

UTILIDAD DEL ÍNDICE ESPECTRAL AS1 PARA CARACTERIZAR TIPOS DE VEGETACIÓN EN ZONAS BIOCLIMÁTICAS DISTINTAS MEDIANTE ANÁLISIS DE SERIES DE TIEMPO

M. Huesca^(*), J. Litago^(**), P. Escribano^(*), A. Palacios-Orueta^(***) y S. Merino-de-Miguel^(****).

^(*) Dept. de Silvopascicultura. E.T.S.I. Montes, Universidad Politécnica de Madrid. Ciudad Universitaria s/n. 28040 Madrid, España. E-mail: margarita_huesca@yahoo.es

^(**) Dept. de Estadística. E.T.S.I. Agrónomos, Universidad Politécnica de Madrid. Ciudad Universitaria s/n. 28040 Madrid, España.

^(***) Dept. de Silvopascicultura. E.T.S.I. Montes, Universidad Politécnica de Madrid. Ciudad Universitaria s/n. 28040 Madrid, España.

^(****) Dept. de Construcción y Vías Rurales. E.U.I.T. Forestal, Universidad Politécnica de Madrid. Ciudad Universitaria s/n. 28040 Madrid.

RESUMEN

El presente trabajo analiza la utilidad del índice AS1 de MODIS, para explicar la dinámica fenológica de distintas formaciones vegetales en las regiones bioclimáticas Mediterránea y Atlántica de la Comunidad Foral de Navarra. Además se comparará con el NDVI y el NDWI. La fenología de cada tipo de vegetación se evalúa cuantitativamente mediante el análisis estadístico de las series temporales de los índices entre 2000 y 2008. Los resultados muestran que la combinación de los índices angulares con los tradicionales permitiría una mejor discriminación entre los distintos tipos de vegetación estudiados. Además a partir del índice AS1 se puede realizar una separación entre materia seca y suelo desnudo.

ABSTRACT

The present study analyzes the utility of the MODIS index AS1 for identifying phenological dynamics in three vegetation types and under different climates. In addition, it evaluates the additional information provided by SAs (Spectral Angles) in order to complement traditional indexes (NDVI and NDWI) information. Time series analysis is used to identify quantitatively phenological patterns. Autonomic community of Navarra is the study area and the study period cover from February 2000 to December 2008. The results show SAs indexes in combination with traditional spectral index can discriminate different vegetation types and in addition AS1 can discriminate dry vegetation from bare soil and green vegetation.

Palabras clave: análisis de series temporales, índices espectrales, AS1, patrones fenológicos.

INTRODUCCIÓN

La respuesta de la vegetación a variaciones climáticas son a menudo complejas y difíciles de detectar, sin embargo cambios ligeros pueden tener importantes efectos en su dinámica a medio y largo plazo. Las previsiones del panel de cambio climático para el área mediterránea son de un incremento de la aridez con periodos largos de sequía, así como una irregularidad en los regímenes de precipitación lo que tendrá un importante efecto en la dinámica de los ecosistemas mediterráneos así como en el flujo del carbono.

La cobertura temporal que presenta la teledetección hace que esta técnica sea especialmente apropiada para el seguimiento de la dinámica de la vegetación. Los índices espectrales son las variables más utilizadas en el seguimiento de dicha dinámica con teledetección. El NDVI es el

índice más ampliamente utilizado como indicador de biomasa. Otros índices como el NDWI (Gao, 1996) han sido frecuentemente relacionados con el contenido de humedad de la vegetación (Ceccato et al., 2001). Los nuevos índices angulares MODIS introducidos por Palacios-Orueta et al (2005) son un concepto de índice basado en la parametrización de la forma de las firmas espectrales (Khanna et al., 2007, Palacios-Orueta et al., 2008).

El análisis estadístico de series temporales (Box et al., 1994) permite identificar los patrones de comportamiento a corto y largo plazo (estacionalidad, tendencia, ciclo, componente irregular) de una variable. Esta metodología en sus dominios frecuencial y temporal, ha sido utilizada con eficiencia en un gran número de dominios científicos, aunque actualmente no ha sido muy empleada en el campo de la teledetección.

El objetivo principal del presente estudio es analizar la utilidad del índice angular AS1 (ángulo formado en el SWIR1) para caracterizar la dinámica fenológica de distintos tipos de vegetación bajo distintos tipos de clima, utilizando técnicas estadísticas de análisis de series temporales para describir de una forma cuantitativa dichas dinámicas.

