



2025 | **16-20**
GIJÓN | **JUNIO**

9º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

9CFE-1625

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

Organiza





Evaluación de la gestión de pastizales mediante datos de Sentinel-2

MUNUERA, S (1), ALCÁZAR, B. (2), ROIG, S. (2), ÁGUEDA, B. (1) y GÓMEZ, C. (1)

(1) iuFOR-EiFAB, Universidad de Valladolid, Campus de Soria, España.

(2) Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural, Universidad Politécnica de Madrid, España.

Resumen

La teledetección se ha convertido en una herramienta fundamental para evaluar los servicios ecosistémicos, aunque su uso en sistemas silvopastorales es aún limitado. Este estudio analiza la gestión de pastos en el Sistema Ibérico Norte utilizando series de datos satelitales ópticos de Sentinel-2, adquiridos entre 2017 y 2024. Se centra en la detección de desbroces en 235 parcelas y el análisis de su evolución posterior. Las imágenes multispectrales de Sentinel-2, preprocesadas en Google Earth Engine con máscaras para eliminar la nubosidad, permitieron calcular el valor medio del NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada) de cada parcela a lo largo del periodo. Esto ayudó a estudiar la dinámica fenológica y a evaluar la productividad anual de pastos herbáceos y arbustivos. Para el análisis temporal, se empleó el paquete *phenofit* de R, modelizando las series temporales y estimando tendencias de crecimiento de la vegetación. Los resultados demuestran la capacidad de los sensores remotos para identificar desbroces y evaluar los patrones de regeneración en pastos, observándose cambios en su productividad tras el desbroce. Estas herramientas proporcionan una evaluación en tiempo cuasi-real de la eficacia de la gestión, contribuyendo al mantenimiento de la actividad silvopastoral y facilitando su gestión sostenible.

Palabras clave

Desbroces, fenología, serie temporal, Sentinel-2, NDVI.

1. Introducción

Los sistemas silvopastorales de montaña desempeñan un papel esencial en la provisión de servicios ecosistémicos fundamentales, como el control de la erosión, el mantenimiento de la biodiversidad y la regulación del ciclo del carbono (TÁLLE et al., 2016). Sin embargo, estas áreas enfrentan desafíos significativos debido a la intensificación agrícola, el abandono de tierras y los efectos del cambio climático, lo que ha incrementado su vulnerabilidad y acelerado procesos de degradación (MAHER et al., 2024). La teledetección se ha consolidado como una herramienta fundamental para el seguimiento de sistemas extensivos, al proporcionar datos multispectrales y multitemporales que permiten evaluar dinámicas de la vegetación y productividad de los pastos (CRABBE et al., 2019; KONG et al., 2020). En particular, el uso de índices espectrales como el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) ha demostrado ser efectivo para medir la productividad y la regeneración de pastos en diferentes contextos ambientales (AMIES et al., 2021; SERRANO et al., 2024). Este índice, ampliamente utilizado en estudios de vegetación, combina la información de reflectancia en las bandas del rojo y del infrarrojo cercano, lo que lo convierte en un indicador confiable de la actividad fotosintética, estrechamente correlacionado con la biomasa y la cobertura vegetal (PETTORELLI et al., 2005). Además, permite captar dinámicas fenológicas y variaciones en la productividad primaria, siendo una herramienta valiosa para la evaluación de pastizales (WU et al., 2017). No obstante, las imágenes ópticas presentan limitaciones en áreas con alta nubosidad (WANG et al., 2019),



como es el caso de los pastizales de alta montaña que engloba este estudio. Estas limitaciones subrayan la importancia de combinar el NDVI con otra información, como datos climatológicos o imágenes radar, para obtener evaluaciones más completas y realistas (RAPIYA et al., 2023).

