

Torres Sánchez, J.; Pérez Porras, F.; León, L.; de la Rosa, R.; Cantón Martínez, S.; Páez, F.; Mesas Carrascosa, F. Análisis de la evolución temporal de las firmas espectrales de diferentes variedades de olivo en seto: riego vs seco

# Análisis de la evolución temporal de las firmas espectrales de diferentes variedades de olivo en seto: riego vs seco

Torres Sánchez, Jorge <sup>1</sup> Pérez Porras, Fernando <sup>1</sup> León, Lorenzo <sup>2</sup> de la Rosa, Raúl <sup>3</sup>  
Cantón Martínez, Susana <sup>1</sup> Páez, Francisco C. <sup>4</sup> Mesas Carrascosa, Francisco Javier <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Ingeniería Gráfica y Geomática, Universidad de Córdoba

<sup>2</sup> Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera (IFAPA), Centro Camino de Purchil

<sup>3</sup> Instituto de Agricultura Sostenible-CSIC

<sup>4</sup> Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera (IFAPA), Centro La Mojonera

ORCID: Torres Sánchez 0000-0003-1420-0145 Pérez Porras 0000-0003-4263-2260 León 0000-0002-5664-3393  
de la Rosa 0000-0002-0752-9607 Cantón Martínez 0009-0009-9361-8224 Páez 0000-0002-8724-5793  
Mesas Carrascosa 0000-0002-5674-1292

Correspondencia: [o22tosaj@uco.es](mailto:o22tosaj@uco.es) [o12pepof@uco.es](mailto:o12pepof@uco.es) [lorenzo.leon@juntadeandalucia.es](mailto:lorenzo.leon@juntadeandalucia.es) [raul.rosa@ias.csic.es](mailto:raul.rosa@ias.csic.es)  
[z52camas@uco.es](mailto:z52camas@uco.es) [franciscoc.paez@juntadeandalucia.es](mailto:franciscoc.paez@juntadeandalucia.es) [ig2mecaf@uco.es](mailto:ig2mecaf@uco.es)

## RESUMEN

La teledetección hiperespectral embarcada en UAV representa una herramienta prometedora para el fenotipado eficiente de diferentes variedades de olivo. Este trabajo presenta los resultados obtenidos mediante el análisis de datos hiperespectrales adquiridos en julio y septiembre de 2022 en un ensayo de variedades. Se evaluaron cuatro variedades ('Arbosana', 'Sikitita', 'Arbequina' y 'Koroneiki') bajo dos regímenes hídricos: riego deficitario y seco. Se usó un sensor hiperespectral con 274 bandas en el rango 400–1000 nm para trazar las firmas espectrales, y se analizó la variación de las firmas entre fechas. Los resultados muestran una evolución temporal diferenciada entre variedades y regímenes hídricos. En riego, 'Koroneiki' y 'Sikitita' presentaron variaciones mínimas entre fechas, mientras que 'Arbequina' y 'Arbosana' mostraron una disminución en NIR. En seco, las diferencias fueron más marcadas, destacando mayores descensos en NIR para la mayoría de variedades, salvo 'Koroneiki' y 'Sikitita', que mantuvieron valores más estables, sugiriendo una posible mejor adaptación al seco.





**Palabras clave:** UAV, hiperespectral, fenotipado, olivar

Fecha de recepción: 6 febrero 2026 · Fecha de aceptación: 6 febrero 2026


# Análisis de la evolución temporal de las firmas espectrales de diferentes variedades de olivo en seto: riego vs secano

Torres Sánchez, Jorge <sup>(1)</sup>, Pérez Porras, Fernando <sup>(1)</sup>, León, Lorenzo <sup>(2)</sup>, de la Rosa, Raúl <sup>(3)</sup>, Cantón Martínez, Susana <sup>(1)</sup>, Páez, Francisco C. <sup>(4)</sup>, Mesas Carrascosa, Francisco Javier <sup>(1)</sup>


<sup>(1)</sup> Departamento de Ingeniería Gráfica y Geomática, Universidad de Córdoba.

 0000-0003-1420-0145, o22tosaj@uco.es;  0000-0003-4263-2260, o12pepof@uco.es;  
 0009-0009-9361-8224, z52camas@uco.es;  0000-0002-5674-1292, ig2mecaf@uco.es.


