

Resultados preliminares sobre el decaimiento de las masas forestales del Maresme usando imágenes Sentinel-2A

Anna Tardà¹, Lydia Pineda¹, Vicenç Palà¹, Ramon Riera², Jordi Corbera¹ y Fernando Pérez¹

¹Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya, Parc de Montjuïc, 08038-Barcelona (Spain),

²Diputació de Barcelona, Compte d'Urgell, 187, 08036-Barcelona (Spain)

anna.tarda@icgc.cat

Resumen: Una parte considerable de los bosques de la comarca del Maresme (Catalunya, España) se encuentra afectada por un grave decaimiento de los árboles, en especial de los pinos piñoneros (*Pinus pinea*), debido a diferentes factores como la sequía, la afectación por un insecto perforador (*Thomicus destruens*) y por varios tipos de hongos. Para poder delimitar las zonas con árboles afectados, el Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC), a petición de la Diputació de Barcelona (DIBA), ha estudiado un conjunto de imágenes del satélite Sentinel-2A del programa europeo Copernicus de Observación de la Tierra. El estudio se ha centrado en la detección de las masas forestales afectadas entre los veranos de 2015 y 2016, a partir de índices de vegetación, en especial a partir del Índice de Vegetación Mejorado (EVI) y del análisis posterior de cambios y tendencias hacia el decaimiento. En este artículo se describe la metodología empleada durante el desarrollo del estudio y los primeros resultados obtenidos. La validación *in situ* de los resultados se realizará posteriormente desde los servicios técnicos de la DIBA.

Palabras clave: índices de vegetación, EVI, Sentinel-2A, Copernicus, zonas forestales, decaimiento.

Preliminary results about forestland decay in Maresme using Sentinel-2A imagery

Abstract: A significant portion of the forests in the Maresme region (Catalunya, Spain) is affected by a severe decay of the trees, particularly market in the stone pine (*Pinus pinea*), due to different factors like drought, affectation by a wood borer insect (*Thomicus destruens*) and by several fungi.

In order to be able to delimit the areas with affected trees, the Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC), at the request of the Diputació de Barcelona (DIBA), has studied a set of Sentinel-2A imagery of Copernicus (The European Earth Observation Programme). The study has focused on the detection of affected forestland in summer between 2015 and 2016, based on vegetation indices, especially from the Enhanced Vegetation Index (EVI), and the subsequent analysis of the changes and tendencies toward decay.

This paper describes the methodology used in the study and the first results obtained. The *in situ* validation of the results will be performed later by technical services of the DIBA.

Keywords: vegetation indices, EVI, Sentinel-2A, Copernicus, forestland, decay.

1. INTRODUCCIÓN

La detección del decaimiento de las masas forestales se estudia habitualmente a partir de inventarios sistemáticos en las parcelas forestales afectadas. El seguimiento y el control son especialmente costosos si se aborda la problemática de la detección y expansión del fenómeno, ya que obliga a supervisar el territorio forestal de forma completa y exhaustiva.

En la zona costera de la comarca del Maresme, situada al este de la provincia de Barcelona, existe una afectación grave de decaimiento de las masas boscosas debido a diferentes factores como la sequía, la aparición de hongos y en especial al insecto perforador *Thomicus destruens*, entre otros factores abióticos y bióticos, especialmente en los pinos piñoneros (*Pinus pinea*), provocando que muchos árboles queden parcial o totalmente secos y en muchos casos mueran.

Actualmente estas masas forestales son objeto de monitorización por parte de la administración pública competente y, entre otras líneas de estudio, el Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC), a petición de la Diputació de Barcelona (DIBA), ha analizado

este fenómeno a partir de técnicas de teledetección utilizando las imágenes de satélite Sentinel-2, pertenecientes al programa europeo Copernicus de Observación de la Tierra.