En el Sistema Ibérico Norte, los desbroces son una práctica esencial para mejorar la calidad y productividad de los pastizales, ya que eliminan la vegetación leñosa no deseada, como arbustos y matorrales, que compiten con las especies herbáceas por luz, agua y nutrientes. Esta intervención favorece el crecimiento de especies más nutritivas y digestibles para el ganado, aumenta la biomasa disponible y fomenta la sostenibilidad de los sistemas ganaderos. Además, al reducir la cantidad de combustible vegetal, se reduce el riesgo de incendios y se contribuye a la conservación del suelo al mejorar la infiltración del agua y reducir la erosión (SAN MIGUEL et al., 2016). Los desbroces también pueden promover la biodiversidad al crear mosaicos de hábitats. En este contexto, son una herramienta fundamental para equilibrar la productividad y la sostenibilidad ambiental. Sin embargo, su impacto a largo plazo en la productividad y la dinámica fenológica de la vegetación no ha sido suficientemente estudiado hasta ahora.

2. Objetivos

El objetivo general de este trabajo es evaluar la gestión de los pastizales en el Sistema Ibérico Norte utilizando datos abiertos de Sentinel-2. La investigación se centra en la detección de desbroces y en el análisis de su impacto sobre la dinámica fenológica y la productividad de los pastos, con el propósito final de contribuir al desarrollo de herramientas prácticas para una gestión más eficiente. En cuanto a los objetivos específicos, estos son los siguientes:

1. Caracterizar los tipos de pastizales según sus dinámicas fenológicas, diferenciando entre áreas dominadas por matorrales y aquellas dominadas por herbáceas, a través del análisis de series temporales de variación del NDVI y la aplicación de técnicas de agrupamiento.
2. Identificar los desbroces realizados en sistemas silvopastorales de montaña.
3. Analizar la evolución temporal de la vegetación y evaluar los cambios en la productividad de los pastizales herbáceos y arbustivos en áreas previamente desbrozadas, utilizando series temporales del NDVI y técnicas de modelización con el paquete *phenofit* de R.

3. Metodología

3.1. Área de estudio

El estudio se realizó en el Sistema Ibérico Norte, una región montañosa caracterizada por la gestión de sistemas silvopastorales mediante prácticas como los desbroces, cuyo objetivo es promover la regeneración de pastos herbáceos y arbustivos. Se seleccionaron 235 parcelas en el término municipal de Montenegro de Cameros (Soria) (Figura 1):

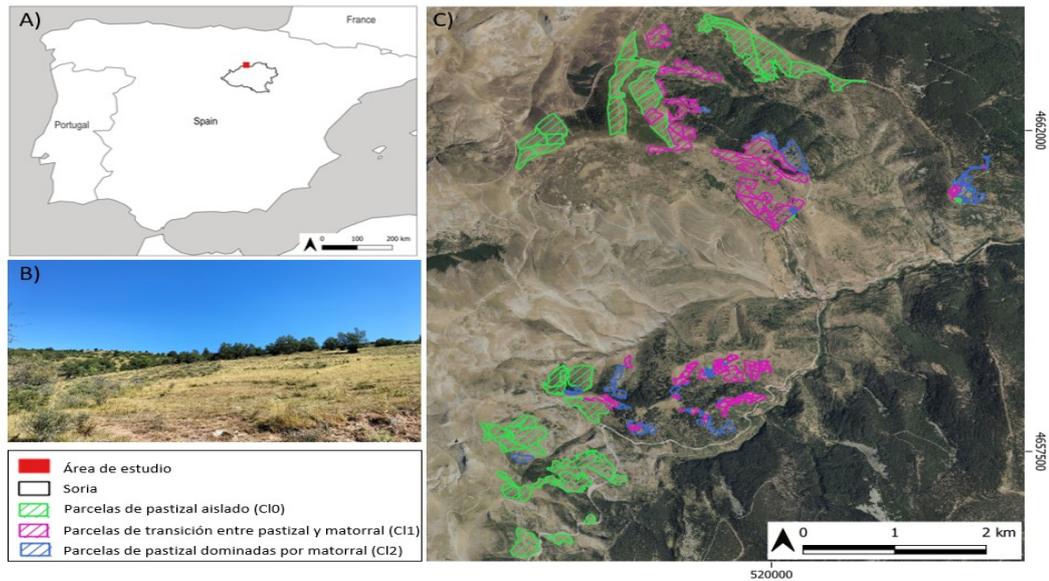


Figura 1. A) Área de estudio. B) Fotografía de campo en Montenegro de Cameros. C) Localización de las parcelas en el área de estudio.

