

CARTOGRAFIA DEL RIESGO DE EROSION DEL E.N.P. “LAS BATUECAS-SIERRA DE FRANCIA Y QUILAMAS (SALAMANCA, ESPAÑA)” MEDIANTE TECNICAS DE TELEDETECCION Y SIG

Martínez-Graña, A.M. ¹; Sánchez, N. ²; Goy, J.L. ¹; Zazo, C. ³; Baile, L. ² y Forteza, J. ⁴

1. Dpto. Geología. Fac. Ciencias. Universidad de Salamanca. Plaza de la merced s/n, 4. 37008-Salamanca. España. Teléfono: 923294496. e-mail: amgranna@usal.es
2. Facultad Ciencias Agrarias y Ambientales. Universidad de Salamanca.
3. Museo Nacional de Ciencias Naturales. CSIC. Madrid.
4. Instituto de Recursos Naturales. IRNA. CSIC. Salamanca.

Resumen

En este trabajo se realiza un análisis de los parámetros de la USLE que permitirán realizar una cartografía de riesgos de erosión, con utilización de técnicas SIG generando una base de datos que permita una correcta ordenación territorial. Los Mapas de Estimación del Riesgo Erosivo se contrastan y se aplican al área de estudio con técnicas de distribución espacio-temporal. La teledetección permite analizar índices de vegetación y permite cartografiar la cobertura vegetal Mediante técnicas digitales como la clasificación espectral. El cruce de los mapas de erosión potencial y Actual dan como resultado el de Riesgo de Erosión Natural, observándose las zonas más sensibles a la erosión, que corresponden con las áreas de pendientes elevadas con poca cobertura situándose sobre todo en las laderas intermedias de las dos sierras (Sierra de Francia y Quilamas).

Palabras clave: Riesgo de erosión, SIG, teledetección, batuecas-S. Francia y quilamas.

Abstract

This work is to analyze the parameters of the Universal Soil Loss Equation (USLE) and it will make a cartographic analysis by means of Geographic Information System (GIS), with generation of data base necessary in territorial planification. In the same way, cartography of erosion risk estimation will be contrasted and applied to the study area for space-temporal distribution techniques. Remote sensing is a useful tool to survey vegetation and generate the cartography of vegetation cover. The difference between the potential erosion and the present erosion generate the cartography of Natural Erosion to estimate the susceptibility of the area to soil erosion. These values allow us to know that the intermediary hillside between ridge of mountains are less protected vegetable formations, to take in areas with high slopes.

Keywords: erosion risk, GIS, remote sensing, Batuecas-S. Francia and Quilamas.

Introducción

La conservación de los suelos, debe tener relevancia en los Espacios Naturales Protegidos, al constituir zonas gran valor natural, donde el equilibrio en las condiciones ambientales debe respetarse y por ello en los proyectos agrícolas, forestales y de ingeniería se realizan estudios de estimación de pérdidas de suelos, así como metodologías para su control y planificación de los diferentes usos del suelo en la ordenación territorial.

La utilización de los Sistemas de Información Geográfica (S.I.G.), ayuda a generar modelos y cartografías de riesgo erosivo mediante el análisis de una base de datos relacional, que permite elaborar clasificaciones, álgebra de mapas, etc. En esta base de datos se integran todos los parámetros temáticos básicos necesarios para estimar las perdidas de suelo (Factores USLE:R, K, LS, C y P), los cuales pueden constituir cartografías específicas, que se superponen para finalmente establecer la cartografía sintética de riesgo erosivo (Graña et al, 2003). No obstante existen una serie de factores cuya variabilidad temporal y espacial es elevada, como es el caso de la vegetación o factor C, por ello necesitamos otras técnicas complementarias, que puedan proporcionar información multitemporal y pueda implementarse fácilmente en los SIG. En esta línea se utilizan las técnicas de teledetección, que pueden aportarnos valores de la cobertura vegetal en función de la emisividad de cada

cobertura superficial de la zona de estudio en diferentes zonas del espectro de la energía electromagnética, utilizándose una serie de índices específicos como el índice de vegetación (IV) o el índice normalizado de vegetación (NDVI). La clasificación y posterior agrupación de los diferentes niveles digitales de la imagen permiten añadir a la base de datos del SIG nuevos valores de cobertura vegetal acotados en espacio y tiempo, integrando dicha información en la estimación del riesgo erosivo.

