

PROPUESTA PARA UNA CARTOGRAFÍA DE PELIGROSIDAD GEOLÓGICA ASOCIADA A LOS MOVIMIENTOS DE LADERA EN EL NOROESTE DE NICARAGUA

Joan Manuel Vilaplana; Raimon Pallás; Marta Guinau; Ester Falgás y Xavier Alemany
Dpto. de Geodinàmica i Geofísic - Universitat de Barcelona
C/. Martí Franqués, s/n. - 08028 Barcelona
jman@geo.ub.es

Angélica Muñoz
Centro de Investigaciones Geocientíficas (CIGEO-UNAN Managua)
amunoz@ibw.com.ni

RESUMEN

Una gran parte del impacto socioeconómico que generó el Huracán Mitch en Nicaragua fue debido a la ocurrencia de fenómenos geomorfológicos (deslizamientos e inundaciones), el estudio de los cuales aporta valiosa información para la evaluación del riesgo natural de las zonas afectadas. El objetivo de este trabajo consiste en evaluar y zonificar la peligrosidad geológica (grado de amenaza) de determinadas laderas del NO de Nicaragua.

A partir de la fotointerpretación de las imágenes preMitch y posMitch, del reconocimiento de campo y entrevistas a la población y a las alcaldías, se ha realizado una cartografía de fenómenos (movimientos de ladera) a escala 1:10.000. También se ha elaborado una cartografía de zonas susceptibles a la rotura. Combinando el mapa de fenómenos con el de susceptibilidad y relacionándolos con la tipología y los datos de ocurrencia de los movimientos, se ha desarrollado una metodología sencilla para la evaluación y zonificación de la peligrosidad geológica a escala local.

Palabras Clave:

Corrientes de derrubios, Susceptibilidad al deslizamiento, Evaluación de la Peligrosidad, Zonificación de la Peligrosidad.

ABSTRACT

Geomorphological processes (landslides and floods) generated the main social and economical impact in Nicaragua during the Hurricane Mitch event. The study of these processes provide good information for assessing the natural risk on the areas affected. The principal aim of this work is to provide a geological hazard assessment of selected slopes in the NW part of Nicaragua.

Analysis of aerial photographs (pre- and post-Mitch sets), collection of data in the field, and enquiries to municipal authorities and locals, allowed us to generate a landslide map at 1:10.000 scale. In addition, a susceptibility map was produced by using the measured slope angles at landslide heads. Taking into account the typology and activity degree of landslides, and the combination of both documents (landslide and susceptibility maps), we developed a simple methodology for hazard zoning and evaluation at a local scale.

Key Words:

Debris Flow, Landslide Susceptibility, Landslide Hazard Assessment, Hazard zoning.

INTRODUCCIÓN

Como consecuencia del paso del Huracán Mitch por Nicaragua en Octubre de 1998, en el Departamento de Chinandega se estimó una precipitación de 1.500 mm entre el 21 de octubre y el 1 de noviembre, de los cuales, 500 mm se concentraron en un solo día, el viernes 30 (Ineter, 1998).

La gran energía erosiva que se generó como consecuencia de estas lluvias provocó fundamentalmente erosión de tierras, deslaves (movimientos de ladera, principalmente de tipo flujos) e inundaciones (Vilaplana, en prensa). Estos fenómenos produjeron cuantiosos daños en zonas de cultivos y pastos, principal actividad socioeconómica de la zona. Las vías de comunicación intercomarcales, también se vieron gravemente afectadas, debido a la destrucción de puentes, de deslizamientos en los taludes que impedían totalmente la comunicación entre pueblos, algunos de los cuales quedaron completamente incomunicados. La destrucción de numerosas viviendas, con víctimas mortales en algunos casos, obligó a la reconstrucción de barrios enteros en determinadas zonas. Es de destacar el gran deslave del volcán Casita en el municipio de Posoltega que provocó más de 2000 víctimas (Carreño, 1998; Martínez, 1998; Rodríguez, 1998).

Objetivos

El objetivo de este trabajo se centra en la evaluación de la peligrosidad geológica (grado de amenaza) de determinadas laderas, a escala de detalle, para contribuir a la reducción del impacto socioeconómico de estos riesgos naturales de eventos futuros esperables. Con este objetivo como referente, las acciones se han desarrollado siguiendo los siguientes pasos.

