

Alvarado Fernández, M.; Quirós, E.; Fragoso-Campón, L. Desarrollo de una aplicación en Google Earth Engine para la monitorización de masas de agua mediante teledetección

# Desarrollo de una aplicación en Google Earth Engine para la monitorización de masas de agua mediante teledetección

Alvarado Fernández, Miguel Ramón <sup>1</sup> Quirós, Elia <sup>2</sup> Fragoso-Campón, Laura <sup>2</sup>

<sup>1</sup> TRAGSATEC

<sup>2</sup> Universidad de Extremadura, España

ORCID: Quirós [0000-0002-8429-045X](https://orcid.org/0000-0002-8429-045X) Fragoso-Campón [0000-0003-0397-6247](https://orcid.org/0000-0003-0397-6247)

Correspondencia: [malvarad@tragsa.es](mailto:malvarad@tragsa.es) [equiros@unex.es](mailto:equiros@unex.es) [laurafragoso@unex.es](mailto:laurafragoso@unex.es)

## RESUMEN

La monitorización de las masas de agua superficiales es clave para la gestión sostenible de los recursos hídricos, especialmente en el contexto del cambio climático. Sin embargo, el procesamiento de grandes volúmenes de imágenes satelitales supone una barrera técnica y computacional que limita su aplicación operativa. Este trabajo presenta una aplicación web interactiva desarrollada en Google Earth Engine (GEE) para la monitorización sistemática y el análisis cuantitativo de superficies de agua. La herramienta automatiza el flujo de trabajo completo, desde la selección y filtrado de imágenes Sentinel-2 hasta la clasificación y estimación de superficies inundadas. Su principal aportación radica en la integración de un motor de análisis robusto que combina el cálculo de índices espectrales ampliamente validados (NDWI, MNDWI y AWEI) con la comparación de múltiples algoritmos de umbralización automática (Otsu, Valle, Error Mínimo y Máxima Entropía). La aplicación reduce significativamente la complejidad del análisis, facilitando y ampliando el acceso a la monitorización de recursos hídricos a gran escala. La validación de los resultados generados por la aplicación se ha realizado tomando como referencia la serie temporal del Embalse de Villar del Rey gestionado por la Confederación Hidrográfica del Guadiana.

**Palabras clave:** Monitorización de aguas superficiales; Índices de agua; Métodos de umbralización automática; Teledetección; Sentinel-2

Fecha de recepción: 19 febrero 2026 · Fecha de aceptación: 19 febrero 2026

# Desarrollo de una aplicación en Google Earth Engine para la monitorización de masas de agua mediante teledetección

Alvarado Fernández, Miguel Ramón <sup>(1)</sup>, Quirós, Elia <sup>(2)</sup>, Fragoso-Campón, Laura <sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> TRAGSATEC.

malvarad@tragsa.es.

<sup>(2)</sup> Universidad de Extremadura, España.

 0000-0002-8429-045X, equiros@unex.es ;  0000-0003-0397-6247, laurafragoso@unex.es

**Resumen:** La monitorización de las masas de agua superficiales es clave para la gestión sostenible de los recursos hídricos, especialmente en el contexto del cambio climático. Sin embargo, el procesamiento de grandes volúmenes de imágenes satelitales supone una barrera técnica y computacional que limita su aplicación operativa. Este trabajo presenta una aplicación web interactiva desarrollada en Google Earth Engine (GEE) para la monitorización sistemática y el análisis cuantitativo de superficies de agua. La herramienta automatiza el flujo de trabajo completo, desde la selección y filtrado de imágenes Sentinel-2 hasta la clasificación y estimación de superficies inundadas. Su principal aportación radica en la integración de un motor de análisis robusto que combina el cálculo de índices espectrales ampliamente validados (NDWI, MNDWI y AWEI) con la comparación de múltiples algoritmos de umbralización automática (Otsu, Valle, Error Mínimo y Máxima Entropía). La aplicación reduce significativamente la complejidad del análisis, facilitando y ampliando el acceso a la monitorización de recursos hídricos a gran escala. La validación de los resultados generados por la aplicación se ha realizado tomando como referencia la serie temporal del Embalse de Villar del Rey gestionado por la Confederación Hidrográfica del Guadiana.

