

Jeannet Chaves, G.; Rodríguez Galiano, V.; Caparrós Santiago, J. Evaluación de la representatividad del producto fenológico “High Resolution-Vegetation Phenology and Productivity” en la España mediterránea

Evaluación de la representatividad del producto fenológico “High Resolution-Vegetation Phenology and Productivity” en la España mediterránea

Jeannet Chaves, Guilhem Nicolás¹ Rodríguez Galiano, Víctor Francisco¹ Caparrós Santiago, José Antonio¹

¹ Universidad de Sevilla, Andalucía, España

ORCID: Jeannet Chaves 0000-0002-6824-4840 Rodríguez Galiano 0000-0002-5422-8305 Caparrós Santiago 0000-0003-3369-8356

Correspondencia: gjeannet@us.es vrgaliano@us.es jacaparros@us.es

RESUMEN

La fenología vegetal, o fitofenología, constituye un indicador clave de la dinámica ecológica y de la respuesta al cambio global. El producto fenológico High-Resolution Vegetation Phenology and Productivity (HR-VPP), desarrollado en el marco del Copernicus Land Monitoring Service (CLMS), proporciona métricas fenológicas (fenométricas) derivadas de Sentinel-2 a una alta resolución espacial (10 m). Sin embargo, la evaluación de su exactitud en regiones mediterráneas, caracterizadas por una elevada heterogeneidad paisajística y fenológica, apenas se ha empezado a abordar recientemente. Este trabajo analiza la representatividad de las fenométricas de HR-VPP en la España mediterránea mediante su validación frente a las observaciones fenológicas de campo gestionadas por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). Se comparan las fenométricas del inicio y final de la estación de crecimiento (SOS y EOS) con fenofases observadas en campo durante el periodo 2018–2020, considerando distintos tipos funcionales de vegetación (i.e., frondosas caducifolias y frondosas perennifolias). La validación se basa en una agregación por fenofases, cubiertas y tipos funcionales en un buffer de 4 km alrededor de cada estación de campo y un posterior análisis de correlación y sesgo temporal. Los resultados muestran una concordancia moderada-alta entre el producto y las observaciones de AEMET, especialmente para EOS (End Of Season, final de la estación de crecimiento). La correlación media para EOS fue de $r=0.60$ mientras que para el SOS (Start of Season, comienzo de la estación de crecimiento), fue de $r=0.58$. Las especies perennifolias exhiben los mayores valores de correlación ($r=0.75$ en promedio), aunque acompañados de sesgos temporales relevantes en primavera. Estos prometedores resultados confirman la utilidad operativa de HR-VPP para el seguimiento fenológico en la España mediterránea. Además, el diferente comportamiento con respecto a otras regiones biogeográficas de Europa subraya la importancia de emplear redes de observación regionales para una validación representativa en biomas complejos.

Palabras clave: *fenología, Mediterráneo, validación, HR-VPP, AEMET*


Fecha de recepción: 18 febrero 2026 · Fecha de aceptación: 18 febrero 2026

Evaluación de la representatividad del producto fenológico “High Resolution-Vegetation Phenology and Productivity” en la España mediterránea

Jeannet Chaves, Guilhem Nicolás ⁽¹⁾, Rodríguez Galiano, Víctor Francisco ⁽¹⁾, Caparrós Santiago, José Antonio ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Universidad de Sevilla, Andalucía, España.

 0000-0002-6824-4840, gjeannet@us.es ;  0000-0002-5422-8305, vrgaliano@us.es.

 0000-0003-3369-8356, jacaparrós@us.es.

