

Análisis de parámetros biofísicos con aplicaciones en el seguimiento de la erosión en Andalucía

Isabel Pino⁽²⁾, Laura Granado⁽²⁾, Juan José Vales⁽²⁾, Elena Méndez⁽²⁾, Raquel Prieto⁽²⁾, Gregoria Montoya⁽²⁾, Irene Rosa Carpintero⁽²⁾, Fernando Camacho⁽³⁾, Manolo Rodríguez⁽¹⁾, Fernando Giménez de Azcarate⁽²⁾, Francisco Cáceres⁽¹⁾ y José Manuel Moreira⁽¹⁾.

⁽¹⁾ Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. Junta de Andalucía. Avda. Manuel Siurot, 50, 41071-Sevilla, España. e-mail: {manuel.rodriguez.surian, francisco.caceres, josem.moreira}@juntadeandalucia.es

⁽²⁾ Agencia de Medio Ambiente y Agua. Junta de Andalucía. Johan G. Gutenberg, 1 (Isla de la Cartuja), 41092-Sevilla, España. e-mails: {ipino, lgranado, jvales, emendez, rprieto, gmontoya, icarpintero, fgimenezdeazcarate}@agenciamedioambienteyagua.es

⁽³⁾ Earth Observation Laboratory (EOLAB). Parc Científic Universitat de Valencia. C/ Catedrático José Beltrán, 2. E-46980-Paterna (Valencia), España. e-mails: fernando.camacho@eolab.es

Resumen: La erosión del suelo es uno de los principales aspectos que afectan directamente al sistema productivo de los países ribereños del Mediterráneo. El método convencional más utilizado para su estimación es el Modelo Empírico de Pérdida de Suelo (USLE) de Wischmeier (Wischmeier W. H. et. al., 1978). La línea operativa actual de trabajo en Andalucía calcula el factor de protección de la vegetación (Factor C) a partir de imágenes MODIS, con el objetivo de integrar las imágenes de satélite en el modelo de pérdida de suelo para las estimaciones del riesgo de erosión del suelo (Moreira J.M. et. al., 1995). En este estudio se propone integrar directamente el producto COPERNICUS FCover en el modelo como sustitución del Factor C, eliminando así varios pasos del flujo de trabajo operativo actual. Los resultados muestran que este parámetro sólo se puede aplicar en un análisis cualitativo que indique la distribución de pérdidas de suelo a escala global. Los análisis comparativos pueden realizarse en ámbitos regionales, nacionales e incluso continentales, pero no a una escala de mayor detalle.

Palabras clave: erosión del suelo, imágenes de satélite, factor de protección del suelo, FCover

Uptake of land biophysical parameters for Andalusia. Erosion risk

Abstract: Soil erosion is one of the main issues directly affecting the productive system of countries bordering the Mediterranean. The conventional method most employed is Wischmeier (Wischmeier W. H. et. al., 1978) Empirical Soil Loss Model (USLE). The current operational line of work in Andalusia calculates the protection factor of vegetation (Factor C) from MODIS. The aim is to integrate satellite imagery in the soil loss model (USLE) for operational estimates of soil erosion risk (Moreira J.M. et. al., 1995). In this study we propose to directly integrate the Copernicus FCover product into the model as the Factor C of the model, removing several steps of the current operational workflow. Results show that this parameter can be only applied on a qualitative analysis showing the distribution of soil loss on a global scale. Comparative analysis can be carried out through regional, national and even continental areas, but not in a detail scale.

Keywords: soil erosion, satellite imagery, protection factor of vegetation, FCover

1. INTRODUCCIÓN

La Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio mediante la Red de Información Ambiental de Andalucía (REDIAM), desarrolla este trabajo en el marco del proyecto GIO User Uptake.

Los objetivos del proyecto son aplicar el parámetro biofísico FCover como factor de cobertura vegetal en el modelo de riesgo de erosión USLE y contrastar con los valores utilizados actualmente para el factor de protección de la cubierta vegetal obtenidos a partir de imágenes MODIS.

La erosión del suelo constituye uno de los problemas de mayor incidencia sobre el sistema productivo básico de los países ribereños del Mediterráneo. Numerosas iniciativas han abordado, por métodos clásicos la creación de procedimientos de calificación del espacio en función de los niveles teóricos de pérdidas de suelo. De los métodos convencionales el más utilizado por su sencillez y

validación en numerosos ámbitos es la ecuación (Ecuación 1) USLE elaborada por Wischmeier (Wischmeier W. H. et. al., 1978).

$$A = R * K * LS * C * P \quad (1)$$

Para su empleo se requiere, información de la agresividad climática (R), de la resistencia de los suelos a ser erosionados (K), del relieve del terreno (LS), del grado de protección de la cubierta vegetal (C) y por último, de la aplicación de medidas de protección (P), siendo A el valor de pérdida de suelo que se expresa en Tm/Ha/Año en el Sistema Internacional. Es un indicador ambiental de extraordinaria utilidad, que permite conocer la evolución del fenómeno de la erosión.

