

Marcello Ruiz, F.; Eugenio González, F.; Mederos Barrera, A. Integración de teledetección multiplataforma para la monitorización del vigor y el estrés hídrico en cultivos de viñedos y olivares

Integración de teledetección multiplataforma para la monitorización del vigor y el estrés hídrico en cultivos de viñedos y olivares

Marcello Ruiz, Francisco Javier¹ Eugenio González, Francisco¹ Mederos Barrera, Antonio¹

¹ Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, España

ORCID: Marcello Ruiz 0000-0002-9646-1017 Eugenio González 0000-0002-0010-4024

Mederos Barrera 0000-0003-1680-0726

Correspondencia: javier.marcello@ulpgc.es francisco.eugenio@ulpgc.es antonio.mederos@ulpgc.es

RESUMEN

Patrones claros y consistentes de vigor del cultivo, fenología y estado hídrico en viñedos y olivares pueden obtenerse cuando la información procedente de múltiples plataformas de teledetección se analiza de forma conjunta. En este estudio, el uso combinado de imágenes multispectrales y térmicas de Sentinel-2, WorldView y UAV permitió la caracterización de las condiciones del cultivo desde escalas regionales hasta intra-parcela. Las series temporales de Sentinel-2 (2020–2025) capturaron, a 10 y 20 m de resolución, la variabilidad interanual y el desarrollo estacional, identificando periodos recurrentes sensibles al estrés. Los datos WorldView, con una resolución espacial de 50 cm, revelaron fuertes contrastes espaciales en densidad y vigor del dosel en grandes zonas de producción, mientras que las observaciones UAV, a 10 cm, mostraron la heterogeneidad a escala fina asociada al estrés hídrico y a la variabilidad estructural. Un subconjunto de índices de vegetación, seleccionado a partir de un conjunto inicial de 27, mostró una correlación robusta con mediciones de campo de potencial hídrico foliar, contenido de clorofila y estado fenológico. En comparación con análisis de una única plataforma, el enfoque integrado produjo una discriminación marcadamente mejorada de niveles de estrés y clases de vigor. Estos resultados demuestran que la fusión de datos multiplataforma proporciona una base fiable y operativa para la gestión de precisión de cultivos perennes, apoyando intervenciones dirigidas en sistemas de vid y olivo.


Palabras clave: *Agricultura de precisión; Sentinel-2; WorldView; Sensores UAV; Índices de vegetación*


Fecha de recepción: 5 febrero 2026 · Fecha de aceptación: 5 febrero 2026


Integración de datos de teledetección multiplataforma para la monitorización del vigor y el estrés hídrico en cultivos de viñedos y olivares

Marcello Ruiz, Francisco Javier ⁽¹⁾, Eugenio González, Francisco ⁽¹⁾, Mederos Barrera, Antonio ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, España.

 0000-0002-9646-1017, javier.marcello@ulpgc.es.

 0000-0002-0010-4024, francisco.eugenio@ulpgc.es.

 0000-0003-1680-0726, antonio.mederos@ulpgc.es.

Resumen: Patrones claros y consistentes de vigor del cultivo, fenología y estado hídrico en viñedos y olivares pueden obtenerse cuando la información procedente de múltiples plataformas de teledetección se analiza de forma conjunta. En este estudio, el uso combinado de imágenes multispectrales y térmicas de Sentinel-2, WorldView y UAV permitió la caracterización de las condiciones del cultivo desde escalas regionales hasta intra-parcela. Las series temporales de Sentinel-2 (2020–2025) capturaron, a 10 y 20 m de resolución, la variabilidad interanual y el desarrollo estacional, identificando periodos recurrentes sensibles al estrés. Los datos WorldView, con una resolución espacial de 50 cm, revelaron fuertes contrastes espaciales en densidad y vigor del dosel en grandes zonas de producción, mientras que las observaciones UAV, a 10 cm, mostraron la heterogeneidad a escala fina asociada al estrés hídrico y a la variabilidad estructural. Un subconjunto de índices de vegetación, seleccionado a partir de un conjunto inicial de 27, mostró una correlación robusta con mediciones de campo de potencial hídrico foliar, contenido de clorofila y estado fenológico. En comparación con análisis de una única plataforma, el enfoque integrado produjo una discriminación marcadamente mejorada de niveles de estrés y clases de vigor. Estos resultados demuestran que la fusión de datos multiplataforma proporciona una base fiable y operativa para la gestión de precisión de cultivos perennes, apoyando intervenciones dirigidas en sistemas de vid y olivo.