Este término municipal se encuentra a altitudes que oscilan entre 1319 y 1777 m.s.n.m., con 851 mm de precipitación media anual. Además de ser una zona dominada por pastizales psicroxerófilos, en sus inmediaciones pueden encontrarse hayedos y quejigares.

3.2. Datos multiespectrales y procesado

Las imágenes satelitales de Sentinel-2, con una resolución espacial de 10 m y una frecuencia de revisita de 5 días, fueron obtenidas a través de la plataforma Google Earth Engine (GEE), concretamente se empleó la colección de Sentinel-2 MSI armonizado, cubriendo el período de 2017 a 2024. Durante el preprocesamiento, se aplicó una máscara basada en la banda SCL (Scene Classification Map) para eliminar píxeles afectados por nubes y sombras. Debido a la presencia de alta nubosidad en ciertas épocas del año, se realizó una interpolación de los valores de NDVI para completar los vacíos temporales en las series, las cuales se regularizaron a intervalos de 5 días para garantizar una base uniforme y homogénea para el análisis.

El NDVI se calculó a partir de las bandas Roja (665 nm) e Infrarrojo Cercano (842 nm) de Sentinel-2 (TUCKER, 1979), utilizando la fórmula:

$$\text{NDVI} = \text{NIR} - \text{REDNIR} + \text{RED}$$

3.3. Caracterización de pastos

Posteriormente, las series temporales de NDVI fueron suavizadas utilizando el filtro *Savitzky-Golay*, lo que permitió reducir el ruido en los datos y obtener curvas fenológicas consistentes.

Las parcelas se clasificaron en tres grupos fenológicos principales utilizando el algoritmo de agrupamiento *k-means*, basado en las series temporales del índice NDVI obtenidas de imágenes Sentinel-2. El número óptimo de clústeres fue determinado mediante el método del codo, identificándose:

1. Pastizales con valores moderados de NDVI, cuya productividad mostró mayor sensibilidad a las condiciones climáticas.
2. Pastizales con valores elevados de NDVI, de transición entre áreas de

- matorral y de pastizal.
3. Áreas dominadas por matorral, caracterizadas por curvas fenológicas más estables y menor sensibilidad a variaciones estacionales.

Esta clasificación permitió establecer patrones fenológicos distintivos y guiar el análisis de las dinámicas de vegetación dentro de cada grupo.

3.4. Detección de desbroces

La detección de desbroces se realizó analizando cambios significativos en las series temporales de NDVI, definidos por reducciones del índice por debajo de un umbral de 1,5 desviaciones estándar de la media de la serie. Para validar esta detección, se utilizó una base de datos de campo, que incluyó información detallada sobre las ubicaciones y fechas de los desbroces realizados. Este proceso permitió corroborar la correspondencia entre las áreas identificadas y las intervenciones documentadas.

3.5. Caracterización de dinámica fenológica y productividad

El análisis fenológico de los pastos se llevó a cabo utilizando el paquete *phenofit* de R, el cual permitió modelar las curvas de NDVI y estimar parámetros clave como el inicio y fin de la temporada de crecimiento (Start of Season, SOS; End of Season, EOS), el pico de máxima productividad y la duración de las temporadas fenológicas. Se identificaron dos temporadas principales de crecimiento en los pastos: una en primavera, asociada a las lluvias invernales, y otra en otoño, tras las primeras lluvias después del verano, como coinciden en estudios como el de KONG et al. (2020), además de un agostamiento estival común en la mayor parte de las parcelas. Para estimar la productividad de los pastos, se calculó el Área Bajo la Curva (AUC) del NDVI entre el SOS y el EOS de cada temporada, teniendo en cuenta los dos años anteriores y posteriores a la fecha del desbroce. Esto permitió obtener un indicador acumulado del crecimiento vegetal entre ambos periodos.

4. Resultados

4.1. Caracterización de pastos

Las parcelas de estudio se clasificaron en tres grupos fenológicos principales mediante el algoritmo de agrupamiento *k-means* (Figura 1), al cual se introdujeron los datos de las series temporales de NDVI completas. Los clústeres obtenidos se caracterizan por los valores estadísticos del NDVI y la altitud media recopilados en la Tabla 1.