**Palabras clave:** Monitorización de aguas superficiales; Índices de agua; Métodos de umbralización automática; Teledetección; Sentinel-2

## ***Development of a Google Earth Engine application for water body monitoring using remote sensing.***

**Abstract:** *Monitoring surface water bodies is essential for the sustainable management of water resources, particularly in the context of climate change. However, processing large volumes of satellite imagery represents a significant technical and computational barrier that limits operational implementation. This study presents an interactive web application developed on Google Earth Engine (GEE) for the systematic monitoring and quantitative analysis of surface water extent. The tool automates the entire workflow, from Sentinel-2 image selection and filtering to classification and estimation of inundated areas. Its main contribution lies in the integration of a robust analytical engine that combines the computation of widely validated spectral indices (NDWI, MNDWI, and AWEI) with the comparison of multiple automatic thresholding algorithms (Otsu, Valley, Minimum Error, and Maximum Entropy). The application significantly reduces analytical complexity, facilitating and broadening access to large-scale water resource monitoring. The results were validated using the time series of the Villar del Rey Reservoir, managed by the Guadiana River Basin Authority..*

**Keywords:** *Surface water monitoring; Water indices; automatic thresholding methods; Remote Sensing; Sentinel-2*

## **1. INTRODUCCIÓN**

El agua es un recurso estratégico esencial para la vida, el desarrollo socioeconómico y el equilibrio de los ecosistemas. En regiones semiáridas como la cuenca mediterránea, la gestión de los recursos hídricos superficiales supone un reto prioritario, por lo que la monitorización continua de las masas de agua, especialmente embalses, es clave para una gestión sostenible. Actualmente, su delimitación y seguimiento se realiza mediante sensores remotos, destacando los

índices espectrales, que identifican el agua a partir de sus propiedades de reflectancia en distintas longitudes de onda (Gao, 2015; Pekel *et al.*, 2016).

No obstante, el procesamiento de grandes volúmenes de imágenes satelitales para análisis temporales ha sido tradicionalmente una limitación técnica y computacional. La computación en la nube, especialmente Google Earth Engine (GEE), ha transformado este escenario al permitir análisis espaciales y temporales a gran escala (Gorelick *et al.*, 2017).

El principal objetivo del trabajo es desarrollar y validar una aplicación web interactiva y fácilmente escalable en la plataforma GEE para aplicarla a la monitorización sistemática y automatizada de la superficie de masas de agua. La validación de los resultados generados por la aplicación se ha realizado tomando como referencia la serie temporal del Embalse de Villar del Rey gestionado por la Confederación Hidrográfica del Guadiana.

## 2. MATERIAL Y MÉTODOS

### 2.1. Arquitectura y fuente de datos

La aplicación funciona bajo un modelo *Software as a Service* (SaaS) sobre la plataforma GEE. La herramienta procesa la colección COPERNICUS S2 SR HARMONIZED (Sentinel-2 L2A), normalizando la resolución espacial a 10 metros y permitiendo una monitorización con frecuencia de revisita aproximada de 5 días, sin requerir almacenamiento local. La Figura 1 muestra el esquema de la arquitectura lógica y el flujo de datos de la aplicación.

#### 2.1.1. Flujo de trabajo automatizado

El núcleo de la aplicación ejecuta una secuencia de análisis lineal que automatiza las fases de teledetección tradicional en tiempo real.

#### 2.1.2. Parametrización y filtrado

Para asegurar series temporales homogéneas, la aplicación filtra las imágenes dentro del Área de Interés (AOI) usando la banda de clasificación de escena (SCL) de Sentinel-2. Primero descarta escenas con demasiada nubosidad en el AOI y, de forma opcional, aplica un enmascaramiento dinámico por píxel para eliminar nubes, cirros y sombras, reduciendo falsos positivos.

