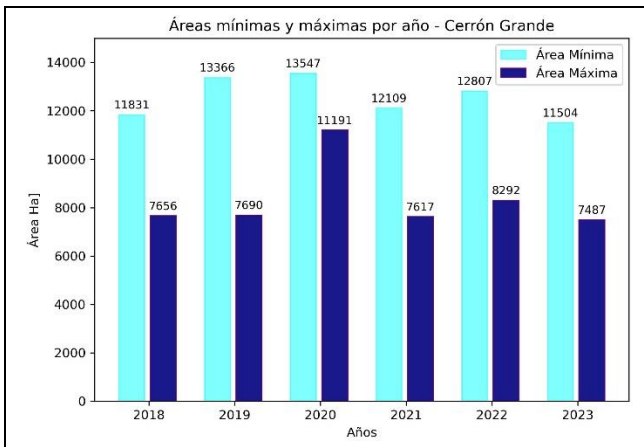


Fig. A2 La figura a el mapa con el espejo máximo y mínimo de laguna de Olomega. En b el gráfico con la las variaciones en área del espejo de agua.



a



b
Fig. A4 Embalse cerrón Grande. La figura a el mapa con el espejo máximo y mínimo y en b el gráfico con las variaciones en área del espejo de agua del embalse.

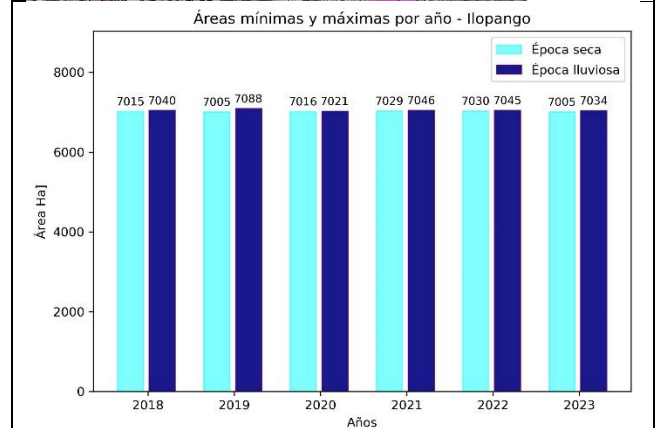
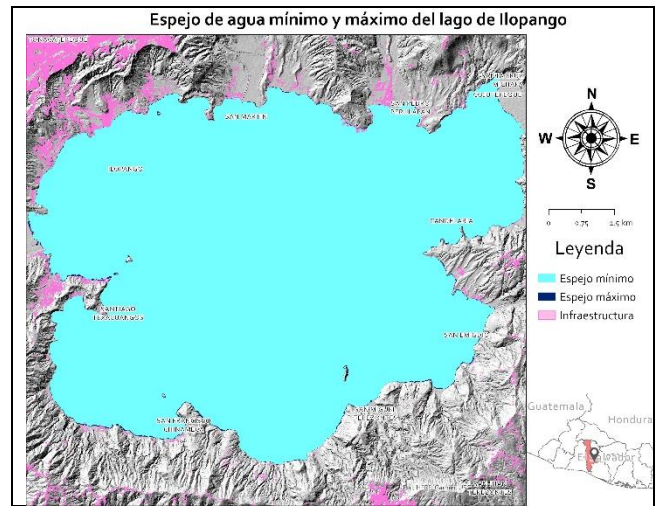


Fig. A6 Lago de Ilopango. En la figura a muestra el mapa con el espejo máximo y mínimo y en b el gráfico con las variaciones en área del espejo de agua del lago.

