

## Estimación de parámetros biofísicos de la cubierta vegetal a alta resolución a partir de medidas *in-situ* obtenidas en SPARC'03

B. Martínez, F. Camacho-de Coca y F.J. García-Haro

<sup>(1)</sup> Dep. Termodinámica. Universitat de Valencia. Valencia. C/ Dr. Moliner, 50, 46100 Burjassot, Valencia. Beatriz.Martinez@uv.es

### Resumen

La validación de los algoritmos y productos de satélite necesita de estimaciones precisas de las variables de interés. La disponibilidad de medidas *in-situ* adquiridas en campañas de campo proporciona la información verdad-terreno necesaria para ello. Medidas que se deben extender espacialmente para disponer de un mapa de alta resolución que permita realizar la validación a diferentes resoluciones espaciales.

El objetivo de este trabajo consiste en derivar mapas de parámetros biofísicos de la cubierta vegetal (FVC, LAI y FAPAR) a alta resolución espacial a partir de la caracterización *in-situ* de dichos parámetros que se realizó en el área de estudio de Barrax durante la campaña SPARC. Por otra parte, se evalúa el error asociado al mapa de LAI debido al muestreo *in-situ*, dado que el mapa de LAI se estima a partir de dos conjuntos de datos obtenidos con dos muestreos e instrumentos diferentes (LI-COR LAI2000 y cámara hemisférica (DHP)). Por último, y dado que este mapa servirá para validar productos de vegetación obtenidos a baja resolución, se evalúa la influencia de la degradación espacial.

Los resultados muestran que la función utilizada para derivar los mapas es adecuada con errores cuadráticos medios y de validación cruzada menores del 0.7. Los errores asociados al instrumento y al muestreo *in-situ* se traducen en un RRMSE de 5%, con diferencias (*bias*) inferiores a 0.3 en el caso del LAI. La degradación espacial presenta una clara tendencia a disminuir el valor medio y la desviación estándar cuando disminuye la resolución espacial, tal y como cabe esperar en una zona heterogénea.

### 1. Introducción

La estimación de variables biofísicas de la cubierta vegetal como son la cobertura vegetal (FVC), el índice de superficie foliar (LAI) y la fracción absorbida de radiación fotosintéticamente activa (FAPAR) es un objetivo prioritario en los programas de observación de la Tierra, dada la

importancia que la cubierta vegetal juega en el ciclo del carbono, el ciclo del agua, procesos de desertificación, agricultura de precisión, predicción numérica, etc.

Lógicamente, la amplia comunidad de usuarios requiere productos precisos y consistentes entre ellos que permitan dotar de fiabilidad a los estudios en los que éstos se utilicen. Es por ello que los científicos encargados de diseñar los algoritmos deben también evaluar la calidad de los mismos (i.e., dotarles de un margen de error). Esta evaluación o validación de los productos se realiza principalmente mediante dos técnicas [1]: (i) Validación directa mediante la comparación con medidas *in-situ*, y (ii) Validación indirecta mediante la intercomparación de productos similares.

En este contexto, nuestro principal interés ha sido el producir mapas precisos a partir de medidas *in-situ* para ejercicios de validación directa [2]. Sin embargo, este no es un problema trivial debido a la naturaleza de las medidas *in-situ* que no son directamente comparables con las escalas de satélite. Por ello, se ha definido una metodología adecuada en consonancia con proyectos internacionales dedicados a validación como son VALERI o BIGFOOT. La metodología consiste en tres pasos [3]: (i) Caracterización *in-situ* de la zona de estudio, (ii) Extensión espacial de las medidas *in-situ* a alta resolución (*up-scaling*), (iii) Reescalado a la resolución espacial de los productos de satélite.

En este trabajo se presentan los resultados obtenidos a partir de medidas adquiridas durante la campaña de campo, SPARC (Spectra Barrax Campaign), realizada en el área de estudio de Barrax (Albacete). Una vez adquiridas y analizadas las medidas *in-situ* [4], el principal objetivo es determinar la función de transferencia (FT) que relaciona dichas medidas con los valores radiométricos de una imagen de alta resolución, así como dotar al mapa resultante de una incertidumbre asociada, debido al algoritmo empleado y al muestreo utilizado. Finalmente, reescalamos los mapas a diferentes resoluciones para su posterior uso en validación de sensores de baja resolución [3].