El objetivo principal de este estudio es detectar las zonas afectadas en los años 2015 y 2016, a partir de la clasificación de índices de vegetación obtenidos de las imágenes Sentinel-2A. Para poder evaluar su evolución en el territorio se analizan los cambios entre los índices de verano para los dos años y se establece una primera valoración de los resultados.

El propósito final es obtener un método eficaz para detectar de forma sinóptica y dinámica el decaimiento de las masas forestales a lo largo del tiempo y aportar un conocimiento añadido a los estudios actuales.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Área de estudio

El área de estudio comprende la mayor parte de la comarca del Maresme con una orientación sureste predominante favorable a la presencia de bosques mediterráneos resistentes a las sequías de verano

(Figura 1). En las laderas orientadas al sur predominan las coníferas, especialmente los pinos piñoneros y, en menor medida, los pinos marítimos y pinos carrascos; en las laderas orientadas al norte, los bosques de encinas y, en menor medida, robles y alcornoques.



Figura 1. Área de estudio (perímetro rojo) dentro de la comarca del Maresme (polígono lila), en la provincia de Barcelona

Las zonas orientadas al sur, donde se distribuyen la mayoría de las coníferas, son áreas en las que la sequía se manifiesta en mayor grado debido a la insolación que reciben y, por lo tanto, son zonas candidatas a presentar decaimiento de los bosques (Figura 2).

El estudio sobre los bosques se centró sobre una extracción de los polígonos de las masas forestales del Mapa de Cubiertas del Suelo de Catalunya de la última edición (2009), que suman aproximadamente 169 km², de los cuales más del 40% son bosques de pinos piñoneros y, en muchas ocasiones, bosques mixtos con encinares.



Figura 2. Pinos piñoneros afectados en la comarca del Maresme

2.2. Selección de las imágenes Sentinel-2A

Como material básico para detectar el decaimiento de las masas forestales durante un año, comprendido entre los veranos del 2015 y 2016, se utilizaron las imágenes captadas por el sensor MSI del satélite Sentinel-2A, de acceso público y gratuito. En total se obtuvieron 11 imágenes a lo largo de las diferentes estaciones meteorológicas. La primera imagen era del 2 de agosto del 2015 y la última del 24 de noviembre del 2016. Con este conjunto de imágenes se pudo interpretar el ciclo fenológico de los árboles desde el verano-invierno del 2015 al verano-invierno del 2016.

Para optimizar la comparación entre imágenes se realizaron correcciones atmosféricas mediante el programa **sen2cor** de la Agencia Espacial Europea (ESA), que convierte la reflectividad TOA (*Top Of Atmosphere*) a en reflectividad BOA (*Bottom Of Atmosphere*). Además se realizó una verificación de la calidad geométrica de las imágenes para establecer los posibles desplazamientos locales que pudieran afectar posteriormente a la comparación de los índices. El desplazamiento máximo fue de medio píxel para los canales de mayor resolución espacial (10 m), pero la mayoría de los desplazamientos estaban por debajo del tercio de píxel, valores suficientemente buenos que recomendaron no remuestrear las imágenes.

La comparación entre imágenes se efectuó mediante la interpretación visual de composiciones de color y de falso color y se pudo detectar que existían zonas arboladas afectadas por el decaimiento que iban aumentando a medida que transcurría el tiempo. En especial fueron muy relevantes las imágenes de invierno de los dos años donde las zonas fuertemente afectadas seguían con una baja respuesta espectral de la vegetación. A pesar de estas evidencias, las imágenes de primavera y de invierno se descartaron posteriormente para el estudio global debido a las respuestas espectrales locales fuertemente afectadas por el suelo o por el efecto de las sombras.

Después de la interpretación visual de las imágenes se seleccionaron cuatro bandas sensibles a las variaciones de la vegetación y del suelo para calcular los índices de vegetación (Tabla 1).

