



2025 | **16-20**
GIJÓN | JUNIO

9º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

9CFE-1461

Actas del Noveno Congreso Forestal Español
Edita: **Sociedad Española de Ciencias Forestales. 2025.**
ISBN: **978-84-941695-7-1**

Organiza





SensOFOREST: sistema integrado de observación para la vigilancia a largo plazo del impacto climático en bosques abiertos Mediterráneos

MARTÍN, M.P. (1), GONZÁLEZ-CASCÓN, R. (2), PACHECO-LABRADOR, J. (1), BURCHARD-LEVINE, V. (1), RAYA-SERENO, M.D. (1), CASILLAS, L. (1), MORENO, G. (3), BARETH, G. (4), JENAL, A. (5), LÓPEZ, R. (6) y CARRARA, A. (6)

(1) Laboratorio de Espectro-radiometría y Teledetección Ambiental (SpecLab).

Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

(2) Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA).

Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

(3) INDEHESA, Universidad de Extremadura.

(4) Institute of Geography. University of Cologne.

(5) Application Center for Machine Learning and Sensors AMLS. University of Applied Sciences Koblenz.

(6) Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo.

Resumen

El seguimiento de la salud y productividad de los ecosistemas forestales es posible a partir de un conjunto muy diverso de técnicas que facilitan información a distintas escalas temporales y espaciales, incluida la teledetección. Sin embargo, la integración de estas técnicas aún no se ha implantado de forma eficaz en redes de ámbito global. El proyecto SensOFOREST contribuye a la red europea “ForestWard Observatory” mediante la implementación de un sistema integrado de observación (SIO) compuesto por sensores terrestres equipados para la transmisión en tiempo real, así como datos multiescalares de teledetección (*in situ*, drones y satélites). El proyecto se centra en áreas de estudio representativas de dehesas de encina, incluyendo la estación ICOS-Ecosistema de Majadas de Tiétar (Cáceres). El SIO incorpora sensores terrestres (dendrómetros y sensores de potencial hídrico del suelo) siguiendo los estándares metodológicos de la red TreeNet, así como datos obtenidos mediante sensores ópticos hiperespectrales, LiDAR y térmicos terrestres y aeroportados, muestreos foliares (espectrales y bioquímicos) y observaciones sobre las características estructurales y estado sanitario del dosel. En este trabajo se describe la metodología y objetivos generales del proyecto y se presentan los resultados preliminares de la primera campaña experimental realizada en septiembre de 2024. Los datos biofísicos y espectrales recopilados en esta campaña demuestran el potencial de las imágenes de satélite de muy alta resolución espacial Pléiades Neo para observar diferencias entre árboles con y sin síntomas de decaimiento asociados a parámetros estructurales del dosel.

Palabras clave

Quercus ilex, salud forestal, imágenes Pléiades Neo, multiescala

1. Introducción

Actualmente contamos con una amplia gama de instrumentos y técnicas que generan datos a diferentes escalas temporales y espaciales de los que obtener información relevante relativa a procesos clave de los ecosistemas forestales y monitorizar la salud y productividad de los bosques. La integración de estas



técnicas y datos ha sido ampliamente explorada, pero aún no se ha implementado completamente en redes de seguimiento forestal consistentes (ZWEIFEL et al., 2023). La resiliencia y resistencia de los ecosistemas forestales a los factores de estrés abióticos y bióticos (p. ej., sequías, olas de calor, incendios, plagas, enfermedades, etc.) se han analizado mediante teledetección u observaciones periódicas sobre el terreno. Sin embargo, el seguimiento exhaustivo de la salud y la dinámica de los bosques, incluido el estrés de la vegetación (p. ej., estrés hídrico, deficiencia de nutrientes, enfermedades, etc.), el secuestro de carbono (fuente o sumidero de gases de efecto invernadero) y el proceso general de degradación forestal (un proceso complejo que puede conducir a la desaparición definitiva de algunos ecosistemas forestales), sigue planteando retos tecnológicos y metodológicos que es necesario superar para comprender los impactos actuales y futuros del cambio climático.