Palabras clave: Agricultura de precisión; Sentinel-2; WorldView; Sensores UAV; Índices de vegetación.

Multiplatform Remote Sensing Data Integration for Monitoring Vigor and Water Stress in Vineyards and Olive Orchards

Abstract: *Clear and consistent patterns of crop vigor, phenology, and water status in vineyards and olive groves can be obtained when information from multiple remote sensing platforms is jointly analyzed. In this study, the combined use of Sentinel-2, WorldView, and UAV-based multispectral and thermal imagery enabled the characterization of crop conditions from regional to within-field scales. Sentinel-2 time series (2020–2025), with 10 and 20 m spatial resolution, captured interannual variability and seasonal development, identifying recurrent stress-sensitive periods. WorldView data sharpened to 50 cm revealed strong spatial contrasts in canopy density and vigor over large production zones, while UAV observations at 10 cm presented fine-scale heterogeneity associated with water stress and structural variability. A subset of vegetation indices, selected from an initial pool of 27, exhibited robust agreement with ground measurements of leaf water potential, chlorophyll content, and phenological stage. Compared with single-platform analyses, the integrated approach produced markedly improved discrimination of stress levels and vigor classes. These results demonstrate that multiplatform fusion provides a reliable and operational basis for precision management of perennial crops, supporting targeted interventions in grapevine and olive systems.*

Keywords: *Precision agriculture; Sentinel-2; WorldView; UAV sensors; Vegetation indices.*

1. INTRODUCCIÓN

La agricultura de precisión se ha consolidado como una herramienta fundamental para optimizar la producción

agrícola garantizando, al mismo tiempo, la sostenibilidad ambiental a largo plazo. Como resultado, se incrementa la eficiencia en el uso de insumos —fertilizantes, agua y

productos fitosanitarios—, se reduce la sobreutilización y se mitigan impactos ambientales adversos.

Entre los distintos cultivos agrícolas, los olivares y los viñedos ocupan una posición destacada a escala global, debido a su relevancia económica, cultural y ecológica. El olivo, representa un componente estratégico de la agricultura por su relevancia económica, nutricional y ambiental. Además, los olivares contribuyen a la sostenibilidad de los agroecosistemas al disminuir la erosión, favorecer la biodiversidad en áreas marginales y mantener productividad bajo condiciones semiáridas, mostrando elevada resiliencia ante escenarios de estrés climático. De manera complementaria, la vid sustenta la industria vitivinícola, una de las cadenas agroalimentarias con mayor valor añadido, extendiéndose a diversas condiciones agroclimáticas y a nuevas regiones productoras; su cultivo impulsa economías rurales mediante la generación de empleo, turismo y comercio internacional.

Un componente central de la agricultura de precisión moderna es el uso de datos de teledetección. La teledetección multiplataforma permite integrar información procedente de satélites, aeronaves tripuladas y UAVs (*Unmanned Aerial Vehicles*). Cada plataforma presenta ventajas específicas en términos de resolución espacial, temporal y espectral, y su combinación proporciona una comprensión más completa del estado de los cultivos. Las imágenes satelitales ofrecen una amplia cobertura espacial y consistencia temporal a largo plazo, lo que las hace idóneas para el seguimiento de tendencias estacionales y de la variabilidad a gran escala. Por su parte, los UAV proporcionan datos de ultra alta resolución capaces de capturar patrones de detalle fino asociados a la estructura del dosel, la incidencia de enfermedades o el estrés hídrico localizado (Sharma *et al.*, 2025).