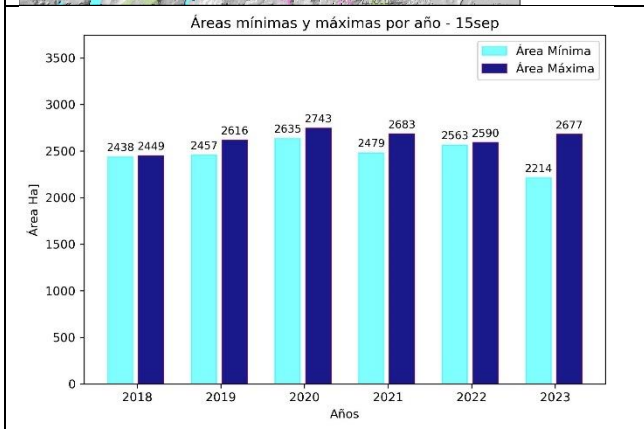
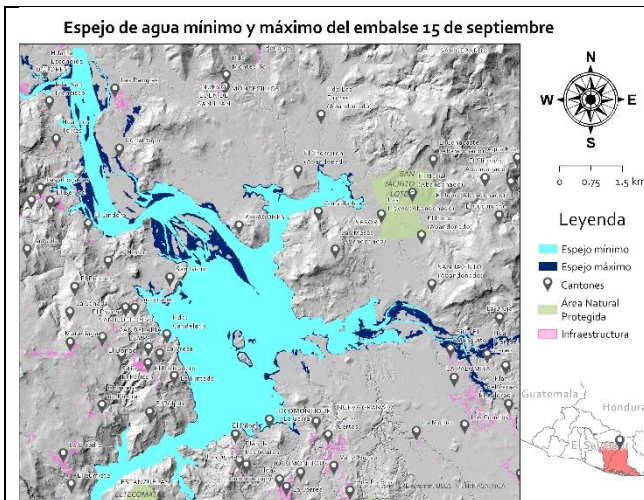
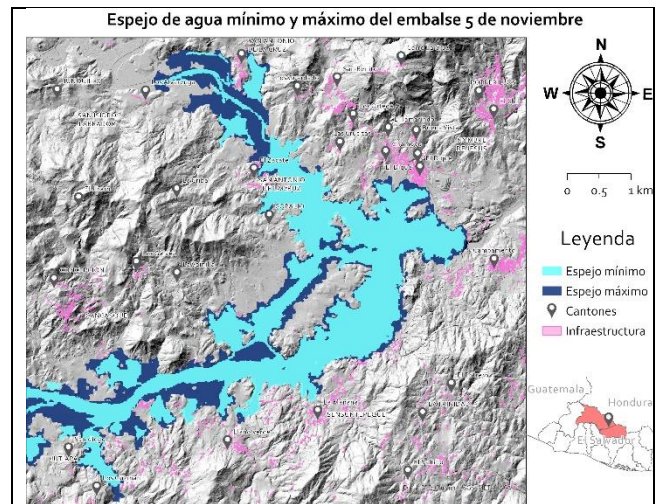


Fig. A5 Embalse 15 de septiembre. En la figura a el mapa con el espejo máximo y mínimo y en b el gráfico con las variaciones en área del espejo de agua del embalse.



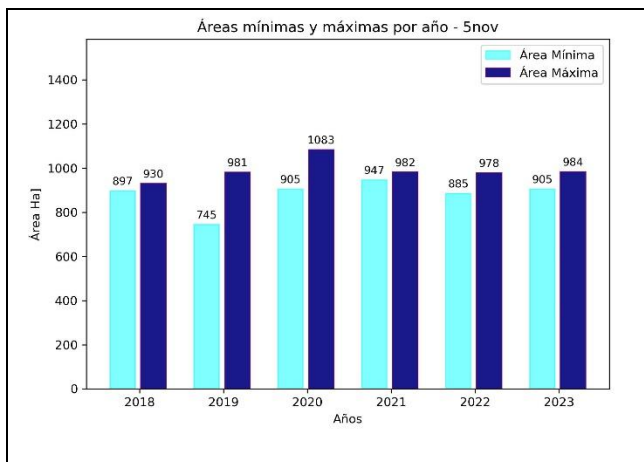


Fig. A7 Embalse 5 de noviembre. En la figura a el mapa con el espejo máximo y mínimo y en b el gráfico con las variaciones en área del espejo de agua del embalse.

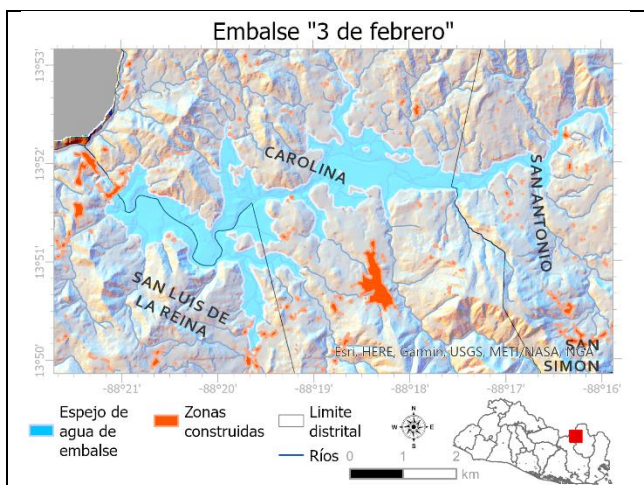


Fig. A8 Embalse 3 de febrero. Mapa con el espejo máximo registrado en julio de 2024.