## 2. Metodología

La adquisición de medidas *in-situ* en el área de estudio de Barrax tuvo lugar durante la campaña SPARC los días 12-14 de Julio del 2003. La campaña SPARC agrupa diferentes iniciativas, con el objetivo común de validar sensores (e.g., CHRIS/PROBA), algoritmos (e.g., corrección atmosférica, variables geobiofísicas) y productos derivados (e.g., MERIS/ENVISAT, SEVIRI/MSG). La zona de estudio de Barrax (5x5 km<sup>2</sup>) es un área agrícola con predominio de cultivos de secano (cebada) y alrededor del 40% de cultivos de regadío (maíz, alfalfa, trigo, remolacha y cebolla).

El muestreo *in-situ* de los parámetros biofísicos de la cubierta vegetal, se realizó utilizando dos métodos: (i) la cámara hemisférica (DHP) que permite calcular a partir de la *gap fraction* FVC, LAI y FAPAR, y (ii) el LI-COR LAI2000 que proporciona directamente el LAI. El muestreo realizado con la DHP fue de 50 ESUs (Elementary Sampling Unit) repartidas en 9 cultivos, mientras que con el LI-COR se midieron 100 ESUs distribuidas en 6 cultivos. El muestreo, el procesamiento de la fotografía hemisférica con el CAN-EYE, así como la comparación de las estimaciones de LAI obtenidas con la DHP y con el LI-COR se describe con detalle en [4]. En resumen, las estimaciones de LAI realizadas a partir de la fotografía hemisférica digital presentan errores inferiores al 25% en la mayoría de los casos, siendo algo mayores cuando la cubierta vegetal es muy densa [3].

Los mapas de alta resolución se han derivado a partir de la FT que relaciona la información *in-situ* con el valor de las radiancias que presenta la imagen del sensor HRVIR2/SPOT4 del 3 de Julio de 2003. En particular, hemos utilizado los canales rojo (R), verde (G), infrarrojo cercano (NIR) e infrarrojo medio (MIR), así como el índice de vegetación NDVI. Finalmente la FT se ha obtenido a partir de una regresión lineal multivariada basada en un método iterativo de mínimos cuadrados en el que se asigna un peso a cada una de las observaciones. El cálculo de la FT para cada parámetro se realiza con cada conjunto de datos.

La función multivariada se deriva a partir de la rutina *robustfit* proporcionada en MATLAB. Dicha rutina asigna un peso a cada variable independiente, el cual se deriva de forma iterativa aplicando una función *bisquare* a los residuos derivados de la iteración anterior. Este algoritmo asigna pesos menores a aquellas ESUs que no se ajustan correctamente al comportamiento general del resto de observaciones, detectando de esta forma posibles errores en los datos.

El cálculo de las FTs se lleva a cabo con los dos conjuntos de datos disponibles. Para cada uno se calculan todas las FT con todas las posibles combinaciones de las bandas espectrales. Se obtiene también para cada función diferentes errores, que serán los que permitirán evaluar cuál es la función que mejor representa la variabilidad del parámetro estimado en la zona de estudio. Estos errores corresponden al error cuadrático medio proporcionado por la regresión clásica (RMSE), al error cuadrático medio proporcionado por la regresión con pesos (RW) y por último, el error de validación cruzada (RC). Tanto el RW como el RC evalúan la FT elegida, pero el RW proporciona el error medio que introduce la FT en estimar el conjunto de datos *in-situ* y el RC evalúa el modelo en la estimación de valores no incluidos en el cálculo de la FT.

Aunque la FT se calcula con las medidas recogidas en el área de estudio (i.e., 5x5 km<sup>2</sup>), dicha función se aplicará también a un área de 50x50 km<sup>2</sup>, con el propósito de derivar un mapa de parámetros biofísicos sobre un área mayor que sea de utilidad para la validación de sensores de baja resolución espacial.

Finalmente, los mapas se degradan agregando píxeles hasta obtener la resolución deseada, de los 20 m del mapa derivado con SPOT a 300 m, 1000 m y 3000 m coincidiendo con las resoluciones de diferentes sensores (e.g., MERIS, MODIS, SEVIRI).

## 3. Resultados y discusión

### 3.1. Estimación de los mapas

La tabla 1 muestra las FTs escogidas para los parámetros LAI, FVC y FAPAR, junto con los coeficientes asignados a cada banda y los errores RW y RC obtenidos.

