

Hervás, J., Barredo, J. I. y Lomoschitz, A. (2002). Elaboración de mapas de susceptibilidad de deslizamientos mediante SIG, Teledetección y Métodos de evaluación multicriterio. Aplicación a la depresión de Tírrajana (Gran Canaria). En: F. J. Ayala-Careedo y J. Corominas, (eds.). *Mapas de susceptibilidad a los movimientos de ladera con técnicas SIG. Fundamentos y aplicaciones en España*, Instituto Geológico y Minero de España, 169-180

ELABORACIÓN DE MAPAS DE SUSCEPTIBILIDAD DE DESLIZAMIENTOS MEDIANTE SIG, TELEDETECCIÓN Y MÉTODOS DE EVALUACIÓN MULTICRITERIO. APPLICACIÓN A LA DEPRESIÓN DE TÍRRAJANA (GRAN CANARIA)

J. Hervás⁽¹⁾, J. I. Barredo⁽²⁾ y A. Lomoschitz⁽³⁾

⁽¹⁾ Institute for the Protection and Security of the Citizen

Directorate General Joint Research Centre - European Commission - 21020 Ispra (VA), Italia
javier.hervas@jrc.it

⁽²⁾ Institute for Environment and Sustainability

Directorate General Joint Research Centre - European Commission - 21020 Ispra (VA), Italia.
jose.barredo@jrc.it

⁽³⁾ Departamento de Ingeniería Civil

Universidad de Las Palmas de Gran Canaria - 35017 Las Palmas G.C., España
alomoschitz@dic.ulpgc.es

INTRODUCCIÓN

Existen diversos métodos para evaluar la susceptibilidad a los movimientos de ladera mediante el empleo de sistemas de información geográfica (SIG). Caben destacar, entre otros, los propuestos por Brabb (1984), Carrara *et al.* (1991) y van Westen (1993). Por su parte, Soeters y van Westen (1996), Aleotti y Chowdhury (1999) y Guzzetti *et al.* (1999), entre otros autores, proporcionan una amplia visión de los más utilizados, entre los que se incluyen principalmente los estadísticos, determinísticos, de indexación y de evaluación directa de la susceptibilidad. La aplicabilidad de cada método a una zona determinada depende sobre todo de las características y extensión de dicha zona, del tipo y extensión de los deslizamientos existentes, de los datos geotécnicos e hidrogeológicos disponibles y de la escala de trabajo.

En la elaboración de mapas regionales de susceptibilidad a escalas intermedias, del orden de 1:25.000 y 1:50.000, frecuentemente no se dispone de datos suficientes que permitan el uso de métodos determinísticos, siendo éstos además poco apropiados para la cartografía a tales escalas. El uso de métodos estadísticos, que son generalmente más adecuados en estos casos, puede comportar sin embargo un gran esfuerzo de recogida de datos. Cabe también destacar que estos últimos no son aplicables en zonas donde predominan los deslizamientos respecto a las áreas estables. Por otra parte, tanto el empleo de métodos de evaluación directa de la susceptibilidad como de evaluación indirecta mediante el uso de índices, implica generalmente una gran subjetividad, por lo que los criterios de evaluación son difícilmente extrapolables a otras zonas. La aplicación más adecuada de los métodos de evaluación indirecta requiere la utilización de algún procedimiento que disminuya la subjetividad en la asignación de pesos o que normalice analíticamente el criterio con el que éstos se asignan a los diferentes factores condicionantes de deslizamientos considerados.

El método que se presenta en este artículo pertenece a esta última categoría. En él se integran en un SIG diversos factores condicionantes de la inestabilidad de laderas, algunos de ellos obtenidos por teledetección, y se evalúa la susceptibilidad a los movimientos en general mediante técnicas de evaluación multicriterio. La metodología se aplica finalmente a la depresión del barranco de Tirajana, en la isla de Gran Canaria.

METODOLOGÍA

El método empleado para la cartografía de la susceptibilidad de una determinada región (o zona) a los deslizamientos ha requerido en primer lugar la creación de una base de datos a partir de la elección y cartografía de los factores del terreno condicionantes de la inestabilidad. Para ello se han utilizado técnicas tradicionales, como la fotointerpretación y el reconocimiento directo de campo, junto con técnicas de tratamiento digital de imágenes de satélite, de interpretación de imágenes de satélite tridimensionales (Hervás y Rosin, 2001) y de imágenes de sombreado del relieve obtenidas a partir de modelos de elevación del terreno (MDE) de alta resolución. Asimismo se han digitalizado e incorporado al análisis algunos mapas ya existentes, como el de Quintana y Lomoschitz (2000). Estos factores, una vez homogeneizados en cuanto a su contenido, escala, proyección cartográfica y formato digital, se han integrado en un SIG.