Resumen: La fenología vegetal, o fitofenología, constituye un indicador clave de la dinámica ecológica y de la respuesta al cambio global. El producto fenológico High-Resolution Vegetation Phenology and Productivity (HR-VPP), desarrollado en el marco del Copernicus Land Monitoring Service (CLMS), proporciona métricas fenológicas (fenométricas) derivadas de Sentinel-2 a una alta resolución espacial (10 m). Sin embargo, la evaluación de su exactitud en regiones mediterráneas, caracterizadas por una elevada heterogeneidad paisajística y fenológica, apenas se ha empezado a abordar recientemente. Este trabajo analiza la representatividad de las fenométricas de HR-VPP en la España mediterránea mediante su validación frente a las observaciones fenológicas de campo gestionadas por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). Se comparan las fenométricas del inicio y final de la estación de crecimiento (SOS y EOS) con fenofases observadas en campo durante el periodo 2018–2020, considerando distintos tipos funcionales de vegetación (i.e., frondosas caducifolias y frondosas perennifolias). La validación se basa en una agregación por fenofases, cubiertas y tipos funcionales en un buffer de 4 km alrededor de cada estación de campo y un posterior análisis de correlación y sesgo temporal. Los resultados muestran una concordancia moderada-alta entre el producto y las observaciones de AEMET, especialmente para EOS (*End Of Season*, final de la estación de crecimiento). La correlación media para EOS fue de $r=0.60$ mientras que para el SOS (*Start of Season*, comienzo de la estación de crecimiento), fue de $r=0.58$. Las especies perennifolias exhiben los mayores valores de correlación ($r=0.75$ en promedio), aunque acompañados de sesgos temporales relevantes en primavera. Estos prometedores resultados confirman la utilidad operativa de HR-VPP para el seguimiento fenológico en la España mediterránea. Además, el diferente comportamiento con respecto a otras regiones biogeográficas de Europa subraya la importancia de emplear redes de observación regionales para una validación representativa en biomas complejos.

Palabras clave: fenología, Mediterráneo, validación, HR-VPP, AEMET

Evaluating the Representativeness of “High Resolution-Vegetation Phenology and Productivity” phenological product in Mediterranean Spain

Abstract: Plant phenology, or phytophenology, is a key indicator of ecological dynamics and response to global change. The High-Resolution Vegetation Phenology and Productivity (HR-VPP) phenological product, developed within the framework of the Copernicus Land Monitoring Service (CLMS), provides phenological (phenometric) metrics derived from Sentinel-2 at high spatial resolution (10 m). However, the assessment of its accuracy in Mediterranean regions, characterized by high landscape and phenological heterogeneity, has only recently begun to be addressed. This study analyzes the representativeness of HR-VPP phenometrics in Mediterranean Spain by validating them against field phenological observations managed by the State Meteorological Agency (AEMET). The phenometrics of the beginning and end of the growing season (SOS and EOS) are compared with phenophases observed in the field during the period 2018–2020, considering different functional types of vegetation (i.e., deciduous broadleaves and evergreen broadleaves). The validation is based on an aggregation by phenophases, coverages, and functional types in a 4 km buffer around each field station and a subsequent correlation and temporal bias analysis. The results show a moderate-high agreement between the product and the AEMET observations, especially for EOS (*End Of Season*). The average correlation for EOS was $r=0.60$, while for SOS (*Start of Season*) it was $r=0.58$. Evergreen species exhibit the highest

correlation values ($r=0.75$ on average), although accompanied by significant temporal biases in spring. These promising results confirm the operational usefulness of HR-VPP for phenological monitoring in Mediterranean Spain.

Keywords: phenology, Mediterranean, validation, HR-VPP, AEMET

1. INTRODUCCIÓN

La fenología vegetal analiza los eventos cíclicos de las plantas como respuesta a factores ambientales (Lieth, 1974). Es un indicador fundamental de la dinámica ecológica y de los impactos del cambio global. En las últimas décadas, el desarrollo de la fenología de superficie terrestre (Land Surface Phenology, LSP) ha permitido estimar métricas fenológicas a partir de series temporales de índices de vegetación derivados de programas de observación de la Tierra, complementando a las tradicionales observaciones fenológicas de campo (Caparros-Santiago *et al.*, 2021).

El producto High Resolution Vegetation Phenology and Productivity (HR-VPP), basado en los datos de la misión Sentinel-2, representa un avance significativo proporcionando fenométricas anuales a 10 m de resolución para gran parte de Europa (Copernicus Land Monitoring Service - European Environment Agency, 2024). Sin embargo, casi todos los esfuerzos de calibración y validación se han centrado en regiones templadas oceánicas y continentales, especialmente en Europa Central y Noroccidental para el caso de HR-VPP (Tian *et al.*, 2021a) mientras que los paisajes mediterráneos quedan escasamente representados. La complejidad estructural de los ecosistemas mediterráneos, la coexistencia de estratos herbáceos y leñosos con ciclos fenológicos antagónicos, y la elevada diversidad funcional y paisajística dificultan a priori la correspondencia entre la señal satelital y la observación de campo (Caparros-Santiago *et al.*, 2021).

