

## UN NUEVO ÍNDICE DE VEGETACIÓN

M.A. Gilabert, J. González-Piqueras, J. Meliá & M.T. Younis

Departament de Termodinàmica, Facultat de Física, Universitat de València  
46100-Burjassot, València

**RESUMEN:** Un nuevo índice de vegetación, denominado GESAVI (*Generalized Soil Adjusted Vegetation Index*), se define en base a un modelo sencillo de reflectividad de cubiertas vegetales. Se presenta un estudio comparado de la calidad del nuevo índice frente a otros índices, algunos más tradicionales y otros surgidos recientemente, que pone de manifiesto la utilidad del mismo para corregir la señal radiométrica de las perturbaciones debidas al brillo del suelo.

### INTRODUCCIÓN

De forma genérica se podría definir un índice de vegetación (IV) como un parámetro calculado a partir de los valores de la reflectividad a distintas longitudes de onda y que pretende extraer de los mismos la información relacionada con la vegetación minimizando la influencia de perturbaciones debidas al suelo y a las condiciones atmosféricas. La mayoría de los IVs definidos hasta el momento tienen en común el uso de la reflectividad en las zonas espectrales del rojo ( $r$ ), donde presenta un mínimo relativo correspondiente a la banda de absorción de la clorofila, y del infrarrojo cercano ( $irc$ ), donde presenta un máximo absoluto que es consecuencia de las dispersiones múltiples de la radiación por el interior de la estructura celular y, por lo tanto, es función del LAI (*leaf area index* o índice de superficie foliar) y la densidad de vegetación verde.

El índice de vegetación *ideal* ha sido descrito por Jackson et al. (1983) como "aquél particularmente sensible a la cubierta vegetal, insensible al brillo y color del suelo y poco afectado por la perturbación atmosférica, los factores medioambientales y las geometrías de la iluminación y de la observación". Evidentemente, el IV ideal no existe y los que se encuentran en la bibliografía son diversas aproximaciones al mismo (véanse por ejemplo las referencias que se aportan en Gilabert et al. 1997).

En este trabajo se va a proponer una expresión para calcular el índice de vegetación, es decir, otra aproximación al mismo. La finalidad de este índice será la de normalizar la señal radiométrica de la

perturbación introducida por las propiedades ópticas del suelo; no se analizará su posible capacidad para corregir la señal de los efectos atmosféricos o de iluminación. Por tal motivo, se realizará un estudio comparando el nuevo índice con otros desarrollados a tal efecto (los más usuales) que se enumeran en la tabla 1.

### FUNDAMENTOS TEÓRICOS

En el plano de reflectividades  $irc-r$ , los puntos que representan a superficies desnudas se distribuyen, con mayor o menor dispersión en función de la variación experimentada por los parámetros que determinan la reflectividad de los suelos que se representan (color, brillo, humedad, rugosidad...), a lo largo de una línea recta. Esta línea recta se denomina *línea del suelo*:

$$irc_{suelo} = A + B \cdot r \quad [1]$$

donde  $A$  y  $B$  son, respectivamente la ordenada en el origen y la pendiente de la misma. Evidentemente, cuanto menos varíen los parámetros que influyen en la reflectividad del suelo, menor será la dispersión de los puntos que configuran la línea del suelo y con mayor precisión se podrá determinar la ecuación de la misma.

A medida que crece vegetación sobre un tipo de suelo determinado disminuye la reflectividad en el rojo y aumenta en el infrarrojo cercano, por lo que el punto representativo de una cubierta vegetal va separándose de la línea del suelo en sentido ascendente y hacia la izquierda. Cuando esto tiene lugar sobre cualquier tipo de suelo, aparece en el plano de  $irc-r$  el denominado *triángulo de reflectividades*, característico de la presencia de vegetación. La distancia de cada uno de estos puntos a la línea del suelo será, por tanto, proporcional a la cantidad de vegetación. En este contexto, el diseño de índices consistiría en definir una métrica con la que medir la distancia de los puntos representativos de cubiertas vegetales a la línea del suelo.