A continuación se ha subdividido cada factor en clases, a las que se han asignado pesos en función de su influencia relativa en la inestabilidad. Posteriormente se ha determinado analíticamente el peso relativo de cada factor con respecto a los demás, usando para ello el método de evaluación multicriterio de las jerarquías analíticas (Saaty, 1980, 1994; Eastman *et al.*, 1995). Éste establece en primer lugar las prioridades de los elementos o variables (los factores del terreno en nuestro caso), mediante la comparación de elementos por parejas según un cierto criterio (la influencia en la inestabilidad de las laderas), para establecer sus pesos. Para ello se crea primero una matriz cuadrada, en la que el número de filas y columnas viene definido en nuestro caso por el número de factores de inestabilidad. A cada elemento de la matriz se le asigna un valor que representa la importancia relativa del factor de su fila con respecto al de su columna en cuanto a posible inestabilidad. Saaty (1980) propone en otros casos de evaluación multicriterio que se asigne valores comprendidos entre 9 (“mucho más importante que”), 1 (“igual de importante que”) y 1/9 (“mucho menos importante que”). En nuestro caso hemos aplicado una valoración más sencilla, comprendida entre 4 y 1/4. El autovector principal de la matriz, que representa el orden de prioridad de los factores, determina entonces los pesos de éstos, mientras que a partir del autovalor máximo se puede obtener una medida cuantitativa de la fiabilidad de los valores asignados en la comparación entre pares de factores, como es la relación de consistencia (*Cconsistency ratio o CR*). Si CR es menor o igual a 0,10 los valores asignados son satisfactorios. En caso contrario, éstos deberán ser evaluados nuevamente.

Una vez obtenidos los pesos de los factores, se obtiene finalmente un índice de susceptibilidad a los movimientos mediante la suma lineal ponderada (Voogd, 1983) de pesos de factores y clases según la expresión:

$$I = \sum_{j=1}^n w_j x_{ij}$$

siendo I el índice de susceptibilidad, w_j el peso del factor j , y x_{ij} el peso de la clase i del factor j .

Finalmente se clasifican los índices en unos pocos intervalos iguales de susceptibilidad, más estandarizados y de interpretación más intuitiva.

El procedimiento de las jerarquías analíticas da mayor preponderancia al peso establecido en los criterios sobre los valores asignados a las alternativas en el proceso de toma de decisiones (Barredo, 1996). Esto significa en nuestro caso que el índice de susceptibilidad obtenido depende fundamentalmente del peso asignado a los factores (evaluado mediante la relación de consistencia), y en menor medida de la asignación de pesos a cada clase dentro de un factor, por lo que la subjetividad y ausencia de control inherentes a éste último proceso no influye sobremanera en el cálculo del índice final.

Junto a la evaluación analítica de la susceptibilidad, se ha efectuado la visualización tridimensional de algunos de los mapas de factores condicionantes, e incluso de imágenes de satélite multiespectrales de alta resolución espacial (Hervás y Rosin, 2001). Esto ha sido posible gracias a su superposición a un MDE de alta resolución, lo que permite ayudar tanto al propio analista como a las autoridades competentes a comprender mejor la influencia que dichos factores pueden ejercer sobre las condiciones de estabilidad de la zona, ya sea individualmente o combinados entre sí.

APLICACIÓN A LA DEPRESIÓN DE TIRAJANA

El método descrito se ha aplicado a la elaboración de un mapa de susceptibilidad a los movimientos de ladera genéricos (sin diferenciar los tipos) de la depresión de Tirajana, en el centro de la isla de Gran Canaria (Figura 1). La zona cartografiada tiene 48 km² de extensión, un fondo de morfología irregular y una profundidad de 900 m, estando bordeada por escarpes y cantiles que alcanzan 350 m de altura. Dicha depresión se ha originado por la erosión fluvial y el deslizamiento de grandes masas de roca provenientes de series volcánicas subhorizontales. Compuestas principalmente por brechas, ignimbritas y coladas de lava de composición variada, fueron depositadas a partir del Mioceno durante los 3 ciclos magnmáticos de la isla (Lemoschitz y Corominas, 1997). Estos autores distinguen en la zona 28 grandes deslizamientos. Los movimientos principales fueron deslizamientos en roca y de derrubios, y los modos de desplazamiento fueron en un 89% traslacionales (tipo rockslide, debris slide, y earth slide), mientras que el 11% restante fueron rotacionales y flujo. Los cuerpos principales de deslizamiento tienen de 1,2 a 3,5 km de largo y volúmenes comprendidos entre los 0,18 y 1,55 km³ (Lemoschitz *et al.*, 2002).

Los depósitos de deslizamientos ocupan más del 60 % de la depresión, habiendo comenzado a formarse a partir del Pleistoceno y reactivándose posteriormente de forma parcial en diversas épocas hasta el siglo pasado, originando así cuerpos de deslizamiento diferenciables de los formados inicialmente. Las sucesivas reactivaciones han dado lugar a una progresiva fragmentación y alteración de los materiales implicados en el movimiento.

En la actualidad la depresión de Tirajana, de clima semiárido, está tapizada por suelos semidesnudos, matorral y herbazal, con cultivos de regadío en laderas aterrazadas, pequeños núcleos urbanos, pinares en las partes más altas, palmerales en las bajas y amplios afloramientos rocosos en los escarpes. Los arroyos que drenan la depresión son de flujo estacional y todos confluyen en el barranco de Tirajana.