Con ese fin se ha implementado además un filtro opcional de cobertura espacial completa (100% del AOI), así como una función de unicidad temporal que elimina duplicidades por solape orbital, generando un mosaico único por fecha.

#### 2.1.3. Procesamiento y clasificación por escena

Cada imagen válida se procesa en tres pasos: recorte exacto al AOI para limitar los cálculos a la zona de estudio; cálculo de índices espectrales y posible combinación booleana (AND/OR) entre ellos; umbralización automática mediante métodos no supervisados (Otsu, Valle, Mínimo Error y Máxima Entropía) para separar agua y no-agua de forma objetiva en cada fecha.

#### 2.1.4. Estrategia de análisis temporal

La clasificación puede realizarse con tres enfoques: umbral fijo, umbral dinámico o umbral consolidado, según el criterio de análisis temporal deseado.

#### 2.1.5. Cuantificación de superficie

El área se calcula directamente en formato ráster, evitando la vectorización para mantener la precisión del sensor. Se cuentan los píxeles clasificados como agua dentro del AOI y, con resolución de 10 m, se convierten a hectáreas usando el factor 0,01 (1 píxel = 100 m<sup>2</sup>), evitando errores geométricos de generalización.

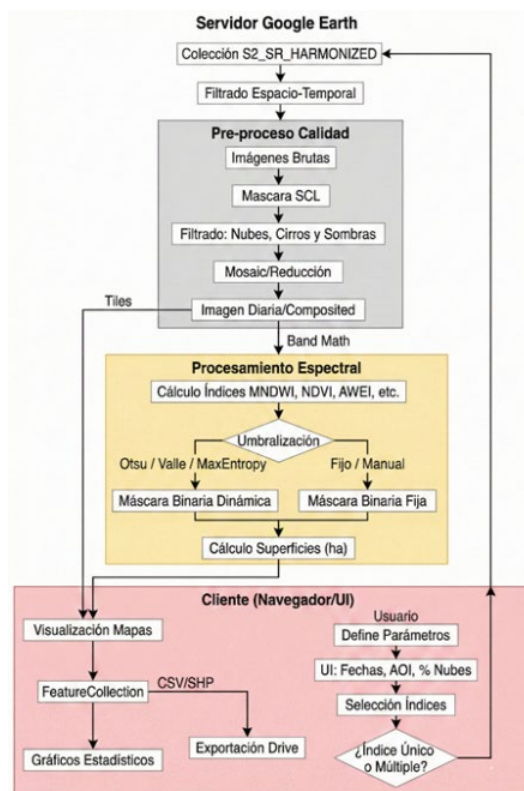


Figura1. Esquema de la arquitectura lógica y flujo de datos de la aplicación desarrollada en Google Earth Engine.

### 2.2. Generación de productos y capacidades operacionales

La fase final integra los datos procesados en productos claros y exportables: visualización geoespacial de las imágenes resultantes y análisis estadístico mediante tablas y gráficos interactivos que permiten comparar tendencias entre índices o métodos de umbralización. Finalmente, los resultados pueden exportarse y utilizarse en otros entornos o sistemas.

### 2.3. Caso de estudio y evaluación de la exactitud

La validación de los resultados de la aplicación se realizó utilizando como referencia la serie temporal del Embalse de Villar del Rey, gestionado por la Confederación Hidrográfica del Guadiana (E2-24). El Sistema Integrado de Redes Automáticas (SIRA) registra de forma continua el nivel del embalse, a partir del cual se calculan el volumen almacenado y la superficie inundada mediante la curva cota-superficie definida en las normas de explotación de la presa.

Para cuantificar la superficie del embalse, se han usado un conjunto representativo de índices espectrales y técnicas de teledetección, abarcando desde estándares consolidados, como el NDWI y el MNDWI, incluyendo una modificación de este último para entornos de alta reflectividad, hasta algoritmos específicos para escenarios complejos. Entre estos últimos, se ha implementado el AWEI (Feyisa *et al.*, 2014) para la supresión de sombras, así como el LSWI (Xiao *et al.*, 2004) y el SWI (Jiang *et al.*, 2020) para evaluar las

condiciones de turbidez y vegetación. Adicionalmente, se ha incluido el clasificador lógico WIW, y el análisis directo de las bandas individuales B2, B8 y B11, con el objetivo de aislar la respuesta radiométrica pura del agua.