Tabla 1. Estadísticas básicas y altitud media de los clústeres. Clúster 0 (Cl0), clúster 1 (Cl1), clúster 2 (Cl2).

Clúster	Min	Max	Media	Desviación estándar	Altitud media (m.s.n.m)
Cl0	-0.20	0.85	0.54	0.12	1573
Cl1	-0.18	0.86	0.60	0.12	1434
Cl2	-0.19	1	0.65	0.09	1420

1. Cl0: Rango de NDVI entre -0.2079 y 0.8530, con una media de 0.5411 ± 0.1136 . Es el grupo de parcelas que presenta una mayor altitud media. Este grupo incluye áreas con productividad moderada, mostrando más sensibilidad a las variaciones climáticas como las sequías estivales.
2. Cl1: Rango de NDVI entre -0.1872 y 0.8682, con una media de $0.5937 \pm$

0.1141. Este grupo representa áreas de transición entre matorral y pastizal, a altitudes inferiores que el C10, con valores de NDVI medios generalmente más altos que el C10.

3. C12: Rango de NDVI entre -0.1926 y 1.0000, con una media de 0.6556 ± 0.0985 . Este grupo corresponde a zonas dominadas por matorral, situado a altitudes inferiores que los anteriores, caracterizado por mayor estabilidad fenológica, que puede verse al presentar una desviación estándar del NDVI medio inferior a los otros dos clústeres.

4.2. Detección de desbroces

El análisis de las series temporales de NDVI permitió identificar cambios abruptos asociados a los desbroces en el 98% de las parcelas validadas mediante la base de datos de campo. Además, se pudo caracterizar las parcelas en función de la cobertura dominante. Las áreas dominadas por matorral mostraron series temporales más amortiguadas, con menor variabilidad estacional debido a su mayor resiliencia frente a las sequías estivales. En contraste, las parcelas de pastizales herbáceos evidenciaron una mayor sensibilidad estacional, con variaciones más marcadas en los valores de NDVI. En ambos casos, los desbroces se caracterizaron por una reducción significativa del NDVI inmediatamente después de la intervención, seguida por un proceso de recuperación gradual en los años posteriores, especialmente en áreas dominadas por pastos herbáceos (Figura 2 y Figura 3).

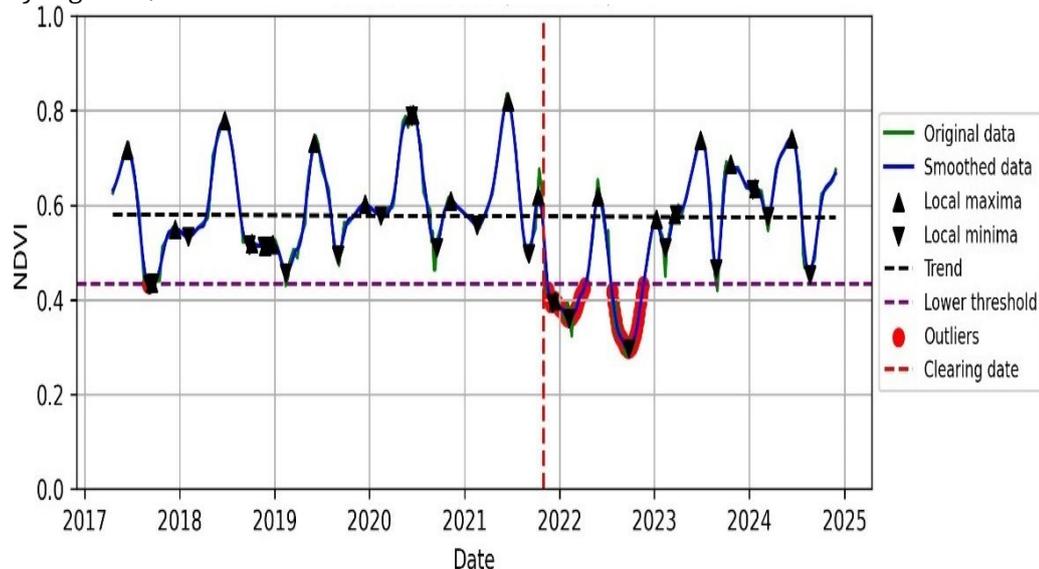


Figura 2. Serie temporal de NDVI en una parcela de pastizal herbáceo en la zona de estudio.

