

7.1. Cambios en la productividad de la vegetación mediante teledetección

Alcaraz-Segura, D.^{1,2}; Reyes, A.² y Cabello, J.²

¹ Universidad de Granada ² Universidad de Almería

Resumen

El análisis de las series temporales de índices espectrales de vegetación suministradas por el sensor MODIS desde 2001 hasta 2013, aporta resultados muy interesantes sobre el funcionamiento (productividad, estacionalidad, y fenología de la dinámica de ganancias de carbono) de los ecosistemas de Sierra Nevada. Los robledales, los pinares de repoblación y los encinares muestran fuertes tendencias negativas de verdor al inicio de la primavera. Los robledales y matorrales de alta y media montaña presentan ligeras tendencias positivas durante el verano y principios del otoño. Por último se observa un gradiente este-oeste en la tendencia de verdor. En el este hay un aumento en la producción anual y en el oeste una disminución. Esto puede estar relacionado con los patrones climáticos de precipitación a escala regional.

> Objetivos y metodología

El objetivo de este trabajo es detectar y describir cambios en diferentes atributos de la dinámica estacional de las ganancias de carbono, indicadores de la producción primaria, estacionalidad y fenología de los ecosistemas de Sierra Nevada. Para ello se emplean series temporales de índices espectrales de vegetación.

Los índices espectrales de vegetación constituyen la mejor herramienta para el seguimiento de la productividad primaria de los ecosistemas a nivel global mediante imágenes de satélite [1]. Estos índices muestran una respuesta lineal con la fracción de la radiación fotosintéticamente

activa interceptada por la vegetación (FRFA). Gracias a la relación con la productividad primaria neta, los índices espectrales de vegetación son frecuentemente empleados para derivar indicadores del funcionamiento ecosistémico, tales como el carbono total anual absorbido por la vegetación, o la estacionalidad y fenología de la dinámica de las ganancias de carbono [2]. Las imágenes del Índice de Vegetación Mejorado (EVI) fueron obtenidas por el sensor MODIS-Terra entre enero de 2001 y diciembre de 2013 (producto MOD13Q1). Estas imágenes tienen una resolución espacial de 231 m y temporal de 16 días (23 imágenes por año). En primer lugar,

obtuvimos la curva estacional de EVI de cada año y calculamos la media, máximo y mínimo de EVI de cada año. Posteriormente, se exploró la existencia de tendencias en estas variables y en cada compuesto de 16 días a lo largo del periodo 2001-2013 [3]. Las tendencias fueron evaluadas para todo el contexto geográfico de Sierra Nevada y diferenciando entre los distintos ecosistemas representativos del espacio protegido. La selección de píxeles puros representativos de cada ecosistema se realizó a partir de la cartografía de ecosistemas del Observatorio del Cambio Global de Sierra Nevada.

> Resultados

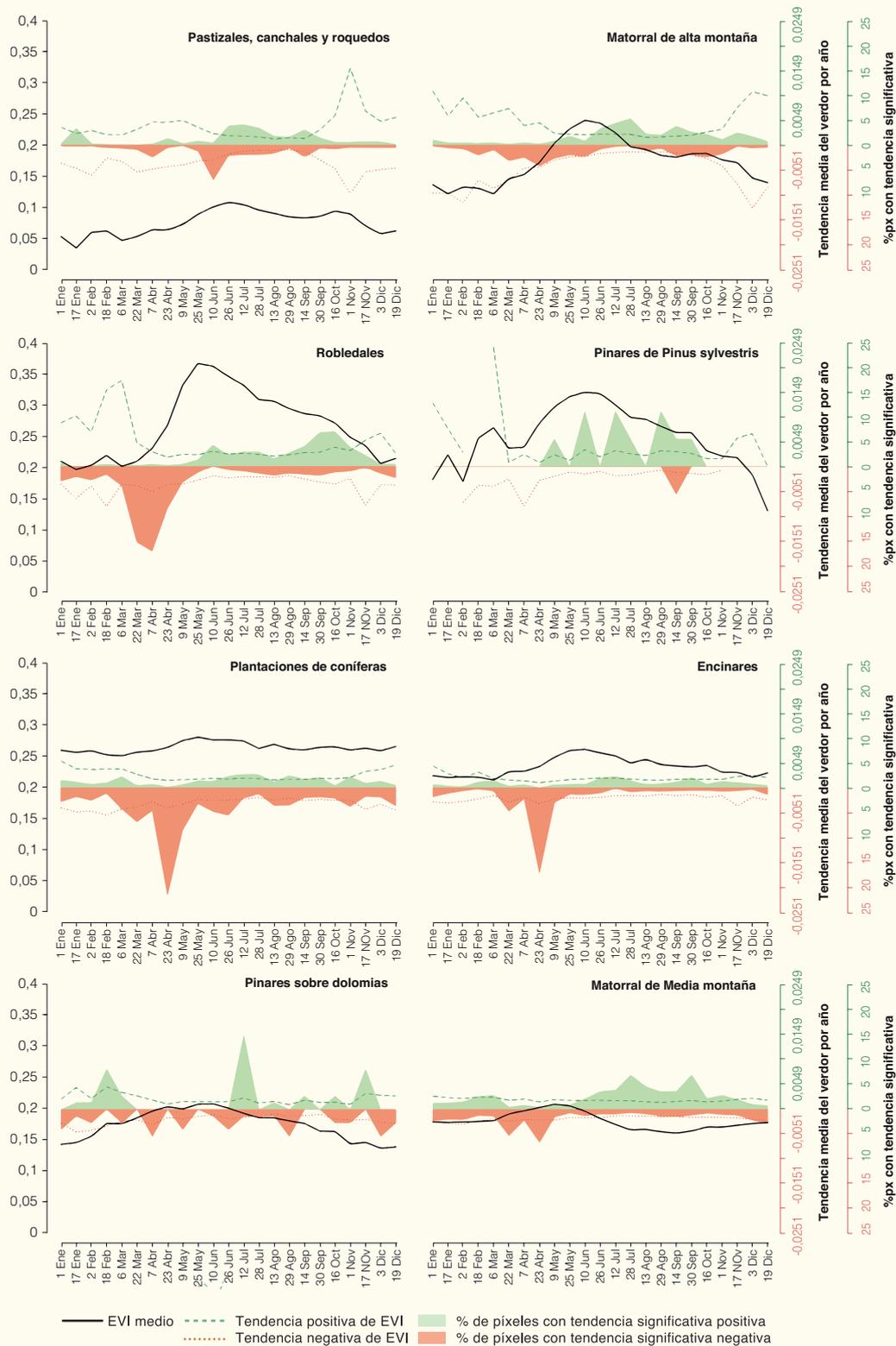
Los principales ecosistemas de Sierra Nevada (Figura 1) difirieron en su producción primaria anual y estacionalidad, pero mostraron similitudes en su fenología, con máximos de actividad fotosintética en primavera tardía (mayo-junio), y mínimos en invierno (a excepción del matorral de media montaña, único ecosistema con mínimos de verano). Los ecosistemas más productivos fueron los robledales de *Quercus pyrenaica*, los pinares de autóctonos de *Pinus sylvestris* y las plantaciones de coníferas. Los encinares y los pinares autóctonos sobre dolomías mostraron una producción primaria intermedia. Los matorrales de alta y media montaña mostraron