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Fenología de campo: observaciones fenológicas de AEMET

El estudio se centra en la España mediterránea y submediterránea, definida a partir de las ecorregiones de la WWF. La Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) desarrolla y mantiene desde 1990 una red fenológica distribuida por la España peninsular, Baleares y Canarias. En este caso se seleccionaron las observaciones correspondientes al periodo 2018-2020, excluyendo especies agrícolas y herbáceas. Se consideraron las fenofases primaverales (primeras hojas desplegadas, segundas hojas desplegadas) y otoñales (coloración otoñal al 50 % y caída foliar al 50 %), codificadas mediante la escala BBCH. Las especies se agruparon en dos tipos funcionales: frondosas caducifolias (FC) y frondosas perennifolias (FP) (ver Tabla 1).

Tabla 1. Correspondencia entre tipo funcional (TF), género y cubierta del CORINE Land Cover map (CLC).

TF	Géneros	Cubierta CLC
Frondosas caducifolias	Acer, Aesculus, Alnus, Betula, Castanea, Celtis, Corylus, Crataegus, Fagus, Fraxinus, Juglans, Morus, Pistacia, Platanus, Populus, Prunus, Pyrus, Quercus, Robinia, Rosa, Salix, Sambucus, Sorbus, Syringa, Ulmus	Bosque de frondosas (311), bosque mixto (313), monte arbolado y arbustivo de transición (324), áreas verdes urbanas (141)
Frondosas perennifolias	Arbutus, Cistus, Quercus	Bosque de frondosas (311), bosque mixto (313), vegetación esclerófila (323), monte arbolado y arbustivo de transición (324)

2.2. Datos del producto HR-VPP

Se consideraron las fenométricas SOS y EOS, que se derivan del índice *Plant Phenology Index* (PPI) a partir de trayectorias suavizadas mediante funciones dobles logísticas (Jin & Eklundh, 2014). El inicio y final de la estación de crecimiento se definen mediante umbrales, el 25% y el 15% de la amplitud, respectivamente. La resolución espacial de HR-VPP es alta, de 10 m (Copernicus Land Monitoring Service - European Environment Agency, 2024).

2.3. Estrategia de validación

La estrategia de validación se resume esquemáticamente en la Figura 2. En primer lugar, las observaciones de campo filtradas se agregaron y promediaron dentro de la misma estación, tipo funcional, estadio fenológico y año. Para cada estación de observación de AEMET se definió un buffer de 4 km de radio, dentro del cual se agregaron las fenométricas de los píxeles correspondientes a las coberturas del mapa CLC asociadas a cada tipo funcional (Fig. 2). De esta forma se pretende reducir el desajuste entre observaciones puntuales y datos satelitales (Rodríguez-Galiano *et al.*, 2015). La comparación entre fenofases y fenométricas se realizó mediante correlación lineal, cálculo del sesgo medio y error absoluto medio, diferenciando varios modelos para cada TF y estadio.