Tabla 1. Resolución espectral y espacial de las bandas seleccionadas para las imágenes Sentinel-2A

Banda	Descripción	Centro espectral (nm)	Ancho banda (nm)	Píxel (m)
B2	Azul	490	65	10
B4	Rojo	665	30	10
B8	Infrarrojo cercano	842	115	10
B11	Infrarrojo corto	1610	90	20

2.3. Índices de vegetación

Una de las técnicas más usadas en la teledetección clásica para detectar la vegetación y valorar su estado es el cálculo de índices de vegetación mediante la combinación aritmética de dos o más bandas espectrales sensibles a comportamientos característicos de la vegetación. Para este estudio se escogieron tres índices de banda ancha con la máxima resolución espacial posible. El primero y más utilizado es el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (en inglés *Normalized Difference Vegetation Index* o NDVI) que cuantifica el verdor de la vegetación, considerando el contraste entre la elevada dispersión que producen las hojas verdes en el infrarrojo cercano y la absorción de la clorofila en el rojo. Este índice formulado con las bandas de las imágenes Sentinel-2 se detalla a continuación:

$$NDVI = \frac{B8 - B4}{B8 + B4} \quad (1)$$

El segundo índice escogido fue el Índice de Vegetación Mejorado (en inglés *Enhanced Vegetation Index* o EVI), ya que incorpora la radiación de la zona espectral del azul (B2 en Sentinel-2) que ayuda a corregir la señal asociada al suelo y las influencias de la atmósfera en caso de no haber realizado la corrección atmosférica. Para su cálculo se ha utilizado la siguiente ecuación:

$$EVI = 2.5 \frac{B8 - B4}{B8 + 6 B4 - 7.6 B2 + 1} \quad (2)$$

El último índice escogido fue el Índice de Estrés Hídrico (en inglés *Moisture Stress Index* o MSI) que es sensible al contenido de vapor de agua de las hojas. Cuando el contenido de agua aumenta en las hojas aumenta la intensidad de absorción de la radiación en la zona espectral de los 1599 nm (B11 en Sentinel-2), mientras que cerca de los 819 nm los contenidos de agua no alteran significativamente la respuesta espectral. Estas diferencias se miden a partir del siguiente ratio:

$$MSI = \frac{B11}{B8} \quad (3)$$

2.4. Comparación entre los tres índices

Se calcularon los tres índices para todas las imágenes Sentinel-2A y se compararon entre ellos en diferentes zonas y para diferentes fechas. La primera comparación fue a través de los histogramas de una zona con pluralidad de tipos de cubiertas y se comprobó que la distribución de las frecuencias era muy parecida entre el NDVI y el MSI aunque su lectura es opuesta (Figura 3). Fue descartado el MSI por tener una peor resolución espacial, ya que la banda 11 es de 20 m (frente a los 10 m de la banda 8), creándose artefactos visuales en las zonas de transición entre cubiertas.



Figura 3. Representación estadística de los valores de los índices MSI y NDVI para una misma zona geográfica

La comparación entre los dos índices restantes, el NDVI y el EVI, puso de manifiesto que el segundo aporta mejor caracterización de la cubierta forestal.

En la Figura 4 se observa una mejor definición del EVI respecto al NDVI en la imagen Sentinel-2A del 28 agosto del 2016. Se distingue claramente el bosque de ribera y el detalle de los bosques de coníferas más vigorosos (Vogelmann, 1990).