Desarrollo de las acciones

En los meses de Noviembre y Diciembre de 1999 se realizó una primera visita a Nicaragua con la finalidad de visitar las principales zonas del país afectadas por el Huracán Mitch. A raíz de esta visita, se redactó la propuesta de un proyecto piloto de investigación sobre riesgos geológicos en el Noroeste de Nicaragua (Figura 1) del que resultó el presente trabajo. En este proyecto participaron dos equipos: Uno del Departamento de Geodinámica y Geofísica de la Universidad de Barcelona (UB) y otro del Centro de Investigaciones Geocientíficas (CIEGO) de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN).



Figura 1. Situación de la zona de estudio.

Después de realizar una valoración de la situación de los municipios visitados, se delimitaron tres zonas entre las municipalidades de Cinco Pinos y San Francisco del Norte (Departamento de Chinandega), a fin de poder realizar un estudio muy detallado de la estabilidad de laderas en este sector. Se seleccionaron estas municipalidades de común acuerdo con los respectivos alcaldes y teniendo en cuenta que eran municipios gravemente afectados durante el Mitch por movimientos de ladera y en los que la cooperación internacional no había intervenido por lo que a mitigación de riesgos naturales se refiere.

Así pues, este trabajo presenta parte de los resultados del proyecto piloto en el que se ha priorizado la puesta a punto de una metodología de cartografía de peligrosidad a escala local, hasta el momento no realizada en aquel país. En consecuencia, no se ha cartografiado la totalidad de la superficie de los municipios. Se han seleccionado tres sectores (26 km²) que se han considerado representativos sobre la base de criterios de accesibilidad, de interés científico, de interés social, etc. En esta selección se han tenido en cuenta las opiniones de las Alcaldías y de las Comisiones Ambientales correspondientes.

La tabla 1 presenta la extensión territorial de ambas municipalidades (casco urbano y 13 comarcas cada uno), así como el número de habitantes, la densidad de población y los damnificados por el Huracán Mitch (según los Comités Locales de Emergencia y de la Unión Nacional de Agricultores y Ganaderos-UNAG)

Es importante destacar que el proyecto piloto ha tenido también, un componente de formación y capacitación de estudiantes de geología e ingeniería geológica tanto de la UB como de la UNAN en lo que se refiere al aprendizaje de técnicas y procedimientos de cartografía y evaluación de la peligrosidad geológica.

METODOLOGÍA Y DESARROLLO DEL TRABAJO

A partir de la fotointerpretación de las imágenes aéreas verticales de vuelos americanos preMitch y posMitch suministradas por el INETER de Nicaragua, al reconocimiento de campo y a entrevistas a la población y a las alcaldías, se ha realizado un inventario muy detallado de los movimientos de las laderas de las municipalidades de Cinco Pinos y de San Francisco del Norte (Departamento de Chinandega). Se disponía de una cartografía geológica no publicada a escala 1:50.000 con las principales unidades que configuran el substrato rocoso del área. Sobre la base de la digitalización en Autocad del mapa topográfico 1:50.000 de Nicaragua, se ha levantado una cartografía de fenómenos (movimientos de ladera) con un original a escala 1:10.000 que ha integrado la información producto de la fotointerpretación y del trabajo de campo. También se ha elaborado una cartografía de zonas susceptibles a la rotura, sobre la base de la combinación de dos factores: pendientes de rotura y litologías favorables, utilizando Arcview. Los movimientos antecedentes (fenómenos ya acontecidos) y las zonas susceptibles a la rotura se han combinado en un único documento (Figura 3). El documento de zonificación de la peligrosidad (Figura 4) se ha basado en la delimitación de zonas inestables (antecedentes y potenciales) según el mapa de fenómenos y de zonas susceptibles, atribuyendo un nivel o grado de peligro para los diferentes polígonos sobre la base de una matriz de doble entrada que considera la magnitud y la frecuencia de los eventos esperables (Corominas et al., 2002).