Los bosques abiertos o ecosistemas pasto-arbolado son una de las formas de vegetación terrestre más extensas espacialmente y más ampliamente distribuidas en la Tierra. Cubren amplias zonas de la Europa mediterránea y se consideran *hotspots* del cambio climático y la biodiversidad (COS et al. 2022). Los bosques abiertos también son vitales para la alimentación del ganado y desempeñan un papel fundamental en la seguridad alimentaria en algunas regiones del planeta. Recientemente están ganando importancia como sistemas resilientes porque proporcionan una sinergia eficaz entre la adaptación al cambio climático y su mitigación (HERNÁNDEZ-MORCILLO et al., 2018). Por lo tanto, es probable que estos ecosistemas ganen importancia en un contexto de adaptación al cambio climático en muchas regiones que, según las previsiones, sufrirán una disminución de la disponibilidad y a la vez un aumento de la demanda de agua y experimentarán sequías más graves y prolongadas. *Quercus Ilex L.*, la especie dominante en el bosque abierto Mediterráneo, puede considerarse una de las más importantes de la cuenca mediterránea (ALDEROTTI y VERDIANI, 2023). Es una especie muy extendida que tolera la sequía y que cubre más de seis millones de hectáreas, la mayoría en Europa occidental (DUCREY, 1992). Sin embargo, es probable que varios factores, como el aumento de las plagas, la infestación por *P. cinnamomi*, la intensificación de los fenómenos climáticos extremos, como olas de calor y sequías, y la reducción de las precipitaciones, acaben mermando el dominio de esta especie (ALDEROTTI y VERDIANI, 2023). Por lo tanto, resulta crucial vigilar cómo afecta el cambio climático a la salud, el crecimiento y la productividad de esta especie forestal. La teledetección podría ser una herramienta adecuada para este fin y, sin embargo, en la práctica, los bosques abiertos representan una limitación en las capacidades de observación de la Tierra desde satélite, y un serio reto para las comunidades científicas de teledetección y modelización. Esto se debe a que estos ecosistemas se caracterizan por estructuras horizontales y verticales complejas donde se mezcla vegetación arbórea y herbácea con diferentes dinámicas fenológicas determinadas por factores como la sequía, el pastoreo y los cambios de uso del suelo. La mezcla espectral de todas estas señales en un mismo píxel dificulta la caracterización de los componentes individuales. Todo ello les convierte en sistemas intrínsecamente difíciles de monitorizar con teledetección (HILL et al. 2011).

Sin embargo, las nuevas tecnologías ofrecen oportunidades para hacer frente a



estos retos. Los sensores terrestres que ofrecen una alta resolución temporal, combinados con los datos de muy alta resolución espacial recogidos por cámaras multi e hiperespectrales a bordo de satélite, drones y aviones, proporcionan información complementaria extremadamente útil para caracterizar los diferentes componentes del ecosistema y escalar la información desde las mediciones locales a las observaciones de satélite. Estas nuevas oportunidades tecnológicas, como las que ofrecerán las próximas misiones satelitales hiperespectrales (CHIME) y térmicas (ECOSTRESS), facilitarán la comprensión del funcionamiento de estos bosques abiertos, la evaluación de su respuesta frente el cambio climático, y permitirán diseñar estrategias de gestión para garantizar su sostenibilidad.

2. Objetivos

El proyecto SensOFOREST tiene como objetivo contribuir al “ForestWard Observatory” (<https://forwards-project.eu/>), una red de seguimiento y evaluación que ayudará a demostrar el impacto del cambio climático en los bosques europeos. SensOFOREST pretende colaborar con este observatorio mediante el desarrollo de un SIO en bosques abiertos Mediterráneos, basado en el uso combinado de sensores terrestres y sensores espectrales multiescala (*in situ* y a bordo de drones y satélites). SensOFOREST ejemplificará la integración de sensores y escalas en un *super-site* situado en la provincia de Cáceres, que pretende servir de referencia para la implementación de observatorios similares en otros bosques abiertos a nivel nacional, europeo y global. En este trabajo se presentan los resultados preliminares obtenidos en la primera campaña experimental en la que se han recopilado y comparado datos biofísicos y espectrales sobre árboles con y sin síntomas visuales de decaimiento (defoliación) con el propósito de determinar las variables biofísicas a nivel de hoja que se relacionan con dicha sintomatología y si ésta se traduce en diferencias espectrales a nivel de dosel.

3. Metodología

3.1. Sitios experimentales

Los sitios de estudio propuestos en SensOFOREST son plenamente representativos de los ecosistemas forestales abiertos típicos de *Quercus Ilex L.* que cubren amplias zonas del suroeste de la Península Ibérica (España y Portugal). Se encuentran en una zona climática típicamente mediterránea, con veranos secos y calurosos y un periodo de sequía que suele durar de junio a septiembre. El sotobosque está formado por un estrato de pastos compuesto principalmente por especies herbáceas anuales con una biodiversidad muy elevada. La productividad de estos ecosistemas presenta fuertes variaciones estacionales e interanuales que dependen en gran medida del régimen de precipitaciones.