Tabla 1: FT para los parámetros LAI, FVC y FAPAR.

| Parámetro | Pendiente               | Ordenada | RW   | RC   |
|-----------|-------------------------|----------|------|------|
|           | (G, R, NIR)             |          |      |      |
| LAI-DHP   | (-0.011, -0.014, 0.021) | 1.5      | 0.48 | 0.70 |
| LAI-LICOR | (-0.004, -0.019, 0.016) | 0.7      | 0.54 | 0.61 |
|           | (NDVI)                  |          |      |      |
| FVC       | 1.41                    | 0.030    | 0.17 | 0.16 |
| FAPAR     | 1.46                    | 0.1      | 0.10 | 0.18 |

En el caso del LAI, se observa para ambos conjuntos de datos una relación negativa con las bandas del R y G y una relación positiva con la

banda del NIR, tal y como cabía esperar. Ambos conjuntos de datos muestran coeficientes del mismo orden de magnitud con errores RW y RC menores de 0.7, razonables para el rango de variación mostrado por el LAI (entre 0 y 5). Para la FVC y FAPAR, se encontró que la FT con menor RW y RC era la descrita por el NDVI con errores de 0.20.

La figura 1 muestra los mapas obtenidos aplicando las funciones de la tabla 1.

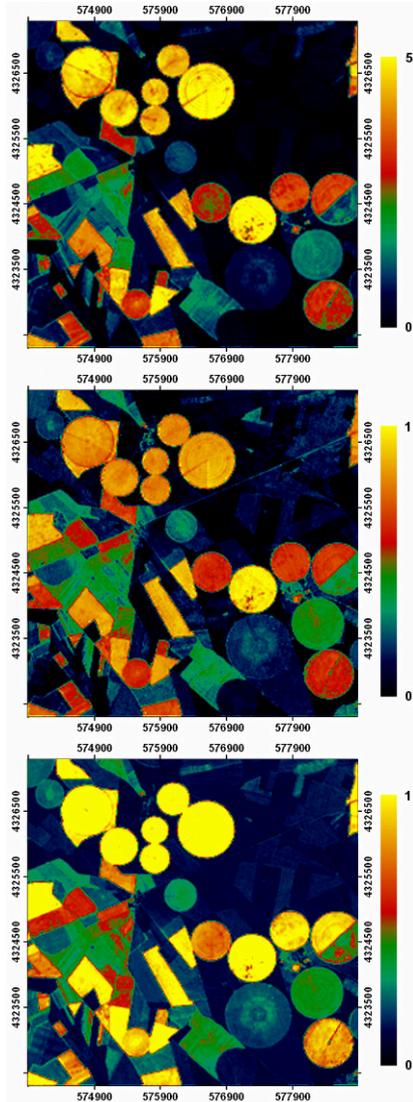


Figura 1: Mapas de alta resolución derivados a partir del conjunto de medidas *in-situ* DHP. LAI (arriba), FVC (centro) y FAPAR (abajo).

### 3.2. Error asociado al conjunto *in-situ* de datos

Dos son las fuentes de error principales asociadas al conjunto de datos utilizado: la primera hace referencia a la incertidumbre asociada a la propia medida (diferente en el caso de LI-COR o de la DHP) y la segunda hace referencia a la incertidumbre que introduce el muestreo elegido. Si bien ambos errores quedan suavizados al calcular una FT pesada por el residuo (i.e., dándole menos peso a aquellas estimaciones que se alejan del comportamiento general), hemos querido cuantificar la incertidumbre asociada al conjunto de datos utilizado (dado que la FT se ha derivado siguiendo exactamente el mismo procedimiento). El RMSE y el *bias* entre los dos mapas de LAI obtenidos a partir del LI-COR y de la DHP se presentan en la figura 2.

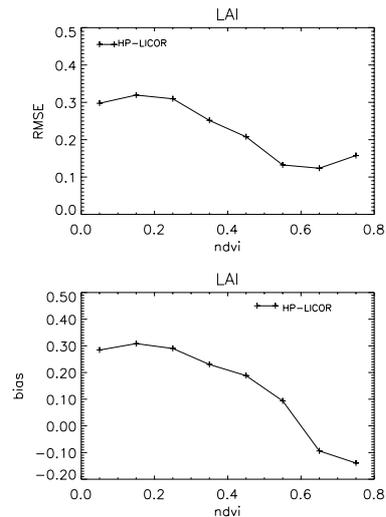


Figura 2: RMSE y bias del mapa de LAI derivado con la DHP y con el LI-COR. Un *bias* positivo indica que el valor de LAI del mapa derivado con DHP sobreestima el valor del mapa derivado con LI-COR.