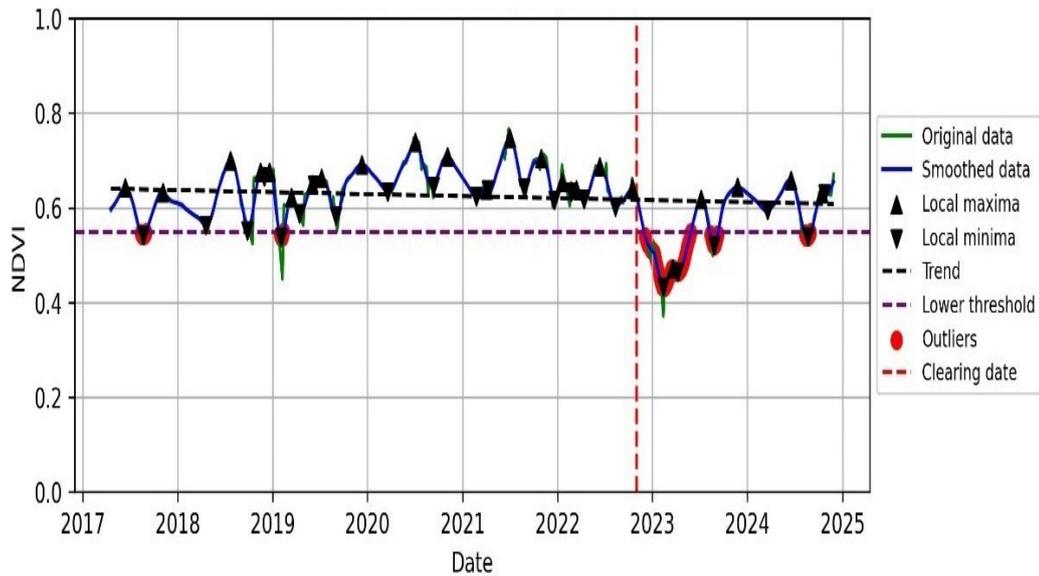


Figura 3. Serie temporal de NDVI en una parcela dominada por matorral en la zona de estudio.

4.3. Caracterización de dinámica fenológica y productividad

Los parámetros fenológicos estimados mediante *phenofit* revelaron dos temporadas generales de crecimiento en todas las parcelas. La primera, en primavera, presentó un SOS generalmente entre marzo y principios de abril y un EOS entre julio y agosto, coincidiendo con la entrada del periodo seco estival. La segunda temporada, en otoño, comenzó entre septiembre y noviembre tras las primeras lluvias otoñales, y concluyó entre diciembre y enero (Figura 4).