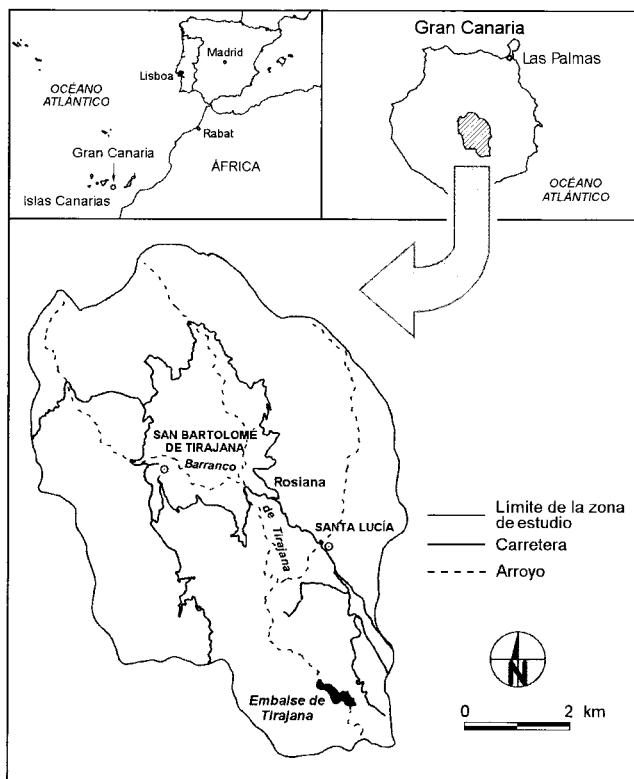


Figura 1. Localización de la zona de estudio.

Figura 1. Location of study zone.

Contribución de la teledetección a la evaluación de la susceptibilidad

Algunos mapas temáticos utilizados frecuentemente para determinar los factores de inestabilidad en estudios a escalas intermedias, tales como los de usos del suelo, litológicos, de lineamientos y de drenaje, e incluso el MDE para la realización del mapa de pendientes, se pueden obtener en muchos casos a partir de imágenes de teledetección (Rengers *et al.*, 1992). En la depresión de Tirajana, no obstante, y en ausencia de grandes discontinuidades lineales, se han utilizado imágenes de satélite Landsat TM sólo para la obtención del mapa de cambios recientes de usos del suelo, integrado posteriormente en la base de datos de factores condicionantes de deslizamientos. Para ello se han utilizado dos imágenes de fechas 4-7-1984 y 4-8-1995, y se han realizado los siguientes procesos:

- **Pretratamiento de las imágenes.** Antes de clasificar una secuencia de imágenes multiespectrales es necesario corregir en cada una de ellas las distorsiones geométricas, los efectos radiométricos anómalos del sensor, los de iluminación (y por tanto sombreado) diferencial de las laderas en cada imagen y los de las condiciones atmosféricas en el momento de cada adquisición (Richter, 1990; Itten *et al.*, 1992). El resultado de cada uno de estos procesos se muestra en la Figura 2. Se ha generado así una imagen de reflectividad para cada una de las imágenes de la secuencia.