La figura 2 muestra claramente las diferencias existentes cuando utilizamos diferente conjuntos de datos. El conjunto de datos DHP da lugar a mapas de LAI que sobreestiman los resultados obtenidos con LI-COR entre 0.2 y 0.3 para coberturas bajas (NDVI<0.4). Sin embargo, la tendencia es opuesta para cubiertas densas, subestimando los resultados respecto al LI-COR cuando el NDVI>0.6. El RMSE se encuentra entre 0.3 (cobiertas dispersas) y 0.1 (cobiertas densas), siendo mucho más importante en términos relativos para valores bajos de LAI.

### 3.3. Reescalado de los mapas

Los mapas de alta resolución tienen que ser reescalados a resoluciones más bajas para poder realizar una validación directa (píxel a píxel) con los productos de satélite, [3].

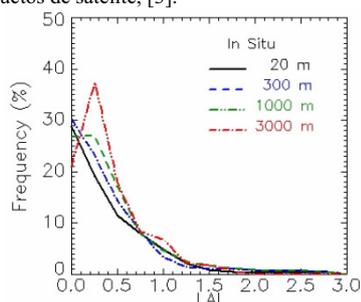


Figura 3: Histogramas de los mapas de LAI (LI-COR) sobre el área de 50x50 km<sup>2</sup> a distintas resoluciones (e.g., 300 m, 1000 m y 3000 m).

La figura 3 muestra variaciones suaves en la distribución de valores con una tendencia a disminuir la media en un 15% y la desviación estándar en un 55% debido a la heterogeneidad de la zona.

## 4. Conclusiones

La validación directa de productos biofísicos derivados desde satélite requiere de información *in-situ* de las variables. Para que la comparación entre productos y medidas *in-situ* sea posible, se utiliza una imagen de alta resolución que permita producir mapas precisos de dichos productos, que utilizaremos en la validación directa a diferentes escalas.

En este trabajo hemos derivado un mapa de LAI a partir de dos muestreos diferentes con los instrumentos LI-COR y DHP, así como un mapa de FVC y FAPAR a partir del muestreo realizado con la DHP. Para ello, hemos utilizado una regresión lineal multivariada entre las medidas de campo y diferentes bandas del sensor HRVIR2/SPOT4. Se han evaluado diferentes indicadores estadísticos (RMSE, RW y RC) para determinar la función con menor error.

Las principales conclusiones son:

- En el caso del LAI, la FT que presenta un RW y RC menor corresponde a la combinación de bandas (G, R, NIR) con un RC menor del 0.7.
- En el caso de la FVC y FAPAR se ha ensayado una función con el NDVI con RW y RC menores de 0.20.

- En relación al muestreo utilizado (LI-COR o DHP) hemos visto que introduce errores en los mapas de RMS entre 0.1 y 0.3, siendo mayor cuando el LAI es más bajo. El mapa realizado a partir del muestreo de la DHP sobreestima los valores de LAI derivados a partir del LI-COR para coberturas dispersas, y subestima el LAI para cubiertas muy densas.
- Los mapas han sido degradados espacialmente agregando píxeles. La distribución de valores varía suavemente, produciéndose una disminución de la media y mayor de la desviación estándar a medida que la resolución espacial disminuye.

Del estudio realizado con los mapas de LAI derivados a partir de los dos conjuntos de datos, se concluye que es posible encontrar con un muestreo reducido (50 ESUs) una función de transferencia adecuada que nos permita con bastante precisión (i.e., RMSE=0.3) realizar un escalado de las medidas *in-situ* a un mapa de alta resolución. El error asociado al conjunto de datos *in-situ* utilizado es del mismo orden de magnitud que el asociado a la función de transferencia.

## Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por los proyectos LSA SAF (EUMETSAT), IDEAS (CYCIT) y TEDECVA (GV2004-B-191).

## 5. Referencias

- [1] Justice, C.O., Belward, A., Morisette, J., Lewis, P., Privette, J., & Baret, F. 2000. Developments in the 'validation' of satellite sensor products for the study of the land surface. *International Journal of Remote Sensing*, 21 (17), 3383-3390.
- [2] Camacho-de Coca, F., B. Martínez y F.J. García-Haro (2005). Validación directa de productos de vegetación de baja resolución en la zona agrícola de Barrax. En esta publicación.
- [3] Martínez, B., García-Haro F.J., Camacho-de Coca, F., and J. Meliá, 2003. Validación de productos de vegetación derivados del sensor SEVIRI/MSG. X Congreso Nacional De Teledetección. ISBN:84-607-8649-2003. pp: 397-400.
- [4] Martínez, B., Camacho-de Coca, F., y García-Haro F.J. 2004. Estimación de parámetros biofísicos de vegetación utilizando el método de la cámara hemisférica. *Revista de Teledetección*. En prensa.