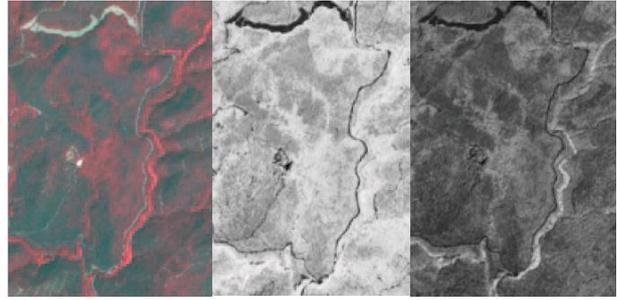


Figura 4. Zona forestal representada a la izquierda con la imagen Sentinel-2A en falso color (bandas 5, 3 y 2), en el centro el NDVI y a la derecha el EVI

Una vez seleccionado el EVI como el índice más sensible para determinar los cambios en las masas forestales se calculó para las once imágenes Sentinel-2A y se pudo comprobar que en la interpretación del estado fenológico no solo intervienen las copas de los árboles sino también el sotobosque, tanto leñoso como herbáceo (Huete, 2002). En las imágenes de verano los efectos de la vegetación vigorosa del sotobosque son menores e influyen menos en la respuesta espectral de los píxeles mixtos. Cabe añadir que las imágenes de invierno en las zonas montañosas recogen una respuesta espectral atenuada por el efecto de las sombras. En la figura 5 se observa la representación coloreada del EVI en una zona forestal montañosa, en verano y en invierno, donde los colores verdes indican vegetación vigorosa y los colores cálidos vegetación semiseca o seca, hasta llegar a los colores rojos que indicarían la ausencia de vegetación.

Los resultados del EVI de invierno se ven afectados por el componente topográfico y los efectos de las sombras (Matsushita, 2007), que indicarían falsas zonas desnudas de vegetación en las zonas de sombras. Además, en las zonas bien iluminadas la vegetación se detecta muy vigorosa por el componente activo del sotobosque.

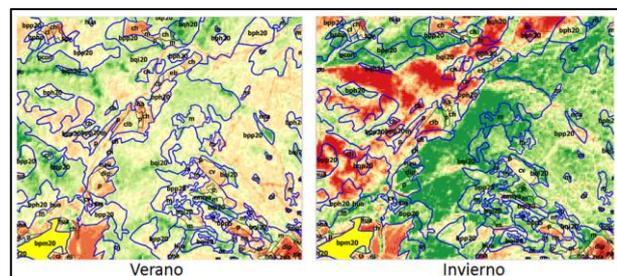


Figura 5. Representación del EVI en verano (izquierda) y en invierno (derecha) en la Serralada Litoral, cerca del municipio de Cabrils

En esta fase preliminar se concluyó que el cálculo del EVI en todo el territorio obtiene mejores resultados en verano, debido a una mejor iluminación solar del terreno y a una menor contribución de las capas vegetales del sotobosque a la respuesta espectral de la copa de los árboles.

2.5. Representación cartográfica del EVI

Una vez seleccionado el EVI para las dos imágenes de verano, la primera del día 2 de agosto del 2015 y la segunda del día 28 de agosto del 2016, se generó una imagen de grises con valores de 0 a 255, que posteriormente se segmenta para interpretar adecuadamente los cambios de la vegetación. Tras diferentes intentos de segmentación se comprobó que las zonas afectadas por el decaimiento quedaban mejor representadas con 15 niveles en toda la imagen que, posteriormente, se reagruparon en siete clases y se aplicó un filtro de mayoría (3x3). En la figura 6 se observa el proceso de simplificación del EVI en una zona forestal afectada por decaimiento para obtener el producto cartográfico final con siete clases.

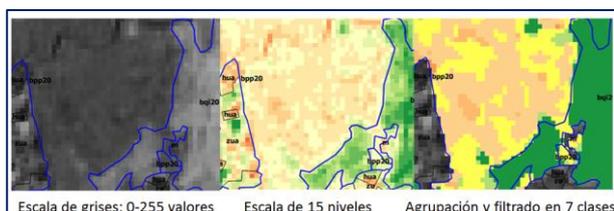


Figura 6: Ejemplo de proceso de segmentación del EVI en siete clases

3. RESULTADOS

3.1. Clasificación final del EVI

La clasificación del EVI se realizó sin trabajo de campo, por lo que se consultaron las imágenes de los vuelos fotogramétricos en infrarrojo de los años 2015 y 2016 del servicio gratuito OrtoXpres del ICGC de 25 cm de resolución espacial, para relacionar los resultados del índice con los diferentes grados de afectación de las masas boscosas. La tabla 2 recoge la leyenda: siete clases del índice y el rango de valores para cada clase.

