



2025 | **16-20**
GIJÓN | **JUNIO**

9º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

9CFE-1239

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

Organiza





Análisis del efecto del resinado en la respuesta espectral de masas de *Pinus pinaster* mediante el empleo de clústeres de tendencias de series temporales

LÓPEZ-ÁLVAREZ, Ó. (1), FRANCO-VÁZQUEZ, L. (1) y MAREY-PEREZ, M. F. (1)

(1) PROePLA, Departamento de Producción Vegetal y Proyectos de Ingeniería, Escuela Politécnica Superior de Ingeniería, Universidad de Santiago de Compostela, Campus Terra, 27002, Lugo, España.

Resumen

En los últimos años, la importancia de la extracción de la resina de pino está aumentando, siendo cada vez más relevante en zonas donde tradicionalmente no se practicaba, como el noroeste peninsular. Derivado de ello, se debe saber si este tipo de aprovechamiento incide en el estado de los pinares de esta región. Es por esto que se ha realizado un estudio en el que se comprueba si las tareas de resinado afectan a la respuesta espectral de dichas masas. Para ello, se han estudiado las series temporales de diferentes índices de vegetación (NDVI, NDWI...) en una red de parcelas resinadas y no resinadas situadas al norte de la provincia de León. Las secuencias de las imágenes analizadas abarcan un periodo temporal previo y posterior al inicio del resinado. Para conocer si existen diferencias en las respuestas, se han sometido a un análisis clúster de tendencias de series temporales. De esta manera, se pretende detectar si las dinámicas de las series temporales de las masas resinadas y de control generan diferentes agrupaciones, o por el contrario todas pertenecen al mismo grupo, indicando que no existen diferencias entre ellas.

Palabras clave

Pinus pinaster, resina, teledetección, Landsat-7, clústeres.

1. Introducción

En los últimos años el sector de la resina de pino se encuentra creciendo y desarrollándose cara un futuro más sostenible, en el que la demanda de este producto forestal no maderero (PFNM) se incrementará. Esto es debido a que se trata de una de las principales materias primas que puede actuar como un sustituto de los derivados del petróleo en múltiples procesos químicos industriales (NEIS et al., 2019). Diferentes iniciativas, tanto públicas como privadas, están sirviendo como cabeza tractora del sector en los últimos años. Un ejemplo de estas nuevas propuestas son los diferentes proyectos de investigación y grupos operativos llevados a cabo recientemente (SustForest Plus, RN21, GO-ACREMA, GO-RESINLAB, GO-PICARE o CARES), cuyo principal objetivo es reactivar el sector resinero en diferentes territorios nacionales y europeos adaptándolos a las particularidades de cada territorio.

La principal función de la resina en los árboles del género *Pinus* es repeler, impedir o detener el progreso de agentes bióticos, así como la de proteger al árbol tras daños causados por factores abióticos (LÓPEZ-ÁLVAREZ et al., 2023a). Esta sustancia está compuesta por una parte volátil y una no volátil, formadas



principalmente por monoterpenos y sesquiterpenos, así como por ácidos resínicos. Gracias a esta compleja mezcla de componentes la resina proporciona una amplia variedad de aplicaciones industriales, como ya se comentó anteriormente. Entre estos usos se pueden contar formar parte de la formulación de bioherbicidas, insecticidas, biocombustibles, baterías y plásticos verdes o nanomateriales (NEIS et al., 2019). Se trata de productos de alto valor añadido por lo que suscita un gran interés tanto para productores como para la industria de primera y segunda transformación.

A pesar de ser un aprovechamiento forestal que lleva cientos de años realizándose, existen prejuicios con los que el sector resinero aún debe lidiar. Uno de los principales es con que el aprovechamiento de este PFSM causa una pérdida de vitalidad a los árboles durante el periodo de explotación ocasionando la pérdida de valor a final de turno (GARCIA-FORNER et al., 2021). Esto es debido a que, para extraer la resina es necesario realizar periódicamente incisiones en los troncos. Cada una de las incisiones o entalladuras implica la retirada de corteza y del cambium junto con la aplicación de una sustancia estimulante química, exponiendo así la madera y generando un traumatismo con el doble objetivo de activar la producción de resina e incrementar el tiempo en producción (LÓPEZ-ÁLVAREZ et al., 2023b).

