

MAPAS DE SUSCEPTIBILIDAD A LOS DESLIZAMIENTOS EN ASTURIAS A PARTIR DE IMAGENES LANDSAT-TM Y MODELOS DIGITALES DE ELEVACIONES

C. RECONDO (*), C. MENÉNDEZ (*), P. GARCÍA (**), R. GONZÁLEZ (*) y E. SÁEZ (*)

crecondo@relay.etsimo.uniovi.es

* Dpto. de Explotación y Prospección de Minas. Área de Ingeniería Cartográfica,
Geodésica y Fotogrametría. Universidad de Oviedo. Tlf: 98-5458034. Fax: 98-5458000.

** Instituto de Recursos Naturales y Ordenación del Territorio (INDUROT). Universidad
de Oviedo. C/ Independencia, 13. 33004 Oviedo.

RESUMEN: En este trabajo se establece una metodología para obtener zonas propensas a sufrir deslizamientos usando sólo información procedente de una imagen de satélite (Landsat-TM) y de un Modelo Digital de Elevaciones (MDE). La aplicación del método a dos concejos asturianos, para los que existe bastante información de campo, nos servirá para validarlo. El método obtiene tres mapas base del MDE: el de pendientes, el de flujo acumulado y el de curvatura. De la imagen se obtienen dos mapas: el de lineamientos y el de vegetación. Combinado estos cinco mapas se elabora el de susceptibilidad a sufrir deslizamientos. Para Oviedo, esta mapa localiza en sus dos últimas categorías (susceptibilidad alta y muy alta) el 84% de los deslizamientos producidos en este concejo.

Palabras clave: deslizamientos, Landsat-TM, lineamientos, vegetación, MDE, Asturias.

ABSTRACT: This paper establishes a methodology for the obtainment of landslide-prone areas, using only a remote sensing image (Landsat-TM) and a Digital Elevation Model. The method will be applied to two councils of Asturias, where there is sufficient land information, in order to validate it. Three basis maps will be obtained from the DEM: the slopes, the accumulated flow and the curvature map. The other two basis maps will be elaborated from the Landsat-TM image: the lineaments and the vegetation map. Combining these five maps the landslide-prone areas map is elaborated. For Oviedo, this map localizes in their two last classes (high and very high susceptibility) the 84% of the landslides produced in this council.

Key words: Landslides, Landsat-TM, lineaments, vegetation, DEM, Asturias.

INTRODUCCIÓN

De todos los riesgos geológicos que potencialmente se pueden producir en Asturias, son los deslizamientos los que presentan el mayor riesgo máximo estimado, del 37%, frente a otros como el de costas, el de inundaciones o el de erosión. Las pérdidas económicas generadas por deslizamientos en esta región son considerables: la previsión para el periodo 1991-2001 es de unos 11.000 millones. A pesar de que es un problema reconocido, el fenómeno de los deslizamientos ha sido poco estudiado en nuestra región, al menos desde un punto de vista de la predictivo.

Los métodos más tradicionales para el análisis de deslizamientos estudian la estabilidad de la ladera a

través de su factor de seguridad (f), de forma que si $f > 1.0$ la ladera es estable y si $f < 1.0$ es inestable. Pero en el cálculo de este factor sólo se han tenido en cuenta tradicionalmente factores internos de la ladera, requiriendo un trabajo muy laborioso y lento. Además, otros autores sugieren que este tipo de análisis fallarían en la predicción, al no tener en cuenta otros muchos parámetros externos que también pueden influir en la estabilidad de la ladera y en los parámetros internos de ésta. Entre éstos se podrían citar (Gómez *et alii*. 1999): la cobertura vegetal, los lineamientos, el ángulo de pendiente y la humedad del suelo. Otro parámetro podría ser la morfología de la ladera.