valores bajos de producción primaria y los pastizales y roquedos de alta montaña los más bajos. Los ecosistemas con mayor estacionalidad fueron los matorrales de alta montaña y los robledales, mientras que los menos estacionales fueron los encinares y las plantaciones de coníferas.

El patrón espacial de las tendencias en los atributos funcionales del EVI mostró un gradiente altitudinal y de orientación este-oeste (Figura 2). En el extremo oriental de Sierra Nevada, se observa un incremento de la productividad anual, mientras que en el centro y oeste del macizo

montañoso ésta disminuye. En general, los aumentos en la productividad media anual (Figura 2a) estuvieron más motivados por aumentos en los mínimos (Figura 2c) que en los máximos de productividad (Figura 2 b). Por el contrario, las disminuciones en la productividad media anual (Figura 2a) estuvieron más motivadas por disminuciones en los máximos (Figura 2b) que en los mínimos de productividad (Figura 2c).

Figura 1



Dinámica estacional y tendencias del EVI (índice de vegetación mejorado) en el periodo 2001-2012. En el eje azul izquierdo se representa la dinámica estacional promedio del EVI en el ecosistema. En el eje rojo derecho se representa el promedio de las pendientes significativas obtenidas con el test de Mann-Kendall (valor $P < 0.05$).