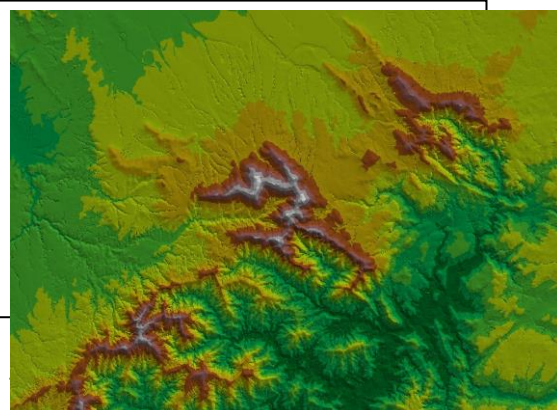
Material y Métodos

La zona de estudio comprende las hojas del Mapa Topográfico Nacional (MTN) a escala 1/50.000 de Serradilla del Arroyo (526), Tamames (527), NE Martiago (551), Miranda del Castañar (552) y N de Hervás (575). La metodología utilizada para estimar del riesgo de erosión es la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo -USLE- (Wischmeier & Smith, 1958); adaptándose la cuantificación de sus parámetros para nuestra zona de estudio. La Cartografía de trabajo obtenida es a escala 1/ 50.000. En todo el proceso la proyección cartográfica utilizada es la UTM (Huso 29, banda T) y el sistema geodésico de referencia, el de la cartografía oficial española (European Datum 50), sistema en el que se integran tanto los datos vectoriales de la cartografía como los datos imagen.

Las *técnicas SIG* han permitido cartografiar los diferentes parámetros “destructores” del suelo, cuyo cruce da como resultado el Mapa de Erosión Potencial. Estos parámetros mediante el SIG Arc View v. 3.2, se han representado cartográficamente en mapas específicos según los índices obtenidos para cada factor: índice de agresividad climática (Factor R), índice de erodibilidad (Factor K) y índice topográfico (Factor LS). Este último parámetro también se podría obtener del Modelo Tridimensional del Terreno (MDT), basado en el tratamiento del relieve extraído de la BCN 25, previamente depurado (curvas de nivel, puntos acotados, hidrografía y líneas de ruptura).

(Fig.1)

Mediante *técnicas Teledetección*, se ha realizado una cartografía de los parámetros de la USLE “constructivos” que son básicamente dos: la cubierta vegetal (Factor C) y las prácticas de conservación (Factor P). Con respecto al factor “P” en este estudio como las prácticas de conservación en la zona son prácticamente inexistentes, consideramos el valor de dicho factor como la unidad. El software multiplataforma utilizado ha sido PCI v.8.1 para la delimitación de la cubierta vegetal se han utilizado imágenes del satélite Landsat - 5, con el sensor Thematic Mapper (TM); correspondiente al verano del año 1999. Para el análisis del factor C, se ha procedido a realizar sobre la imagen varios tratamientos: previamente una ortorrectificación de la imagen (puntos de control y MDT) por el método de funciones polinomiales racionales (Toutin, 2004). Se han tomado puntos de control en el terreno mediante GPS navegador de precisiones en torno a 3- 6 m. El MDT usado es el procedente del la BCN 25, con paso de cota de 10 m. En segundo lugar se ha obtenido una clasificación no supervisada y finalmente el IV y el NDVI.