Debido a la importancia estratégica de este sector, es necesario explorar cómo se comportan los árboles sujetos a este aprovechamiento en términos de cambios en su vitalidad durante el periodo que se lleva a cabo este aprovechamiento. Una de las formas más comunes de monitorizar las masas forestales es el empleo de información proveniente de satélites (MONTERO et al., 2023; XULU et al., 2024). Se trata de fuentes de información que en gran medida pueden ser adquiridas de forma libre y periódica con una resolución adecuada para monitorizar grandes extensiones (HUO et al., 2021).

2. Objetivos

Este estudio compara la respuesta espectral de masas resinadas y no resinadas. Nuestra hipótesis de partida es determinar si existen diferencias entre las zonas de pinar que han sido objeto de resinación frente a otras cercanas de similares características en las que no se ha llevado a cabo la extracción de resina en el período de estudio.

3. Metodología

Para llevar a cabo este estudio se han empleado un total de 29 parcelas (25 resinadas y 4 no resinadas), en dos localizaciones diferentes (Brañuelas y Tabuyo del Monte) en la provincia de León (Figura 1). Estas parcelas se tratan de masas monoespecíficas de *Pinus pinaster* Ait., coetáneas, con un diámetro a la altura del pecho superior a 20 cm y sometidas a unos tratamientos culturales similares. Además, para la selección de las parcelas resinadas se estableció el criterio de que debían de haber sido sometidas a este aprovechamiento no maderero empleando el método de pica de corteza durante al menos cinco años consecutivos desde su inicio.

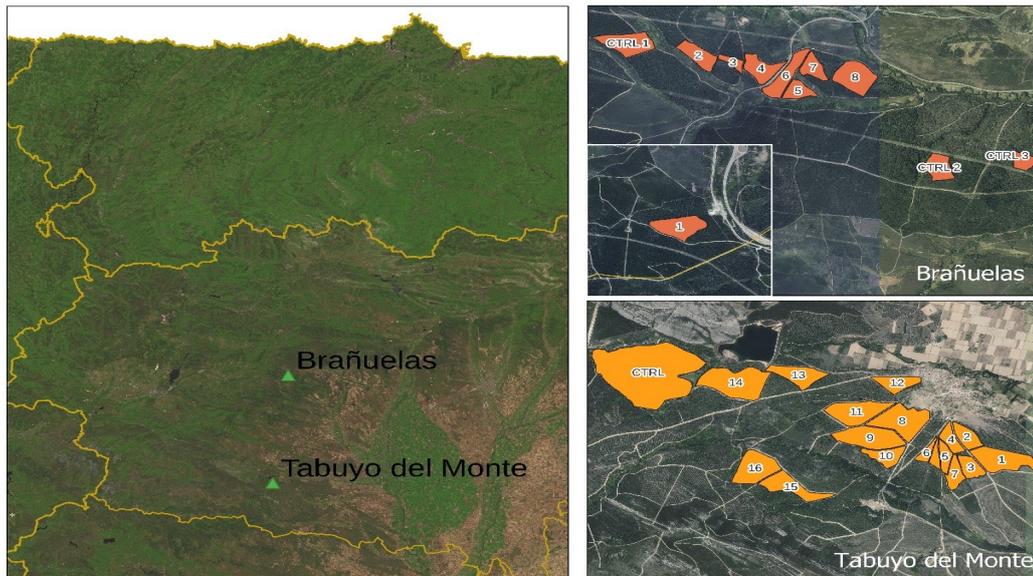


Figura 1. Localización de las parcelas empleadas en el estudio.

Las imágenes de satélite que se emplearon en este estudio fueron las procesadas por el United States Geological Survey (USGS) a nivel L1TP provenientes del satélite Landsat-7 Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+). El periodo para el que se descargaron imágenes fueron los cinco años previos y los cinco años posteriores al inicio del resinado, abarcando un total de 10 años. Las fechas de comienzo del resinado varían en función de la parcela, provocando que las ventanas de 10 años para cada parcela estén repartidas entre los años 2007 y 2020.