Tabla 2. Leyenda de las clases del EVI para las masas forestales del Maresme

Clases EVI	Descripción de las cubiertas
<=0.16	Cubiertas sin vegetación como carreteras, suelos desnudos, edificios y en algún caso zonas de vegetación muy seca
0.16 - 0.2	Entre el 75% y 100% de vegetación seca. En algunos casos cubiertas no vegetales como pistas forestales o suelos desnudos
0.2 - 0.24	Entre el 25% y el 75% de vegetación seca y, el resto, vegetación vigorosa.
0.24 - 0.28	Máximo un 25% de vegetación seca y, el resto, vegetación vigorosa.
0.28 - 0.32	Vegetación vigorosa con algunos árboles secos aislados
0.32 - 0.36	100% de masas forestales menos vigorosas
>0.36	100% de masas forestales vigorosas

La clasificación se ha aplicado a los dos EVIs calculados, el de 2015 y el de 2016, evidenciando cambios considerables en las zonas afectadas.

3.2. Detección de cambios

Para poder analizar mejor el avance del decaimiento se calcularon las diferencias entre los dos EVI segmentados en 7 clases. Después, se representaron los cambios obtenidos, donde las zonas blancas indican territorios que se mantienen en la misma clase, las zonas de color verde claro corresponden a áreas que recuperan vigorosidad respecto al año 2015 y las zonas azules y lilas son en las que empeora el decaimiento forestal en mayor o menor medida (Figura 7).

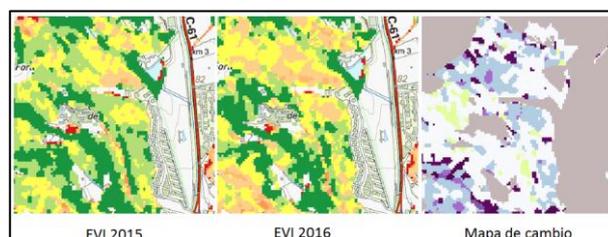


Figura 7. Ejemplo de cálculo del EVI en las masas forestales para el año 2015 y 2016 sobre el mapa topográfico y la imagen de cambios

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN

Los resultados de la representación cartográfica del EVI sobre el estado de las masas forestales anuales y sus cambios deben ser validados en trabajo de campo por la DIBA, pero las comparaciones hechas con las imágenes infrarrojas de muy alta resolución de los vuelos del ICGC del 2015 y del 2016 demuestran una buena identificación del decaimiento forestal obtenido a partir de las imágenes Sentinel-2.

Hay que precisar que los píxeles de 10 m agrupan diferentes copas que pueden estar o no afectadas y, por lo tanto, la identificación solo es posible a partir de porcentajes de una misma clase. Los cambios muestran las zonas de expansión que deberían confirmarse con el cálculo del nuevo EVI para el año 2017.

En particular, el cálculo del EVI en base a imágenes Sentinel-2 permite detectar claramente las zonas afectadas en las imágenes de verano con buena señal espectral. Las zonas montañosas con efectos de sombras quedan peor detectadas.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Matsushita, B. et al. 2007. *Sensitivity of the Enhanced Vegetation Index (EVI) and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to Topographic Effects: A Case Study in High-Density Cypress Forest*. *Sensors*, 7, 2636-2651
- Huete et al. 2002. *Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices*, *Remote Sensing of Environment* 83, 195-213.
- Vogelmann, J. E. 1990. *Comparison between two vegetation indices for measuring different types of forest damage in the north-eastern United States*. *Int. J. Remote Sensing*, Vol 11, nº 12, 2281-2297