

## ANÁLISIS DE LA VARIABILIDAD NATURAL COMO FUENTE DE ERROR EN LA VALIDACIÓN DE PARÁMETROS BIOFÍSICOS DETERMINADOS MEDIANTE TÉCNICAS DE TELEDETECCIÓN

G. Fernández (\*), J.F. Moreno(\*) y J.C. García(\*)(\*\*)  
[gloriafg@uv.es](mailto:gloriafg@uv.es)

(\*) *Facultad Físicas. Universidad de Valencia. C/Doctor Moliner 50, 46100 Valencia.*  
(\*\*) *DIELMO. Avda. Burjasot 301, 1ª. 46015 Valencia.*

**RESUMEN:** La obtención de propiedades de vegetación a partir de datos hiperespectrales/multiangulares permite la estimación directa de los parámetros biofísicos más relevantes como son el contenido de agua y el contenido de clorofila a nivel de planta. Temas como la variabilidad natural y el error de muestreo cobran importancia a la hora de la validación con medidas de suelo. El objetivo de este trabajo es distinguir la variabilidad introducida durante el proceso de medida de la variabilidad natural en el contexto de validación con medidas de suelo. Este artículo se centra en el análisis de la variabilidad espacial realizado para medidas LAI y clorofila procedentes de las campañas DAISEX-1999 y DAISEX-2000. Se estudiaron de dos formas diferentes: mediante el análisis exhaustivo de las medidas de campo recogidas in-situ se ha aplicado el cálculo de diferentes parámetros estadísticos, lo que nos permite obtener el porcentaje de variación de cada magnitud respecto al valor medio y, por otro lado, se han analizado los productos de las imágenes aplicando para ello diferentes índices espectrales con el fin de determinar la variabilidad espacial asociada a la información extraída de las imágenes.

**ABSTRACT:** The retrieval of vegetation properties from hyperspectral/multiangular data allows the direct estimation of important parameters such as canopy water content and canopy chlorophyll content. Issues such as natural variability and sampling error come into play and this affects the usability of individual field measurements for comparative analysis with pixel-based retrievals for the same sampling points in a field. The objective of this work is to distinguish variability introduced in the measurement procedure from the natural variability in order to determine the capabilities for the validation of retrievals with ground measurements. This paper focuses on the analysis of the spatial variability for LAI and chlorophyll measurements from DAISEX-1999 and DAISEX-2000 campaigns. Chlorophyll and LAI have been examined in two different ways: For the in-situ ground measurements exhaustive analysis several statistical parameters have been calculated. By the estimation of the statistical distribution for each crop and spatial transect it is possible to obtain the variation percentage of each parameter with respect of the mean value. The second followed way does applying different spectral indices in order to determine the spatial variability associate the statistical distribution analysis of the retrievals from the imaging data by applying different spectral indices in order to determine the spatial variability to the retrievable information.

**Palabras clave:** Validación, variabilidad natural, análisis espacial, parámetros biofísicos.

### INTRODUCCIÓN

Uno de los avances que supone la aplicación de técnicas de teledetección consiste en la posibilidad que nos ofrece de determinar diversos parámetros biofísicos. El proceso de validación de estos parámetros con medidas de suelo lleva asociado una serie de fuentes de error, entre las que se encuentra la variabilidad natural y en la cual enfocaremos nuestro análisis.

En el marco de la adquisición de datos de satélite existen diferentes aspectos a considerar con

el fin de explorar todas las posibles fuentes de error y en qué medida contribuyen a la hora de extraer información de los mismos. La calidad de la corrección atmosférica, la validación geométrica y el análisis del ruido introducido por los sensores son parte importante del proceso. Una vez explorados estos aspectos es necesario determinar la naturaleza y contribución de los errores en las medidas para poder así validar los datos con medidas de suelo. Haremos una distinción entre el error sistemático introducido y el de tipo aleatorio. Dentro de este último es interesante poder estimar en qué proporción contribuye la variabilidad introducida

durante el proceso de medida y cuál es la variabilidad natural propia de los diferentes parámetros de estudio. El objetivo de nuestro trabajo es precisamente determinar dicha variabilidad natural en el contexto de la validación de los parámetros biofísicos con medidas de suelo.