Nuestro trabajo pretende estudiar, siguiendo a Gómez *et alii.* (1999), cómo afectan estos parámetros externos a la hora de predecir zonas propensas a sufrir deslizamientos. Estos parámetros se han obtenido para dos Concejos asturianos, Oviedo y Mieres, a través de un Modelo Digital de Elevaciones (MDE) y de una imagen Landsat-TM. A partir del MDE se elaboran los mapas de pendientes, de flujo acumulado y de curvatura; de la imagen se obtienen los mapas de vegetación y de lineamientos. Estos últimos mapas son validados con mapas de campo (de vegetación y geológico, respectivamente), existentes para ambos Concejos. Posteriormente se analiza la conexión existente entre estos parámetros externos y los deslizamientos reales producidos y finalmente se elabora el mapa de susceptibilidad a sufrir deslizamientos. Los programas informáticos usados han sido Idrisi, ERMapper 6.0 y ARC/INFO.

MAPAS OBTENIDOS DEL MODELO DIGITAL DE ELEVACIONES (MDE)

Nuestros MDE son imágenes raster obtenidas del mapa topográfico a escala 1:25.000 y equidistancia 20 m, con un tamaño de píxel de 30 m, igual al de la imagen Landsat-TM. Su rango de alturas está entre 72-710 m y 158-1147 m para Oviedo y Mieres, respectivamente.

Mapa de pendientes

Para calcular la pendiente de cada punto (x,y) del MDE hemos calculado separadamente $p =$ la pendiente de cada punto en sentido x (O-E) y $q =$ la pendiente de cada punto en sentido y (S-N), de forma que la pendiente total será $(p^2 + q^2)^{1/2}$. El cálculo de p y q puede hacerse de forma sencilla mediante filtros 3x3 (Recondo *et al.*, 2000; 2001) que tengan en cuenta los 8 vecinos más próximos al punto problema (x, y).

Los mapas se reclasifican posteriormente en las cinco categorías usuales en estudios de deslizamientos: pendientes entre 0-5 %, 5-10 %, 10-20%, 20-40 %, y >40 %.

Mapa de flujo acumulado

Dos de los parámetros externos que pueden influir en la estabilidad de la ladera son la humedad del suelo y la morfología de la ladera. El mapa de flujo acumulado en cada punto, aunque simula la humedad superficial del suelo (la escorrentía superficial, que no es la interior que afecta a la estabilidad de la ladera), simula sobre todo la morfología de éste en cuanto a su encauzamiento, distinguiendo lo que son laderas de cumbres (encauzamiento nulo) o de fondos de valles o cauces de ríos (gran encauzamiento).

El mapa de flujo acumulado se genera a partir del MDE y en él el valor de cada píxel es proporcional a su área subsidiaria, es decir, al número de puntos que drenan hacia él desde las zonas de mayor altitud. Este modelo se conoce también como el de caudales máximos (MDF).

Los mapas finales fueron reclasificados en 5 categorías, elegidas por la forma del histograma (caída exponencial): zonas a las que no drena ninguna celda, a las que drenan los vecinos cercanos (entre 1-10 celdas), y a las que drenan entre 10-100, 100-1000 y más de 1000 celdas, respectivamente.

Mapa de curvatura

Otro parámetro relacionado con la morfología de la ladera es la curvatura de cada punto del terreno, es decir su convexidad o concavidad, calculada a partir de la derivada de segundo grado de la altitud. El cálculo de esta derivada se realiza fácilmente aplicando el filtro conocido como laplaciano sobre el MDE. Más detalles en Recondo *et alii.* (2000).

El mapa de curvatura fue reclasificado en 5 clases (la elección de las clases se ha hecho atendiendo a su histograma, de forma gaussiana): valores <-10, entre -10 y -4, entre -3 y 3, entre 4 y 10 y valores >10.

MAPAS OBTENIDOS A PARTIR DE LA IMAGEN LANDSAT-TM

La imagen Landsat-TM (10 de setiembre de 1987) ha sido corregida atmosféricamente por el método de Chávez (resta del valor mínimo del histograma) y georreferenciada a la proyección UTM.

A partir de la imagen así corregida realizamos el mapa de lineamientos. Para obtener el mapa de vegetación por clasificación de la imagen es necesario además corregirla topográficamente, dado el gran relieve de la zona.