Para cuantificar el grado de afección del arbolado sujeto a tareas de resinado, así como la evolución de las parcelas de control se ha optado por el uso de tres índices de vegetación ampliamente empleados en la bibliografía, los cuales se encuentran en la Tabla 1. Estos índices se basan en las bandas Red, NIR y SWIR, las cuales son capaces de recoger información relacionada con aspectos como el contenido de clorofila, la estructura de las células y la cantidad de humedad de la planta (HUO et al., 2021), siendo estas características del arbolado aspectos relacionados con la producción de resina. Para la medición del diferente comportamiento espectral de los árboles o plantas se suelen emplear diferentes índices de vegetación, como el NDVI, el NDWI o el RDI (LAMBERT et al., 2015). Estos índices suelen ser resultado de la combinación de diferentes bandas de las imágenes que capturan los cambios en la reflectancia dependientes de los cambios fisiológicos de las plantas.

Tabla 1. Índices de vegetación empleados es el trabajo.

Abrev.	Nombre	Fórmula	Referencia
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index	$(NIR-Red)/(NIR+Red)$	ROUSE et al. (1974)
NDWI	Normalized Difference Water Index	$(NIR-SWIR)/(NIR+SWIR)$	GAO (1996)
RDI	Ratio Drought Index	$SWIR/NIR$	PINDER y MCLEOD (1999)

La construcción de las series temporales de los índices para cada una de las parcelas se ha realizado calculando la media de los valores de los píxeles para cada parcela y, posteriormente, se agruparon las observaciones por estaciones (primavera-abril, mayo, junio; verano-julio, agosto, septiembre; otoño-octubre, noviembre, diciembre; invierno-enero, febrero, marzo) y se les calculó el promedio. Esto se ha realizado por diversos factores: uno de ellos es que los cambios en el arbolado no son instantáneos debido a su resiliencia y, por lo tanto, nos permite agrupar los datos que prácticamente no tendrían variabilidad entre ellos; y otro de los motivos es para minimizar huecos en las series temporales causados por datos faltantes, ya que, debido a diversos factores como nubes o bandeado en las imágenes, existen periodos de tiempo para los que no se disponía de observaciones.

Posteriormente a la agrupación de los datos, se observó que aún quedaban huecos en las series temporales, se ha optado por realizar un *spline* de éstas, permitiendo poder completar las series de datos faltantes con los datos calculados empleando el *spline*, las series temporales no permiten registros sin datos, ya que se trata de uno de los requisitos para la posterior agrupación de las tendencias. La realización del suavizado de los datos se ha optado por emplear un *spline* de suavizado cúbico, el cual se encuentra implementado en el paquete “stats” (R CORE TEAM, 2023) del software estadístico R (R CORE TEAM, 2023).

Tras completar las series temporales se ha procedido a realizar la clusterización de las tendencias de las series temporales de cada parcela. Para este proceso se ha empleado el paquete de “funtimes” (LYUBCHICH et al., 2023) de R. Este paquete permite agrupar recursivamente las series temporales que tienen una tendencia común especificada previamente. Para comprobar si las series temporales poseían tendencias similares se ha empleado una prueba no paramétrica de sincronidad de tendencias paramétricas en múltiples series temporales (LYUBCHICH y GEL, 2016).

4. Resultados

Una vez realizado el proceso de clusterización de las tendencias de las series temporales, se obtuvieron resultados para los tres índices seleccionados (Tabla 2). El mayor número de clústeres en los que agrupó los datos fueron en tres, para los índices NDVI y NDWI. En el caso del índice RDI la prueba realizada no detectó que hubiese parcelas que perteneciesen a clústeres diferentes. En el caso de los índices en los que sí se formaron los tres clústeres, dos procedían de agrupación de series similares, los etiquetados con 1 y 2, y uno de series independientes, etiqueta 0. Las pertenecientes al clúster 0 fueron aquellas series independientes cuyas tendencias no eran similares a ninguna de las otras ni entre ellas.