El sitio de estudio principal (*super-site*) del proyecto es la estación experimental de Majadas de Tiétar (39°56'25" N, 5°46'28" O) que forma parte de las redes ICOS e ICP Forest. La zona se caracteriza por un clima con una temperatura media anual de 16.6 °C y una precipitación media anual de 600 mm. Presenta una cobertura arbórea en torno al 20%, una densidad de 25 árboles/ha y un diámetro medio a la altura del pecho (DAP) de 46 cm, lo que la hace plenamente representativa de estos bosques abiertos esclerófilos perennifolios de *Quercus Ilex L.* en el sur de Europa. La estación experimental ha mantenido un extenso programa de monitorización



continua desde 2003, incluyendo medidas meteorológicas, de flujos de agua y carbono, edáficas, de flujos de savia, etc. El sitio está equipado, además, con cámaras digitales para el seguimiento de la fenología y cuenta, desde 2009, con una base de datos histórica única a nivel mundial que combina rasgos ópticos en el rango espectral visible, infrarrojo cercano e infrarrojo de onda corta (VIS-NIR-SWIR) y bioquímicos (contenidos foliares de agua, materia seca, clorofila, carotenoides, así como concentraciones y contenidos de nutrientes) a nivel de hoja de *Quercus ilex L.* Para la caracterización de los rasgos del dosel, el sitio cuenta también con una serie histórica (2010-2023) de imágenes multi e hiperespectrales obtenidas utilizando drones y aviones.

Además de este *super-site*, el proyecto incluye otros dos sitios de estudio en La Albuera (38°42'7" N, 6°46'57" O) y Mirabel (39°53'59.86" N, 6°14'59.91" O). El primero es un bosque abierto de *Quercus Ilex L.* de características similares a Majadas de Tiétar en cuanto a densidad de la cubierta arbórea y edad, pero con una temperatura media anual ligeramente superior (16.8 °C) y una precipitación anual notablemente inferior (unos 450 mm). Se trata también de un sitio de observación a largo plazo que incluye equipamiento para la medición de variables meteorológicas, flujos y edáficas similar al de Majadas de Tiétar. El sitio de Mirabel, que pertenece a la Red Forestal de Nivel I del ICP Forest, presenta una mayor densidad arbórea (35 árboles/ha) y cobertura de la fracción arbórea (alrededor del 35%) en comparación con el sitio de Majadas de Tiétar, aunque en este caso las condiciones ambientales de temperatura y precipitación son muy similares.

3.2. Datos biofísicos y espectrales multi-escala: discriminación de síntomas de decaimiento

En el contexto de la red europea “ForestWard Observatory”, SenOFOREST propone desarrollar protocolos de adquisición de datos y métodos de análisis que permitan vincular las mediciones terrestres y espectrales para monitorizar el funcionamiento de bosques abiertos Mediterráneos, lo que implica la combinación de datos multisensor a diversas escalas espaciales y temporales. En este trabajo nos centramos en los aspectos espaciales que se exploraron en una campaña experimental realizada en el *super-site* de Majadas de Tiétar los días 17 y 18 de septiembre de 2024. En dicha campaña se tomaron muestras y se realizaron mediciones de variables biofísicas a nivel de hoja y se obtuvieron, de forma simultánea, datos espectrales a nivel de hoja y dosel. Todas las mediciones se realizaron sobre 12 árboles seleccionados en dos zonas de muestreo (polígonos amarillos en Figura 1). En cada zona se escogieron seis árboles, de ellos tres con síntomas visuales de decaimiento relacionados con la pérdida de masa foliar (Figura 1).