La segmentación automática de la superficie inundada se realizó mediante el método de Otsu, un algoritmo no supervisado que determina el umbral óptimo de separación en histogramas bimodales, eliminando la subjetividad del operador frente a la variabilidad radiométrica de las bandas (Fisher *et al.*, 2016, Du *et al.*, 2016).

Además, el estudio aplicó una estrategia de fusión lógica multivariable mediante operadores booleanos AND/OR que combinan índices y bandas. Esta aproximación permite analizar los límites del rendimiento: la lógica inclusiva (OR) aumenta la sensibilidad y reduce errores de omisión, mientras que la lógica restrictiva (AND) mejora la especificidad y minimiza falsos positivos en entornos mixtos, siguiendo enfoques de fusión a nivel de decisión ampliamente validados en la literatura (Fisher *et al.*, 2016; Mueller *et al.*, 2016).

Para evaluar el ajuste entre ambas series se han calculado métricas de eficiencia ampliamente empleadas en la validación de modelos ambientales: el error absoluto medio (MAE), la raíz del error cuadrático medio (RMSE) y el coeficiente de determinación ( $R^2$ ).

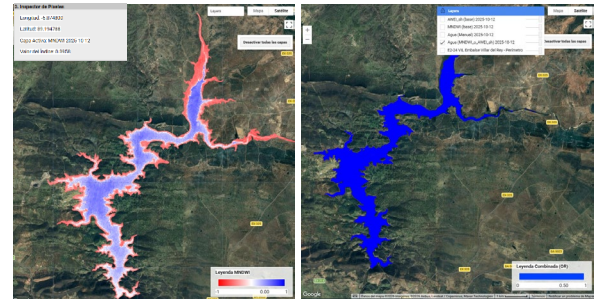
Con el fin de obtener el rendimiento global de cada modelo, se ha realizado una evaluación multicriterio, habitual en la validación comparativa de modelos hidrológicos (Moriassi *et al.*, 2015), definiendo un índice

compuesto (Score) basado en la ponderación de dichas métricas (RMSE = 0,5; MAE = 0,3;  $R^2$  = 0,2).

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Productos generados en la app

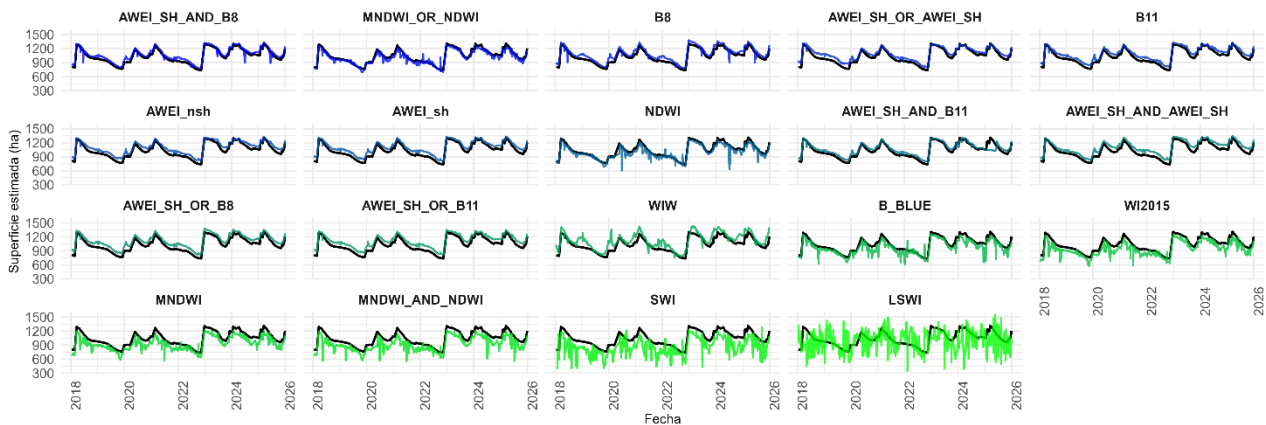
La Figura 2, muestra a modo de ejemplo, el visor de mapas con el cálculo del índice MNDWI sobre un AOI del embalse de Villar del Rey, con activación del Inspector de píxeles dinámico y resultado de la masa de agua delimitada en la combinación booleana OR de los índices espectrales MNDWI y AWEI SH.