Resultados y Discusión

Se ha elaborado mediante *técnicas SIG* la cartografía de los diferentes parámetros de la USLE. El *índice R o de agresividad pluvial*, a partir del índice de Fournier modificado -Fm- (Arnoldus, 1980) en González Hidalgo, J.C. (1996); se genera una cartografía con la distribución espacial del índice Fm, de tal forma que cada píxel, queda representado por un valor de agresividad pluvial, pero dada la dispersión de las estaciones pluviométricas, se realiza una operación de interpolación mediante el método de la distancia ponderada ó inverso de la distancia (IDW). (Fig. 2 Izq).

La cartografía del *factor K o erodibilidad del suelo*, que constituye la susceptibilidad o vulnerabilidad a la erosión de un suelo, o lo que es lo mismo; lo contrario a la resistencia a la erosión y que tienen en cuenta la mayor o menor resistencia a los procesos erosivos de las diferentes formaciones geológicas, agrupando formaciones de similares características. Se

ha realizado en base a un estudio pormenorizado de las propiedades físico-químicas de los diferentes tipos de suelos (análisis químicos y granulométricos), cuya génesis es específica para cada tipo de sustrato litológico. Este factor edafológico determina parámetros de textura, estructura, permeabilidad, etc, de tal forma que utilizando el nomograma de Wischmeier, Johson & Cross, 1971 en Morgan, R.P.C. & Kirkby, M.J. (1984); se obtienen valores representativos del factor K. Por último se contrastan los resultados del factor "K" con los indicados para esta zona por el Instituto de Conservación de la Naturaleza, en su mapa de Estados Erosivos, basados en parcelas experimentales, y se observan buena correlación. (Fig 2).

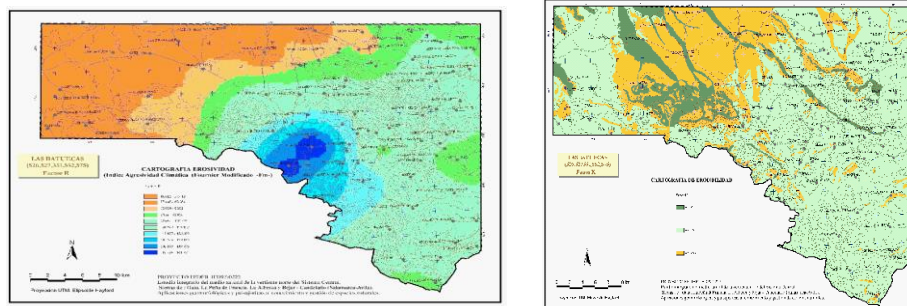


Figura 2. Izquierda: Cartografía del Factor R. Derecha: Cartografía del Factor K.

n cuanto al *factor topográfico* (LS); dado que la erosión se intensifica con la concentración de aguas de arroyada, hacia las zonas más bajas, se deben determinar además de la pendiente (Subfactor S), el declive (subfactor L), para así obtener con mayor exactitud las direcciones de flujo y la capacidad erosiva por arroyada laminar o canalizada. Estos atributos topográficos se obtienen mediante las herramientas de tratamiento tridimensional del módulo Spatial Analyst de Arc View aplicadas al MDT y se plasman en sendos mapas. Para calcular los índices de la pendiente (S) y el declive (L) utilizamos las ecuaciones de Moore et al. 1993; en Morgan, R.P.C. & Kirkby, M.J. (1984); $L = 1,4 (As / 22.13)^{0.4}$ y $S = (Sen B / 0.0896)^{1.3}$. Estas ecuaciones están basadas en las ecuaciones originales de Wischmeier & Smith 1978; y los valores de "LS" obtenidos en este estudio, se han contrastado con el gráfico de Way 1978 en Morgan, R.P.C. & Kirkby, M.J. (1984). (Fig. 3 Izq.) Finalmente se multiplican estos factores y se obtiene el Mapa de Erosión Potencial. (Fig. 3. Der.).