Tabla 1  
Indices de vegetación estudiados en el presente trabajo  
(Veáanse las referencias en Gilabert et al., 1997)

Índice de vegetación	Definición	Autor y año
Ratio Vegetation Index	$RVI = \frac{irc}{r}$	Pearson & Miller (1972)
Normalized Difference Veget. Index	$NDVI = \frac{irc-r}{irc+r}$	Rouse et al. (1974)
Perpendicular Vegetation Index*	$PVI = \frac{irc-B \cdot r-A}{\sqrt{B^2+1}}$	Richardson & Wiegand (1977)
Soil Adjusted Vegetation Index	$SAVI = \frac{(irc-r)}{(irc+r+l)}(1+l)$	Huete (1988)
Transformed SAVI*	$TSAVI = \frac{B \cdot (irc-B \cdot r-A)}{r+B \cdot irc-A \cdot B+X(1+B^2)}$	Baret & Guyot (1991)
Modified SAVI	$MSAVI = \frac{2 \cdot irc+1-\sqrt{(2 \cdot irc+1)^2-8(irc-r)}}{2}$	Qi et al. (1994)
Optimized SAVI	$OSAVI = \frac{irc-r}{irc+r+Y}$	Rondeaux et al. (1996)

(\*) Las constantes  $A$  y  $B$  son, respectivamente, la ordenada en el origen y la pendiente de la línea de suelo  $irc_{suelo} = A + B \cdot r$ .

La figura 1 muestra el triángulo de reflectividades correspondiente a los datos experimentales utilizados en este trabajo y que se detallan más adelante. En dicha figura se han representado los puntos con igual cantidad de vegetación (LAI idéntico) con el mismo símbolo, aunque se asienten sobre suelos distintos. Son de destacar las siguientes características: (i) Se puede definir fácilmente la línea de suelo, dado que tenemos tres puntos (círculos negros), pero, obviamente, el carácter de esta línea no es universal sino específico para el conjunto de datos considerado. (ii) A medida que crece la vegetación (LAI en aumento) los puntos se separan de la línea de suelo en el sentido antes mencionado. (iii) A medida que el LAI aumenta, disminuye la dispersión entre puntos de LAI idéntico, de modo que para el valor máximo del LAI (2.4) los puntos prácticamente coinciden, lo cual indica que la influencia de las propiedades ópticas del suelo en la reflectividad del sistema disminuye a medida que aumenta la densidad vegetal, siendo mínima cuando el LAI es máximo. (iv) Si trazáramos líneas que conectaran los puntos con idéntico valor de

LAI (isolíneas de vegetación) se comprobaría que las mismas no son paralelas a la línea del suelo ni tampoco convergen en el origen.

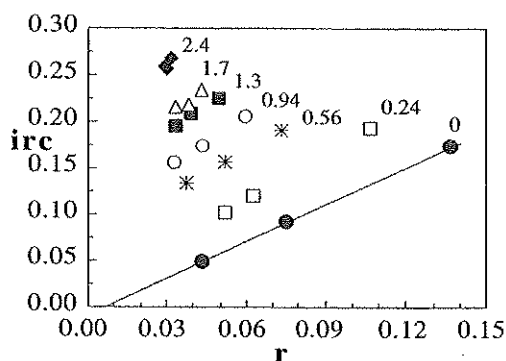


Figura 1. Triángulo de reflectividades de los datos espectrales utilizados en el trabajo. Las tramas representan valores crecientes de LAI, desde 0 (línea de suelo) hasta 2.4.

Un buen índice de vegetación será aquél que dé lugar a una familia de isolíneas (con valor de índice constante) similar a la de isolíneas de vegetación. Por lo que respecta a los índices de vegetación publicados hasta el momento, se puede decir que el *RVI* y el *NDVI* dan lugar a isolíneas de vegetación convergentes en el origen, el *PVI*, por el contrario, da lugar a una familia de rectas paralelas, mientras que el *SAVI* (y el resto de su familia) da lugar también a isolíneas convergentes pero en un punto situado sobre la bisectriz de la región negativa del plano  $irc - r$ . El caso más general, que se suele observar en los datos experimentales, es que las isolíneas de vegetación no converjan todas en el mismo punto o, si lo hacen, que este punto no esté situado sobre la bisectriz del plano de reflectividades.