Para realizar el análisis de la variabilidad han sido utilizados los datos obtenidos durante las campañas DAISEX (*Digital Airborne Spectrometer Experiment*). Dichas campañas se caracterizan por la adquisición simultánea de datos utilizando tres espectrómetros de imágenes aerotransportados. Barrax (Albacete) fue escogida como zona de estudio. Contamos por tanto con imágenes de 1998, 1999 y 2000 combinadas con medidas atmosféricas así como un amplio programa de colección de datos in-situ. El principal objetivo de esta campaña fue demostrar la posibilidad de extraer variables geo/biofísicas a partir de los datos obtenidos por los espectrómetros.

De todos los sensores aerotransportados únicamente hemos utilizado las imágenes de HyMap (*Hyperspectral Mapper*) y de ROSIS (*Reflective Optics Imaging Spectrometer*) para este trabajo dado que tanto su resolución espectral como espacial eran las que mejor se ajustaban al objetivo de nuestro análisis.

Podemos encontrar cuatro fuentes de error diferentes durante la adquisición de datos en las campañas DAISEX: el pre-procesado de los datos de vuelo, el modelo teórico empleado, el método utilizado para la extracción de datos hiperespectrales /multiangulares, y finalmente el error existente en los datos de suelo que se utilizan para la validación. Todas ellas han sido tenidas en cuenta a la hora de llevar a cabo nuestro análisis de la variabilidad espacial presente tanto en las medidas de suelo como en las imágenes.

Este trabajo se centra en el estudio de LAI (*Leaf Area Index*) y clorofila obtenidos en las campañas DAISEX de 1999 y 2000 a través del análisis exhaustivo de todas las medidas realizadas para cada transecto recogidas en la base de datos.

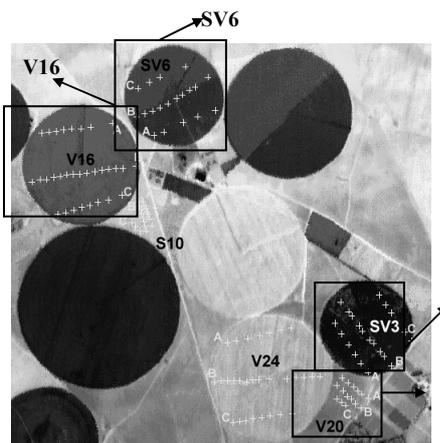
Comenzamos con una estimación de la variabilidad espacial de aquellos datos in-situ procedentes de los mismos cultivos en las mismas condiciones de medida. En el caso de DAISEX-1999 contamos con los siguientes cultivos de estudio: cebada no regada, maíz, remolacha y alfalfa. Los puntos de medida tomados a lo largo de

tres transectos por pivó (figura 1) han sido considerados parte de un único transecto por pivó a la hora de elaborar el análisis (Tabla 1). De este modo contamos con la mayor cantidad de puntos posibles para realizar la estadística.

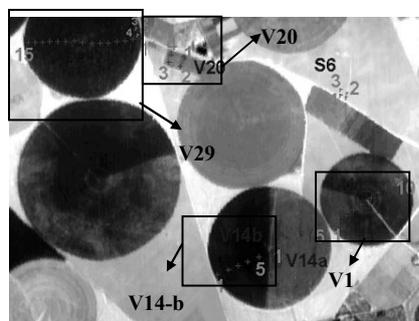
Cultivo	Pívot	Nº de puntos
alfalfa	V16	41
maíz	SV3	27
cebada	V20	7
remolacha	SV6	40

**Tabla 1.-** Relación de puntos de medida por pivó y transecto. DAISEX-1999.

Los cultivos correspondientes al año 2000 son maíz, remolacha y alfalfa (figura 2). En esta ocasión las medidas fueron hechas a lo largo de un único transecto por pivó y la relación de puntos se recoge en la tabla 2.