Tabla 2. Resultados de la clusterización de las tendencias de las series temporales para cada uno de los índices, indicando la pertenencia de cada parcela a su clúster correspondiente. Clúster 1 y 2 significan agrupación de datos. Clúster 0 indica que dichas observaciones independientes.

Parcela	NDVI	NDWI	RDI
---------	------	------	-----

Brañuelas 1	1	1	1
Brañuelas 2	1	1	1
Brañuelas 3	2	1	1
Brañuelas 4	2	1	1
Brañuelas 5	0	2	1
Brañuelas 6	1	2	1
Brañuelas 7	1	2	1
Brañuelas 8	0	1	1
Brañuelas Control 1	1	2	1
Brañuelas Control 2	1	1	1
Brañuelas Control 3	1	1	1
Tabuyo 1	2	1	1
Tabuyo 2	2	1	1
Tabuyo 3	1	1	1
Tabuyo 4	2	1	1
Tabuyo 5	1	0	1
Tabuyo 6	1	1	1
Tabuyo 7	1	1	1
Tabuyo 8	1	1	1
Tabuyo 9	2	1	1
Tabuyo 10	2	1	1
Tabuyo 11	1	1	1
Tabuyo 12	1	1	1
Tabuyo 13	1	1	1
Tabuyo 14	2	1	1
Tabuyo 15	1	1	1
Tabuyo 16	1	2	1
Tabuyo 17	2	1	1
Tabuyo Control	2	1	1

En el caso de la conformación de los clústeres para el índice NDVI, se puede ver como el clúster 0 está compuesto únicamente por dos observaciones (6.90%), las dos correspondientes a la localización de Brañuelas. Por su parte, el clúster 1 lo forman el 58.6% de las localizaciones, repartiéndose estas entre Brañuelas y Tabuyo del Monte, y agrupando todas las de control de Brañuelas. El clúster 2 lo conforman el 34.5% de las observaciones, incluyendo parcelas de ambas localizaciones y la parcela de control de Tabuyo del Monte.

Los clústeres del índice NDWI son similares en cuanto a porcentajes de pertenencia a los que obtuvo el índice NDVI, ya que el clúster que obtiene un mayor número de registros fue el clúster número 1, con un total del 79.3%. Por su parte el clúster número dos obtiene un 17.2% de las series temporales, mientras que el clúster 0 está formado por una única serie aislada.

En relación con los cambios de clúster que sufren las parcelas en función del índice objeto de análisis, se puede observar como el 41.4% de las parcelas mantienen el mismo clúster tanto para los índices NDVI y NDWI. Más destacable es que las parcelas de control (sin resinar) no forman grupos separados, ya que podemos encontrarlas en cualquiera de las agrupaciones que se forman, lo que

demonstraría que tanto parcelas resinadas como sin resinar siguieron tendencias similares.

Las series temporales de las parcelas cuando se empleó el índice NDVI para monitorizar su vitalidad son bastante estables entorno a los valores 0.4 y 0.6, independientemente del clúster, obteniendo fluctuaciones en los valores derivados de la parada vegetativa de las plantas en los meses más fríos del año. El inicio del resinado no pareció alterar los valores de NDVI que obtuvieron las parcelas estudiadas, ya que no se detecta un cambio en las tendencias de éstos una vez se comenzó el aprovechamiento de este PFSM (línea gris vertical de la Figura 2) en ninguna de las series temporales independientemente del clúster al que perteneciesen (Figura 2).