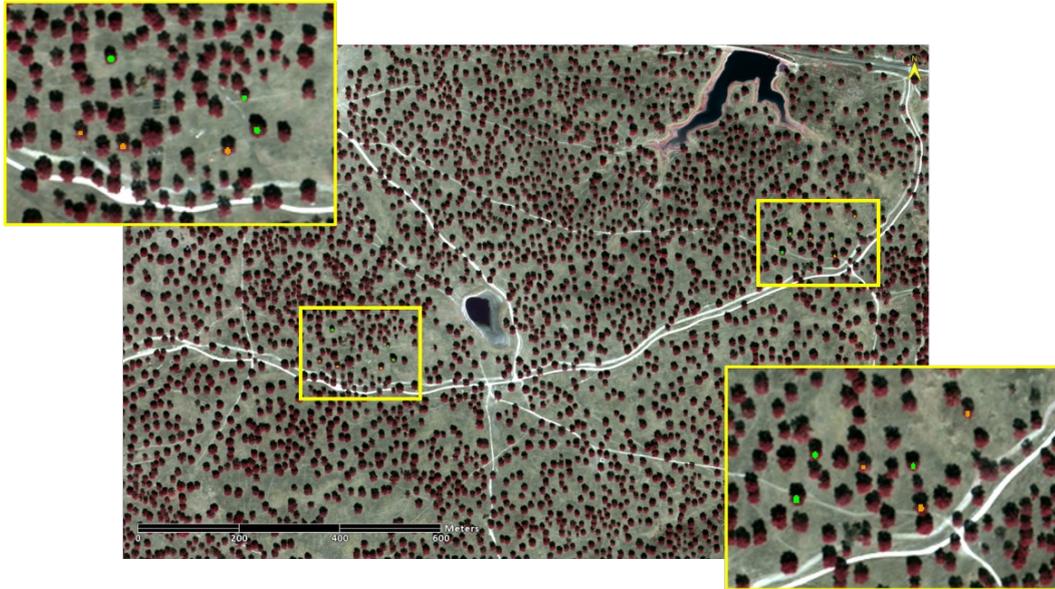


Figura 1. Zonas de muestreo en la estación experimental de Majadas de Tiétar. Los polígonos amarillos muestran la ubicación de los árboles seleccionados para los muestreos en cada zona. Se han marcado con color verde los árboles sin síntomas y en color naranja con síntomas de decaimiento en ambas zonas.

De acuerdo a las directrices de ICP-Forest (<http://icp-forests.net/>), para el muestreo foliar se recogieron hojas del tercio superior de la copa. En estos bosques abiertos los árboles presentan diferencias máximas en los contenidos de nutrientes, área foliar, agua y pigmentos entre las orientaciones sur y norte de las copas, por lo que, en esta campaña se muestrearon las ramas del tercio superior de ambas orientaciones. Se tomaron dos tipos de muestras, una de 12 hojas (seis del Norte y seis del Sur) sobre las que se obtuvieron mediciones ópticas para la estimación de pigmentos mediante un medidor de clorofila Minolta SPAD® 502. Estas medidas se transformaron en valores de clorofila a y b (Cab) y carotenoides (Cxc) por unidad de superficie foliar mediante las ecuaciones de calibración obtenidas en la misma zona de estudio (GONZÁLEZ-CASCÓN et al., 2017). Sobre estas mismas hojas se obtuvieron medidas espectrales mediante un espectro-radiómetro ASD Fieldspec4® de rango continuo (350-2500 nm). La segunda muestra, compuesta por 100 hojas se utilizó para la estimación del área foliar media (ALA), área foliar específica (SLA), contenido de agua (EWT) y nutrientes (P, K, Ca, Mg, Mn, Fe, Zn). La Figura 2 resume las principales etapas del muestreo foliar realizado en esta campaña.