Los índices de vegetación derivados de datos de teledetección son especialmente útiles para la detección temprana de estrés, la estimación de biomasa y la evaluación de los efectos de las prácticas de manejo a lo largo de las campañas agrícolas (Crespo *et al.*, 2024; Radočaj *et al.*, 2023). Su integración, en análisis multitemporales, permite seguir el desarrollo fenológico, evaluar la resiliencia de los cultivos frente a eventos climáticos extremos y anticipar variaciones en el rendimiento.

En este contexto, el objetivo principal de este trabajo es proporcionar una evaluación del estado sanitario, el vigor y la dinámica de desarrollo de viñedos y olivares, así como caracterizar la variabilidad espacial existente dentro de cada parcela. Para ello, se emplean datos de teledetección multiplataforma y multisensor.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Datos

La agricultura en las Islas Canarias (España) desempeña un papel clave tanto en la economía como en la identidad cultural del archipiélago, a pesar de las limitaciones impuestas por su relieve volcánico, la escasez de suelo agrícola y las condiciones climáticas semiáridas.

El seguimiento de viñedos y olivares en las Islas Canarias se basó en la integración de datos de teledetección satelital y UAV con el fin de capturar información espacial y temporal a múltiples escalas. Las imágenes multiespectrales Sentinel-2 constituyeron la base del análisis gracias a su alta frecuencia de revisita, su resolución espacial de 10–20 m y un rango espectral entre 442–2202 nm, permitiendo la monitorización continua de la dinámica de la vegetación, el desarrollo fenológico y los indicadores de estrés a gran escala. Como complemento, se incorporaron imágenes adquiridas de alta resolución de los satélites WorldView-2/3/Legion, que aportan detalle espacial a nivel métrico y hasta ocho bandas espectrales (400–1040 nm), facilitando la detección de pequeñas variaciones en el dosel, gradientes de vigor y heterogeneidad estructural dentro de las parcelas.

A escala local, se adquirieron datos UAV mediante una plataforma DJI Matrice 350 RTK (80 m de altura de vuelo, a 5 m/s de velocidad y solape del 80%) equipada con un sensor multiespectral MicaSense RedEdge-MX Dual de 10 bandas (444–842 nm), caracterizado por su alta precisión radiométrica y bandas espectrales estrechas, idóneas para el cálculo avanzado de índices de vegetación y la estimación detallada de parámetros biofísicos. Adicionalmente, se utilizó el sensor térmico Zenmuse H20T para la obtención de la temperatura del dosel, permitiendo la evaluación del estrés hídrico con una elevada resolución espacial. Las imágenes UAV se generaron con un tamaño de píxel de 10 cm.

Además de los datos de teledetección, se realizaron mediciones de campo, coincidentes con los vuelos dron, para apoyar la selección de los índices de vegetación más adecuados tanto en viñedos como en olivares. En el caso de los viñedos, se registró información detallada sobre las características de las parcelas analizadas, las prácticas de manejo y el estado general del cultivo. De forma complementaria, se midió el contenido de clorofila mediante un medidor portátil Apogee MC-100, parámetro estrechamente relacionado con el estado nutricional nitrogenado del cultivo y representativo de condiciones de manejo acumuladas.

En los olivares, se recopiló información relativa a las características de las parcelas estudiadas, el estado del cultivo y las prácticas de manejo. Asimismo, se realizaron observaciones fenológicas y mediciones del tamaño del fruto para caracterizar el desarrollo del cultivo durante el periodo de estudio. Adicionalmente, se registraron datos microclimáticos continuos mediante *dataloggers* de temperatura del aire y humedad relativa, proporcionando el contexto ambiental necesario para interpretar las firmas espectrales y térmicas captadas por los sensores satelitales y UAV.

2.2. Metodología

El flujo de procesamiento se diseñó para generar indicadores de estrés de la vegetación a múltiples escalas para cada plataforma de observación, como se observa en las Figura 1.