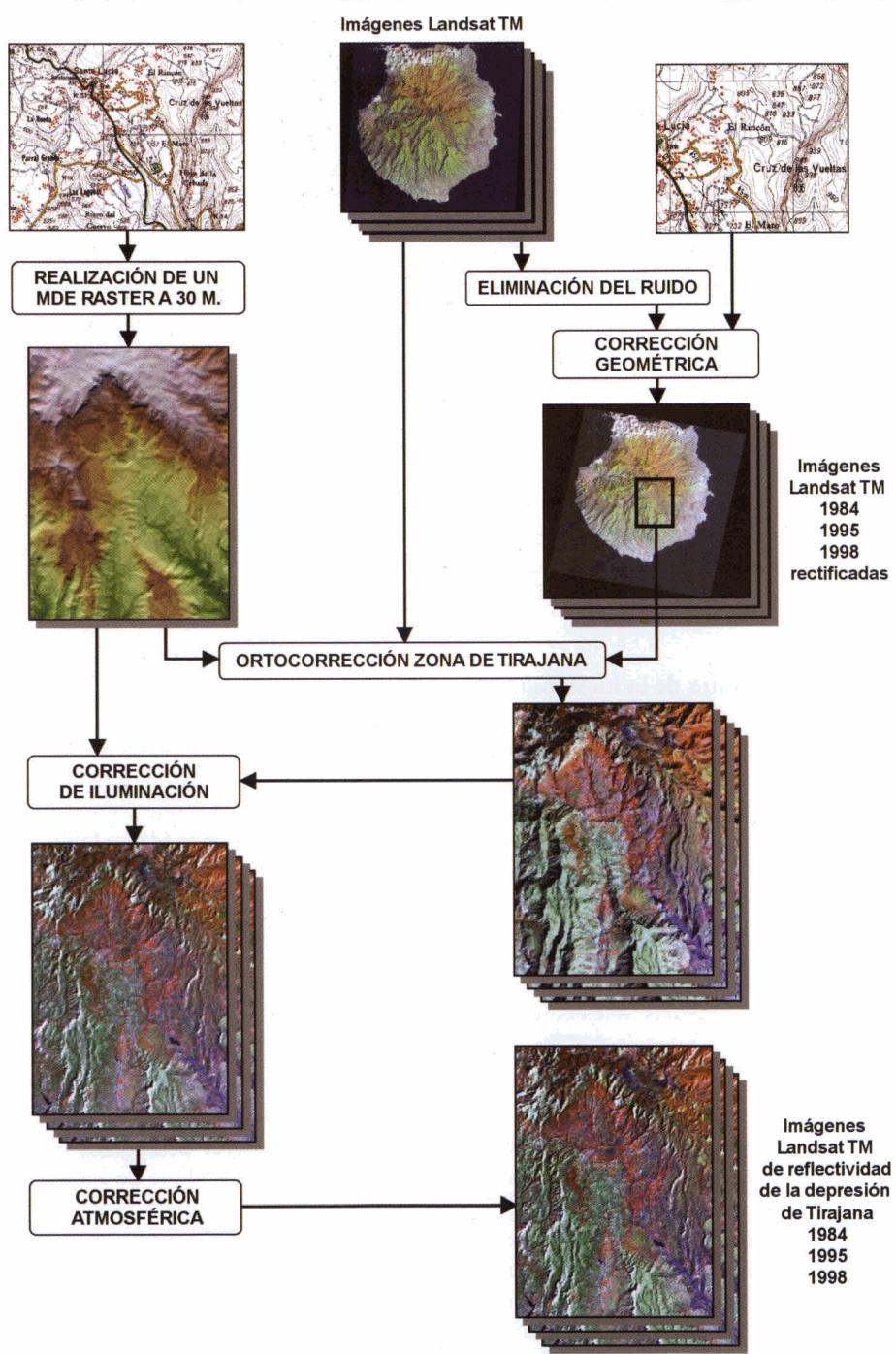


Figura 2. Secuencia de pretratamiento de las imágenes Landsat TM.

Figure 2. Sequence for previous processing of Landsat TM images.

En los procesos de ortocorrección y corrección de los efectos de iluminación diferencial de las imágenes se ha utilizado un MDE de 30 m de malla (igual al tamaño del pixel de las imágenes Landsat TM). Este ha sido generado básicamente a partir de curvas de nivel en formato vectorial a intervalos de 5 m, creando un modelo TIN (triangulated irregular network) con el software ARC/INFO, seguido de la creación de una malla de alturas por interpolación y un remuestreado raster a 30 m. El modelo TIN obtenido a partir de dichas curvas ha servido también para la producción de otros MDE raster de mayor resolución, que se han utilizado para la simulación de imágenes y de mapas tridimensionales.

- **Clasificación de usos del suelo.** A continuación se ha clasificado cada imagen de reflectividad en función de los usos del suelo, mediante un algoritmo supervisado de máxima probabilidad. En este proceso se evalúa la separación espectral a priori entre pares de clases utilizando un índice de divergencia transformada (Swain y Davis, 1978). Se han establecido de este modo 19 clases de usos del suelo en base exclusivamente a criterios espectrales, obteniéndose una precisión en la clasificación del 84% y 82% respectivamente para cada imagen.
- **Detección de cambios de usos del suelo.** A partir de un proceso de tabulación cruzada de las imágenes anteriormente clasificadas, se han obtenido las clases de cambios de usos del suelo, que posteriormente se han agrupado en cinco clases de mayor significado en relación con la inestabilidad de laderas, componiendo así el mapa final de cambios (Figura 3).

Factores condicionantes de la inestabilidad

Como factores condicionantes de la inestabilidad se han seleccionado la pendiente del terreno, el tipo de materiales, la actividad de los movimientos de ladera, los cambios de usos del suelo, y las proximidades a fondos de barrancos y a embalses (Figura 3). A las clases que componen cada factor se les asignan pesos en una escala de 0 a 100, según la influencia estimada en la inestabilidad.

El mapa de pendientes se ha realizado a partir del MDE con malla de 30 m, utilizado también en la corrección de las imágenes Landsat TM. En éste se asignan los pesos de forma lineal a los valores de pendiente, correspondiendo el 0 y el 100 a las pendientes mínimas (0%) y a las máximas (171%), respectivamente.

Dada la relativa homogeneidad del sustrato rocoso con respecto a la inestabilidad y la predominancia de depósitos de deslizamientos sucesivos, el mapa de materiales se ha realizado fundamentalmente en base a su grado de fragmentación y alteración. En éste, los depósitos de deslizamiento se han diferenciado según su fase de reactivación, asignándose el mayor peso a los últimos de la secuencia (los más fragmentados y alterados), así como a los canchales al pie de cantiles.

Se han establecido asimismo tres clases en función de la actividad de los movimientos. Según las observaciones de campo son: a) *activos*, que abarcan zonas con desprendimientos actuales, deslizamientos recientes y sectores de laderas con grietas al pie de algunos deslizamientos; b) *inactivos*, compuestos por todos los demás depósitos de deslizamiento, en su mayoría antiguos y c) *sin movimientos*, cuyas zonas no muestran señal alguna de movimientos ni pasados ni recientes.