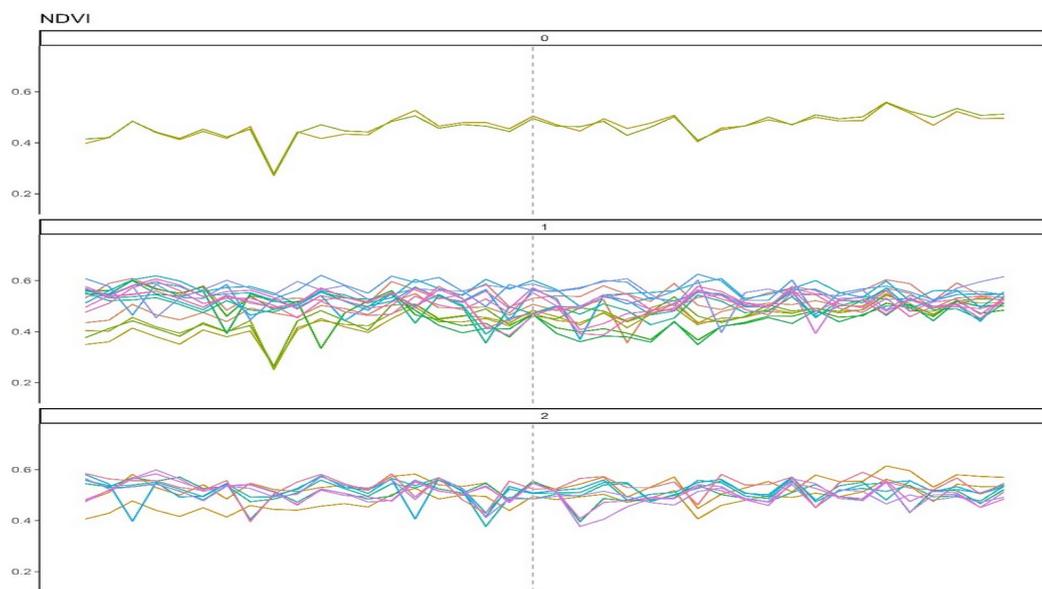


Figura 2. Series temporales del índice NDVI agrupadas en función del clúster al que pertenecen. La línea gris vertical marca el inicio del resinado en las parcelas.

En el caso de las series temporales del índice NDWI, se puede ver que, nuevamente, son series bastantes constantes en el tiempo (Figura 3), con valores negativos de este índice (-0.5/-0.2). Como en el caso anterior, parece que el efecto del comienzo resinado (línea gris vertical de la Figura 3) no influyó en este índice.

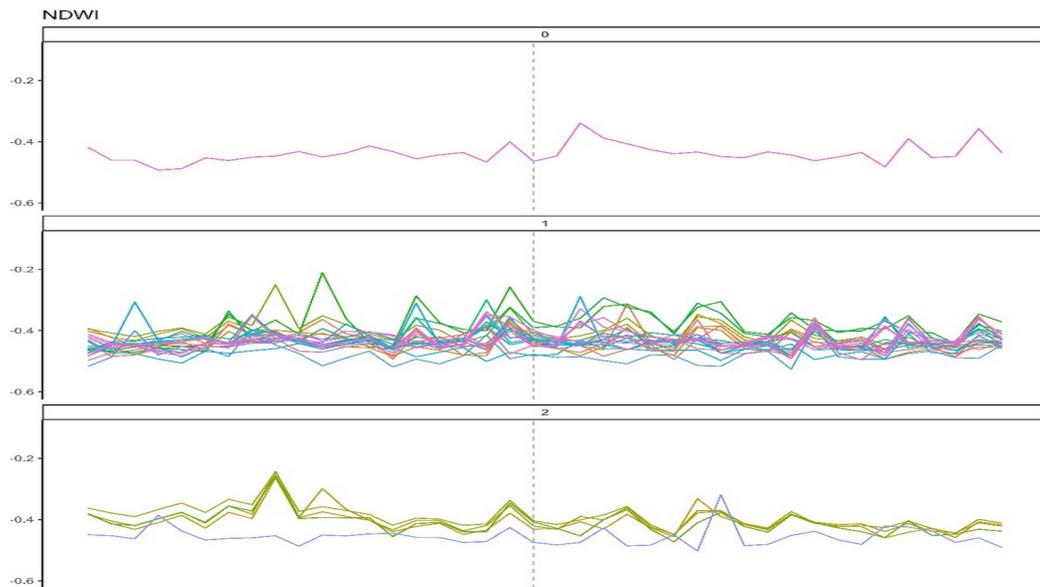


Figura 3. Series temporales del índice NDWI agrupadas en función del clúster al que pertenecen. La línea gris vertical marca el inicio del resinado en las parcelas.