**Figura 2.** Interfaz de la app. (a) Visor de mapas con el cálculo del índice MNDWI sobre un AOI del embalse de Villar del Rey (b) resultado de la masa de agua delimitada en la combinación booleana OR de los índices espectrales MNDWI y AWEI SH

#### 3.2. Evaluación de la exactitud

La Figura 3 muestra las series temporales obtenidas en cada caso.



**Figura 3.** Series temporales obtenidas para cada uno de los modelos analizados.

La Figura 4a muestra los resultados de la eficiencia ordenados según el Score obtenido (el valor del Score indica que a valores más bajos mejor ajuste con la serie de referencia). Las simulaciones de los índices AWEI\_SH\_AND\_B8, MNDWI\_OR\_NDWI; B8, AWEI\_SH\_OR\_AWEI\_SH, B11 y AWEI\_nsh, se sitúan entre las seis mejores según el valor del Score.

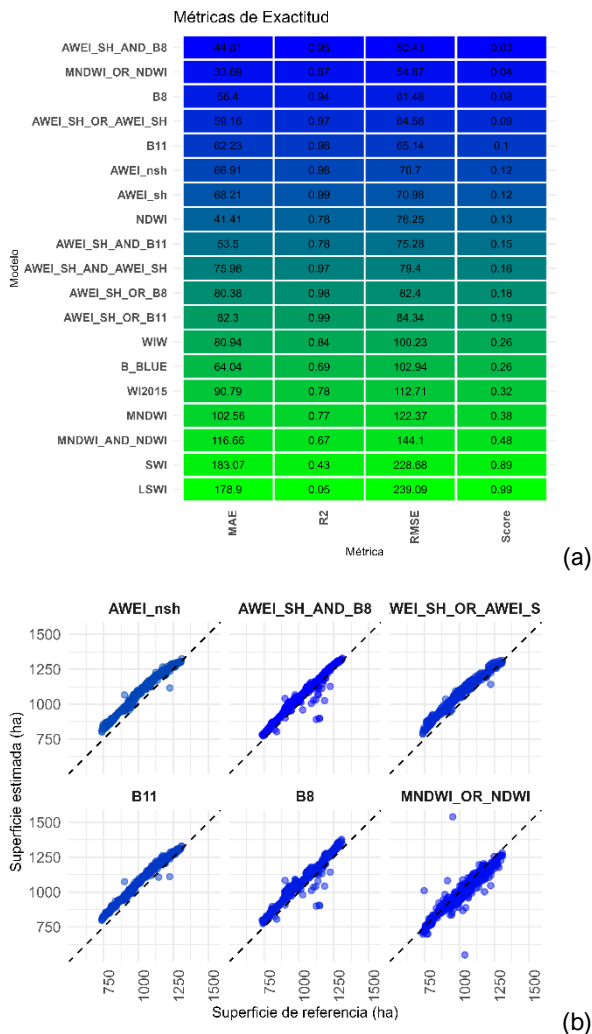
La Figura 4b muestra los diagramas de dispersión, entre la superficie estimada y la superficie de referencia, y se observa que las seis mejores simulaciones presentan un

comportamiento consistente y lineal, con puntos cercanos a la recta 1:1, lo que confirma una buena capacidad predictiva general. Existe ligera dispersión creciente en valores altos de superficie, lo que podría indicar mayor incertidumbre en áreas extensas. Además, no se observan sesgos sistemáticos severos de sobreestimación o subestimación.