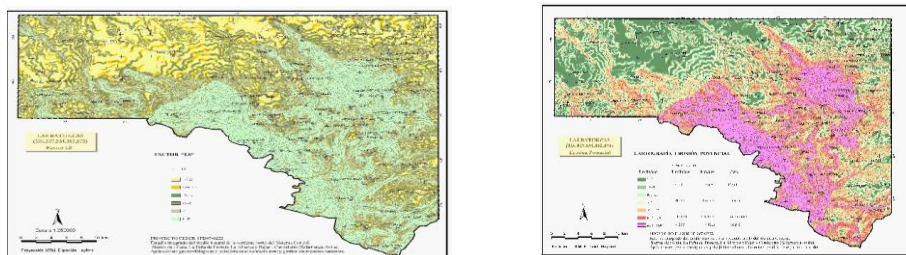


Figura 3. Izquierda: Cartografía del Factor LS. Derecha: Cartografía Riesgo Erosión Potencial.

El cálculo del Factor C; tiene en cuenta la ordenación de masas vegetales y cultivos; con el Mapa de Vegetación Actual realizado, sintetizando sus unidades. En este factor se analiza la influencia que tiene el cultivo en la susceptibilidad erosiva, por lo que se tienen en cuenta el tipo de especie vegetal, alternancia de cultivos, forma y número de labores; así como la productividad del suelo. Para la cartografía del Factor C o Factor cubierta vegetal tenemos en cuenta los valores establecidos por el Servicio de Conservación de Suelos de Estados Unidos (U.S.S.C.S; 1975) en Morgan, R.P.C. & Kirkby, M.J. (1984); para formaciones arbóreas, arbustivas y mixtas arboladas.

Posteriormente, mediante *técnicas de teledetección*, se procede a obtener una cartografía de la cobertura vegetal o Factor C, mediante escenas multitemporales a partir de imágenes de satélite Landsat-5, sensor Thematic Mapper (TM). La clasificación no supervisada

categoriza los píxeles de la imagen según clases espontáneas, agrupándolos en función de valores espectrales similares. La visualización se facilita generando imágenes en color a partir de tablas de pseudocolor. La clasificación no supervisada ayuda a la comprensión de las potenciales clases de la imagen y a la interpretación preliminar de los usos de suelo y las cubiertas vegetales. A continuación utilizamos álgebra de bandas espectrales (infrarrojo cercano y rojo) para obtener diferentes índices de vegetación. Estos índices se basan en establecer el cociente, píxel a píxel de los niveles digitales (ND) almacenados en dos bandas de la misma imagen. Como lo que queremos destacar es la cubierta vegetal, reforzaremos la contribución espectral debida a la vegetación, máxima en la banda del infrarrojo cercano, frente a la influencia del suelo, con comportamiento espectral muy distinto. Las bandas implicadas en estos índices son, por tanto, la del infrarrojo cercano (banda 4) y

la del rojo (banda 3), mediante los siguientes cocientes: (Fig. 4) $C_{IV} = \frac{ND_{IR}}{ND_R}$ C_{IV} toma un

valor mayor que 0 que va aumentando conforme aumenta el vigor de la vegetación.

$$C_{NVDI} = \frac{ND_{IR} - ND_R}{ND_{IR} + ND_R} = \frac{C_{IV} - 1}{C_{IV} + 1} \quad C_{NVDI} \text{ toma un valor entre } -1 \text{ y } 1.$$

Esto nos permite la comparación entre la cartografía del Factor C convencional (Fig. 5. Izq.) y la obtenida mediante técnicas de teledetección (Fig. 5. Der.), observando que con éste último procedimiento se obtiene suficiente precisión y rapidez, ya que no necesitamos realizar la cartografía de la vegetación actual y la consiguiente reagrupación de sus elementos. A partir de estas imágenes se pueden observar las diferentes masas vegetales y su distribución en el espacio. Este contraste espectral se produce debido a la baja reflectividad de la banda Roja que permite a los pigmentos de las hojas absorber la mayor parte de la energía que reciben mientras que en apenas afectan a la banda del Infrarrojo. Una vez finalizada la fase de homogeneización para obtener el Mapa del Factor C; reclasificamos con SIG obteniendo finalmente el Mapa de Erosión Actual (Fig. 6).