Municipio	Extensión (Km ²)	Nº de habitantes	Densidad (h/Km ²)	Damnificados
Cinco Pinos	78	7.609	97,55	2.976 39,11% total de habitantes
San Francisco del Norte	121	7.838	61,68	1.998 24,9% total de habitantes

Tabla 1. Características de las poblaciones en las que se ha centrado el proyecto

TIPOLOGÍA DE LOS MOVIMIENTOS DE LADERA

Toda la zona de estudio tiene un relieve montañoso, no muy abrupto, con cerros y lomas de morfología redondeada y cuyas cotas oscilan entre los 300 y los 700 metros sobre el nivel del mar. El uso del suelo es fundamentalmente agrícola (frijoles y maíz), seguido por los pastos y en mucha menor proporción por el uso forestal.

El substrato rocoso de la zona de estudio, está constituido por rocas volcánicas y plutónicas del Terciario pertenecientes a los grupos Matagalpa y Coyol. Las principales litologías aflorantes en las laderas estudiadas son basaltos, andesitas y dacitas con algún nivel de tobas andesíticas y dacíticas; estas rocas volcánicas se encuentran localmente intruidas por granitoides (Ehrenborg, 1996). Todas estas rocas se encuentran muy alteradas en superficie por efectos de la intensa meteorización química (Darce, et al., 1989). Las alteritas constituyen unas formaciones superficiales detríticas que tienen espesores que oscilan entre 1 y 10 m. Las litologías volcánicas tienen un manto de alteración donde domina la fracción arcillosa dando lugar a un suelo cohesivo, en la base de la cual abundan fragmentos residuales de la roca madre. En los terrenos graníticos la alterita está constituida por una formación más arenosa, aunque hay sectores donde existe un contenido arcilloso

destacable. En estas alteritas los bloques de granito residual (bolos) suelen ser muy abundantes y pueden llegar a tener tamaños métricos.

Un 90% de la superficie del área de estudio se encuentra recubierta por una formación superficial detrítica con clastos angulosos a subredondeados soportados por una matriz lutítica arenosa. Esta formación puede estar en contacto con la alterita o directamente con la roca (Figura 2). El origen de esta formación superficial detrítica se interpreta como el depósito de antiguos movimientos de ladera, los cuales en su mayor parte ya no conservan su morfología original.

Las tipologías de los fenómenos que generan inestabilidades de laderas en la zona de estudio se pueden agrupar en dos grandes conjuntos: 1) movimientos superficiales, en los que la profundidad de la superficie de rotura es inferior a 3 m, e involucran volúmenes inferiores a 1000 m³, y 2) movimientos profundos, en los que la profundidad de la superficie de rotura es superior a 3m, llegando en algunos casos a superar la decena de metros, y cuyos volúmenes pueden oscilar entre algunos miles y algún millón de metros cúbicos (tabla 2). En la figura 2 se puede observar el contexto geológico-geomorfológico en el que se producen estos movimientos, con indicación específica de los planos potenciales de rotura. Teniendo en cuenta el mecanismo de rotura y de propagación de la masa

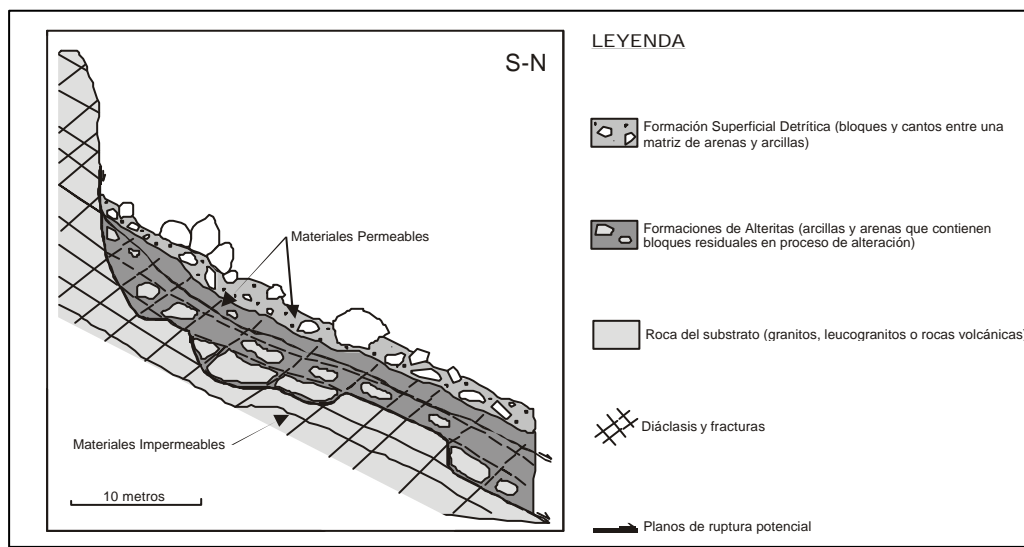


Figura 2. Perfil geológico tipo en el que se representan los materiales y su disposición en las laderas de la zona de estudio.

