

## DISEÑO DE UN ÍNDICE ESPECTRAL OPTIMIZADO PARA LA ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO EN AGUA DE LA VEGETACIÓN CON DATOS MODIS

F. Camacho (\*), A. Eberle (\*), S. Lanjeri (\*), B. Martínez (\*\*), y E. Lopez-Baeza (\*\*).

(\*). *EOLAB. Vivero Empresarial. Parc Científic Universitat de Valencia. Pol. La Coma s/n.  
46980 Paterna, Valencia, Spain.*

(\*\*). *Departament de Física de la Terra i Termodinàmica, Facultat de Física, Universitat de València.  
Dr. Moliner, 50, 46100 Burjassot, Valencia, Spain.*

### RESUMEN

En este trabajo presentamos un índice optimizado para la estimación del Contenido en Agua de la Vegetación (Vegetation Water Content, VWC) a partir de datos de MODIS (MODIS Optimized Water Index MOWI) desarrollado en el marco del proyecto MIDAS-5, centrado en el desarrollo de algoritmos y la validación de productos de la misión SMOS de la Agencia Espacial Europea (ESA), que proporcionará mapas globales y frecuentes de humedad del suelo y salinidad oceánica.

El índice optimizado (MOWI) se ha definido para maximizar la sensibilidad del índice al EWT (leaf *Equivalent Water Thickness*), que posteriormente será utilizado para estimar el contenido de agua de la vegetación (VWC), como el producto de EWT por el índice foliar LAI, con el que se corregirán las estimaciones de SMOS. El MOWI se ha definido a partir de una base de datos sintética producida con el modelo PROSPECT para simular la respuesta de la hoja + SAILH para simular la respuesta de la cubierta. Los valores del índice teórico oscilan entre 0 y 1, mostrando valores aplicados a datos reales típicamente entre -0.2 y 0.8. Se ha demostrado la mayor sensibilidad del MOWI respecto al NDWI; el valor del SNR (Signal-to-Noise) obtenido para el MOWI es de 21.57 frente al 16.93 SNR obtenido para el NDWI.

El MOWI se ha aplicado a datos MODIS 500m para el año 2008, mostrando un buen comportamiento tanto espacial como temporal, si bien es necesario validar el índice con medidas de campo para demostrar su valor añadido frente a otros índices tradicionales (NDWI).

### ABSTRACT

In this work we present an optimized index for the Vegetation Water Content (VWC) retrieval with MODIS data (MODIS Optimized Water Index MOWI) developed within the framework of MIDAS-5 project, dedicated to the algorithm development and the product validation of the European Space Agency (ESA) SMOS mission, which will provide global and frequent maps of soil humidity and oceanic salinity.

The optimized index (MOWI) has been defined to maximize the sensitivity of the index to the EWT (leaf *Equivalent Water Thickness*), and will be used for Vegetation Water Content VWC estimation, which is the product of EWT and Leaf Area Index LAI, and for the SMOS estimations correction. The MOWI has been defined from a synthetic database produced with PROSPECT model to simulate the spectral leaf response + SAILH to simulate the spectral cover response. The index values range from 0 to 1, showing typical values between -0.2 and 0.8 when applied to real data. The greater sensitivity of the MOWI compared to the NDWI has been demonstrated; the value of SNR (Signal-to-Noise) obtained for the MOWI is 21.57 against 16.93 SNR obtained for the NDWI.

The MOWI has been applied to MODIS 500m data for 2008, showing good spatial and temporal behavior, although the validation of the index with ground measurements is required to demonstrate its added value front of other traditional indices (NDWI).

**Palabras clave:** MOWI, contenido en agua de la vegetación, MODIS, SMOS.

### INTRODUCCIÓN

Diferentes estudios han demostrado que para la estimación del contenido de agua de la vegetación desde satélite los índices de vegetación basados en el NIR y en el SWIR, como el NDWI (*Normalized Difference Water Index*) son más adecuados que los índices tradicionales como el NDVI. Estudios teóricos (Ceccato *et al.* 2002)

muestran que más del 50% de los cambios que se producen en la reflectividad de una hoja en la región SWIR se deben a la absorción causada por contenido de agua (EWT- leaf *Equivalent Water Thickness*).