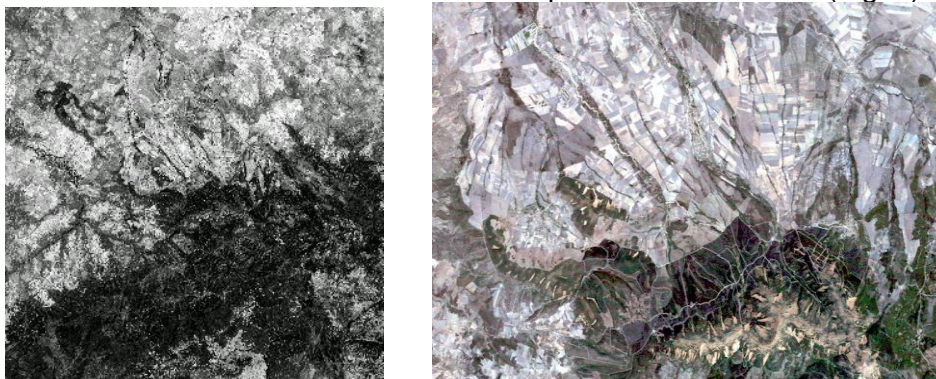


Figura 4. Izquierda: Imagen Landsat correspondiente al Índice de Vegetación (IV). Derecha: Distribución de la vegetación natural y cultivos en el Piedemonte de la Sierra de Francia.

Cruzando los mapas de Erosión Potencial y el de Erosión Actual obtenemos como resultado la cartografía del Riesgo de Erosión Natural, en base a restar valores de píxel de la cartografía de riesgo actual de los de erosión potencial, obteniendo el riesgo diferencial de pérdida de suelo (Parras et al, 2003), reclasificando en tres clases: alto, moderado y bajo. De la observación de este mapa se deduce que las zonas de mayor riesgo comprenden los sectores de altas pendientes sin cobertura vegetal arbórea, localizándose sobre todo en las laderas intermedias de las dos sierras (S. Francia y S. Quilamas). (Fig. 5 y 6).

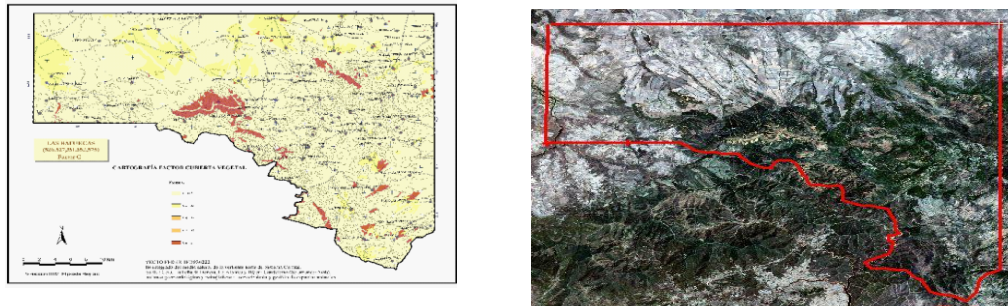


Figura 5. Izquierda: Cartografía Factor C, SIG. Derecha: Composición color NDVI, Teledetección.