MATERIAL Y MÉTODOS

El área de estudio es la Comunidad Foral de Navarra situada en el límite entre dos regiones bioclimáticas, la Atlántica y la Mediterránea. Los tipos de vegetación seleccionados son: los cultivos de secano (cereal) situados en la zona sur de Navarra caracterizada por un clima típicamente mediterráneo, las frondosas situadas bajo un clima atlántico dominadas por robles y las frondosas bajo un clima mediterráneo en transición con el atlántico dominadas por especies esclerófilas, formando masas más abiertas acompañadas por especies de matorral y herbáceas. El periodo de estudio comprende desde febrero del año 2000 hasta diciembre del año 2008.

Las imágenes utilizadas para el presente estudio son las MODIS adquiridas del satélite TERRA. El producto MODIS seleccionado es el MOD09A1, dicho producto corresponde a un compuesto de 8 días con una resolución espacial de 500 metros, compuesto de siete bandas de reflectancia superficial que abarcan la zona del espectro que va desde el azul hasta los canales SWIR. Todas las imágenes han sido reproyectadas al sistema de coordenadas UTM 30N datum WGS84. Finalmente se separaron las bandas de todas las imágenes construyendo series temporales de tal forma que cada banda coincidiera con una fecha.

Una vez procesadas las imágenes MODIS, se pasó al cálculo de los índices de vegetación tradicionales NDVI, calculado a partir de la diferencia normalizada entre las bandas del rojo y el infrarrojo cercano y NDWI calculado a partir de la diferencia normalizada entre las bandas del infrarrojo cercano y la del infrarrojo medio SWIR1 y el índice angular AS1 (Palacios-Orueta et al., 2005) que representa el ángulo formado entre las bandas del infrarrojo cercano y las del infrarrojo medio SWIR1 y SWIR2. A continuación se extrajeron las series temporales de cada índice y tipo de vegetación, utilizando la cartografía de tipos de vegetación proporcionada por el Sistema de Información Territorial de Navarra (SITNA). La dinámica seguida por cada tipo de vegetación ha sido analizada mediante la evolución anual media de

los 8 años (ciclos fenológicos) y periodogramas que permiten la identificación de componentes periódicas (análisis espectral).

RESULTADOS

Ciclos fenológicos

Las figuras 1, 2 y 3 muestran los valores normalizados de las tablas Buys-Ballot (evolución anual media) de los índices NDVI (—), NDWI (—), y AS1 (—) para cada tipo de vegetación.

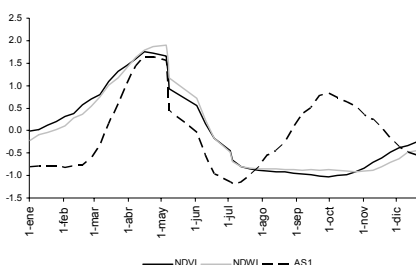


Figura 1.- Valores normalizados de las tablas Buys-Ballot de los índices NDVI (—), NDWI (—), y AS1 (—) para los cultivos mediterráneos.

En cultivos de secano (Figura 1), el comportamiento de los índices NDVI y NDWI es muy similar, caracterizado por un descenso brusco de ambos índices a mediados de la primavera debido al rápido proceso de secado de la vegetación hasta alcanzar un valor mínimo en verano. A mediados de otoño los índices aumentan hasta estabilizarse el NDVI en 0,3. Esto es debido a la nascencia del cereal después de las primeras lluvias. Este incremento se ralentiza a causa de las bajas temperaturas y vuelve a aumentar al llegar la primavera cuando alcanza su máximo valor. Ambos índices siguen el mismo patrón debido a que en la vegetación herbácea el contenido de clorofila responde muy rápidamente al estrés hídrico.

El AS1 se mantiene estable durante el invierno y aumenta de manera rápida a mediados de febrero en el momento en que se inicia el ahijamiento. A principios de mayo desciende rápidamente coincidiendo con el inicio de la fructificación y el amarilleamiento hasta alcanzar su valor mínimo a principios de julio coincidiendo con la recogida de la cosecha. A continuación comienza a subir de nuevo hasta principios de octubre cuando vuelve a descender hasta estabilizarse durante el invierno.