La metodología que se propone para estimar EWT está basada en el trabajo de Ceccato *et al.* (2002) para definir un índice optimizado global GVMI (Global Vegetation Moisture Index) para

estimar EWT con datos SPOT/VEGETATION. Ceccato *et al.* (2002) proponen un índice basado en simulaciones con el modelo de transferencia radiativa acoplado PROSPECT+NADIM.

En este trabajo se obtendrá un índice optimizado basado en simulaciones adecuadas a las condiciones de observación del sensor MODIS (canales espectrales, geometría de observación e iluminación) en la Península Ibérica, y se demostrará la mayor sensibilidad (STN) del índice definido al contenido de humedad.

## DISEÑO DEL INDICE

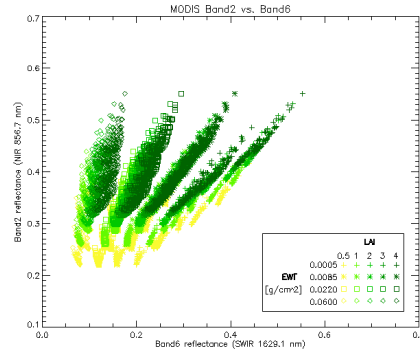
### Creación de la base de datos sintética

El primer paso es la creación de una base de datos sintética a partir del modelo acoplado PROSPECT para la hoja y SAILH para la cubierta vegetal. PROSPECT (Jacquemoud and Baret 1990) proporciona valores de reflectividad y transmisividad de la hoja en un rango de longitud de onda desde 400 nm hasta 2500 nm. Los parámetros considerados en el modelo son el EWT (Equivalent Water Thickness), DMC (Dry Matter Content), N (Internal structure), Cab (Chlorophyll a+b content). El SAILH (Verhoef 1984) es un modelo 1D, que define la cubierta como un conjunto de capas homogéneas semi-infinitas, por lo que se adapta mejor a cubiertas continuas. Los parámetros de SAILH son la geometría, LAI (Leaf Area Index), MLIA (Mean Leaf Inclination Angle), L/C (Leaf size/crop height) y el albedo del suelo.

Se han generado 6000 espectros sintéticos, a partir de simulaciones donde el rango de valores de los parámetros de entrada se ha fijado de acuerdo a la geometría de los datos de satélite, valores típicos de variabilidad de la hoja y espectros de suelo en la Península Ibérica (Eberle 2008). Los valores utilizados en la simulación han sido los siguientes: PROSPECT:  $C_w$  (g cm<sup>-2</sup>) (Equivalent Water Thickness) = [0.0005, 0.0085, 0.0220, 0.0600];  $C_m$  (g cm<sup>-2</sup>) (Dry Matter Content) = [0.002, 0.009, 0.016]; N (Internal Structure) = 1.5,  $C_{a+b}$  (µg cm<sup>-2</sup>) (Chlorophyll a+b content) = 33.0. SAILH: Sun Zenith Angle (°) = [25-60], View Zenith Angle (°) = [0-50], Relative Azimuth Angle=[-120- 50], LAI = [0.5-4], Mean Leaf Inclination Angle = 45°, Leaf Size/crop height = 0.25 cm, Soil albedo =[bright, dark].

Se ha realizado un análisis de sensibilidad al EWT mostrando que las bandas óptimas de MODIS para maximizar la sensibilidad al contenido en humedad son las bandas 2 (841-876 nm) y 6 (1628-1652 nm) (Eberle 2008).

Los espectros sintéticos son filtrados en las bandas 2 y 6 de MODIS. La figura 1 muestra los datos sintéticos en el espacio bidimensional NIR/SWIR, donde cada nube de puntos representa un nivel constante de EWT y las gradaciones de color en cada nube corresponde a los diferentes niveles de LAI.



**Figura 1.-** Simulación de los espectros de vegetación en el espacio bidimensional NIR/SWIR de MODIS.

Definición del índice para optimizar la estimación de contenido de agua

Para definir un índice optimizado que maximice la sensibilidad al EWT minimizando la sensibilidad a los otros parámetros, utilizaremos la función polinómica utilizada para estimar el MERIS Global Vegetation Index (Govaerts *et al.* 1999) para maximizar la sensibilidad al FAPAR (fracción de radiación absorbida). La función propuesta (Eq.1) presenta 12 coeficientes por lo que es muy flexible y parece ser la indicada para ajustarse a un gran número de datos sintéticos.