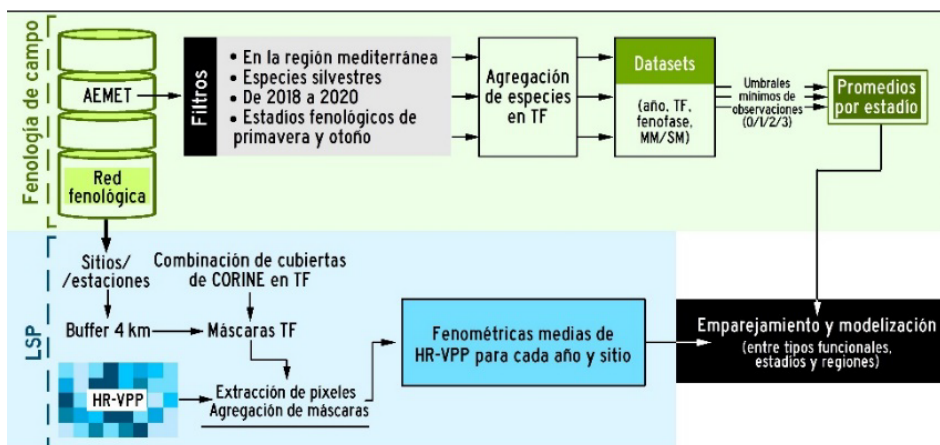


Figura 1. Esquema de la metodología

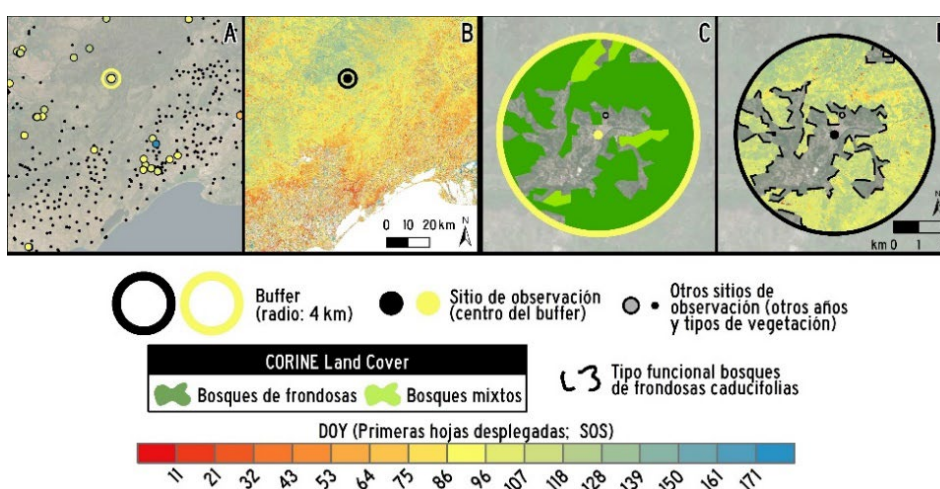


Figura 2. Muestreo, enmascarado y correspondencia dentro de un buffer de 4 km alrededor de una estación de observación fenológica. A) Observaciones de campo distribuidas por la región, mostrando el valor medio del SOS para las frondosas caducifolias para 2018. B) Valor medio del SOS estimado por HR-VPP. C) Coberturas CORINE correspondientes al tipo funcional dentro de un radio de 4 km alrededor de la estación de observación considerada. D) Valores de SOS del producto HR-VPP tras aplicar la máscara dentro del radio de 4 km.

3. RESULTADOS

Los resultados muestran una concordancia consistente entre las fenométricas HR-VPP y las observaciones de campo de AEMET, aunque con claras diferencias entre primavera y otoño. En general, EOS presenta correlaciones superiores a las del SOS, lo cual sugiere una mayor correspondencia entre la señal satelital y la senescencia observada en campo (Fig. 3).

Para las especies FC, las correlaciones son moderadas, especialmente en otoño, con sesgos reducidos. Por su parte, en primavera ($r=0,33$ y $r=0,50$ para ambas fenofases), HR-VPP tiende a anticipar el inicio de la estación con respecto a las observaciones de campo. Por otro lado, las FP muestran los valores de correlación más elevados ($r=0,62$ y $r=0,88$), alcanzando las correlaciones más altas en primavera, aunque con sesgos negativos importantes, reflejando una anticipación sistemática del reverdecimiento.

Estos patrones sugieren que HR-VPP capta adecuadamente la dinámica estacional en ecosistemas mediterráneos, aunque con limitaciones en la estimación precisa de los eventos primaverales.

4. DISCUSIÓN

La validación con datos de AEMET confirma la utilidad del producto HR-VPP para el seguimiento fenológico de la España mediterránea, especialmente para el EOS. La mejor correspondencia observada en EOS contrasta con estudios previos en otras regiones templadas, donde el SOS suele mostrar mayor robustez, lo que parece deberse a las especificidades fenológicas del dominio mediterráneo, además de su heterogeneidad (Tian *et al.*, 2021). Los elevados sesgos primaverales, sobre todo en las especies perennifolias, podrían deberse a la mezcla de señales contrapuestas procedentes del estrato herbáceo y leñoso, así como la diferente definición conceptual entre fenofases observadas y fenométricas satelitales (Jeong *et al.*, 2011; Stöckli *et al.*, 2008).