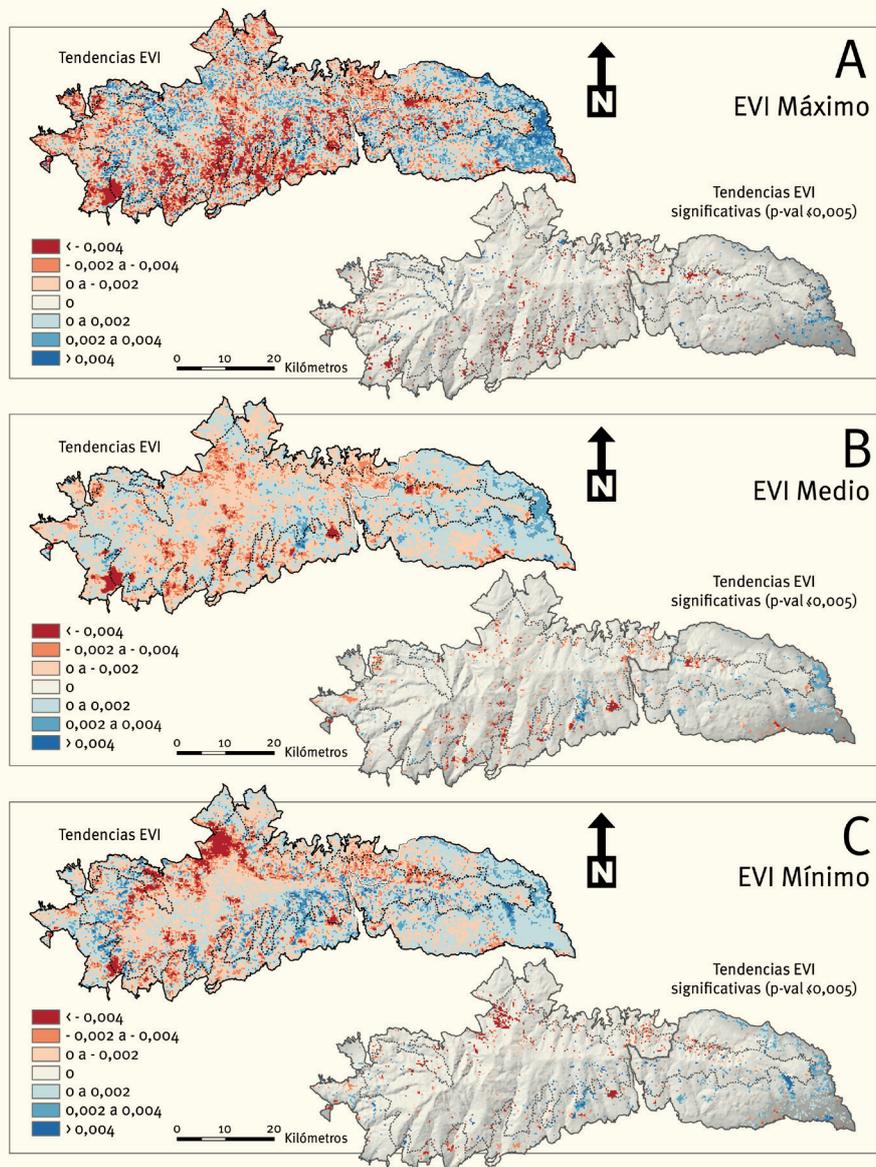
> Discusión y conclusiones

Tres de los ocho ecosistemas analizados en Sierra Nevada mostraron tendencias significativas acusadas en las ganancias de carbono durante el periodo 2001-2013 (Figura 1). Los robledales, las plantaciones de coníferas y los encinares mostraron fuertes tendencias negativas del verdor de la vegetación al comienzo de la primavera, lo que indicaría retraso y pérdida de vigor en el comienzo de la estación de crecimiento [4]. Además, los robledales presentaron ligeras

tendencias positivas en el pico de verdor y a mediados de otoño, lo que indicaría un retraso en la senescencia de la hoja. Los matorrales de alta y media montaña mostraron tendencias similares hacia una ligera caída de la productividad en primavera y un ligero aumento en el verano. El pinar autóctono de *Pinus sylvestris* es el ecosistema que presenta una actividad fotosintética más estable durante el período analizado. Por último se observa un gradiente este-oeste en la

tendencia del EVI anual. Esta divergencia está relacionada con los dos patrones climáticos regionales que operan en esta región, teniendo un mayor efecto la Oscilación del Atlántico Norte en el oeste de la Sierra (tendencia hacia menos productividad), y la Oscilación del Mediterráneo Occidental en el este de la misma (tendencia hacia más productividad).

Figura 2

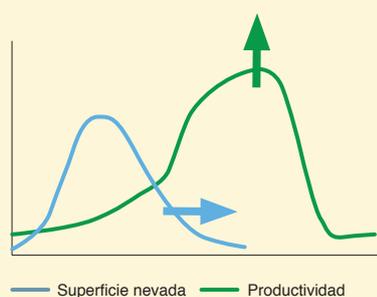


Distribución espacial de las tendencias de tres indicadores del funcionamiento ecosistémico estimadores de la productividad derivados del EVI (índice de vegetación mejorado) en el periodo 2001-2013. Tendencias en el a) promedio anual de EVI, b) máximo anual de EVI, y c) mínimo anual de EVI.

Relaciones entre nieve y productividad de *Quercus pyrenaica*

La producción primaria depende de multitud de factores biofísicos. En regiones de montaña como Sierra Nevada, la nieve juega un papel determinante en este sentido. La cantidad de agua suministrada por la nieve puede explicar en parte el funcionamiento de ecosistemas forestales cercanos al límite del árbol. Se ha realizado una evaluación preliminar de las relaciones entre la nieve y la productividad en las poblaciones de roble de Sierra Nevada (*Quercus pyrenaica*). Se ha comprobado que en los

robleales occidentales (cuencas del río Genil y del río Dúrcal) hay cierto acoplamiento entre las tendencias de producción primaria y las de duración de la nieve. Se ha observado que en los robleales donde la nieve muestra una tendencia significativa a retirarse antes, tiende a aumentar la productividad en verano. Esto podría explicarse porque el adelanto en la fusión de la nieve aporta recursos hídricos a los robles en un momento fisiológico adecuado para su crecimiento [5].



> Poblaciones de *Q. pyrenaica* en las que el 60% del territorio muestra tendencias hacia un adelanto de la fecha de retirada de la nieve y un aumento en la productividad en verano.

> Poblaciones de *Q. pyrenaica* en las que la tendencia hacia el adelanto de la fusión de la nieve es débil y no se observa tendencia a aumento de la productividad en verano.