$$Opt. index = g(\rho_a, \rho_b) = \frac{k_1 \rho_a^2 + k_2 \rho_b^2 + k_3 \rho_a \rho_b + k_4 \rho_a + k_5 \rho_b + k_6}{l_1 \rho_a^2 + l_2 \rho_b^2 + l_3 \rho_a \rho_b + l_4 \rho_a + l_5 \rho_b + l_6} \quad Eq (1)$$

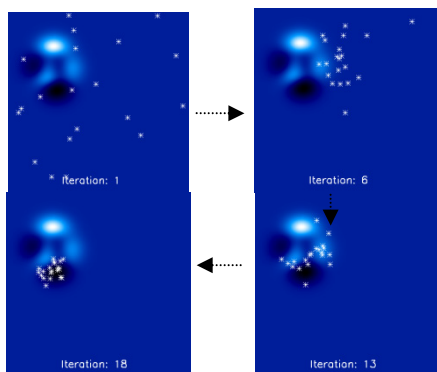
donde  $\rho_a$  y  $\rho_b$  son las bandas NIR (infrarrojo) y SWIR (infrarrojo próximo).

Para estimar los coeficientes se minimiza la función de merito:

$$\sigma_g = \sum_f [g(\rho_a, \rho_b) - EWT]^2 \rightarrow 0 \quad Eq (2)$$

La minimización se ha realizado mediante el algoritmo PSO (*Particle Swarm Optimization*). PSO es una optimización estocástica basada en una técnica de población (Eberhart and Kennedy 1995), inspirada en un comportamiento social de congregación de individuos. Es un método de optimización para funciones continuas no lineales.

La figura 5 muestra cómo funciona el algoritmo de optimización PSO. Se observa un problema de minimización de la función bidimensional; en este caso los valores de esa función se identifican por la densidad del color. El conjunto negro corresponde a los valores mínimos, mientras el blanco presenta los valores máximos de la función. Se puede observar que después de una inicialización aleatoria en el espacio de la función (iteración 1), las partículas se mueven a través de ese espacio y detectan la región de los valores mínimos.



**Figura 2.-** Ejemplo de cómo funciona el algoritmo PSO en un espacio bidimensional, para detectar el valor mínimo absoluto.

Posteriormente, se ha determinado la ecuación que relaciona el índice optimizado y los valores sintéticos de EWT, de tal forma que podamos invertir el índice para obtener el valor correspondiente de EWT. Esta relación obtenida con datos teóricos se validará posteriormente con las medidas in-situ.

## RESULTADOS

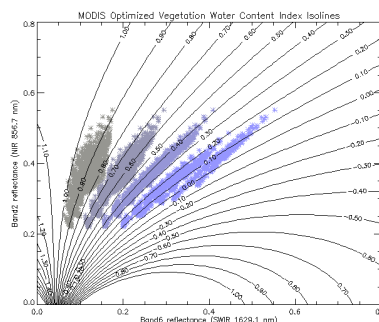
### Índice Optimizado

Los 12 coeficientes obtenidos en la minimización y que definen el índice optimizado MOWI (eq.1) son:

$$k_i = [-6.20, 59.46, 10.34, -46.71, 18.21, 3.08];$$

$$l_i = [98.53, 54.55, -44.99, -6.69, 19.54, 1.14] \text{ con } i=1-6$$

La figura 3 muestra las isolíneas del MOWI en el espacio NIR/SWIR. Se puede observar que los *cluster* representando diferentes valores de contenido de agua están bien separados y definidos. La dispersión de los puntos alrededor de las curvas se reduce a medida que disminuye el valor de la EWT.



**Figura 3.-** Isolíneas del índice optimizado de contenido de agua de la vegetación para MODIS.

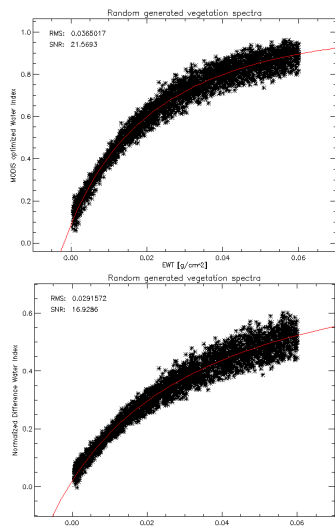
### Análisis de sensibilidad del índice optimizado

Se ha llevado a cabo un análisis de sensibilidad del índice optimizado frente al índice tradicional NDWI para demostrar la mejora introducida con el método propuesto. Se ha evaluado el rendimiento del índice propuesto mediante el RMS error y el STN (Signal To Noise) con los datos sintéticos a los que se les incorpora niveles de ruido aleatorio. Los resultados se han comparado con el tradicional NDWI para demostrar la mejora introducida con el nuevo índice optimizado. Se observa que el MOWI presenta un mayor SNR (Signal-to-Noise), 21.57, frente al 16.93 SNR obtenido para el NDWI. El rango de variación del MOWI es típicamente entre 0 y 1, mientras que el NDWI varía entre 0 y 0.6. Este puede ser el principal beneficio de tener un índice optimizado para las condiciones particulares de un sensor dado.