Trabajos previos han mostrado (Khanna et al., 2007) que AS1 presenta valores altos cuando domina la vegetación verde o el suelo desnudo y disminuye con densidades bajas de vegetación y con la presencia de vegetación muerta. En estas zonas el cereal se siembra en septiembre-octubre y con las primeras lluvias de otoño inicia la nascencia de forma que predomina la mezcla de suelo desnudo y vegetación viva que se manifiesta en valores bajos de AS1. Este índice alcanza el máximo absoluto en mayo cuando el cereal presenta una cobertura verde total y un mínimo absoluto en julio cuando el cereal está totalmente seco. El segundo máximo ocurre durante el otoño, cuando como consecuencia de las tareas de siembra predomina el suelo desnudo. Estos resultados ponen de manifiesto la capacidad de este índice para discriminar entre suelo desnudo y vegetación muerta.

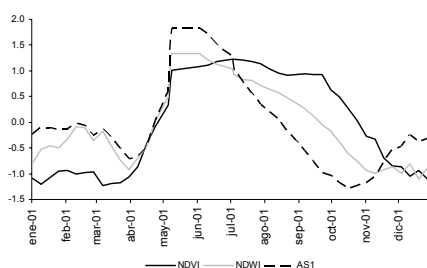


Figura 2.- Valores normalizados de las tablas Buys-Ballot de los índices NDVI (—), NDWI (—), y AS1 (---) para las frondosas atlánticas.

En las frondosas atlánticas el NDVI (Figura 2) muestra un ciclo con una subida muy pronunciada en primavera coincidiendo con la salida de la hoja de la vegetación caducifolia y valores bajos en invierno después de una bajada paulatina coincidiendo con la pérdida de la hoja durante el otoño. A diferencia de lo que ocurre con los cultivos, el patrón descrito por el NDWI en las frondosas atlánticas difiere del seguido por el NDVI. En este caso se observa una mayor similitud entre los patrones de los índices NDWI y AS1 debido a que ambos índices tienen en cuenta la región SWIR de espectro, por lo que reflejan con mayor claridad los cambios de humedad. Ambos presentan un máximo claro en primavera, coincidiendo con el máximo del NDVI en mayo. Mientras que NDVI mantiene valores altos hasta principios de octubre NDWI y AS1 disminuyen a partir de mediados de junio. Esto es debido posiblemente al estrés hídrico estival que se manifiesta más en la pérdida de humedad de la hoja que en la actividad fotosintética. AS1 alcanza su mínimo después de la caída de la hoja cuando predomina la vegetación muerta, que se observa

después una caída brusca de NDVI. AS1 y NDWI aumentan de nuevo (AS1 mediados de octubre y NDWI en enero) hasta alcanzar un máximo relativo al final del invierno.

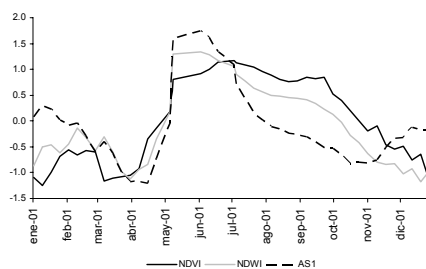


Figura 3.- Valores normalizados de las tablas Buys-Ballot de los índices NDVI (—), NDWI (—), y AS1 (---) para las frondosas mediterráneas.

Las frondosas mediterráneas están caracterizadas por la presencia de especies esclerófilas formando masas abiertas acompañadas de un sotobosque de matorral y pasto. Esta mezcla hace que los patrones de los índices de vegetación sean más irregulares (Figura 3), a rasgos generales se puede observar un patrón similar al encontrado en las frondosas atlánticas. Como en los casos anteriores el AS1 vuelve a mostrar un doble ciclo, alcanzando su primer máximo en primavera coincidiendo con el comienzo de la actividad fotosintética de la vegetación y el segundo máximo en invierno.

El índice NDVI muestra un patrón muy similar en frondosas atlánticas y mediterráneas, hecho que dificulta la discriminación entre ambas utilizando dicho índice. Utilizar otros índices más dependientes de la humedad como el NDWI y el AS1 permiten una discriminación entre ambos tipos de vegetación, principalmente en verano y otoño y de una forma más clara al utilizar el índice AS1. En verano las esclerófilas mediterráneas presentan AS1 más bajos que en las atlánticas, debido a un mayor contenido de materia seca de la hoja (Khanna et al., 2007). En otoño las frondosas atlánticas presentan valores de AS1 menores debido a mayor proporción de vegetación muerta por la caída de la hoja

Análisis estadístico de las series temporales. Análisis espectral. Componentes periódicas.