Mapa de lineamientos

Los lineamientos geológicos se pueden definir como hechos lineales cartografiables, simples o compuestos, cuyas partes se alinean de forma rectilínea o ligeramente curvilínea, diferenciándose notablemente de los hechos adyacentes, y las cuales presumiblemente reflejan un fenómeno subsuperficial (O'Leary *et alii.* 1976). Los fenómenos subsuperficiales son fallas, grietas u otras discontinuidades en la roca subyacente, los cuales pueden producir zonas de debilidad al alterarse su permeabilidad. A este respecto, Greenbaum *et alii.* (1995) encuentran una alta probabilidad de que los deslizamientos se originen en la vecindad de lineamientos.

Siguiendo a Gómez *et alii.* (1999) usamos la banda 3 de la imagen Landsat-TM para realizar este análisis

de lineamientos. A esta banda se le aplica primero un filtro de paso bajo (de media 3x3) para bloquear su alto detalle en frecuencia espacial y después se le aplican independientemente cuatro filtros 5x5 de realce de bordes (Gómez *et alii.* 1999, Recondo *et alii.* 2000) con el objeto de generar las cuatro componentes direccionales (N-S, NW-SE, W-E y SW-NE) de los lineamientos. Visualizados éstos, se vectorizan por encima como líneas (con cuidado de evitar las líneas que corresponden a ríos, carreteras, etc.).

Los mapas vectoriales de lineamientos en cada una de las cuatro direcciones se superponen finalmente en un mapa vectorial total de todos ellos (Figura 1 para Oviedo). Al comparar estos mapas de lineamientos con los mapas geológicos de campo de Oviedo y Mieres, observamos que muchos de los lineamientos coinciden con fallas o pliegues existentes y que no se han detectado lineamientos donde no existen estas estructuras. El hecho de que se detecten más lineamientos que fallas y pliegues es normal, ya que en el campo pueden no ser lo suficientemente superficiales para verlos; en general parecen estar asociados a las principales fallas y pliegues, como marcando una zona de debilidad alrededor de éstos.

La rasterización de los mapas vectoriales de lineamientos nos da imágenes cuyos píxeles sólo pueden tener 4 valores: 0 cuando no pasa ningún lineamiento por ese píxel, y 1, 2, 3 o 4 según pasen uno, dos, tres o cuatro lineamientos de distintas direcciones por él. En nuestro caso sólo tenemos valores de 0 a 3. Para tener en cuenta que los lineamientos no sólo afectan a la zona concreta donde se encuentran, sino que producen una zona de debilidad más amplia en torno a ellos, hemos creado en cada una de las cuatro imágenes raster de lineamientos direccionales, una zona de influencia de 120 m a cada lado de los lineamientos, de forma que el valor del píxel vaya decreciendo progresivamente a medida que nos alejamos del lineamiento (ver detalles en Recondo *et alii.* 2000). La suma de las cuatro imágenes raster con zonas de influencia es todavía un mapa muy fragmentado, por lo que posteriormente se le aplicó un filtro de media 27x27 y se reclasificó en 5 categorías con un número igual de clases cada una: zonas dónde el número o frecuencia de lineamientos es muy baja, baja, media, alta y muy alta, respectivamente.



Figura 1. Mapa vectorial de lineamientos para el Concejo de Oviedo obtenido de la imagen Landsat.

Mapa de vegetación

El mapa de vegetación se pretende obtener con una clasificación supervisada sobre la imagen, por lo que, al ser una zona de gran relieve, previamente a la clasificación ha de realizarse una corrección topográfica de ésta. Esta corrección se ha realizado según el modelo no lambertiano de superficies de Minnaert. Detalles concretos de los cálculos realizados para efectuarla en Oviedo y Mieres pueden verse en Recondo *et alii.* (2000, 2001).

Corregida topográficamente la imagen (año 87), realizamos clasificaciones supervisadas por el método que nos da mejores resultados, el de máxima probabilidad con filtros (3x3 para Oviedo y 7x7 para Mieres). Estas clasificaciones fueron comparadas con un mapa de vegetación de campo (reduciendo sus categorías a 9) de la cartografía 1/25.000 del Principado de Asturias (años 95-96), obteniendo un acuerdo global del 54% para Oviedo y un 59% para Mieres. Para el estudio de deslizamientos las categorías de ambos mapas se simplifican más, a 5: Bosques, Arbustos, Prados, Área urbana y ríos.