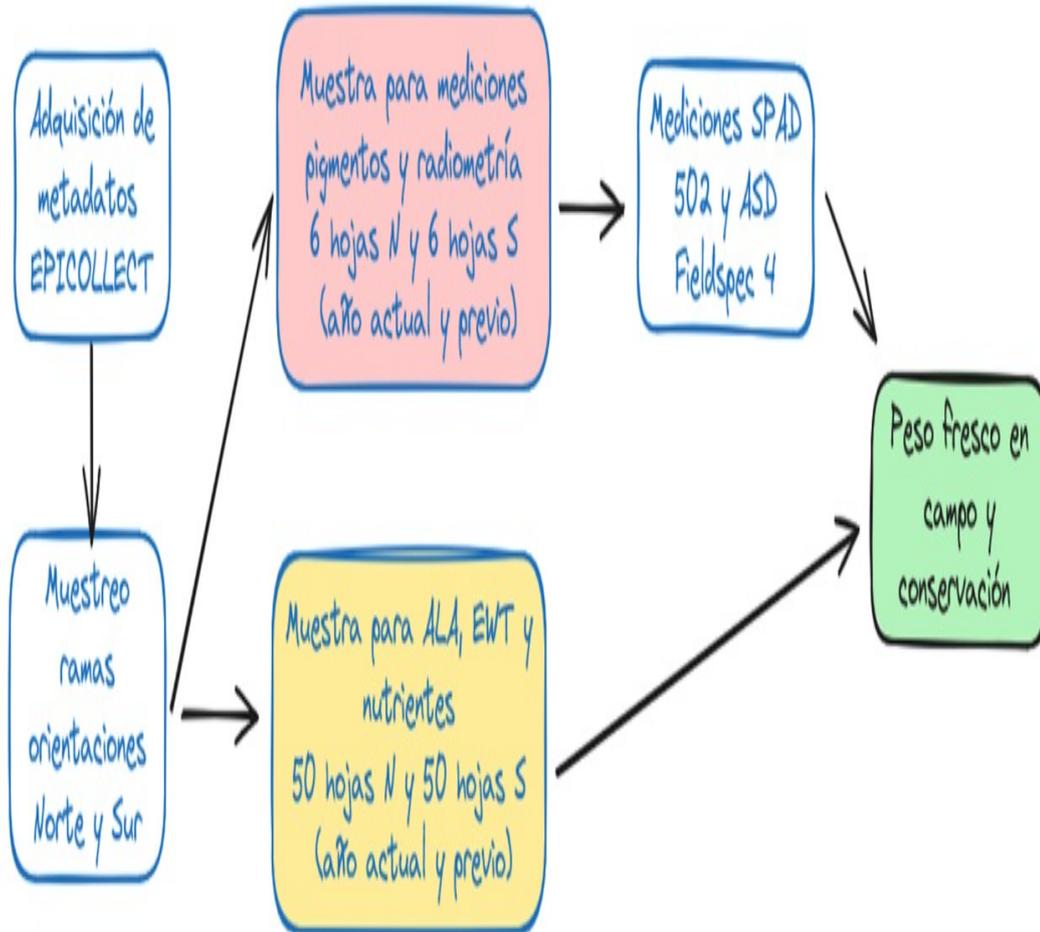


Figura 2. Principales fases del protocolo de muestreo foliar realizado en la campaña experimental de SensOFOREST.

De forma simultánea al muestreo foliar se realizaron diversos vuelos con un dron DJI Matrice 350 RTK con el que se obtuvieron imágenes multiespectrales VNIR/SWIR con un sensor experimental (JENAL et al., 2019) que captura información en seis bandas de longitud de onda (910, 980, 1100, 1200, 1510 y 1650 nm). Los vuelos se realizaron a una altitud de 80 metros sobre el suelo, generando imágenes con una resolución espacial de 5 cm/píxel.

Tanto los datos espectrales medios a nivel de hoja como los obtenidos desde dron están siendo procesados por lo que no han podido incluirse en el análisis que se describe en este trabajo.

Durante la campaña se programó y obtuvo una imagen del satélite Pléiades Neo. Este satélite pertenece a una constelación óptica de satélites comerciales de muy alta resolución espacial operada por *Airbus Defence and Space*. Pléiades Neo obtiene información en siete bandas espectrales (*Panchromatic*: 450-800 nm, *Deep Blue*: 400-450 nm, *Blue*: 450-520 nm, *Green*: 530 – 590 nm, *Red*: 620 – 690 nm, *Red Edge*: 700 – 750 nm, *Near-infrared*: 770 – 880 nm) con una resolución espacial de 30

cm en el modo pancromático y 1.2 m en el multiespectral. La imagen fue tomada sobre el área de estudio el 17 de septiembre de 2024 en torno a las 11:30 UTC. A partir de las bandas multiespectrales se calcularon seis índices de vegetación propuestos en la literatura para monitorizar el estado de la vegetación (Tabla 1). Estos índices se calcularon para los píxeles correspondientes a las copas de los 12 árboles muestreados, que fueron delimitados manualmente sobre la imagen (Figura 1). El número de píxeles por árbol osciló entre nueve y 22 en función del tamaño de la copa. En la delimitación de los mismos se descartaron las zonas más periféricas de la copa para evitar la contaminación del sotobosque y de la propia sombra del árbol proyectada sobre el suelo.

Tabla 1. Índices de vegetación calculados a partir de las bandas multiespectrales de la imagen Pléiades Neo para los píxeles seleccionados en las copas de los árboles muestreados.