En el factor de cambios de usos del suelo, obtenido a partir de imágenes Landsat TM, se han considerado los cambios producidos entre 1984 y 1995 sobre la base de las imágenes existentes de Gran

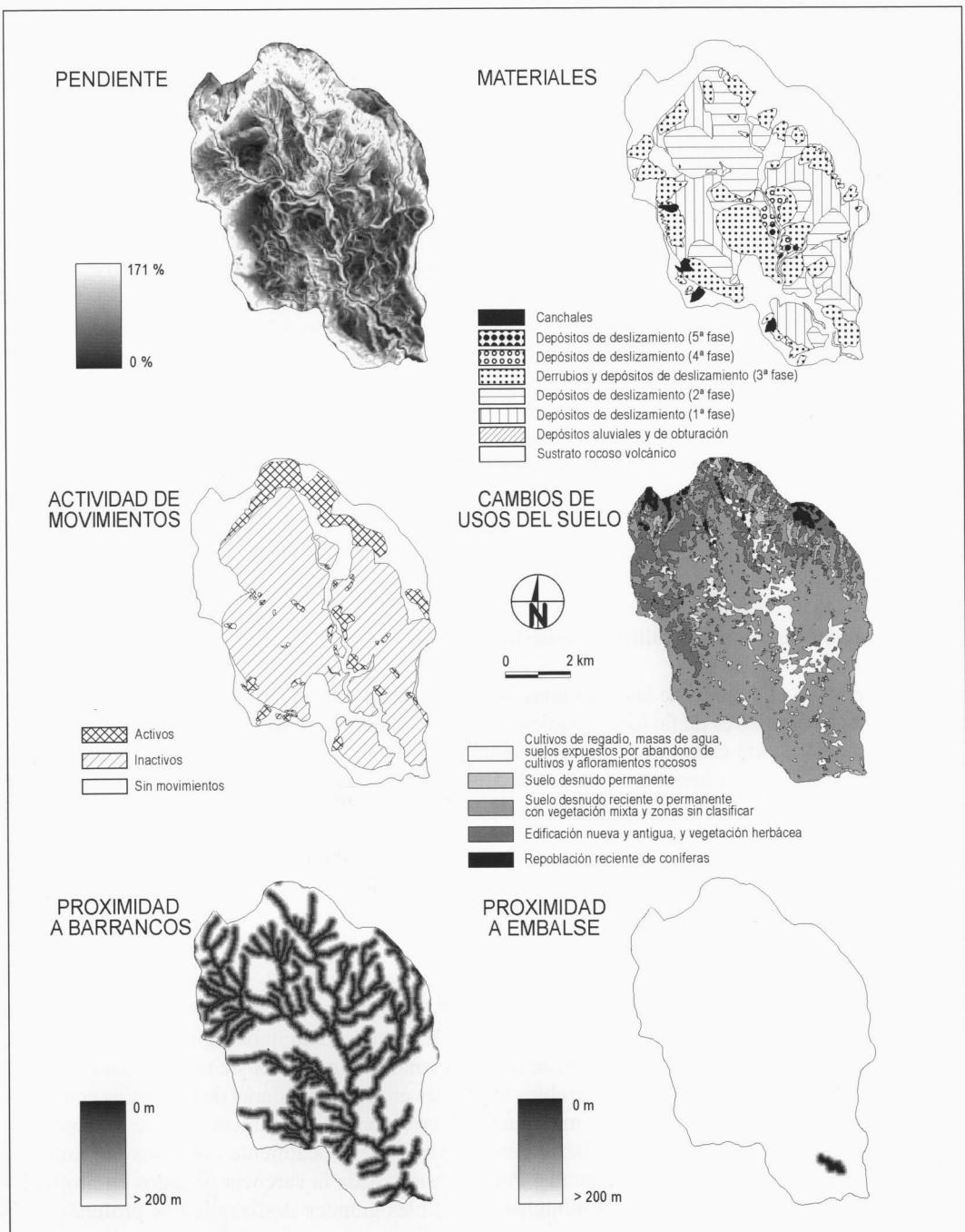


Figura 3. Factores condicionantes de la inestabilidad en la depresión de Tirajana. Los pesos de las clases se distribuyen en cada leyenda proporcionalmente de menor a mayor, de abajo a arriba.

Figure 3. Instability conditioning factors in the Tirajana depression. The class weights are distributed in each legend in a proportional way from smaller to larger, from bottom to top.

Canaria tomadas en una misma época del año. En este factor, se asigna el máximo peso a zonas con regadíos en terrazas artificiales, al embalse y a zonas con cultivos abandonados. Por el contrario, a las repoblaciones recientes de coníferas se les asigna el mínimo peso.

En el factor de proximidad a barrancos, los cuales conllevan generalmente notables procesos de erosión, se considera una banda de 200 m de anchura a cada lado del fondo, en la que se asignan de forma lineal los pesos dentro de la escala definida anteriormente, con el máximo valor en el fondo del barranco.