Para el RDI, como se comentó anteriormente, todas sus observaciones forman parte de un único clúster, y es debido a ello que todas ellas tienen una forma y tendencias similares, resinadas o no resinadas, mostrando una reducción general en el rango de valores del índice con el paso del tiempo (Figura 4).

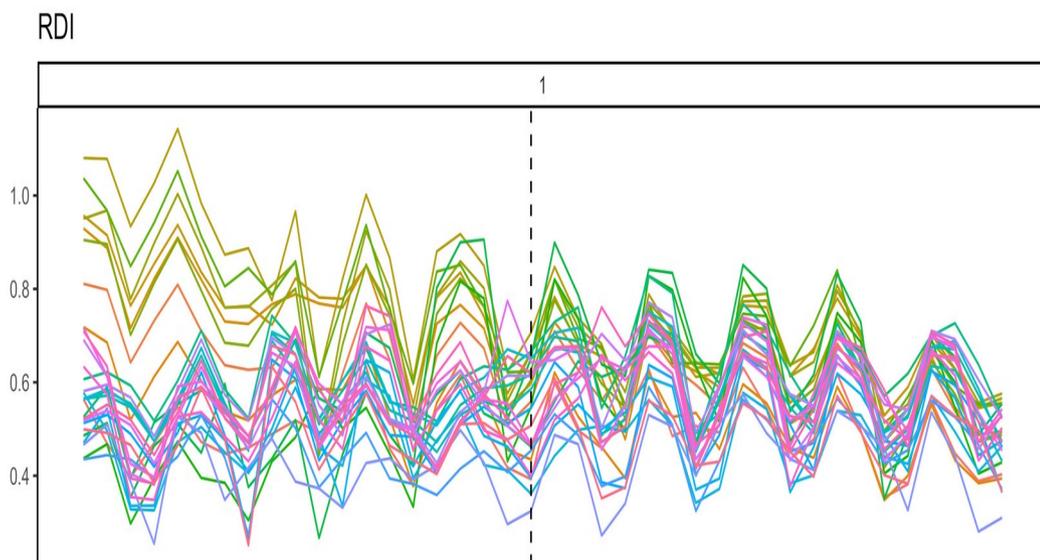


Figura 4. Series temporales del índice RDI agrupadas en función del clúster al que pertenecen. La línea gris vertical marca el inicio del resinado en las parcelas.

Cuando se representan espacialmente las parcelas y se les asigna un código de colores en función del clúster al que pertenecen para cada uno de los dos índices que formaron más de un clúster (NDVI y NDWI), el resultado no parece mostrar

ninguna relación espacial entre la localización de las parcelas y su pertenencia a un clúster (Figura 5).