Índices	Fórmula	Referencia
NDVI	$(\text{NIR} - \text{RED}) / (\text{NIR} + \text{RED})$	ROUSE et al. 1974
NIRV	$(\text{NDVI} - 0.08) * \text{NIR}$	BADGLEY et al. 2017
EVI	$2.5 * ((\text{NIR} - \text{RED}) / ((\text{NIR} + (6 * \text{RED}) - (7.5 * \text{BLUE}) + 1)))$	HUETE et al. 1997
OSAVI	$(\text{NIR} - \text{RED}) / (\text{NIR} + \text{RED} + 0.16)$	RONDEAUX et al. 1996
Cl _{rededge}	$(\text{NIR} / \text{Red Edge}) - 1$	GITELSON et al 2003
GNDVI	$(\text{NIR} - \text{GREEN}) / (\text{NIR} + \text{GREEN})$	GITELSON et al. 1996

Los datos biofísicos obtenidos a nivel de hoja y los datos espectrales a nivel de dosel se analizaron para determinar si existían diferencias significativas entre grupos de árboles con y sin síntomas de decaimiento. Para ello se aplicó la prueba no paramétrica de muestras independientes U de Mann-Whitney estableciendo un intervalo de confianza del 95%. Por otra parte, se calcularon las correlaciones entre los índices y las variables biofísicas que mostraron diferencias significativas entre los dos grupos de árboles, para determinar la capacidad de los datos espectrales satelitales (a nivel de dosel) para estimar diferencias observadas a nivel de hoja.

4. Resultados

La prueba de U de Mann-Whitney aplicada a los datos biofísicos solo mostró diferencias significativas (nivel de significación > 95%) entre los grupos de árboles con y sin síntomas de decaimiento para las variables ALA, EWT, Cab y Cxc (Tabla 2). En el caso de los datos espectrales, las bandas individuales no mostraron diferencias significativas, pero sí lo hicieron para los índices de vegetación calculados a partir de la imagen Pléiades Neo excepto Cl_{rededge} (Tabla 2). Los índices NDVI y OSAVI mostraron los mayores niveles de significación.

Variable biofísica	Significación asintótica	Variable espectral	Significación
--------------------	--------------------------	--------------------	---------------



			asintótica
ALA	0.004	Deep Blue	0.093
EWT	0.003	Blue	0.108
SLA	0.095	Green	0.240
Cab	0.024	Red	0.180
Cxc	0.024	Red Edge	0.589
P	0.937	Near Infrared	0.485
K	0.937	NDVI	0.009
Ca	0.310	NIRV	0.026
Mg	0.937	EVI	0.041
Mn	0.485	OSAVI	0.002
Fe	0.937	CL_reledge	0.240
Zn	0.818	GNDVI	0.041

Los árboles con síntomas de decaimiento (defoliación) mostraron, de forma consistente, mayores valores de ALA y, sólo en algunos casos, valores algo superiores de Cab, mientras que los valores de EWT fueron muy similares a los registrados en los árboles sin síntomas.

En cuanto a la capacidad de la teledetección satelital para determinar las diferencias entre árboles con o sin síntomas de decaimiento, encontramos una correlación negativa alta y significativa de la variable ALA con casi todos los índices y especialmente con NDVI ($r=-0.719$) y GNDVI ($r=-0.741$). Las correlaciones fueron bajas y no significativas entre los índices de vegetación y el resto de variables biofísicas.. La Figura 3 muestra la relación entre los valores de GNDVI y ALA para todos los árboles muestreados. Utilizando un modelo exponencial alcanzaron valores de $R^2 > 0.7$.