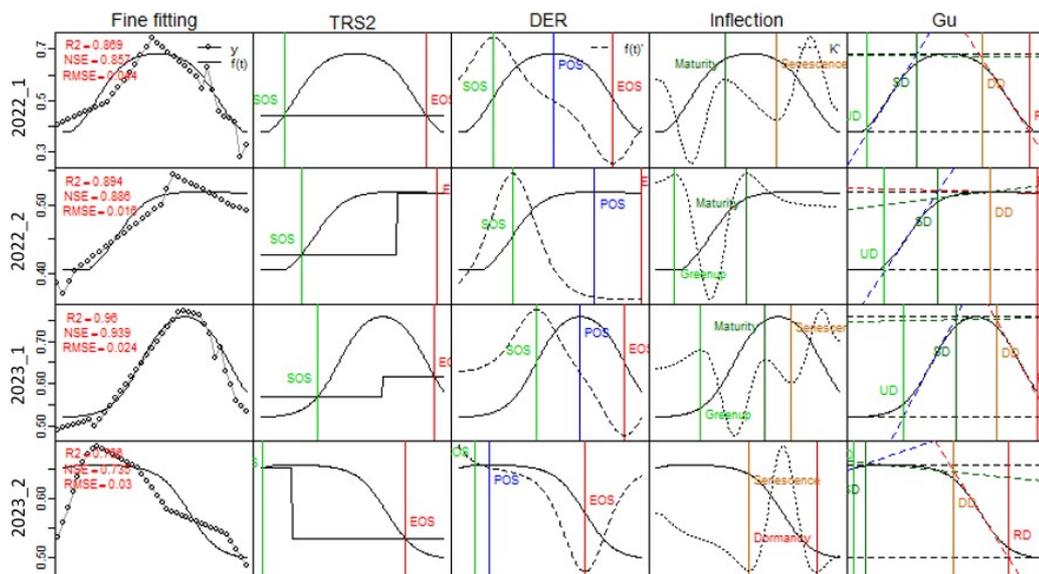


Figura 4. Métricas fenológicas del ajuste AG (Asimétrico Gaussiano) en la parcela 123. La primera columna es el resultado del ajuste. Las 4 columnas restantes corresponden a las métricas fenológicas extraídas de los métodos TRS (treshold method), DER (derivate method), Inflexión y Gu respectivamente (KONG ET AL., 2022). es la serie temporal cada 5 días de NDVI suavizada mediante ajuste fino (columna de ajuste fino, líneas negras); es la derivada de primer orden de (columna

DER, líneas de guiones largos); es la tasa de cambio de curvatura (columna de inflexión, líneas punteadas). Debido al espacio limitado, solo se presentan las dos temporadas de los años 2022 y 2023.

El análisis de la productividad 2 años antes y después del desbroce muestra que su impacto varía significativamente entre los clústeres (Figura 5). En el C10, aunque el 25% de las parcelas presentaron aumentos en productividad, la mediana general disminuyó ligeramente, indicando mejoras localizadas. En el C11, el 38% de las parcelas experimentaron incrementos, acompañados de una menor dispersión en los datos, lo que sugiere una respuesta más consistente al desbroce. Por otro lado, en el C12, el 50% de las parcelas mostraron aumentos significativos, aunque con mayor variabilidad en los resultados.

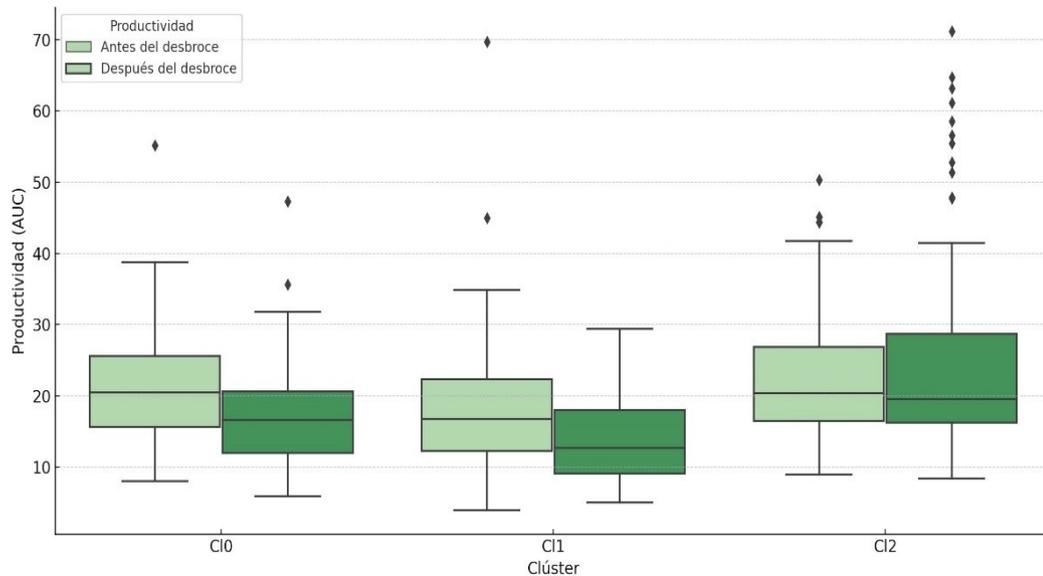


Figura 5. Variaciones en la productividad 2 años antes y después del desbroce por clúster.