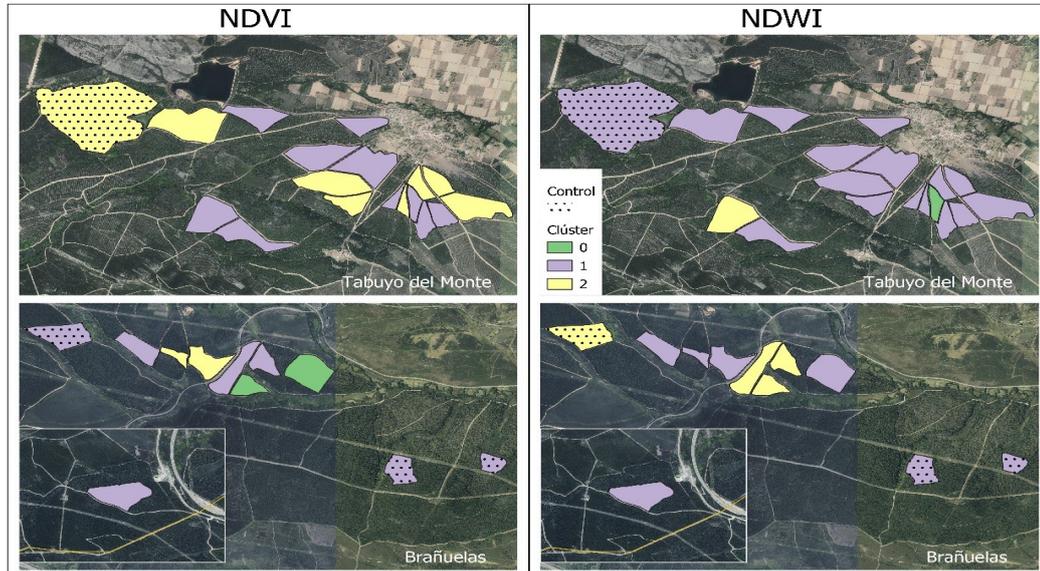


Figura 5. Posición espacial de cada una de las parcelas, identificando a que clúster pertenecieron en función de los índices de vegetación empleados.

5. Discusión

En este estudio se analiza por primera vez si las tendencias de los índices de vegetación calculados a partir de imágenes de satélite en masas resinadas y no resinadas forman agrupaciones independientes o no. Para ello se emplearon un total de 29 parcelas, para las que se descargaron las imágenes correspondientes a 10 años (5 años previos y 5 años durante al resinado) de Landsat-7.

Aunque la resina de pino se trata de uno de los principales PFNMs del sur de Europa, la investigación se puede considerar todavía que se encuentra en una fase inicial en diferentes campos como es el efecto del resinado en la respuesta espectral del pino. Así pues la monitorización de estas masas mediante sensores remotos, y cómo estos pueden ayudar a comprender mejor los procesos llevados a cabo por los árboles sometidos a este aprovechamiento constituye en si mismo un avance científico. Cabe señalar, como es bien sabido en el ámbito científico, ser pionero en un tema implica dificultades de diverso orden entre las que destaca la limitada posibilidad de discutir los resultados obtenidos con otros autores.

El análisis clúster realizado a las series temporales de los diferentes índices probados, muestra que en lo que a tendencias respecta, no parece que las parcelas resinadas exhiban comportamientos diferentes de las parcelas de control, ya que no se formaron clústeres independientes conformados exclusivamente para dichas parcelas. Además, el resultado de las agrupaciones llevadas a cabo, y que se puede analizar en las Figuras 2, 3 y 4, es que independiente del índice o el clúster que se observe, la respuesta espectral de las parcelas es similar antes de comenzar la resinación y posteriormente al inicio de ésta, ya que se puede ver cómo posee tendencias similares en ambos casos. Esto se podría explicar de acuerdo con que los árboles lo que hacen es movilizar sus recursos y destinarlos a su defensa en vez



de dedicarlos al crecimiento, no reduciendo su tasa fotosintética, sino manteniéndola y destinando los recursos a protegerse de la agresión causada fruto del este aprovechamiento no maderero. Esto concuerda con los resultados obtenidos por ZENG et al. (2021). En este trabajo los autores observaron que, independientemente de si los pinos estaban resinados o no resinados, mostraban variaciones interanuales similares entre dos de los isótopos relacionados con la asimilación fotosintética.

Aunque lo que sí podemos asumir es que no todas las masas responden igual al estrés que supone para el árbol practicarle este tipo de aprovechamiento, ya que en dos de los tres índices seleccionado se formaron más de un único clúster. Esto concuerda con lo establecido por GARCIA-FORNER et al. (2021), los cuales comprobaron como en dos parcelas de *Pinus pinaster* en Portugal sometidas a resinado, el crecimiento del ancho de los anillos de crecimiento varió entre las dos localizaciones, aumentando en una de ellas durante la extracción de resina y no variando en la otra. Por su parte, GRISSINO-MAYER et al. (2001) reportaron cambios en el grado de reducción del crecimiento entre árboles provenientes de la misma localización. Los resultados de estos autores nos ayudan a comprender el fenómeno que podemos ver tanto en la Tabla 2, como en la Figura 5, y es que los árboles de parcelas situadas de manera adyacente entre ellas no tienen por qué reaccionar de manera similar frente al aprovechamiento de la resina y, por lo tanto, pueden no pertenecer al mismo clúster, ya que pueden poseer unas tendencias en las series de datos de NDVI o NDWI diferentes entre ellas.