<sup>(2)</sup> Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera (IFAPA), Centro Camino de Purchil.

 0000-0002-5664-3393, lorenzo.leon@juntadeandalucia.es.

<sup>(3)</sup> Instituto de Agricultura Sostenible-CSIC.

 0000-0002-0752-9607, raul.rosa@ias.csic.es.

<sup>(4)</sup> Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera (IFAPA), Centro La Mojonera.

 0000-0002-8724-5793, franciscoc.paez@juntadeandalucia.es.

**Resumen:** La teledetección hiperespectral embarcada en UAV representa una herramienta prometedora para el fenotipado eficiente de diferentes variedades de olivo. Este trabajo presenta los resultados obtenidos mediante el análisis de datos hiperespectrales adquiridos en julio y septiembre de 2022 en un ensayo de variedades. Se evaluaron cuatro variedades ('Arbosana', 'Sikitita', 'Arbequina' y 'Koroneiki') bajo dos regímenes hídricos: riego deficitario y secano. Se usó un sensor hiperespectral con 274 bandas en el rango 400–1000 nm para trazar las firmas espectrales, y se analizó la variación de las firmas entre fechas. Los resultados muestran una evolución temporal diferenciada entre variedades y regímenes hídricos. En riego, 'Koroneiki' y 'Sikitita' presentaron variaciones mínimas entre fechas, mientras que 'Arbequina' y 'Arbosana' mostraron una disminución en NIR. En secano, las diferencias fueron más marcadas, destacando mayores descensos en NIR para la mayoría de las variedades, salvo 'Koroneiki' y 'Sikitita', que mantuvieron valores más estables, sugiriendo una posible mejor adaptación al secano.

**Palabras clave:** UAV, hiperespectral, fenotipado, olivar

## ***Analysis of the Temporal Evolution of Spectral Signatures in Different Hedgerow Olive Cultivars: Irrigated vs. Rainfed Conditions***

**Abstract:** UAV-borne hyperspectral remote sensing represents a promising tool for efficient phenotyping of different olive cultivars. This study presents the results obtained from the analysis of hyperspectral data acquired in July and September 2022 in a varietal trial. Four cultivars ('Arbosana', 'Sikitita', 'Arbequina', and 'Koroneiki') were evaluated under two water regimes: deficit irrigation and rainfed conditions. A hyperspectral sensor with 274 bands covering the 400–1000 nm range was used to derive spectral signatures, and the temporal variation between acquisition dates was assessed. The results reveal distinct temporal spectral dynamics across cultivars and water regimes. Under deficit irrigation, 'Koroneiki' and 'Sikitita' showed minimal variation between the two dates, whereas 'Arbequina' and 'Arbosana' showed a decrease in NIR. Under rainfed conditions, temporal differences were more pronounced, with most cultivars presenting stronger declines in NIR reflectance. Notably, 'Koroneiki' and 'Sikitita' maintained comparatively stable NIR values, suggesting a potentially better adaptation to rainfed cultivation.

**Keywords:** UAV, hyperspectral, phenotyping, olive crop

## 1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, se ha observado una transición del olivar tradicional hacia el olivar en seto, el cual se caracteriza por densidades entre 1000 y 2500 pies/ha. Sin embargo, la sostenibilidad de este sistema de cultivo,

asociado normalmente al riego, puede verse afectada por las condiciones actuales de cambio climático. Esto ha motivado que se hayan comenzado a realizar plantaciones de olivar en seto en condiciones de secano. No obstante, aún hay poca bibliografía científica relacionada con la gestión de olivares de alta densidad