La proximidad al embalse viene considerada separadamente, en función de la inestabilidad ligada a posibles variaciones de las presiones intersticiales en los materiales deslizados sobre los que reposa, fuertemente fragmentados y alterados, en caso de rápido vaciado del embalse. Al igual que para los barrancos, se le asignan pesos linealmente en un área de influencia de 200 m a partir del nivel medio de sus orillas.

Finalmente, la visualización tridimensional de mapas como el de usos actuales del suelo, obtenido mediante la clasificación de una imagen Landsat TM de 5-3-1998, combinado con el mapa de deslizamientos, permite ilustrar el peligro que ciertas acciones antrópicas puede provocar en la reactivación local de deslizamientos ya existentes, así como el riesgo que ésta última implicaría sobre áreas edificadas e infraestructuras (Figura 4).

Determinación de la susceptibilidad de deslizamientos

Una vez aplicado el método de las jerarquías analíticas, se ha creado la matriz con los criterios de valor relativos entre pares de factores condicionantes de la inestabilidad (Tabla 1), obteniéndose de este modo un peso para cada factor. La relación de consistencia resultante es de 0,02, lo que indica que la comparación es coherente. El índice de susceptibilidad, calculado mediante la suma lineal ponderada de pesos de factores y clases, se ha dividido finalmente en 5 clases generales de susceptibilidad a los deslizamientos (Figura 5).

Discusión de los resultados

Cabe destacar en primer lugar que los pesos de los factores *actividad de movimientos* y *pendiente* resultan los más elevados, mientras que el de *proximidad a fondos de barrancos*, el más bajo. El mapa de susceptibilidad resultante muestra los valores mayores en algunos cantiles y en canchales que cubren parcialmente grandes escarpes de deslizamientos antiguos. Existe también una alta susceptibilidad en las acumulaciones de derrubios existentes en algunas laderas de barrancos con cuerpos de deslizamiento recientes. Ambos movimientos corresponden fundamentalmente a desprendimientos. La susceptibilidad de los deslizamientos superficiales, localmente cubiertos por cultivos de regadío en terrazas, resulta ser moderada. Por otra parte, dada la carencia de datos en profundidad, no se ha podido evaluar la susceptibilidad de posibles grandes deslizamientos profundos. Se estima, sin embargo, que ésta es muy baja.

El mapa de susceptibilidad obtenido se ha comparado, dentro de un mismo SIG, con otro de la misma zona, realizado mediante observación directa (Barredo *et al.*, 2000). En ese estudio, el primer mapa muestra una generalización mayor, al usar los mismos pesos en todas las zonas con los

mismos factores. Asimismo se puede afirmar que la suma ponderada de pesos de factores y clases tiende a suavizar la influencia de los valores extremos de los pesos en el cálculo del índice de susceptibilidad. Otro elemento que puede producir importantes diferencias con el mapa generado por observación directa es el criterio utilizado en la subdivisión de dicho índice en intervalos.

CONCLUSIONES

El método propuesto, basado en técnicas de evaluación multicriterio implementadas dentro de un SIG, se considera eficaz para la evaluación de la susceptibilidad a los deslizamientos a escalas intermedias (1:25.000 y 1:50.000), en zonas donde no se dispone de datos geotécnicos o hidrogeológicos para la aplicación de métodos determinísticos. Dicho método constituye asimismo una alternativa a métodos estadísticos en zonas como la depresión de Tirajana, donde el predominio de laderas deslizadas impide el uso de técnicas de muestreo apropiadas, y donde la susceptibilidad está más