Conclusiones

- La combinación de técnicas SIG y de Teledetección, suponen un gran avance en la estimación del riesgo erosivo de un territorio. Las primeras permiten trabajar con una base de datos cartográfica y atributiva que analiza la información generando mapas temáticos de los factores a tener en cuenta para la aplicación de la USLE.
- Cuando estos parámetros erosivos presentan una gran variabilidad espacial, las técnicas de Teledetección permiten contrastar y obtener la información fácilmente para procesarla con SIG.
- En el espacio Natural Protegido de Batuecas-S. Francia y Quilamas, mediante ambas técnicas hemos obtenido cartografías específicas de los factores R, K, LS y C aplicando la USLE y obteniendo los Mapas de Erosión Potencial y Actual.
- Debido a que la signatura espectral de la vegetación muestra un claro contraste entre las bandas del visible (especialmente la roja) y la del Infrarrojo cercano, podemos diferenciar el factor C o cubierta vegetal desde el punto de vista espacial.
- Los Índices de Vegetación permiten separar las zonas protegidas por la cubierta vegetal de las que no lo están pudiendo establecer un aumento o disminución de los procesos erosivos según sea mayor o menor la cobertura vegetal, respectivamente.
- Por último el cruce entra la cartografía de la Erosión Potencial y la Erosión Actual han determinado las áreas más sensibles a la hora de evaluar el riesgo de pérdida de suelo de este Espacio Natural Protegido para su posible planificación y restauración.

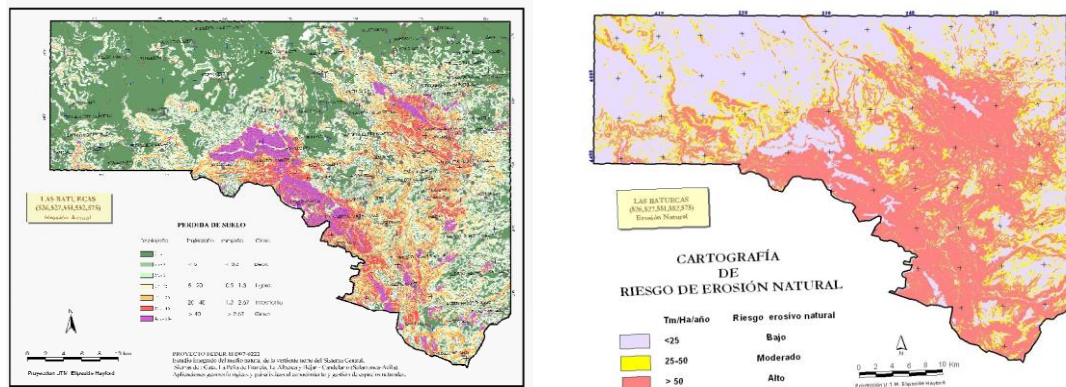


Figura 6. Izquierda: Cartografía Riesgo Erosión Actual. Derecha: Cartografía Riesgo Erosión Natural.

Bibliografía

- González Hidalgo, J.C. 1996. Los índices de agresividad de la lluvia y su aplicación en la valoración de la erosión del suelo. Sociedad Española de Geomorfología *Cuaderno técnico de la SEG* nº 10. Geoforma Ediciones pp. 1-36.
- Graña, A.M.; Goy, J.L.; Forteza, J; Zazo, C; Barrera, I; Gonzalez, F.M (2003). Riesgo de pérdida de suelo en los espacios naturales de Batuecas – S. Francia y Quilamas (salamanca, España). Aplicación cartográfica mediante SIG. Ed. R Bienes & MJ Marqués pp 593-596.
- Parras, L ; Corral, L; Gil, J.; Lozano, B; Del Toro, M. (2003). Esquema Metodológico para el estudio del incremento del diferencial del potencial erosivo mediante SIG. Ed. R Bienes & MJ Marqués pp 601-604.
- Morgan, R.P.C.& Kirkby, M.J.(1984).Erosión de Suelos. Ed. Limusa. Madrid pp. 368.
- Toutin, Th 2004. Geometric Processing of Remote Sensing Images: Models, Algorithms and Methods (review paper). International Journal of Remote Sensing, 25 (10), pp. 1893-1924
- Van Der Knijff, J.M.; Jones, JR,J.A.; Montanarella, L. (2000). Estimation du risque d'erosion en Italie. Joint Research. Centre European Comission pp. 45.