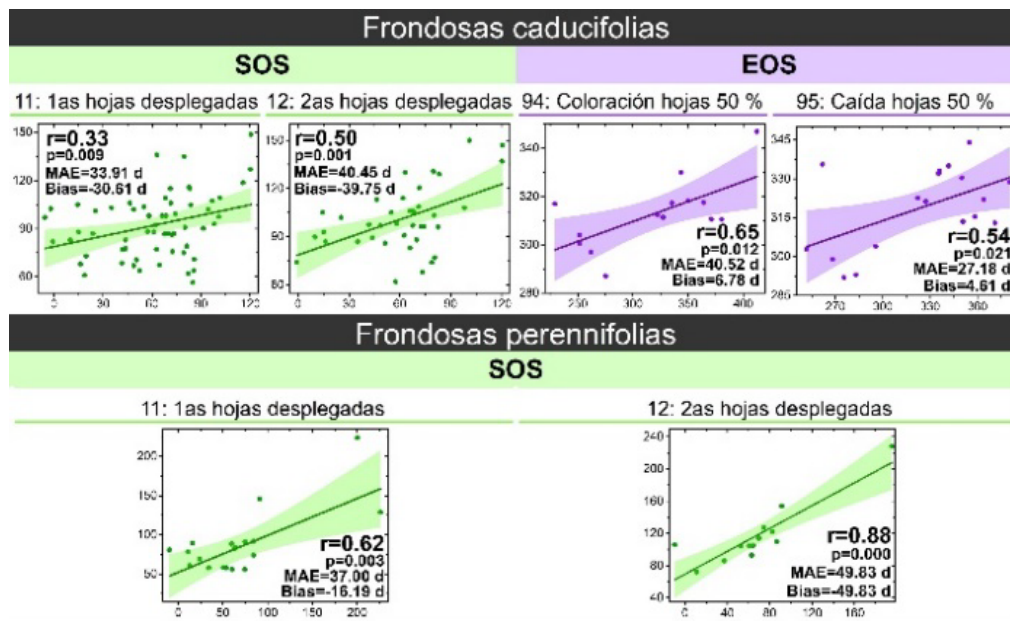


Figura 3 Resultados para cada estadio y TF

Además, la heterogeneidad de los paisajes mediterráneos, así como las limitaciones inherentes a los mapas de cobertura introducen incertidumbre en el proceso de validación. El buen desempeño del producto obtenido con AEMET pone de manifiesto la importancia de emplear redes de observación regionales y ecológicamente representativas en las validaciones de productos fenológicos de alta resolución.

5. CONCLUSIONES

Los resultados indican que el producto fenológico HR-VPP es capaz de representar de forma consistente la fenología de la vegetación mediterránea de España. Aunque se detectan sesgos temporales en primavera, las correlaciones obtenidas respaldan su uso operativo para el monitoreo de la vegetación mediterránea. Esto refuerza la necesidad de validaciones específicas para otros biomas y escalas, más allá de las regiones templadas oceánicas y continentales de Europa Central y Noroccidental. Además, sitúa la red de AEMET como un recurso clave para futuras evaluaciones y ajustes de productos fenológicos en contextos mediterráneos.

6. AGRADECIMIENTOS

Se reconoce a la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) la cesión de los datos fenológicos empleados, fundamentales para el desarrollo de este trabajo. También se agradece al proyecto “Desarrollo de productos basados en los nuevos sensores satelitales hiperespectrales europeos e IA para la caracterización de estresores en tierras de cultivo (HiProEstres)”, del Plan Estatal 2021-23, con referencia PID2023-152656OB-I00.

7. REFERENCIAS

Caparros-Santiago, J. A., Rodríguez-Galiano, V., & Dash, J. (2021). Land surface phenology as indicator of

global terrestrial ecosystem dynamics: A systematic review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 171, 330–347.

Copernicus Land Monitoring Service - European Environment Agency. (2024). High Resolution Vegetation Phenology and Productivity (HR-VPP), Seasonal Trajectories and VPP parameters. User manual. *European Environment Agency (EEA)*.

Jeong, S. J., Ho, C. H., Gim, H. J., & Brown, M. E. (2011). Phenology shifts at start vs. end of growing season in temperate vegetation over the Northern Hemisphere for the period 1982-2008. *Global Change Biology*, 17(7), 2385–2399.

Jin, H., & Eklundh, L. (2014). A physically based vegetation index for improved monitoring of plant phenology. *Remote Sensing of Environment*, 152, 512–525.

Lieth, H. (1974). *Phenology and Seasonality Modeling*. Springer Berlin.

Rodríguez-Galiano, V. F., Dash, J., & Atkinson, P. M. (2015). Characterising the land surface phenology of Europe using decadal MERIS data. *Remote Sensing*, 7(7), 9390–9409.

Stöckli, R., Rutishauser, T., Dragoni, D., O’Keefe, J., Thornton, P. E., Jolly, et al. (2008). Remote sensing data assimilation for a prognostic phenology model. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 113(4), 1–19.

Tian, F., Cai, Z., Jin, H., Hufkens, K., Scheffinger, Eklundh, L. et al. (2021). Calibrating vegetation phenology from Sentinel-2 using eddy covariance, PhenoCam, and PEP725 networks across Europe. *Remote Sensing of Environment*, 260.