La línea de trabajo operacional actual en Andalucía (REDIAM) es el cálculo del factor de protección de cobertura vegetal (Factor C) a partir de imágenes de baja resolución (MODIS), cuya cadencia de adquisición permite cubrir las necesidades de gestión. Su objetivo es integrar las imágenes de satélite en la ecuación, para el

análisis de riesgo de pérdida (Moreira J.M. et. al., 1995). Con las imágenes de satélite se pretende integrar la dinámica temporal y espacial de la cobertura vegetal, obteniendo resultados de valor del Factor C a escala de reconocimiento, de forma directa.

Bajo este planteamiento espacio-temporal el uso de satélites de baja resolución espacial y alta periodicidad temporal (MODIS), ha permitido el análisis del grado de desarrollo-protección de las coberturas vegetales a escala de reconocimiento, especialmente en las zonas agrícolas, con una cadencia tal, que facilita la monitorización de las variaciones estacionales de éstas. Se plantea validar el uso del parámetro Biofísico FCover directamente como valor de C en el modelo USLE y llevar a cabo un análisis comparativo con los resultados que se tenían hasta el momento.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

La metodología desarrollada por la REDIAM se basa por un lado, en la espacialización del factor C a partir del análisis de la leyenda del Mapa de Usos y Coberturas Vegetales del Suelo en Andalucía E 1:25.000 de 2007. Para ello se aplican valores tabulados a cada tipo de cobertura vegetal, en el caso de las formaciones de vegetación natural (Moreira, J.M., 1992); o bien, combinando una serie de valores tabulados (Moreira, J.M., 1992) según la alternativa de cultivo en las tierras agrícolas. A partir de esta asignación se derivan mapas de factor C.

Por otro lado, se basa en el análisis de variación del factor C entre las distintas fechas. Esto se realiza mediante el uso de imágenes de media resolución y alta periodicidad del satélite TERRA MODIS. A partir del NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) y su estrecha relación con la disponibilidad hídrica de las plantas y su área foliar, se establece una correlación del valor de C con los valores del NDVI de las imágenes MODIS (Ecuación 2).

$$C = 1 - 0,00999 \times \% \text{ Cubierta} \quad (2)$$

El trabajo que se plantea para la evaluación del producto SPOT/VGT FCover es la reproducción, en la medida de lo posible, del proceso metodológico que se desarrolla habitualmente, sustituyendo las imágenes MODIS por imágenes de este nuevo sensor (Figura 1).

La disponibilidad de productos SPOT/VGT (Tabla 1) es similar a la que se tiene actualmente para el estudio regional con MODIS. Se plantea llevar a cabo este estudio comparativo para un año completo, concretamente 2011.

Los productos BioPAR utilizados en el proyecto están accesibles a través de la web de COPERNICUS. Los servicios “Land Monitoring” están accesibles a través de “Global Land Service”.

Tabla 1. Productos disponibles a través de Geoland BioPar.

| Producto | Resolución espacial | Resolución temporal | Sensor | Temporalidad |
|---|---------------------|---------------------|--------|--------------|
| SPOT/VGT biophysical variables (FCover) | 1000 m | 10 días | VGT | 2003-2012 |

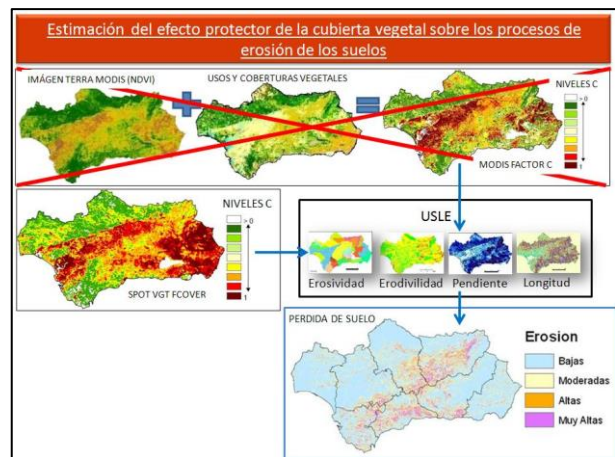


Figura 1. Esquema del estudio planteado.