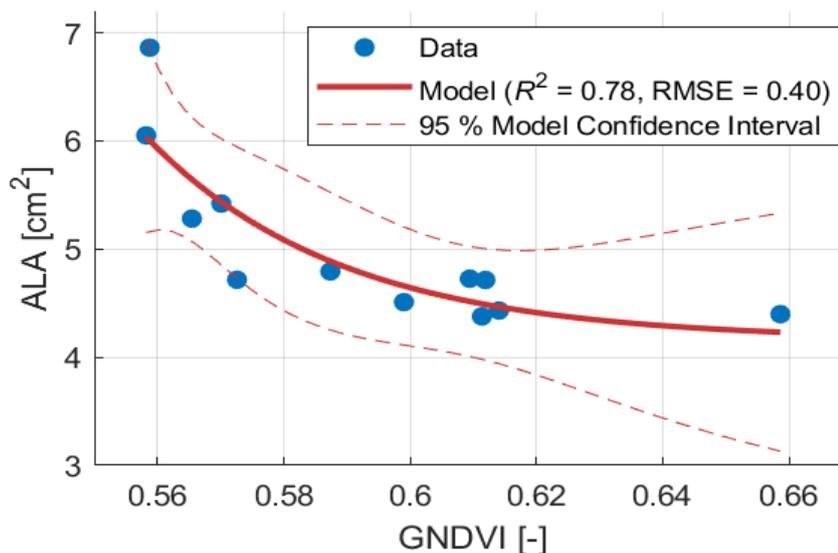


Figura 3. Relación entre el Área media de la hoja (ALA) y el índice GNDVI calculado a partir de la imagen Pléiades Neo para los 12 árboles muestreados.



5. Discusión

El proyecto SensoFOREST propone un sistema integrado de observación para la monitorización de bosques abiertos Mediterráneos basado en sensores *in situ*, próximos y remotos para su integración operativa en la red europea “ForestWard Observatory”. Los resultados preliminares obtenidos en la primera campaña experimental revelan que es posible estimar algunas variables críticas relacionadas con las condiciones de salud de los bosques y escalarlas de hoja a dosel utilizando imágenes de satélite de muy alta resolución espacial como Pléiades Neo. No obstante, los índices espectrales analizados no fueron capaces de relacionarse de manera exclusiva con las diferencias observadas en parámetros foliares específicos, a excepción del área foliar media (ALA) que a su vez se relacionó inversamente con la densidad del dosel y el LAI. Las diferencias detectadas en contenido de agua y pigmentos entre árboles con y sin síntomas de decaimiento mediante el muestreo realizado a nivel de hoja no han sido detectables a nivel de dosel con este tipo de imágenes, si bien las diferencias entre índices espectrales podrían estar parcialmente determinadas por estas propiedades. La menor influencia en la respuesta espectral está relacionada con los problemas de escalado espacial típicos en este tipo de estudios y que se deben a la contribución de factores como la arquitectura del dosel, la presencia de sombras o la influencia del sotobosque (BURCHARD-LEVINE et al., 2021). Otro factor relevante puede ser la resolución espectral de las imágenes Pléiades Neo, con bandas anchas que no permiten detectar rasgos de absorción finos característicos de clorofilas y carotenos. Por otra parte, estas imágenes carecen de información en la región espectral del SWIR lo que dificulta observar rasgos de absorción de agua y otros componentes como la lignina y celulosa que podrían revelar condiciones de estrés que sólo son detectables en esta zona del espectro (BUITRAGO et al., 2018). De ahí la importancia de los datos obtenidos durante la campaña con la cámara experimental VNIR-SWIR a bordo de dron, que nos permitirá explorar el potencial de esta región espectral para detectar síntomas de estrés no observables en el espacio VIS-NIR. En próximos estudios se analizarán estas preguntas abiertas mediante la integración multi-escalar del conjunto de datos del proyecto (espectro-radiometría foliar, imágenes de drones e imágenes de satélite).

6. Conclusiones

Los índices espectrales calculados a partir de imágenes multiespectrales de alta resolución han demostrado ser capaces de discriminar individuos de *Quercus ilex* L. aislados con diferentes estados de salud en una dehesa mediterránea. Esta discriminación podría estar gobernada por diferencias estructurales, antes que bioquímicas. No obstante, el análisis del conjunto de datos completo del proyecto SenOFOREST permitirá profundizar en las capacidades y limitaciones de la teledetección para monitorizar el estado de salud del arbolado en bosques abiertos.

7. Agradecimientos

El proyecto SensoFOREST está financiado por la Unión Europea a través del proyecto FORWARDS (<https://forwards-project.eu>).

8. Bibliografía



ALDEROTTI, F.; VERDIANI, E. (2023). God save the queen! How and why the dominant evergreen species of the Mediterranean Basin is declining? *AoB PLANTS*, 15, plad051

BADGLEY, G.; FIELD, C.B.; BERRY, J.A. (2017). Canopy near-infrared reflectance and terrestrial photosynthesis. *Science Advances*, 3, e1602244

BUITRAGO, M.; GROEN, T.; HECKER, C.; SKIDMORE, A. (2018). Spectroscopic determination of leaf traits using infrared spectra. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 69, 237-250.