**Figura 1.-** Puntos de medida correspondientes a la campaña DAISEX-1999



**Figura 2.-** Puntos de medida correspondientes a la campaña DAISEX-2000.

Cultivo	Pivot	Nº de puntos
alfalfa	V29	15
maíz	V14-b	4
maíz	V1	10
remolacha	V20	5

**Tabla 2.-** Relación de puntos de medida por pivot y transecto. DAISEX-2000.

Continuamos realizando un análisis de los datos extraídos de las imágenes aplicando para ellos diferentes índices espectrales. Tanto el método utilizado como los resultados obtenidos en las diferentes etapas del análisis se resumen en este trabajo y se relatan a continuación.

## MÉTODO UTILIZADO Y RESULTADOS.

### Datos in-situ.

En el análisis exhaustivo de las medidas de campo recogidas in-situ se ha aplicado el cálculo de la media ( $F$ ) y de la correspondiente desviación estándar ( $\sigma$ ). Mediante la estimación del valor de  $F \pm \sigma$ , obtenido para cada transecto y cultivo de los mencionados anteriormente, es posible obtener el porcentaje de variación de cada magnitud respecto al valor medio  $F$ . Los resultados para LAI y clorofila se muestran en las tablas 3 y 4 respectivamente.

Cultivo	Campaña	$F \pm \sigma$	%
alfalfa	1999	1.9-2.8	19
maíz	1999	0.2-0.3	17
cebada	1999	3-4	16
remolacha	1999	0.5-1.8	45
maíz (V1)	2000	0.8-1.6	37
maíz (V14-b)	2000	2-2.6	28
alfalfa	2000	3.2-4.4	16
remolacha	2000	1.1-1.7	30

**Tabla 3.-** Resultados obtenidos en el análisis de las medidas de LAI.

Cultivo	Campaña	$F \pm \sigma$ (mg/l)	%
alfalfa	1999	0.3-0.9	24
maíz	1999	0.3-0.5	16
cebada	1999	0.4-0.7	26
remolacha	1999	0.3-0.7	40
maíz (V1)	2000	23-27	8
maíz (V14-b)	2000	23-33	19
Alfalfa	2000	22-28	12
Remolacha	2000	7-11	26

**Tabla 4.-** Resultados obtenidos en el análisis de las medidas de clorofila.

Se observa gran variabilidad para las medidas de LAI y un rango diferente para cada

pivot. Sin embargo, para la clorofila se obtienen valores dentro del mismo rango aunque se aprecien diferencias en el orden de magnitud de las medidas tomadas en los diferentes años.

Detectamos un comportamiento anómalo en las medidas de la clorofila adquiridas en la campaña del año 1999. A partir de los datos del año 2000 ha sido posible obtener nuevos valores que se ajustan a los resultados y que se han utilizado a la hora de aplicar posteriormente los distintos índices espectrales.

### Datos obtenidos de las imágenes.

Mediante la aplicación de diferentes índices espectrales buscamos determinar la variabilidad espacial asociada a los productos obtenidos de las imágenes.

### Clorofila

En el caso de la clorofila han sido aplicados los siguientes índices:

$$(1) \text{ Ratio} = \frac{750}{700}$$

$$TCARI = 3 * \left[ (R_{700} - R_{670}) - 0.2 * (R_{700} - R_{550}) \left( \frac{R_{700}}{R_{670}} \right) \right] \quad \text{Kim et al.1994}$$

$$OSAVI = (1 + 0.16) \frac{R_{800} - R_{670}}{R_{700} + R_{670} + 0.16} \quad \text{Rondeaux et al.1996}$$

$$(2) \text{ Ratio} = \frac{TCARI}{OSAVI} \quad \text{Miller et al.2002}$$

$$(3) \begin{cases} y = -30.194 \ln(x) - 18.363 \\ x = \frac{TCARI}{OSAVI} \end{cases} \quad \text{Miller et al.2002}$$

Como resultado de aplicar estos índices a las imágenes adquiridas con el sensor HyMap vemos que la tendencia de los puntos nos facilita una clasificación por cultivos en el caso de 1999 y el índice que mejor funciona es (1) (Ver figura 3 color). En el caso de las dos imágenes correspondientes al año 2000 (Ver figura 4 color), la clasificación de cultivos se obtiene para este último índice mientras que (2) y (3) discriminan los puntos con comportamiento anómalo. Solamente se obtienen datos de dos cultivos en el caso de ROSIS (Ver figura 5) debido a las características del sensor. En este caso se extrae la misma información de aplicar los tres índices.