### Desarrollo de un nuevo índice

Supongamos que la reflectividad de una cubierta vegetal en el rojo ( $r$ ) es una función lineal de un parámetro ( $s$ ) representativo de las características del suelo y de un parámetro ( $v$ ) representativo de la masa vegetal (aumentando según crece  $s$  y disminuyendo según aumenta  $v$ , tal como se observa en el triángulo de reflectividades), mientras que la reflectividad en el infrarrojo cercano ( $irc$ ) incorpora términos no lineales (de interacción) consecuencia, por ejemplo, de la dispersión múltiple:

$$\begin{cases} r = a + bs - cv \\ irc = d + es + fv + gv \end{cases} \quad [2]$$

donde  $a, b, c, d, e, f, g$  son constantes.

La **línea de suelo** corresponde al caso particular en el que  $v = 0$ :

$$\begin{cases} r = a + bs \\ irc = d + es \end{cases} \quad [3]$$

y se obtiene despejando  $s$  de las dos expresiones e igualando

$$irc_{suelo} = A + Br \quad \begin{cases} A \equiv d - \frac{ea}{b} \\ B \equiv \frac{e}{b} \end{cases} \quad [4]$$

Las **isolíneas de vegetación** corresponden al caso en que  $v = cte$ . Definimos las siguientes constantes:

$$\begin{aligned} a' &\equiv a - cv \\ d' &\equiv d + fv \\ e' &\equiv e + gv \end{aligned} \quad [5]$$

con lo cual las ecs. [2] se pueden expresar como

$$\begin{cases} r = a' + bs \\ irc = d' + es \end{cases} \quad [6]$$

Despejando  $s$  de las dos ecuaciones e igualando

$$irc_{veg.} = A' + B'r \quad \begin{cases} A' \equiv d' - \frac{e'a'}{b} \\ B' \equiv \frac{e'}{b} \end{cases} \quad [7]$$

Fijémonos que  $B' \neq B$ , lo que significa que *las isolíneas de vegetación no son paralelas a la línea de suelo* (salvo si  $g = 0$ , que correspondería al caso en que la dispersión múltiple de la radiación en el infrarrojo cercano fuera despreciable).

Fácilmente se demuestra que

$$\begin{aligned} v &= \frac{g}{b} \frac{irc - irc_{suelo}}{r - r_{corte}} \\ v &\propto \frac{irc - irc_{suelo}}{r - r_{corte}} \end{aligned} \quad [8]$$

que es la expresión que nos permite definir el índice de vegetación. En la misma,  $r_{corte}$  hace referencia al **punto de corte** de las isolíneas de vegetación con la línea de suelo

$$\begin{aligned} irc_{veg.} &= irc_{suelo} \\ A' + B'r &= A + Br \\ r_{corte} &= - \frac{A' - A}{B' - B}, \end{aligned} \quad [9]$$

que es negativo. En principio,  $r_{corte} = r_{corte}(v)$ , es decir, *cada isolínea de vegetación cortará a la línea de suelo en un punto ligeramente distinto* al de otra. Si los términos con  $g$  (no lineales) fuesen despreciables,  $r_{corte} \rightarrow \infty$ , y todas las isolíneas serían paralelas.

Las isolíneas de vegetación que predice este índice:

- \* No son paralelas a la línea de suelo (no *PVI*)
- \* No convergen en el origen (no *NDVI*)
- \* Convergen en puntos distintos. Si se hace la aproximación de que convergen todas en un mismo punto, éste no se encontraría necesariamente sobre la bisectriz (no *SAVI*).

¿Cómo calcular el índice de forma operativa?

- (a) Se determina la línea de suelo.
- (b) Se puede suponer que  $r_{corte} = cte$  y así estimar más fácilmente su valor. El nuevo índice, al que denominaremos *GESAVI* (*Generalized Soil Adjusted Vegetation Index*) será

$$\boxed{GESAVI = \frac{irc - Br - A}{r - r_{corte}}} \quad [10]$$

## RESULTADOS

Para proceder a la validación del nuevo índice de vegetación se ha hecho uso de los datos adquiridos en una experiencia de laboratorio en la que se midió la reflectividad de 21 plots compuestos por *Quercus ilex*, con 7 valores de LAI (0-2.4) sobre un sustrato de arcillas rojas al que se añadieron dos cantidades diferentes de carbón (16 g/m<sup>2</sup> y 40 g/m<sup>2</sup>). Véase, por ejemplo, Gilabert et al. (1997).