2.1. Homogeneización de los datos

Para realizar la comparación de productos FCover/Factor C se utilizan por un lado, los productos C derivados de la metodología (Moreira J.M. et. al., 1995) a partir de imágenes MODIS/TERRA y los de SPOT/VGT biophysical variables (FCover), transformados al sistema de referencia ETRS89 en proyección UTM huso 30 (código EPSG_25830).

En segundo lugar se ha tenido en cuenta que ambos productos describen la variable de forma diferente:

- Factor C: en tantos por uno, pérdida de suelo que cada alternativa de cultivo y/o cobertura del territorio permite en una parcela, en comparación con una tierra de similares características, que se encuentre sin la protección que brinda la cubierta vegetal, sea natural o cultivada. (Moreira, J.M., 1992).
- FCover: fracción del suelo cubierta por la vegetación verde (COPERNICUS).

Así, FCover (SPOT/VGT) es inverso en relación a la variable C de la USLE. Por tanto se ha procedido a la transformación del parámetro (Ecuación 3) FCover para su uso en la Ecuación de Pérdida de Suelo:

$$\text{Factor C} = 250 - \text{FCover} \quad (3)$$

Por último, se lleva a cabo la transformación del producto BioPAR (FCover) a valores físicos (Ecuación 4) (Tabla 2).

$$\text{PhyVal} = (\text{DN}/\text{ScalingFactor}) - \text{Offset} \quad (4)$$

Tabla 2. Rango de valores y factor de escala de las variables biofísicas.

| | FCover | NDVI |
|------------------|--------|------|
| Minimum value | 0 | -0.1 |
| Maximum value | 1.0 | 0.9 |
| Maximum DN value | 250 | 250 |
| Scaling factor | 250 | 250 |
| Offset | 0 | 0 |

2.2. Comparación espacio/temporal

Se realiza una comparación espacio/temporal entre ambos productos para valorar la coherencia que garantizara la sustitución del producto original. Se parte de capas de información de referencia, para asegurar

que se cumplen los requisitos principales para su utilización dentro de los procedimientos operacionales.

- ✓ Mapa de Usos y Coberturas Vegetales de Andalucía (MUCVA) a escala de semidetalle (1:25.000) 2007.
- ✓ Tercer Inventario Forestal Nacional (IFN3) 1997-2007. Andalucía. Ministerio de Medio Ambiente.
- ✓ Sistema de Información Geográfica de Identificación de Parcelas Agrícolas (SIGPAC) 2011.
- ✓ Ortofotografía PNOA. Cobertura Regional 2010-2011.
- ✓ Imágenes promedio (10 días) de NDVI TERRA/MODIS, 2011.
- ✓ Imágenes promedio (10 días) de NDVI SPOT/VGT, 2011.

El análisis estadístico se realiza por tipos de coberturas agregadas, siguiendo el modelo de asignación propuesto por Wishmeier (Wishmeier W. H. et. al., 1978), que representan la variabilidad de los tipos de superficies. Se han seleccionado un total de 36 parcelas de 3X3 (1000 m de píxel) bien distribuidas, de las que se obtienen los valores promedios de C en ambos productos, para su comparación. El periodo de asistencia temporal para la evaluación estadística es mensual.

Para ayudar en la evaluación de la evolución de cada uso considerado se han tenido en cuenta los valores de NDVI para esas mismas parcelas de testeo, como ayuda en la interpretación del valor de C, y justificando así las fluctuaciones propias de la evolución, actividad y desarrollo de dicha cubierta.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis de consistencia espacial

La tabla 3 muestra los estadísticos (correlación, error cuadrático medio) de la red de parcelas seleccionadas sobre la región para los tipos de cubiertas seleccionados.

Tabla 3. Estadísticos de rendimiento para la comparación en el periodo 2011.

| Factor C (X-Y) | | SPOT/VGT MODIS |
|------------------------------|----------------|-------------------|
| Total Región | R ² | 0,3261 |
| | RMSE | 0,4144 |
| Cultivos Herbáceos en Secano | R ² | 0,7475 |
| | RMSE | 0,1928 |
| Cultivos Leñosos. Olivar | R ² | 0,5932 |
| | RMSE | 0,4279 |
| Matorral Denso con Arbolado | R ² | 0,000005 |
| | RMSE | 0,4849 |
| Arbolado Denso | R ² | 0,082 |
| | RMSE | 0,4378 |

Los productos SPOT/VGT y MODIS no presentan buena avenencia, con desviaciones superiores a 0,4 unidades, de forma sistemáticas en los casos estudiados, salvo en los cultivos herbáceos en secano que se encuentran por debajo de 0,2 unidades.