en condiciones de secano. El análisis de los datos procedentes de sensores embarcados en vehículos aéreos no tripulados (UAV por sus siglas en inglés) ha permitido avanzar en la eficiencia del fenotipado. Y existen trabajos en los que ya se han utilizado sensores hiperespectrales instalados en UAV para el fenotipado de especies leñosas (Sankey, 2025). En este contexto, se plantea el uso de sensores hiperespectrales embarcados en UAV en ensayos de fenotipado, con el objetivo de caracterizar en detalle la firma espectral de diferentes variedades de olivo y su posible correlación con parámetros fisiológicos tanto en riego como en secano. Asimismo, es interesante estudiar cómo la firma espectral se ve influenciada por el estrés hídrico de manera diferencial en función de la variedad objeto de estudio, lo que puede ligarse a la adaptación de las variedades estudiadas a su cultivo en seto en secano. Como objetivo general, en este trabajo se presentan los resultados obtenidos mediante el análisis de los datos tomados con un sensor hiperespectral embarcado en un UAV en un ensayo de fenotipado en dos fechas diferentes. Esta tecnología ha sido utilizada previamente para detectar el sistema de riego en olivar (Santos-Rufo *et al.*, 2020), detectar enfermedades (Calderón *et al.*, 2013) y ver diferencias entre variedades (Torres Sánchez *et al.*, 2024), pero es la primera vez que se estudia en el ámbito del fenotipado la variabilidad temporal de la firma espectral del olivo y como esta se ve influenciada por el régimen de riego.

## 2. MATERIAL Y MÉTODOS

### 2.1. Parcela de estudio

El estudio se llevó a cabo en una parcela de 2.2 ha sita en el Centro IFAPA de Cabra (Córdoba) (37.502° N, 4.428° O, WGS84) en la que se plantó en marzo de 2020 un ensayo comparativo de variedades de olivar dividido en dos sub-ensayos. El primero de ellos con un marco de plantación de 4×1.5 m y en riego deficitario, y el otro con un marco de 6×1.5 m en secano. En ambos sub-ensayos se establecieron cuatro variedades de olivar en un diseño de 3 bloques al azar (parcela elemental: 3 filas de 30 plantas cada una): 'Arbosana' y 'Sikitita' (bajo vigor), 'Arbequina' (vigor intermedio) y 'Koroneiki' (vigor alto).

### 2.2. Vuelos UAV

Aunque sólo se presentan los datos de julio y septiembre de 2022 se han realizado vuelos mensuales entre junio de 2022 y enero de 2023, así como vuelos trimestrales desde 2023 hasta final de 2025. Se ha utilizado un UAV DJI Matrice 600 Pro (DJI, Shenzhen, China) equipado con un sensor hiperespectral Nano-Hyperspec (Headwall Photonics, Inc., Bolton, USA). Dicho sensor cuenta con una resolución espectral de 274 bandas entre 400 y 1000 nm, abarcando el rango visible y el infrarrojo cercano. El UAV se configuró para volar a 3.5 m/s a 50 m sobre el terreno y con un solape entre pasadas del 30%. Antes del despegue, el sensor se calibraba con un panel blanco de 0.5×0.5 m con objeto de determinar el tiempo de exposición del sensor. Además, se instaló una manta de calibración de 3×3 m para obtener valores de reflectancia calibrados a partir de los de radiancia. Para la obtención de los hipercubos espectrales

ortorrectificados con valores de reflectividad se empleó el software Spectral View (Headwall Photonics, Inc., Bolton, USA). El sensor hiperespectral iba acompañado de un sensor LiDAR modelo Velodyne Puck 16 VLP-16 (Velodyne, San José, CA, USA). El modelo tridimensional generado por el sensor LiDAR se empleó para la ortorrectificación de los hipercubos espectrales.

### 2.3. Análisis de firmas espectrales

La nube de puntos LiDAR se empleó para la segmentación de las copas de los olivos estudiados siguiendo el flujo de trabajo de (Cantón Martínez, 2025). Del total de los árboles de cada sub-ensayo se extrajeron los valores de los píxeles de los hipercubos para obtener la firma espectral media por variedad y sub-ensayo tanto en julio como en septiembre. Se calculó la diferencia porcentual entre las firmas espectrales tomando la primera fecha como referencia. También se calcularon una serie de índices espectrales (Tabla 1) a partir de bandas distribuidas a lo largo del rango de longitudes de onda proporcionadas por el sensor usado. Las fórmulas de los índices pueden consultarse en Calderón *et al.* (2013). Se estudió la existencia de diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en dichos índices entre las dos fechas de estudio usando el test de Wilcoxon o el t-test en función de la normalidad de los datos.