BURCHARD-LEVINE, V.; NIETO, H., RIAÑO, D.; MIGLIAVACCA, M.; EL-MADANY, T. S.; GUZINSKI, R.; CARRARA, A.; MARTIN, M.P. (2021). The effect of pixel heterogeneity for remote sensing based retrievals of evapotranspiration in a semi-arid tree-grass ecosystem. *Remote Sensing of Environment*, 260, 112440

COS, J.; DOBLAS-REYES, F.; JURY, M.; MARCOS, R.; BRETONNIÈRE, P.A.; SAMSÓ, M. (2022). The Mediterranean climate change hotspot in the CMIP5 and CMIP6 projections. *Earth Syst. Dynam.*, 13, 321-340

DUCREY, M. (1992). Management methods and future prospects for the evergreen oak (*Quercus ilex* L.) coppice forests in the french mediterranean region. *Revue forestière française*, 44, 12-34

GITELSON, A.A.; KAUFMAN, Y.J.; MERZLYAK, M.N. (1996). Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS. *Remote Sensing of Environment*, 58, 289-298

GITELSON, A.A.; VIÑA, A.; ARKEBAUER, T.J.; RUNDQUIST, D.; KEYDAN, G.P.; LEAVITT, B. (2003). Remote estimation of leaf area index and green leaf biomass in maize canopies. *Geophysical Research Letters*, 30.

GONZALEZ-CASCON, R.; JIMÉNEZ-FENOY, L.; VERDÚ-FILLOLA, I.; MARTÍN, M. P. (2017). Short communication: Aqueous-acetone extraction improves the drawbacks of using dimethylsulfoxide as solvent for photometric pigment quantification in *Quercus ilex* leaves. *Forest Systems*, 26(2), eSC04.

HERNANDEZ-MORCILLO, M.; BURGESS, P.; MIRCK, J.; PANTERA, A.; PLIENINGER, T. (2018). Scanning agroforestry-based solutions for climate change mitigation and adaptation in Europe. *Environmental Science & Policy*, 80, 44-52.

HILL, M.J.; HANAN, N.P.; HOFFMANN, W.; SCHOLE, R.; PRINCE, S.; FERWERDA, J.; LUCAS, R.M.; BAKER, I.; ARNETH, A.; HIGGINS, S. (2011). Remote sensing and



modeling of savannas: The state of the dis-union. In, Proceedings of the 34th International Symposium on Remote Sensing of the Environment (ISRSE), Sydney, NSW, Australia (pp. 10-15)

HUETE, A.R.; LIU, H.Q.; BATCHILY, K.; VAN LEEUWEN, W. (1997). A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. *Remote Sensing of Environment*, 59, 440-451

JENAL, A.; BARETH, G.; BOLTEN, A.; KNEER, C.; WEBER, I.; BONGARTZ, J. (2019). Development of a VNIR/SWIR Multispectral Imaging System for Vegetation Monitoring with Unmanned Aerial Vehicles. *Sensors*, 19(24), 5507

ROUSE, J.W.; HAAS, R.H.; SCHELL, J.A.; DEERING, D.W. (1974). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In S.C. Freden, E.P. Mercanti, & M.A. Becker (Eds.), *Third Earth Resources Technology Satellite- 1 Symposium* (pp. 301-317). Greenbelt, MD, USA: NASA

ZWEIFEL, R.; PAPPAS, C.; PETERS, R.L.; BABST, F.; BALANZATEGUI, D.; BASLER, D.; BASTOS, A.; BELOIU, M.; BUCHMANN, N.; BOSE, A.K.; BRAUN, S.; DAMM, A.; D'ODORICO, P.; EITEL, J.U.H.; ETZOLD, S.; FONTI, P.; ROUHOLAHNEJAD FREUND, E.; GESSLER, A.; HAENI, M.; HOCH, G.; KAHMEN, A.; KÖRNER, C.; KREJZA, J.; KRUMM, F.; LEUCHNER, M.; LEUSCHNER, C.; LUKOVIC, M.; MARTÍNEZ-VILALTA, J.; MATULA, R.; MEESENBURG, H.; MEIR, P.; PLICHTA, R.; POYATOS, R.; ROHNER, B.; RUEHR, N.; SALOMÓN, R.L.; SCHARNWEBER, T.; SCHAUB, M.; STEGER, D.N.; STEPPE, K.; STILL, C.; STOJANOVIĆ, M.; TROTSIUK, V.; VITASSE, Y.; VON ARX, G.; WILMKING, M.; ZAHND, C.; STERCK, F. (2023). Networking the forest infrastructure towards near real-time monitoring – A white paper. *Science of The Total Environment*, 872, 162167