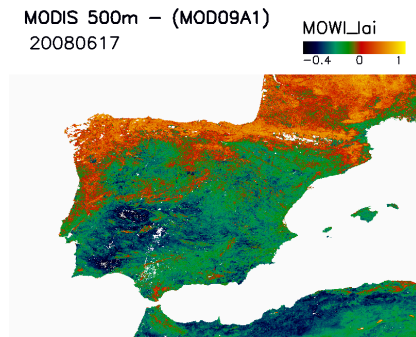
### Aplicación a datos de satélite

El índice se aplica al producto MOD09A1 (figura 5) sobre la Península Ibérica, que son imágenes de reflectividad corregidas atmosféricamente y con una etiqueta de calidad (quality flag) que nos informa sobre la calidad de los datos y nos sirve para filtrar píxeles con riesgo de nubes.

La estimación de la EWT a partir del MOWI se puede hacer a partir del ajuste de la función a los datos simulados (línea roja figura 4). (eq 2), con la que podemos estimar el EWT a partir del MOWI. Si bien estos valores hacen referencia a datos simulados, siendo necesaria validar la relación con datos de campo. Para tener estimaciones fiables a partir del MOWI se requiere un conjunto de datos verdad terreno fiables que nos permita determinar la relación MOWI – EWT



**Figura 4.-** MOWI (arriba), NDWI (abajo) calculado a partir de datos espectrales generados aleatoriamente versus EWT.



**Figura 5.-** Mapa del índice MOWI a partir de MODIS (MOD09A1) del 17 de junio de 2008.

## CONCLUSIONES

En este trabajo se ha ensayado una metodología para definir un índice optimizado (MOWI) para estimar el contenido de humedad de la vegetación a partir de las bandas 2 y 6 de MODIS. El índice se ha definido a partir de un conjunto de simulaciones obtenidas a partir de PROSPECT+SAILH optimizada para la configuración de MODIS en la Península Ibérica. El índice viene definido por una función polinómica de 12 coeficientes que se puede ajustar a los datos simulados. El método de minimización propuesto,

PSO, ha resultado ser computacionalmente efectivo. El MOWI ha resultado tener mayor sensibilidad que índices tradicionales (NDWI) a las variaciones del contenido de humedad, por lo que esperamos poder mejorar con este índice la precisión en la estimación del contenido de humedad desde satélite.

## BIBLIOGRAFÍA

Ceccato, P., Gobron, N., Flasse, S., Pinty, B., and Tarantola, S. 2002. Designing a spectral index to estimate vegetation water content from remote sensing data: Part 1. Theoretical approach. *Remote Sensing of Environment*, 82, 188–197.

Eberhart, R. C. and Kennedy, J. 1995. A new optimizer using particle swarm theory. *Proceedings of the Sixth International Symposium on Micromachine and Human Science*, Nagoya, Japan. pp. 39-43.

Eberle, A. 2008. *Design of an Optimized Spectral Index to estimate Vegetation Water Content for the Iberian Peninsula using MODIS data*. End course project, 103 pp. Università Degli Studi di Trento.

Govaerts, Y. M., Verstraete, M. M., Pinty, B., & Gobron, N. 1999. Designing optimal spectral indices: a feasibility and proof of concept study. *International Journal of Remote Sensing*, 20(9), 1853–1873.

Jacquemoud, S., and Baret, F. 1990. Prospect: a model of leaf optical properties spectra. *Remote Sensing of Environment*, 34, 75–91.

Verhoef, W. 1984. Light scattering by leaf layers with application to canopy reflectance modelling: the SAIL model. *Remote Sensing of Environment*, 16, 125–141.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el ministerio de ciencia y tecnología; proyecto MIDAS-5 (ESP2007-65667-C04-03).