**Tabla 1.** Índices de vegetación calculados.

Índice	Longitudes de onda	Tipo de índice
NDVI	800, 670	Estructural
PRI <sub>570</sub>	570, 531	Xantofilas
TCARI	700, 670, 550	Clorofila a+b
SIPI	800, 680, 445	Carotenoides

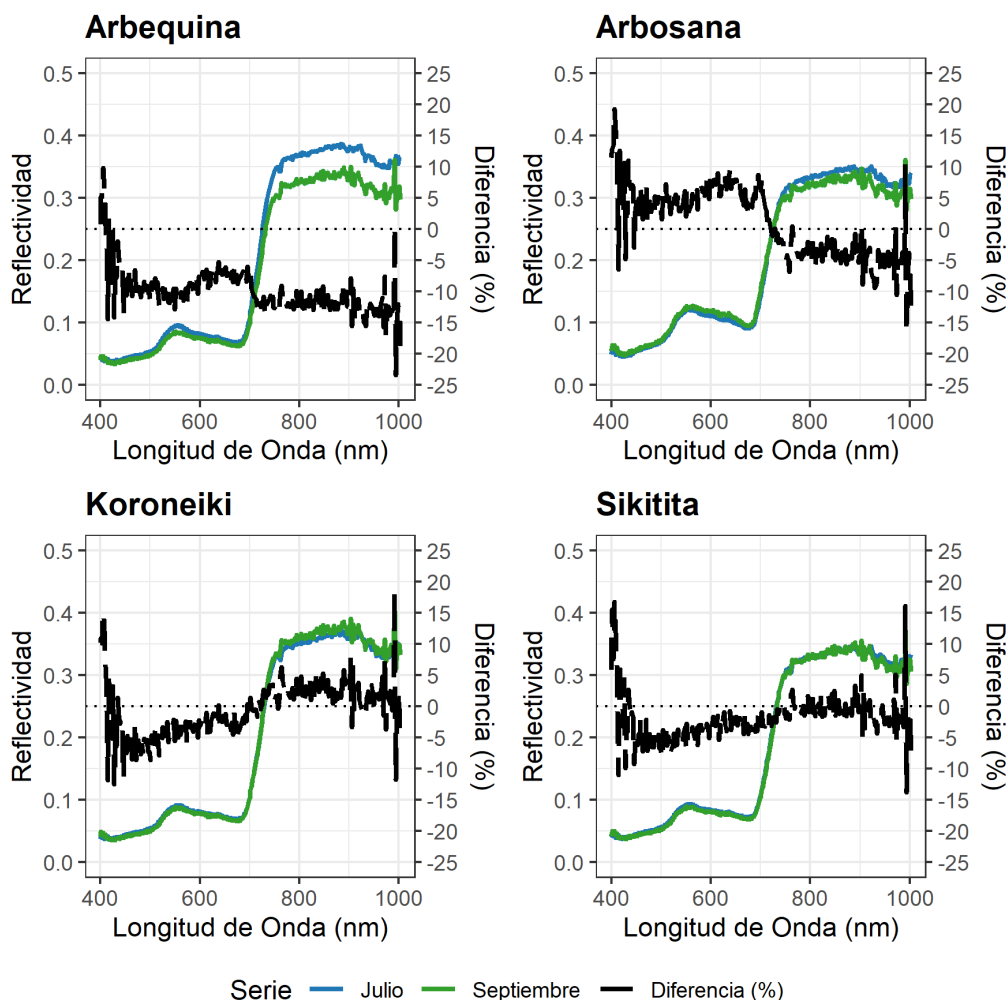
Se utilizó R-commander para la segmentación de las copas a partir de la nube de puntos LiDAR, el cálculo de las firmas espectrales, de los índices de vegetación y de sus diferencias.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La figura 1 muestra las firmas espectrales medias de las 4 variedades estudiadas en el sub-ensayo de riego deficitario, así como el cambio porcentual entre la firma en el mes de julio y la del mes de septiembre. Se puede observar como en todas las variedades hay unas fuertes fluctuaciones en los valores de la diferencia al principio y al final de la firma espectral, lo que puede ser atribuido a fallos en la toma de datos del sensor en los valores extremos del rango espectral del mismo. Obviando estas zonas del espectro se pueden apreciar diferencias entre variedades en la evolución temporal de la firma espectral. En 'Koroneiki' y 'Sikitita' la variación entre julio y septiembre fue muy pequeña a lo largo de todo el espectro, con diferencias entre el -5% y el 5%. En 'Arbequina' se aprecia una disminución en la reflectividad a lo largo de toda la firma espectral con valores que van del -5% al -15%, siendo la diferencia mayor en el rango del infrarrojo cercano. En 'Arbosana' se produjo un incremento en los valores de reflectividad en el rango visible que contrasta con el descenso registrado en el infrarrojo cercano.