### 3.3. Acceso a la aplicación

La aplicación está disponible en la siguiente URL:

<https://ee-fragstatedigi.projects.earthengine.app/view/monitorizacin-de-masas-de-agua>



**Figura 4.** Métricas de la exactitud (a) resultados de eficiencia y (b) dispersión de los 6 mejores modelos según Score.

### 4. CONCLUSIONES

Se ha desarrollado con éxito una aplicación funcional en Google Earth Engine que automatiza y simplifica un flujo de trabajo complejo de teledetección. La herramienta encapsula en una interfaz intuitiva la adquisición de datos, el pre-procesamiento avanzado y la clasificación, demostrando la viabilidad de GEE para crear soluciones operativas accesibles. La integración y comparativa de múltiples índices y bandas espectrales añadido a las combinaciones booleanas de los mismos, permite evaluar simultáneamente diferentes resultados para un mismo escenario en un rango temporal variable de una forma ágil, superando así el principal obstáculo de esta técnica de análisis científico, facilitando su empleo por usuarios no expertos y ampliando su proyección ensanchando su base de potenciales usuarios.

### 5. AGRACEDIMIENTOS

Los autores agradecen a la Confederación Hidrográfica del Guadiana la disponibilidad de los datos de la curva cota-superficie y la serie temporal del embalse de Villar del Rey, registrados por el sistema SIRA Guadiana, fundamentales para la validación de los resultados.

### 6. REFERENCIAS

- Du, Y., Zhang, Y., Ling, F., Wang, Q., Li, W., & Li, X. (2016). Water bodies' mapping from Sentinel-2 imagery with modified normalized difference water index at 10-m spatial resolution produced by sharpening the SWIR band. *Remote Sensing*, 8(4), 354. <https://doi.org/10.3390/rs8040354>
- Feyisa, G. L., Meilby, H., Fensholt, R., & Proud, S. R. (2014). Automated Water Extraction Index: A new technique for surface water mapping using Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment*, 140, 23–35. <https://doi.org/10.1016/J.RSE.2013.08.029>
- Fisher, A., Flood, N., & Danaher, T. (2016). Comparing Landsat water index methods for automated water classification in eastern Australia. *Remote Sensing of Environment*, 175, 167–182. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.12.055>
- Gao, H. (2015). Satellite remote sensing of large lakes and reservoirs: From elevation to storage. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 2(2), 147–157. <https://doi.org/10.1002/wat2.1065>
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202, 18–27.
- Jiang, W., Ni, Y., Pang, Z., Li, X., Ju, H., He, G., Lv, J., Yang, K., Fu, J., & Qin, X. (2021). An Effective Water Body Extraction Method with New Water Index for Sentinel-2 Imagery. *Water*, 13(12), 1647. <https://doi.org/10.3390/w13121647>
- Moriasi, D. N., Gitau, M. W., Pai, N., & Daggupati, P. (2015). Hydrologic and water quality models: Performance measures and evaluation criteria. *Transactions of the ASABE*, 58(6), 1763–1785. <https://doi.org/10.13031/trans.58.10715>
- Mueller, N., Lewis, A., Roberts, D., Ringin, G., Melrose, R., Sixsmith, J., Lymburner, L., McIntyre, A., Tan, P., Curnow, S., & Ip, A. (2016). Water observations from space: Mapping surface water from 1987 to 2014 using the entire Australian Landsat archive. *Remote Sensing of Environment*, 174, 341–352. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.12.018>
- Pekel, J.-F., Cottam, A., Gorelick, N., & Belward, A. S. (2016). High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes. *Nature*, 540(7633), 418–422. <https://doi.org/10.1038/nature20584>
- Xiao, X., Boles, S., Froking, S., Li, C., Babu, J. Y., Salas, W., & Moore, B. (2004). Mapping paddy rice agriculture in South and Southeast Asia using multi-temporal MODIS images. *Remote Sensing of Environment*, 90(4), 485–496. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.10.004>