Estos patrones reflejan que el desbroce puede mejorar las condiciones de crecimiento al reducir la competencia por recursos como la luz y los nutrientes, pero su eficacia depende de factores específicos de cada parcela, como el tipo de suelo, la vegetación previa y las condiciones climáticas posteriores. Esto resalta la importancia de diseñar estrategias adaptadas a las particularidades locales para optimizar la productividad y garantizar la sostenibilidad del desbroce.

5. Discusión

El análisis de series temporales de NDVI permitió identificar dos temporadas de crecimiento cada anualidad en los pastizales estudiados coincidiendo estos con la primavera y el otoño, además del muy marcado agostamiento estival en la mayor parte de los casos. Este resultado reafirma la alta capacidad del NDVI para caracterizar las dinámicas fenológicas en los pastizales, como también han señalado autores como KONG et al. (2020), quienes destacaron su utilidad para capturar tanto la fenología del verdor como la del carbono, mostrando patrones diferenciados entre estaciones.

La técnica de cálculo del AUC entre el SOS y el EOS se presentó como un método sólido para sintetizar información fenológica y productiva, permitiendo un análisis integrado de la vegetación en términos temporales. Ya en estudios como el de



SERRANO et al. (2024), se ha demostrado que estas métricas derivadas del NDVI pueden correlacionarse significativamente con parámetros clave de calidad del pasto, como el contenido de proteína cruda y fibra.

Sin embargo, aunque los resultados obtenidos aportan información valiosa, la incorporación de variables climáticas y otros factores ambientales puede hacer que los modelos sean aún más eficientes. Como señala CRABBLE et al. (2019), integrar tecnologías como el radar de apertura sintética (SAR) con datos ópticos puede superar algunas de las limitaciones actuales, como la dependencia de cielos despejados para capturar imágenes de calidad. Además, el SAR ofrece ventajas adicionales, como la capacidad de medir la humedad de la vegetación y penetrar en condiciones atmosféricas adversas, muy habituales en zonas de alta montaña, ampliando la aplicabilidad de los modelos en escenarios complejos.

La capacidad que ha demostrado el NDVI en este estudio para capturar patrones altitudinales y temporales, como los observados en los clústeres, valida su utilidad en la caracterización de pastizales. Sin embargo, investigaciones como las de AMIES et al. (2021), donde elaboran un mapa de productividad de pastizales para Nueva Zelanda a partir del NDVI, destacan que, al incluir datos climáticos, del suelo y de manejo, se podrían generar modelos aún más precisos y con aplicaciones más amplias, tanto a nivel local como regional.

6. Conclusiones

El análisis de las series temporales de NDVI, combinado con el cálculo del AUC entre el SOS y el EOS, permitió caracterizar las dinámicas fenológicas de los pastizales, identificando las dos etapas principales de crecimiento en los mismos: la primavera y el otoño. Gracias al uso del paquete *phenofit* de R, especializado en fenología, fue posible extraer métricas y procesar los datos de manera eficiente, validando la capacidad del NDVI para capturar patrones altitudinales y temporales relevantes. En conjunto, estos hallazgos destacan el potencial del NDVI y de otras herramientas complementarias para avanzar hacia una gestión más racional, sostenible y precisa de los pastizales.

7. Agradecimientos

A la Asociación Forestal de Soria (ASFOSO) por proporcionar la base de datos de los desbroces realizados en el término municipal de Montenegro de Cameros.

8. Bibliografía

AMIES, A. C.; DYMOND, J. R.; SHEPHERD, J. D.; PAIRMAN, D.; HOOGENDOORN, C.; SABETIZADE, M.; BELLISS, S. E.; 2021. National Mapping of New Zealand Pasture Productivity Using Temporal Sentinel-2 Data. *Remote Sens Environ*, 13(8), 1481. <https://doi.org/10.3390/rs13081481>

CRABBE, R. A.; LAMB, D. W.; EDWARDS, C.; ANDERSSON, K.; SCHNEIDER, D.; 2019. A Preliminary Investigation of the Potential of Sentinel-1 Radar to Estimate Pasture Biomass in a Grazed Pasture Landscape. *Remote Sens Environ*, 11(7), 872. <https://doi.org/10.3390/rs11070872>