Las imágenes Sentinel-2, de nivel 2A, han sido sometidas a un preprocesado estándar que incluye el

enmascaramiento de nubes y la corrección atmosférica, seguido del cálculo de un conjunto amplio de índices de vegetación. Posteriormente, correlando con la información de campo se llevó a cabo un análisis con el fin de identificar los índices más adecuados, considerando su sensibilidad al contenido de clorofila, la estructura del dosel y el estrés hídrico. Estos índices se calcularon para cada fecha y se construyeron series temporales, usando imágenes despejadas entre 2020 y 2025, que permitieron evaluar los patrones estacionales y la evolución del estrés a lo largo del ciclo de cultivo.

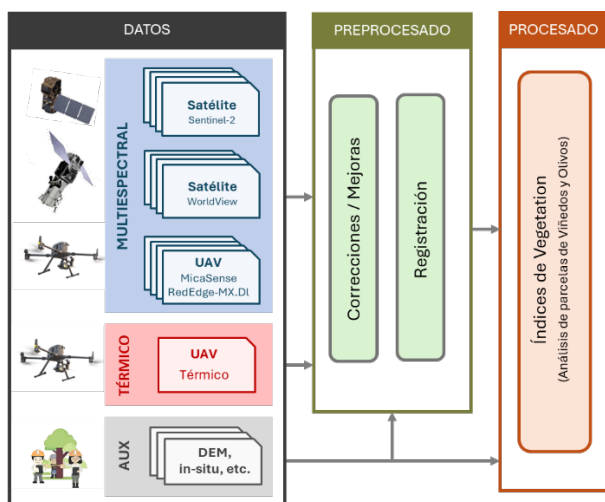


Figura 1. Diagrama de integración de datos multiplataforma para el análisis multiescala en viñedos y olivares.

Las imágenes WorldView requirieron correcciones adicionales de alta precisión para garantizar la consistencia radiométrica y la exactitud geométrica (Marcello *et al.*, 2016). La calibración radiométrica y la corrección atmosférica se realizaron mediante el modelo FLAASH, incorporando metadatos específicos del sensor para la configuración del contenido de vapor de agua, el espesor de aerosoles y la geometría de iluminación. La ortorrectificación se llevó a cabo utilizando el modelo digital del terreno (MDT) del PNOA de alta resolución (2 m), con el fin de minimizar las distorsiones geométricas, especialmente relevantes en un terreno abrupto y altamente heterogéneo.

En el caso de los datos UAV, las imágenes adquiridas por ambos sensores se procesaron mediante calibración radiométrica, utilizando paneles de reflectancia y algoritmos de corrección específicos del sensor, seguidas de la alineación geométrica y la generación de mosaicos. Un paso crítico del preprocesado fue el registro preciso de las imágenes, indispensable para asegurar la coherencia espacial entre datos procedentes de distintas plataformas y sensores. Este aspecto se realizó de forma manual y resulta particularmente relevante al integrar imágenes multiespectrales y térmicas adquiridas por el UAV, ya que permite la superposición exacta de ambos conjuntos de datos y facilita la fusión de información espectral y térmica para la generación de índices de vegetación integrados.

Finalmente, se calcularon los índices de vegetación para estimar de forma cuantitativa el vigor vegetal, el

contenido de clorofila y agua, así como de la actividad fotosintética. En este estudio se evaluó un total de 27 índices de vegetación (Rodríguez *et al.*, 2024) derivados de las bandas multiespectrales de Sentinel-2 (NDVI, EVI, SAVI, MSAVI2, GNDVI, SR, MSR, GEMI, WDRVI, WVVI, ARVI, MCARI2, TCARI, MTVI2, RENDVI, SIPI, CCI, ARI2, CRI2, PSRI, NPCR, NBR, NDWI, DWSI, MSI, FCI1 y FCI2). Mediante el análisis de las series temporales, el estudio de la fenología de cada cultivo, el comportamiento de los distintos elementos de cobertura del suelo presentes en las imágenes (cultivo, suelo desnudo y vegetación circundante), y la comparación con la información in situ disponible, se identificaron los índices más representativos (NDVI, EVI, MSAVI2, GNDVI, MCARI2, RENDVI, NDWI). Estos índices (salvo NDWI) fueron posteriormente seleccionados para su aplicación, tanto en los datos WorldView como en los datos UAV, con el objetivo de capturar la variabilidad a escala fina dentro de las parcelas individuales. De forma complementaria, el índice de estrés hídrico del cultivo (CWSI) se calculó a partir de los datos térmicos adquiridos por el UAV (Ramírez-Cuesta *et al.*, 2025).