OBTENCIÓN DEL MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD A SUFRIR DESLIZAMIENTOS

Combinando los cinco mapas base debe obtenerse el mapa final mostrándonos las zonas propensas a sufrir deslizamientos en cada Concejo.

Como a priori no sabemos cuál es la mejor combinación para los mapas base, hemos usado el mapa de ubicación de deslizamientos existente sólo para Oviedo para establecer el método de combinación. Así, la probabilidad de que se produzcan deslizamientos la hemos asociado al cociente entre el número de deslizamientos

producidos en cada categoría y la superficie total de ésta (en unidades de píxel, $30 \times 30 \text{ m}^2$).

Para Oviedo se deduce que la probabilidad de sufrir deslizamientos aumenta con la pendiente, con la frecuencia de lineamientos (es el mapa que tiene la mayor probabilidad; Figura 2), con la curvatura hasta valores de 4-10 (Figura 2) y con el flujo acumulado hasta valores de 100-1000 celdas. Con respecto a la cubierta vegetal, la mayor probabilidad se da en los bosques, seguidos de los prados y de los arbustos. A pesar de existir sólo un 54% de acierto entre el mapa de vegetación de campo y nuestra clasificación los resultados de la probabilidad son similares, siendo posible usar estas clasificaciones, en principio poco fiables, en este cálculo.

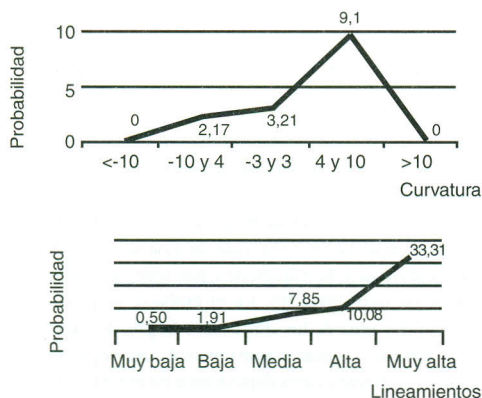


Figura 2. Probabilidad (en unidades de 10^{-4}) asociada a las categorías de los mapas de curvatura y de frecuencia de lineamientos.

Los mapas base se sumaron (cada clase con su probabilidad) para obtener el de susceptibilidad a sufrir deslizamientos, con 5 categorías de superficie similar: zonas de susceptibilidad muy baja, baja, media, alta y muy alta.

La validación de estos mapas se ha hecho calculando en qué clases se localizan los 75 deslizamientos conocidos en Oviedo: en las dos últimas categorías (un 44% de la superficie) localizamos el 84% de los deslizamientos (el 88% si empleamos el mapa de vegetación de campo)

CONCLUSIONES

Mapas de susceptibilidad a sufrir deslizamientos pueden obtenerse a partir de un MDE y de una imagen de satélite, de los que se elaboran los mapas de pendientes, flujo acumulado, curvatura, lineamientos y vegetación. El mapa elaborado para Oviedo es capaz de localizar en sus dos últimas categorías (susceptibilidad alta y muy alta) el 84% de los deslizamientos producidos en este Concejo.

BIBLIOGRAFÍA

- GÓMEZ, H., BRADSSHAW, R. P. & MATHER, P. M. 1999. *Comunicación privada*.
- GREENBAUM, D. et al. 1995. *Technical Report WC/95/27*. Nottingham. British Geological Survey.
- O'LEARY, D.W., FRIEDMAN, J.D. & POHN, H.A. 1976. Geological. *Society of America Bulletin*. 87, nº10: 1463-1469.
- RECONDO GONZÁLEZ, C., MÉNDEZ MORENO, A., GARCÍA MANTECA, P., GONZÁLEZ MORADAS, R. Y SÁEZ GARCÍA, E. 2001: *Mapping* 67, p.24.
- RECONDO GONZÁLEZ, C., MENÉNDEZ GARRIDO C., GARCÍA MANTECA, P., GONZÁLEZ MORADAS, R. Y SÁEZ GARCÍA, *Revista de Teledetección (AET)*, aceptado en la revista de diciembre 2000.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Universidad de Oviedo su financiación a través de un proyecto de interés regional (1999) y al INDUROT por los medios prestados.