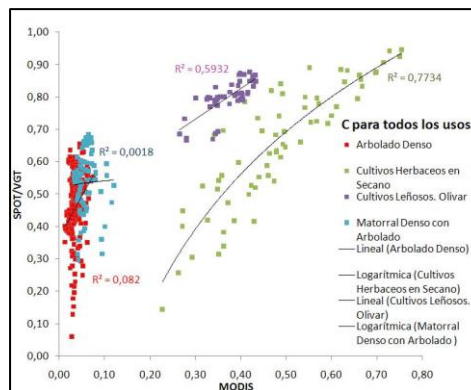


Figura 2. Gráfica de dispersión del Factor C entre par de productos sobre la red de parcelas seleccionadas para el periodo 2011.

Se fijó entonces la componente temporal para analizar el comportamiento espacial por usos seleccionados, y se aprecia que no existe una correlación de C obtenido con MODIS y SPOT/VGT, para aquellas zonas de vegetación natural densa y estable (Figura 2).

Los valores de C tabulados asignados a las cubiertas naturales densas para su uso dentro de la USLE están muy restringidos y recogen la poca variabilidad estacional que presenta la vegetación natural estable. Se parte de la premisa de que en la vegetación densa el efecto protector de la misma ante la capacidad erosiva de la lluvia es muy alto y constante a lo largo del tiempo, tomando más peso el resto de las variables que intervienen en la ecuación, como son la pendiente o la erodibilidad del suelo (Poesen J. W. et. al., 1994). Sin embargo el valor de C para el producto SPOT/VGT muestra variaciones estacionales.

3.2. Análisis de consistencia temporal

Se representaron los perfiles temporales de los productos, por grupos de usos, siendo éstos promedios mensuales para cada una de las alternativas de uso, mostrando una sobrestimación de C en SPOT/VGT frente al calculado con MODIS, para todas las clases presentadas. Si bien, se observó que SPOT/VGT reproducía de forma fiable los cambios debidos a los ciclos vegetativos. De esta forma se aprecia cómo, en momentos donde la vegetación muestra desarrollo/actividad del follaje y cubierta herbácea, el valor de C disminuye, y viceversa en el caso opuesto.

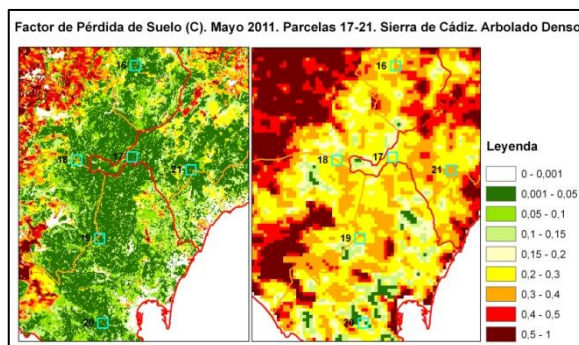


Figura 3. Representación espacial del factor Pérdida de Suelo en la Sierra de Cádiz

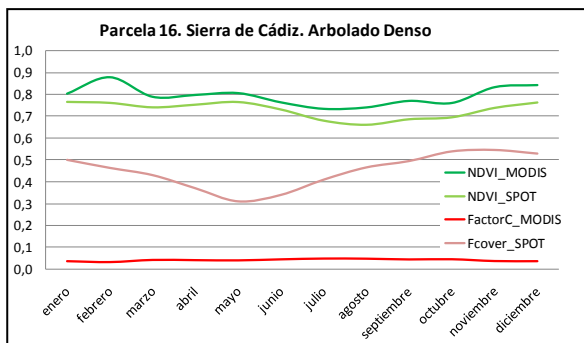


Figura 4. Perfil temporal de los productos (SPOT/VGT y MODIS), para arbolado denso en la parcela 16.

Como conclusión se desprende que los productos se desvían uno respecto al otro de forma casi sistemática, con una distribución espacial consistente en vegetación natural, y con variaciones propias del tipo de uso en el caso de los cultivos (Figura 3 y 4). Pero en términos generales el producto SPOT/VGT reproduce correctamente los cambios de la vegetación.

Se concluye que los resultados de C obtenidos con SPOT/VGT infravaloran la capacidad protectora de la vegetación natural y cultivada frente a la erosión de la lluvia (Tabla 4), lo cual tiene una grave plasmación en las cifras de pérdidas de suelo que se asignan en Tm/ha/año para el conjunto de la Región (Moreira J. M. et. al., 2009).