6. Conclusiones

Tras realizar el análisis de las series temporales de los diferentes índices de vegetación en las parcelas resinadas y no resinadas, se puede concluir que el aprovechamiento de la resina en árboles de *Pinus pinaster* no parece influir en la respuesta espectral, y por tanto en la vitalidad de éstos, o al menos, no en un grado que los sistemas de monitorización o los índices empleados en este trabajo fuesen capaces de detectar.

En futuros trabajos se debería seguir investigando si la extracción de la resina genera algún tipo de cambio en las copas de los árboles apreciable a partir de imágenes de satélite, a partir de la construcción de un índice que facilite la detección de este tipo de aprovechamientos.

7. Agradecimientos

Este trabajo ha sido apoyado por la Xunta de Galicia con una ayuda para Grupos de Referencia Competitiva [ED431C-2021-27] y el contrato predoctoral Campus Terra-USC 2023. Nos gustaría agradecer a Alejandro García por brindarnos su ayuda en la selección de las localizaciones de las parcelas.

8. Bibliografía

GAO, B.; 1996. NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sens. Environ.* 58, 257–266.

GARCIA-FORNER, N.; CAMPELO, F.; CARVALHO, A.; VIEIRA, J.; RODRÍGUEZ-



PEREIRAS, A.; RIBEIRO, M.; SALGUEIRO, A.; SILVA, M. E.; LOUZADA, J. L.; 2021. Growth-defence trade-offs in tapped pines on anatomical and resin production. *For. Eco. and Manage.*, 496, 119406.

GRISSINO-MAYER, H.D.; BLOUNT, H.C.; MILLER, A.C.; 2001. Tree-Ring Dating and the Ethnohistory of the Naval Stores Industry in Southern Georgia. *Tree-Ring Res.* 57, 3–13.

HUO, L.; PERSSON, H.J.; LINDBERG, E.; 2021. Early detection of forest stress from European spruce bark beetle attack, and a new vegetation index: Normalized distance red & SWIR (NDRS). *Remote Sens. Environ.* 255, 112240.

LÓPEZ-ÁLVAREZ, Ó.; ZAS, R.; MAREY-PEREZ, M.; 2023a. Resin tapping: A review of the main factors modulating pine resin yield. *Ind. Crops Prod.* 202, 117105.

LÓPEZ-ÁLVAREZ, Ó.; ZAS, R.; MARTÍNEZ, E.; MAREY-PEREZ, M.; 2023b. Resin yield response to different tapping methods and stimulant pastes in *Pinus pinaster* Ait. *Eur. J. Forest Res.* 142, 1281-1292.

LYUBCHICH, V.; GEL, Y.; 2016. A local factor nonparametric test for trend synchronism in multiple time series. *J. Multivar. Anal.*, 150, 91–104.

LYUBCHICH, V.; GEL, Y.; VISHWAKARMA, S.; 2023. funtimes: Functions for Time Series Analysis. R package version 9.1.

NEIS, F.A.; DE COSTA, F.; DE ARAÚJO, A.T.; FETT, J.P.; FETT-NETO, A.G.; 2019. Multiple industrial uses of non-wood pine products. *Ind. Crops Prod.* 130, 248–258.

PINDER, J.E.; MCLEOD, K.W.; 1999. Indications of relative drought stress in longleaf pine from thematic mapper data. *Photogramm. Eng. Remote Sensing* 65, 495–501.

R CORE TEAM; 2023. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R. Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

ROUSE, J.W.; HAAS, R.H.; SCHELL, J.A.; DEERING, D.W.; 1974. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. NASA. Goddard Sp. Flight Cent. 3d ERTS-1 Symp., Vol. 1, Sect. A.

ZENG, X.; NI, P.; LI, Y.; WANG, W.; SUN, S.; WANG, Y.; CHANG, Y.; TAO, X.; HOU, M.; LIU, X.; 2021. Short-term resin tapping activities had a minor influence on physiological responses recorded in the tree-ring isotopes of Chinese pine (*Pinus tabulaeformis*). *Dendrochronologia*, 70, 125895.