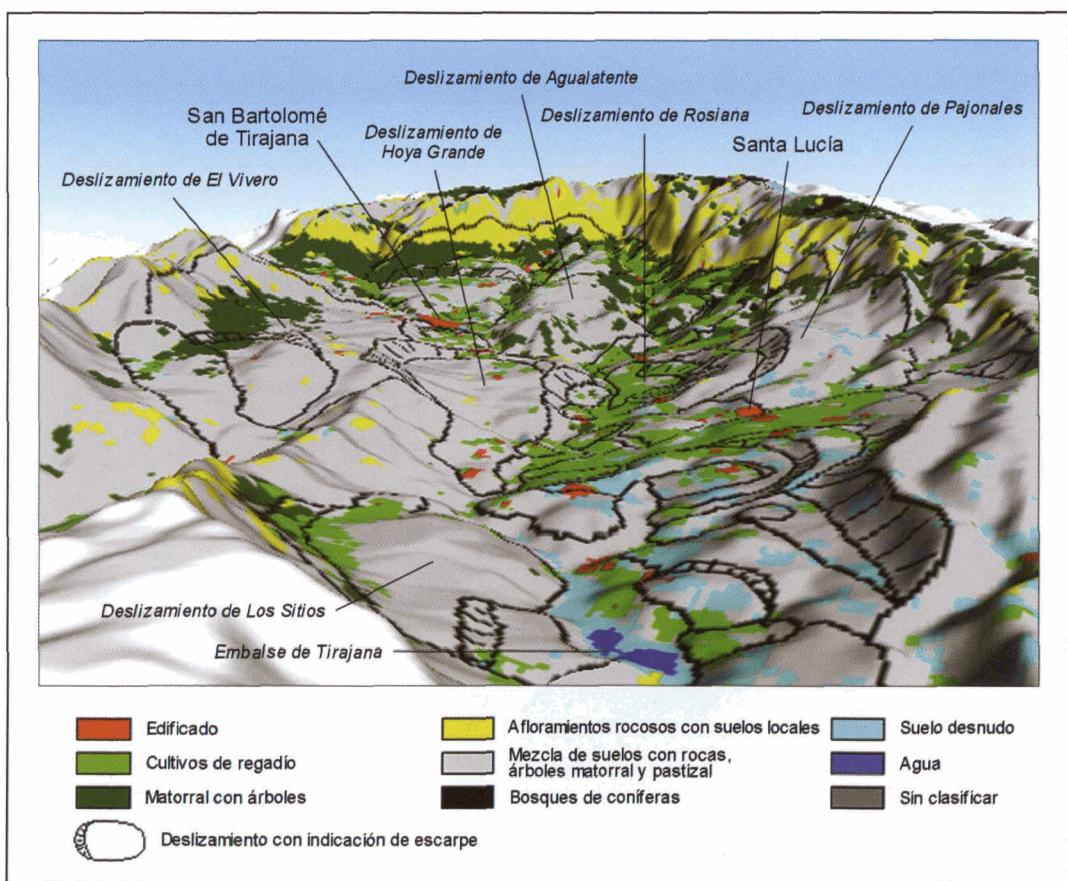


Figura 4. Vista en perspectiva de los mapas de deslizamientos y usos actuales del suelo en la depresión de Tirajana.

Figure 4. View of landslides and current land uses in the Tirajana depression.

relacionada con la reactivación de deslizamientos ya existentes que con la aparición de otros nuevos.

El uso de imágenes de teledetección multiespectrales y multitemporales es de gran utilidad en la elaboración de algunos factores condicionantes de la inestabilidad, como el de cambios recientes de usos del suelo en zonas donde la precisión en su realización se considere importante.

Tabla 1. Matriz de comparación de los factores condicionantes de la inestabilidad en la depresión de Tirajana.

	Pendiente	Proximidad a barrancos	Proximidad a embalses	Cambios de usos del suelo	Materiales	Actividad de movimientos	Peso
Pendiente	1						0,24
Proximidad a barrancos	1/4	1					0,06
Proximidad a embalses	1/2	2	1				0,13
Cambios de usos del suelo	1/3	2	1/2	1			0,09
Materiales	1/2	2	1	2	1		0,14
Actividad de movimientos	2	4	3	3	2	1	0,33

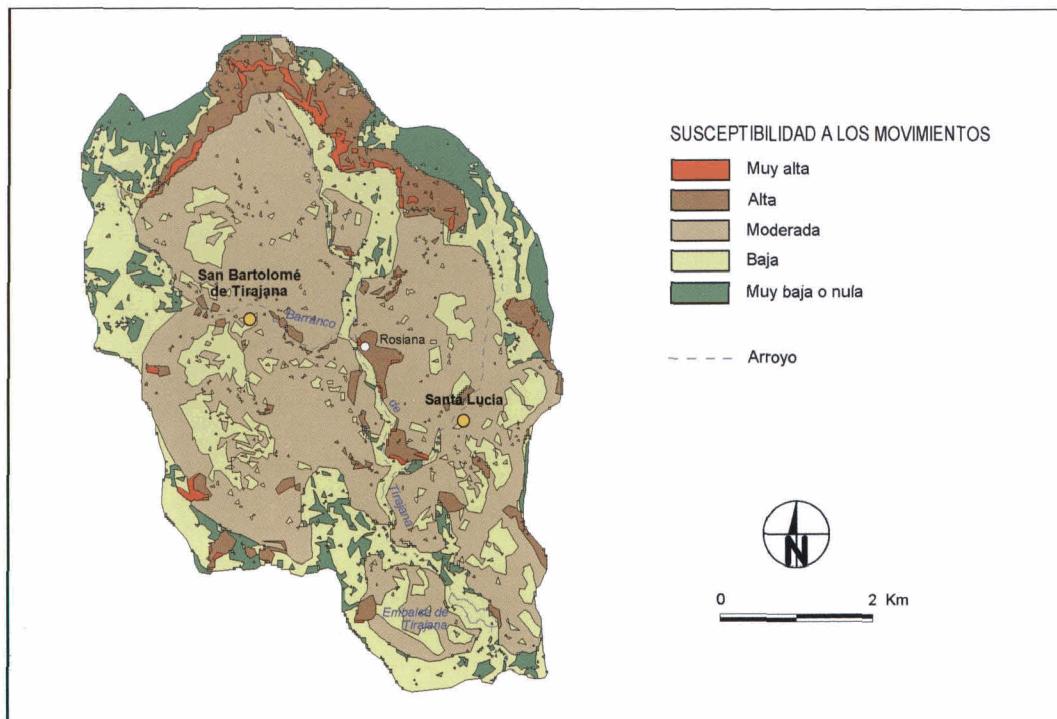


Figura 5. Mapa de susceptibilidad a los movimientos de ladera de la depresión de Tirajana.