Tabla 4. Pérdida de suelo (%) utilizando el factor C mensual, derivado de asignación directa (Wischmeier W. H. et. al., 1978), imágenes MODIS y SPOT/VGT respectivamente.

| | Pérdidas en % sobre superficie regional | | |
|-----------|---|---------------------|--------------------|
| | Cálculo con C tradicional | Cálculo con C MODIS | Cálculo con C SPOT |
| Bajas | 69,69 | 66,16 | 39,11 |
| Moderadas | 18,2 | 21,04 | 24,33 |
| Altas | 6,15 | 7,11 | 13,78 |
| Muy altas | 5,96 | 5,69 | 22,78 |

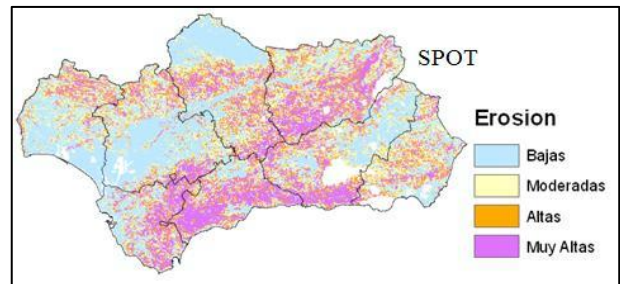
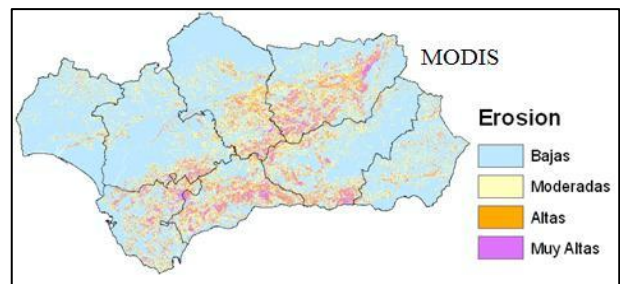
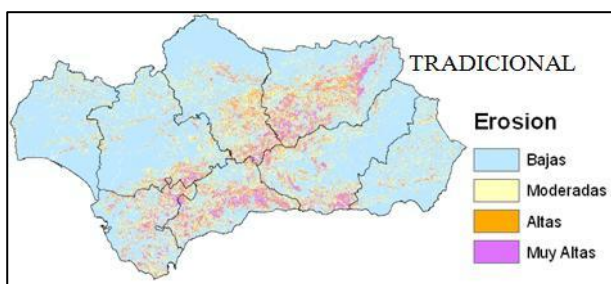


Figura 5. Pérdida de suelo anual acumulada, utilizando el factor C mensual derivado de asignación directa (Wischmeier W. H. et. al., 1978), imágenes MODIS y SPOT/VGT respectivamente

Debido a la sobrestimación del parámetro FCover, en nuestro caso, no se podría hacer uso del producto pérdida de suelo (resultado USLE) de forma cuantitativa. Este producto se puede aplicar en un análisis cualitativo que indique la distribución de pérdidas de suelo a escala global, de forma que puedan analizarse de forma comparativa ámbitos regionales, nacionales e incluso continentales (Figura 5).

4. BIBLIOGRAFÍA

- Moreira J.M. (1992). *Capacidad de uso y erosión de los suelos*. Agencia de Medio Ambiente. Junta de Andalucía.
- Moreira, J.M., Navarro, C., Rodríguez, M., Sánchez, J.D. y Villar, L. 1995. *Elaboración de un modelo de evaluación de pérdidas de suelo utilizando imágenes de satélite de alta y baja resolución (Landsat-TM Y NOAA AVHRR)*. Actas de la 6ª Reunión Científica de la Asociación Española, de Teledetección. Valladolid 20-22 de Septiembre 1995.
- Moreira, J.M., Rodríguez, M., Ojesa, J. *Aportaciones de la teledetección y los S.I.G. para la mejora de los modelos de evaluación de las pérdidas de suelo en Andalucía*. Congreso Internacional sobre desertificación. Murcia 16-18 de Septiembre 2009.
- Poesen J.W., Torri D. Y Bunte K. 1994 *Effects of rock fragments on soil erosion by water at different spatial scales: a review*. Catena 23 141-166.
- Wischmeier W.H., Smith D.D., Uhland R.E. 1978. *Predicting rainfall erosion losses, U.S.D.A. Agricultural Handbook 537*. (8), 458-462.