KONG, D.; MCVICAR, T. R.; XIAO, M.; ZHANG, Y.; PEÑA-ARANCIBIA, J. L.; FILIPPA, G.; XIE, Y.; GU, X.; 2022. *phenofit*: An R package for extracting vegetation phenology from time series remote sensing. *Methods Ecol Evol* 13(7), 1508-1527. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13870>

KONG, D.; ZHANG, Y.; WANG, D.; CHEN, J.; GU, X.; 2020. Photoperiod Explains the Asynchronization Between Vegetation Carbon Phenology and Vegetation



Greenness Phenology. *JGR Biogeosciences*, 125(8), e2020JG005636. <https://doi.org/10.1029/2020JG005636>

MAHER, A. T.; PRENDEVILLE, H. R.; HALOFSKY, J. E.; ROWLAND, M. M.; DAVIES, K. W.; BOYD, C. S.; 2025. Climate Change Vulnerabilities and Adaptation Strategies for Land Managers on Northwest US Rangelands. *Rangeland Ecol Manage*, 98, 399-413. <https://doi.org/10.1016/j.rama.2024.04.012>

MIGUEL, A. S.; ROIG, S.; PEREA, R.; 2017. THE PASTURES OF SPAIN. *Pastos*, 46(1), 6-39. <https://polired.upm.es/index.php/pastos/article/view/3501>

PETTORELLI, N.; VIK, J. O.; MYSTERUD, A.; GAILLARD, J.-M.; TUCKER, C. J.; STENSETH, N. Chr.; 2005. Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. *Trends Ecol Evol*, 20(9), 503-510. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2005.05.011>

RAPIYA, M.; RAMOELO, A.; TRUTER, W.; 2023. Seasonal evaluation and mapping of aboveground biomass in natural rangelands using Sentinel-1 and Sentinel-2 data. *Environ Monit Assess*, 195(12), 1544. <https://doi.org/10.1007/s10661-023-12133-5>

SERRANO, J.; SHAHIDIAN, S.; PAIXÃO, L.; MARQUES DA SILVA, J.; PANIÁGUA, L. L.; 2024. Pasture Quality Assessment through NDVI Obtained by Remote Sensing: A Validation Study in the Mediterranean Silvo-Pastoral Ecosystem. *Agriculture*, 14(8), 1350. <https://doi.org/10.3390/agriculture14081350>

TÄLLE, M.; DEÁK, B.; POSCHLOD, P.; VALKÓ, O.; WESTERBERG, L.; MILBERG, P.; 2016. Grazing vs. mowing: A meta-analysis of biodiversity benefits for grassland management. *Agric Ecosyst Environ*, 222, 200-212. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.02.008>

TUCKER, C. J.; 1979. Red and Photographic Infrared linear Combinations for Monitoring Vegetation. *Remote Sens Environ*, 8, 127-150.

WANG, J.; XIAO, X.; BAJGAIN, R.; STARKS, P.; STEINER, J.; DOUGHTY, R. B.; CHANG, Q.; 2019. Estimating leaf area index and aboveground biomass of grazing pastures using Sentinel-1, Sentinel-2 and Landsat images. *ISPRS J Photogramm Remote Sens*, 154, 189-201. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2019.06.007>

WU, C.; PENG, D.; SOUDANI, K.; SIEBICKE, L.; GOUGH, C. M.; ARAIN, M. A.; BOHRER, G.; LAFLEUR, P. M.; PEICHL, M.; GONSAMO, A.; XU, S.; FANG, B.; GE, Q.; 2017. Land surface phenology derived from normalized difference vegetation index (NDVI) at global FLUXNET sites. *Agric For Meteorol*, 233, 171-182. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2016.11.193>

ZHANG, Q.; KONG, D.; SHI, P.; SINGH, V. P.; SUN, P.; 2018. Vegetation phenology on the Qinghai-Tibetan Plateau and its response to climate change (1982–2013). *Agric For Meteorol*, 248, 408-417. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.10.026>