## LAI

Con el fin de analizar la variabilidad espacial del LAI hemos aplicado a las imágenes el índice (1). Los resultados para HyMap en el caso de 1999 han sido obtenidos por cultivos (Ver figura 6 color) con el fin de identificar los puntos con valores de LAI cuyo comportamiento es anómalo y también para verificar los valores altos correspondientes a la cebada no regada. En la tabla 5 se ilustran los valores obtenidos para cada cultivo.

Cultivo	LAI
alfalfa	1.5-3.3
maíz	0.1-0.5
cebada	2.5-4.3
remolacha	0.5-2.0

**Tabla 5.-** Resultados obtenidos en 1999 para LAI por cultivos.

Para el año 2000 (Ver figura 7 color) observamos un comportamiento lineal en el caso de ambos sensores. El rango de variabilidad por cultivos se muestra en la tabla 6. Otras combinaciones de estos índices han sido aplicadas a las medidas de LAI adquiridas por HyMap (Ver figura 8 color) aunque los resultados no nos aportan nueva información.

Cultivo	HyMap	ROSIS
alfalfa	3.0-4.5	3.0-4.5
maíz	0.6-2.5	0.6-2.5
remolacha	0.6-1.8	-

**Tabla 6.-** Resultados obtenidos en el año 2000 para LAI por cultivos.

## CONCLUSIONES

En las medidas in-situ se observa variabilidad en el rango de valores obtenidos para el LAI de cada cultivo que se puede justificar fácilmente debido al estado natural diferente de los cultivos en cada pivó. Este es también el caso de los diferentes ordenes magnitud observados para las medidas de contenido de clorofila realizadas en las dos campañas ya que es imposible conseguir las mismas condiciones naturales en dos años distintos a pesar de tratarse de la misma zona de estudio.

Los resultados obtenidos de aplicar índices espectrales a las distintas imágenes nos facilitan una clasificación por cultivos, en el caso de la clorofila, que a su vez nos permite detectar y eliminar aquellos puntos en los que habíamos observado un comportamiento anómalo. En el caso del LAI se observa un rango de variabilidad mayor que en el

caso de los datos obtenidos in-situ tanto para 1999 como para el 2000, aunque se encuentran dentro del mismo orden de magnitud. Podemos concluir que los mejores resultados se obtienen para el índice 750/700 tanto para LAI como clorofila.

De la comparación de ambos sensores (HyMap y ROSIS) en el caso del año 2000 obtenemos exactamente los mismos valores como se pudo ver en la Tabla 6.

La validación de LAI utilizando medidas de suelo es crítica debido a la dificultad que entraña medir este parámetro en el campo y a que se subestiman sistemáticamente. A pesar de ello, obtenemos un comportamiento lineal del LAI para el año 2000.

Los valores altos de variabilidad obtenidos tanto para las medidas in-situ como en el caso de aplicar índices espectrales implican una mayor incertidumbre a la hora de realizar la validación con medidas de suelo.

## BIBLIOGRAFIA

**Haboudane, D., Miller, J.R., Tremblay, N., Zarco-Tejada, P. & Dextrace, L.** 2002. *Integrated narrow-band vegetation indices for prediction of crop chlorophyll content for application to precision agriculture.* Remote Sensing of Environment, 81, 416-426.

**Kim, M.S., Daughtry, C.S.T., Chapelle, E.W. & Walthall, C.L.** The use of high spectral resolution bands for estimating absorbed photosynthetically active radiation. *Proceedings of the 6th Symposium on Physical Measurements and Signatures in Remote Sensing. January 17-21, 1994. Val D'Isere, France.* (pp. 299-306)

**Rondeaux, G., Steven, M. & Baret, F.** 1996. Optimization of soil-adjusted vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, 55, 95-107.