En el sub-ensayo de secano (Fig. 2) las firmas espectrales tuvieron un comportamiento diferente. 'Koroneiki' y 'Sikitita' tuvieron mayores diferencias que en el ensayo de riego, con mayores valores en el rango del infrarrojo cercano. En 'Arbequina' las diferencias temporales se redujeron en valor absoluto, y hubo un cambio importante en función del rango del espectro; mientras que en riego hubo una bajada de la reflectividad

tanto en el visible como en el infrarrojo cercano, en secano hubo un incremento de la reflectividad en el rango visible y un decremento en el infrarrojo cercano. En cuanto a 'Arbosana' se mantuvo el mismo patrón que en riego, pero con una mayor bajada de la reflectividad en el rango del infrarrojo cercano.



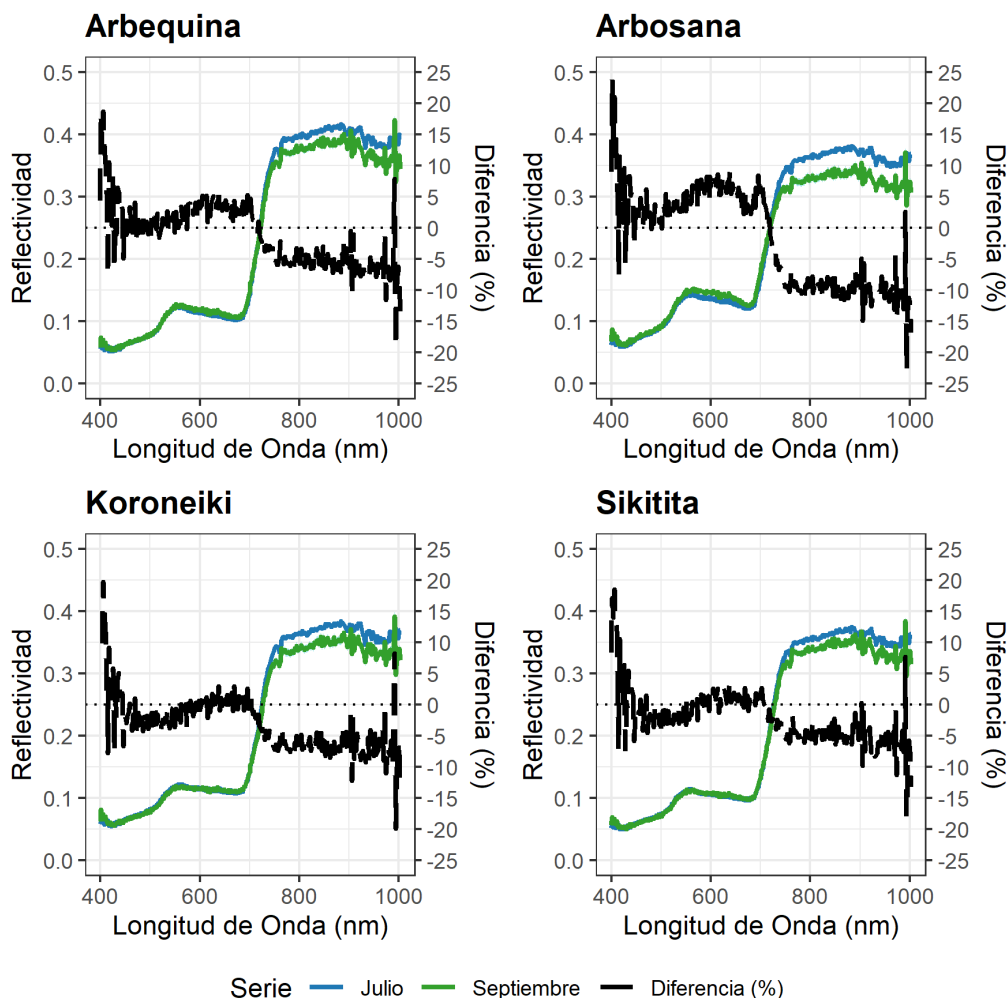
**Figura 1.** Firmas espectrales medias de las diferentes variedades estudiadas en el sub-ensayo de riego deficitario. Se ha trazado también una franja con el error estándar de las firmas, aunque no es apreciable.