Figure 5. Landslide susceptibility map of the Tirajana depression.

La subjetividad implícita a este método, a la hora de asignar pesos a las clases y a los factores condicionantes de la inestabilidad, es generalmente inferior a la de otros métodos de indexación, ya que éste proporciona una medida de consistencia en la asignación de pesos a los factores, siendo además el de éstos dominante con respecto al de las clases en la obtención del índice de susceptibilidad.

Dado el predominio de cuerpos rocosos deslizados de materiales volcánicos y la escasez de deslizamientos recientes en la depresión de Tirajana, sería deseable aplicar y validar el método propuesto en una zona con mayor variedad litológica y con mayor variedad de movimientos, a fin de evaluar la susceptibilidad para cada tipo principal de deslizamientos por separado.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado parcialmente por el proyecto RUNOUT del IV Programa Marco de Investigación sobre Medio Ambiente y Clima de la Unión Europea (contrato nº ENV4-CT97-0527). Los autores agradecen a A. Quintana, de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria y a J. Corominas, de la Universitat Politècnica de Catalunya, su participación en dicho proyecto.

BIBLIOGRAFÍA

- Aleotti, P. and Chowdhury, R. 1999. Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 58, 21-44.
- Barredo, J.I. 1996. *Sistemas de Información Geográfica y Evaluación Multicriterio en la Ordenación del Territorio*. Ra-Ma, Madrid, 264 pp.
- Barredo, J.I., Benavides, A., Hervás, J. and van Westen, C.J. 2000. Comparing heuristic landslide hazard assessment techniques using GIS in the Tirajana basin, Gran Canaria Island, Spain. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2 (1), 9-23.
- Brabb, E.E. 1984. Innovative approaches to landslide hazard and risk mapping, *4th International Symposium on Landslides*. Toronto, 1, 307-324.
- Carrara, A., Cardinali, M., Detti, R., Guzzetti, F., Pasqui, V., and Reichenbach, P. 1991. GIS techniques and statistical models in evaluating landslide hazard. *Earth Surface Processes and Landforms*, 16, 427-445.
- Eastman, J.R., Jin, W., Kyem, P.A.K. and Toledano, J. 1995. Raster procedures for multi-criteria/multi-objective decisions. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 61, 539-547.
- Guzzetti, F., Carrara, A., Cardinali, M. and Reichenbach, P. 1999. Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy. *Geomorphology*, 31, 181-216.
- Hervás, J. y Rosin, P.L. 2001. Tratamiento digital de imágenes de teledetección en el espectro óptico para el reconocimiento y control de deslizamientos. *V Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables*, Madrid, I, 63-74.
- Itten, K.I., Meyer, P., Kellenberger, T., Leu, R., Sandmeier, S., Bitter, P. and Seidel, K. 1992. Correction of the impact of topography and atmosphere on Landsat-TM forest mapping of alpine regions. *Remote Sensing Series*, 18, University of Zurich-Irchel, Suiza, 48pp.
- Lmoschitz, A. y Corominas, J. 1997. La depresión de Tirajana, Gran Canaria. Una macroforma erosiva producida por grandes deslizamientos. *Cuaternario y Geomorfología*, 11, 75-92.

- Lmoschitz, A. Meco, J. and Corominas, J. 2002. The Barranco de Tirajana basin, Gran Canaria (Spain). A major erosive landform caused by large landslides. *Geomorphology*, 42, 117-130.
- Quintana, A. and Lmoschitz, A. 2000. Landslides as a determining geomorphologic factor of the Barranco de Tirajana basin, Gran Canaria. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2 (1), 3-8.
- Rengers, N., Soeters, R. and van Westen, C.J. 1992. Remote sensing and GIS applied to mountain hazard mapping. *Episodes*, 15, 36-45.
- Richter, R. 1990. A fast atmospheric correction algorithm applied to Landsat TM images. *International Journal of Remote Sensing*, 11 (1), 159-166.
- Saaty, T.L. 1980. *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill, Nueva York, 287 pp.
- Saaty, T.L. 1994. *Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with the Analytic Hierarchy Process*. RWS Publications, Pittsburgh, 527 pp.
- Soeters, R. and van Westen, C.J. 1996. Slope instability recognition, analysis and zonation. En: Turner, K. and Schuster, R.L. (eds.), *Landslides Investigation and Mitigation*. Transportation Research Board, Special Report 247, National Academy Press, Washington DC, 129-177.
- Swain, P.H. and Davis, S.M. 1978. *Remote Sensing: The Quantitative Approach*. McGraw-Hill, Nueva York, 396 pp.
- Van Westen, C.J. 1993. *Application of geographic information systems to landslide hazard zonation*. ITC Publication, 15. Enschede, Holanda, 245 pp.
- Voogd, H. 1983. *Multicriteria Evaluation for Urban and Regional Planning*. Pion, Londres, 367 pp.