Los periodogramas de los índices para cada tipo de vegetación (Figuras 4, 5 y 6) muestran que con los índices NDVI y NDWI el máximo se alcanza en el periodo 46, que corresponde con el ciclo anual, en todos lo tipos de vegetación. El NDVI marca de

una forma más clara dicho ciclo en las frondosas atlánticas que el NDWI. En cultivos el periodograma del AS1 tiene un máximo en el periodo 23, mostrando la existencia de un doble ciclo. En las frondosas atlánticas y mediterráneas, muestra un máximo en el periodo 46 y otro en el 23 indicando la existencia de un ciclo intra-anual. Esto se confirmó mediante un análisis de autocorrelación.

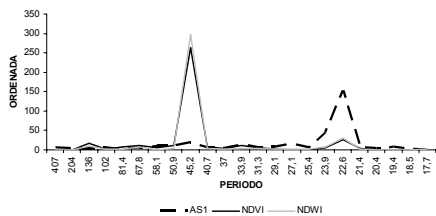


Figura 4.- Periodogramas de los índices NDVI (—), NDWI (---), y AS1 (···) para los cultivos mediterráneos.

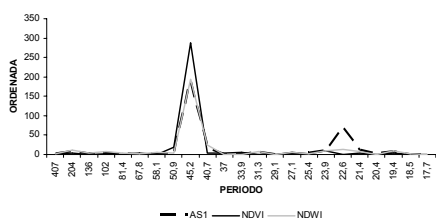


Figura 5.- Periodogramas de los índices NDVI (—), NDWI (---), y AS1 (···) para las frondosas atlánticas.

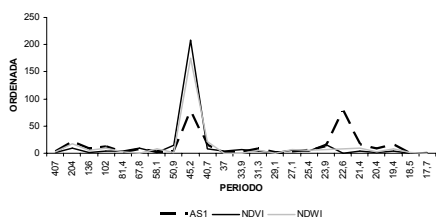


Figura 6.- Periodogramas de los índices NDVI (—), NDWI (---), y AS1 (···) para las frondosas mediterráneas.

CONCLUSIONES

El AS1 presenta un ciclo intra-anual dentro del ciclo anual en los tres tipos de vegetación analizados. Este hecho confirma que la información proporcionada por este índice complementaría la obtenida a partir de los índices tradicionales NDVI y NDWI. Utilizar índices que dependan de la región

SWIR del espectro (NDWI y AS1) permite discriminar entre frondosas atlánticas y mediterráneas debido a la mayor sensibilidad de estos índices a la humedad. Finalmente el índice AS1 permite la distinción entre suelo desnudo y vegetación muerta, algo que los índices tradicionales no son capaces de realizar.

BIBLIOGRAFÍA

Box, G., Jenkins, G., Reinsel, G. 1994. Time Series Analysis: Forecasting and Control, 3rd ed., Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey

Ceccato, P., Flasse, S., Tarantola, S., Jacquemoud, S., Greégoire, J. 2001. Detecting vegetation leaf water content using reflectance in the optical domain. *Remote Sensing of Environment*, 77, 22-33

Gao, B.C. 1996. NDWI a normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water form space. *Remote Sensing of Environment*, 58, 257 – 266

Khanna, S., Palacios-Orueta, A., Whiting, M.L., Ustin, S.L., Riano, D., Litago, J. 2007. Development of angle indexes for soil moisture estimation, dry matter detection and land-cover discrimination. *Remote Sensing of Environment*, 109, 154-165.

Palacios-Orueta, A., Whiting, M.L., Ustin, S.L., Litago, J., Garcia, M., Khanna, S. 2008. Cotton phenology analysis with the new remote sensing Spectral angle indexes AS1 and AS2. AgEng 2008: *International Conference on Agricultural Engineering & Industry Exhibition*

Palacios-Orueta, A., Khanna, S., Litago, J., Whiting, M. L., Ustin, S. L. 2005. Assessment of NDVI and NDWI spectral indices using MODIS time series analysis and development of a new spectral index based on MODIS shortwave infrared bands. *International Conference on Remote sensing and Geoinformation processing in the Assessment and Monitoring of Land degradation and Desertification*, Trier, Germany.