Salvo para 'Koroneiki' y 'Sikitita' en riego, todas las variedades mostraron un descenso de su reflectividad en el infrarrojo cercano, lo que probablemente esté ligado a un descenso del vigor ocasionado por los rigores del verano. La aplicación de riego deficitario produjo una amortiguación del efecto del verano que produjo que los olivos tuvieran mayor vigor, hecho que se vio reflejado en variables medidas en campo como el tamaño de copa y la producción (Cantón Martínez, 2025).

En cuanto al análisis de los índices de vegetación, se detectaron diferencias significativas en gran parte de las comparaciones entre fechas. En el ensayo de riego 'Arbequina' y 'Arbosana' mostraron diferencias significativas para todos los índices, mientras que 'Sikitita' presentó diferencias para todos los índices

menos NDVI, y 'Koroneiki' tuvo diferencias tan sólo en PRI<sub>570</sub> y SIPI. En el ensayo de secano tan sólo 'Arbosana' mostró diferencias para todos los índices estudiados, 'Arbequina' las presentó para todos menos TCARI, 'Koroneiki' tuvo diferencias significativas en NDVI, PRI<sub>570</sub> y SIPI, mientras que 'Sikitita' tan solo mostró cambios significativos para PRI<sub>570</sub>.

El hecho de que 'Koroneiki' y 'Sikitita' sean las variedades que menos diferencias presentaron, tanto en el análisis de los índices como en el de las firmas espectrales, podría ser indicativo de una mejor adaptación de estas variedades a su cultivo en seto en secano.



**Figura 2.** Firmas espectrales medias de las diferentes variedades estudiadas en el sub-ensayo de secano. Se ha trazado también una franja con el error estándar de las firmas, aunque no es apreciable.

#### 4. CONCLUSIONES

Los resultados muestran la importancia de estudiar la evolución temporal de las firmas espectrales y los índices de vegetación de diferentes variedades de olivar. Se ha constatado de forma preliminar que existen diferencias entre las firmas espectrales de variedades de olivo a lo largo del tiempo, y que estas diferencias no son iguales para todas las variedades, lo que podría estar ligado a su capacidad de resistencia al estrés hídrico y adaptabilidad a su cultivo en seto en secano.

#### 5. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por los proyectos PID2024-156792OR-C33 (Retos-Sociedad, MCIN/AEI/10.13039/501100011033) y AVA23.INV2023.016/TRA23.TRA2023.003 (Proyectos de Investigación y Transferencia del IFAPA, cofinanciados al 80% por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional, FEDER).

#### 6. REFERENCIAS

Calderón, R., Navas-Cortés, J. A., Lucena, C., & Zarco-Tejada, P. J. (2013). High-resolution airborne hyperspectral and thermal imagery for early

detection of *Verticillium wilt* of olive using fluorescence, temperature and narrow-band spectral indices. *Remote Sensing of Environment*, 139, 231-245. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.07.031>

Cantón Martínez, S. (2025). *Definición fenotípica de cultivos mediante sensorización remota multiescala* (p. 1) [Universidad de Córdoba (ESP)]. <https://helvia.uco.es/xmlui/handle/10396/34065>

Sankey, T. T. (2025). UAV hyperspectral-thermal-lidar fusion in phenotyping: Genetic trait differences among Fremont cottonwood populations. *Landscape Ecology*, 40(3), 45. <https://doi.org/10.1007/s10980-025-02048-6>

Torres Sánchez, J., López Granados, F., Cantón Martínez, S., León, L., Pérez Porras, F., de la Rosa, R., Páez, F. C., & Mesas Carrascosa, F. J. (2024, junio 26). Caracterización mediante sensor hiperespectral embarcado en UAV de variedades para olivar en seto: Riego vs secano. *Frutales mediterráneos y subtropicales frente al cambio climático, la sostenibilidad y la digitalización*. VIII Jornadas Nacionales del Grupo de Olivicultura.