Las medidas del factor de reflectividad se realizaron con el espectrorradiómetro SIRIS (GER), utilizando como referencia un blanco Spectralon (Labsphere). Asimismo, se aplicaron filtros para reproducir las ventanas espectrales del sensor TM. En concreto, se utilizaron las bandas TM3 (*r*) y TM4 (*irc*).

Los parámetros que se obtuvieron a partir de la experiencia para estimar el nuevo índice fueron:

$$r_{\text{corte}} \cong -0.36$$

$$\text{línea de suelo: } irc = -0.0092 + 1.34 \times r$$

con lo cual,

$$GESAVI = \frac{irc - 1.34r + 0.0092}{r + 0.36} \quad [11]$$

Para valorar la eficacia del nuevo índice de vegetación se ha tenido en cuenta que un IV será tanto más efectivo (i) cuanto menor sea la separación entre los tres puntos correspondientes a los distintos suelos, para un valor de LAI dado y, simultáneamente, (ii) cuanto mayor sea el intervalo de variación total del índice entre los valores extremos del LAI. Una magnitud que se puede utilizar para cuantificar la eficacia de un índice de vegetación es la siguiente (Gilabert et al., 1987):

$$T(LAI) = \frac{\sigma_{lai}}{\bar{\sigma}} \times 100 \quad [12]$$

donde  $\bar{\sigma}$  hace referencia a la desviación entre los valores máximo y mínimo del índice considerado teniendo en cuenta todo su intervalo de variación y  $\sigma_{lai}$  hace referencia a la desviación típica de los valores del índice para un LAI determinado. Cuanto más pequeña sea *T* tanto más eficaz se puede considerar a un índice.

La figura 2 es una representación de la magnitud *T* en función del LAI. Entre otras cosas, se pone de manifiesto la limitación de índices tradicionales en zonas que presentan vegetación dispersa (valores intermedios de LAI). De forma global se puede observar el mejor funcionamiento del índice definido en este trabajo, indicando su mayor poder de normalización de la perturbación introducida en la señal radiométrica por el brillo del suelo.

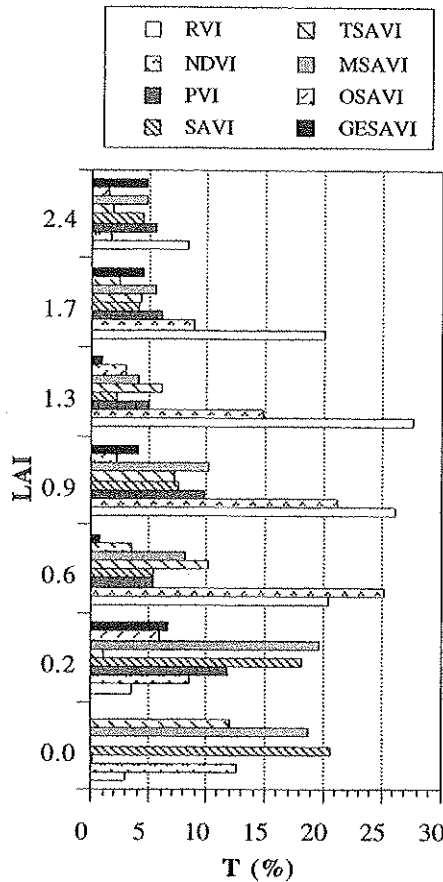


Figura 2. Valores de la magnitud *T* (%) en función del LAI para todos los índices de vegetación analizados.

## REFERENCIAS

GILABERT, M.A., GONZÁLEZ-PIQUERAS, J. & GARCÍA-HARO, J. (1997). Acerca de los índices de vegetación, *Revista de Teledetección* (en prensa).

JACKSON, R.D., SLATER, P.N. & PINTER, P.J. (1983). Discrimination of growth and water stress in wheat by various vegetation indices through clear and turbid atmospheres, *Remote Sensing of Environment*, 13: 187-208.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado, en parte, por el proyecto MEDALUS III (ENV4-CT95-0119).