En definitiva, se analizaron 21 parcelas agrícolas distribuidas en todas las islas del archipiélago canario (13 parcelas de viñedo y 8 parcelas de olivar). El estudio integró información multifuente y multiescala procedente de Sentinel-2 y WorldView-2/3/Legion, complementada con 42 campañas UAV (21 vuelos con sensor multiespectral y 21 con térmico).

3. RESULTADOS

A continuación, se presenta un resumen de los principales resultados obtenidos.

A partir de Sentinel-2 se generó una serie temporal libre de nubes (2020–2025). Debido a la marcada heterogeneidad espacial en la persistencia de nubosidad dentro del archipiélago, la disponibilidad temporal varió notablemente entre parcelas: en algunos casos se dispuso de múltiples imágenes mensuales, mientras que en otros apenas fue posible seleccionar una única escena válida.

A modo de ejemplo, para una parcela en Tenerife, la Figura 2 presenta la evolución temporal del NDVI diferenciando tres tipos de cubierta (vid, suelo desnudo y otra vegetación fuera de la parcela), además del valor medio para la parcela completa. Asimismo, se incluyen mapas NDVI codificados por colores para las escenas de mediados de julio de cada año, permitiendo comparar visualmente las variaciones interanuales de vigor.

En el caso de WorldView, tras aplicar el flujo de preprocesado descrito previamente, se calcularon los índices seleccionados. Adicionalmente, se evaluó el impacto del realce espacial mediante *pansharpening*, comparando mapas de vigor generados con bandas multiespectrales originales frente a productos espacialmente mejorados.

Para los datos UAV se generaron índices a partir de información multiespectral y térmica. Como demostración del enfoque multiplataforma y multiescala, la Figura 3 presenta mapas de NDVI para una parcela de

olivar en La Palma, donde las diferencias de resolución espacial entre Sentinel-2, WorldView y UAV son evidentes.

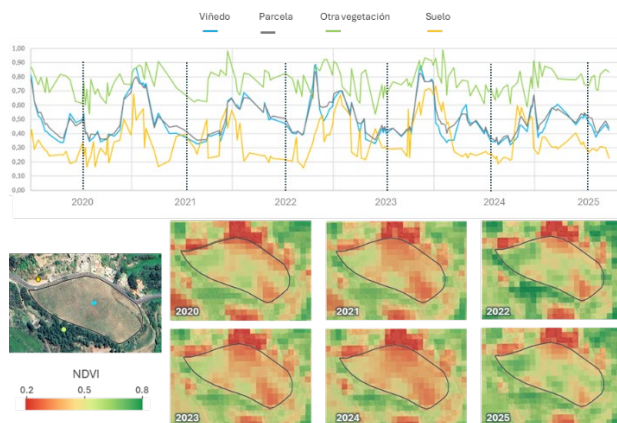


Figura 2. Series temporales del NDVI por clases de cobertura del suelo identificadas en el mapa, junto con cartografía del NDVI en composición cromática para mediados de julio.

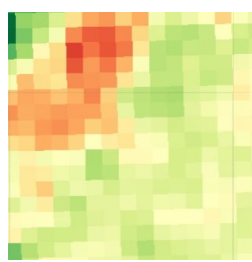
4. CONCLUSIONES

La teledetección se consolida como una herramienta clave para la monitorización del estado de viñedos y olivares. En este trabajo se ha desarrollado y aplicado un enfoque multiplataforma y multiresolución que integra datos Sentinel-2, WorldView y UAV para el análisis de 21 parcelas distribuidas en el archipiélago canario. Los resultados demuestran que las series temporales Sentinel-2, durante el periodo 2020–2025, son especialmente adecuadas para el análisis fenológico y la comparación interanual a gran escala, mientras que las imágenes WorldView, tras un procesamiento riguroso, permiten caracterizar la variabilidad espacial a nivel de parcela con un compromiso óptimo entre cobertura y detalle. Por su parte, los datos UAV multiespectrales y térmicos proporcionan una caracterización de alta precisión a escala intraparcelar, esencial para la implementación de estrategias de manejo diferenciado.

La evaluación comparativa de un amplio conjunto de índices de vegetación permite identificar aquellos más representativos para la estimación del vigor, el contenido de clorofila y el estado hídrico en viñedos y olivares, garantizando su aplicabilidad consistente en distintas plataformas. La validación mediante mediciones de campo reforzaría la fiabilidad de los índices seleccionados, evidenciando su capacidad para reflejar parámetros fisiológicos clave del cultivo.



RGB



Sentinel-2

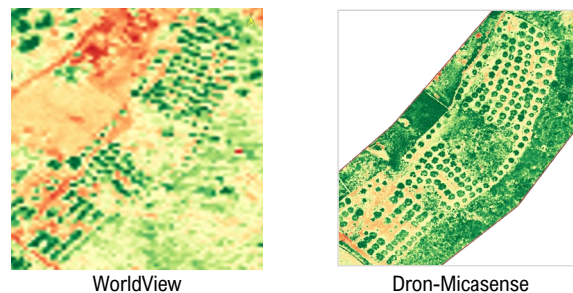


Figura 3. Comparación del NDVI para las 3 diferentes plataformas: Sentinel-2 (7 mayo 2024), WorldView-2 (4 mayo 2024) y dron multiespectral (13 junio 2025).

5. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el proyecto “Agricultura de precisión para el control del estrés hídrico y la prevención de enfermedades en cultivos de vid y olivo” (Convenio CC 25/63), de la Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Soberanía Alimentaria del Gobierno de Canarias. La participación en el congreso ha sido financiada por el Organismo Autónomo Parques Nacionales (Proyecto SPIP2022-02897). También se agradece al Programa Copernicus el suministro de los datos Sentinel-2 y al Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA-LiDAR) la disponibilidad del Modelo Digital de Terreno de alta resolución.

REFERENCIAS

- Crespo, N., Pádua, L., Santos, J.S. & Fraga, H. (2024). Satellite Remote Sensing Tools for Drought Assessment in Vineyards and Olive Orchards: A Systematic Review. *Remote Sensing* (16). DOI: 10.3390/rs16112040.
- Marcello, J., Eugenio, F., Perdomo, U. & Medina, A. (2016). Assessment of Atmospheric Algorithms to Retrieve Vegetation in Natural Protected Areas Using Multispectral High Resolution Imagery. *Sensors* (16). DOI: 10.3390/s16101624.
- Radočaj, D., Šiljeg, A., Marinović, R. & Jurišić, M. (2023). State of Major Vegetation Indices in Precision Agriculture Studies Indexed in Web of Science: A Review. *Agriculture* (13). DOI: 10.3390/agriculture1303070.
- Ramírez-Cuesta, J.M., Martínez-Gimeno, M.A., Badal, E. et al. (2025). UAV-based multispectral and thermal indexes for estimating crop water status and yield on super-high-density olive orchards under deficit irrigation conditions. *Precision Agriculture* (26). DOI: 10.1007/s11119-025-10240-6.
- Rodríguez, D., Marcello, J., Eugenio, F., & Gamba, P. (2024). Index-based forest degradation mapping using high and medium resolution multispectral sensors. *International Journal of Digital Earth*, 17(1). <https://doi.org/10.1080/17538947.2024.2365981>.
- Sharma, H., Sidhu, H. & Bhowmik, A. (2025). Remote Sensing Using Unmanned Aerial Vehicles for Water Stress Detection: A Review Focusing on Specialty Crops. *Drones* (9-4). DOI: 10.3390/drones9040241.