Corrientes de derrubios	Coladas de barro/tierras	Deslizamientos puros	Desprendimientos	
88	20	2	4	Nº movimientos
70 a 100.000	100.000 a 4.000.000	500 a 4.000	500 a 1.000	Rango de volúmen (m³)

Tabla 2. Tipología, número y volúmenes de los movimientos de ladera cartografiados en la zona de estudio (26 km²).

movilizada, los movimientos de ladera del área de estudio, según las clasificaciones propuestas por Varnes (1978) y Corominas (1989) son los que se presentan en la tabla 2.

Los movimientos fluidales son los más abundantes (el 97 % del total). De ellos, las corrientes de derrubios o *debris flow* (deslaves o flujos detríticos en Nicaragua) son los más numerosos y los que más se movilizaron durante el episodio del Huracán Mitch (81 son Sin-Mitch). Las coladas de barro o *earth flow* son en su totalidad movimientos antiguos, es decir, Pre-Mitch, de los cuales 17 muestran indicios de reactivación, al menos parcial. Además, algunos de los movimientos por corrientes de derrubios se superponen a algunas coladas. Todos los movimientos cartografiados se representan en el mapa de fenómenos del cual se ofrece un ejemplo en la figura 3.

EL ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD

La susceptibilidad a la rotura en una ladera se ha considerado para los movimientos del tipo corrientes de derrubios (*debris flow*). A partir del análisis de los datos obtenidos en el estudio de los movimientos Sin-Mitch, se ha observado una estrecha relación entre la pendiente de las laderas y el grado de estabilidad de estas. Esta dependencia, permite establecer un ángulo umbral a partir del cual las laderas presentan indicios de rotura. Para determinar la susceptibilidad a la rotura, inicialmente se tuvo en cuenta la combinación de dos factores: la litología y la pendiente de la ladera. En los 26 km² de los sectores estudiados se inventariaron 81 roturas correspondientes a corrientes de derrubios Sin-Mitch, en todas las cicatrices de cabecera se midió la pendiente de la ladera para estimar un ángulo umbral de estabilidad. Los materiales sobre los que se han desarrollado las roturas son siempre los

mismos: una formación superficial detrítica sobre una alterita que rompe en el contacto o bien profundiza en el interior de la roca alterada (Figura 2). No se ha observado diferencias en el valor del ángulo en función del tipo de sustrato (granítico o volcánico). Por todo ello, finalmente, se ha considerado el factor litología (formación superficial detrítica) como homogéneo y se ha determinado el ángulo umbral únicamente sobre la base de las pendientes medidas.

Aunque la mayoría de movimientos Sin-Mitch detectados en las zonas de estudio se generan en laderas de pendientes entre 25° y 35°, la baja resolución de la topografía digitalizada, a partir de la cual se ha realizado la cartografía de susceptibilidad, obligó a considerar un factor de seguridad en la determinación del ángulo. En este caso se ha considerado el valor del ángulo umbral igual a 22°. Esto significa que en condiciones pluviométricas intensas, las laderas de la zona estudiada que presentan pendientes superiores a 22°, tendrán una elevada probabilidad de producir inestabilidades.

Al no disponer de un modelo digital del terreno, la cartografía de zonas susceptibles se ha realizado sobre la base de la digitalización del mapa topográfico escala 1:50.000 de INETER 1987, hoja 2855-IV (Cinco Pinos) en *AUTOCAD-Map 14*. A partir de este mapa, se ha realizado un mapa de pendientes con *ARC VIEW* con el objetivo de obtener una delimitación de aquellas zonas con pendientes superiores a los 22°. El documento resultante (mapa de zonas susceptibles a la rotura) se ha superpuesto al mapa de fenómenos (figura 3). El resultado de la superposición nos hace ver una buena correspondencia entre las zonas de salida de corrientes de derrubios Sin-Mitch con las zonas susceptibles a la rotura. Los pocos casos de no coincidencia se pueden explicar por la baja resolución de la topografía digitalizada.

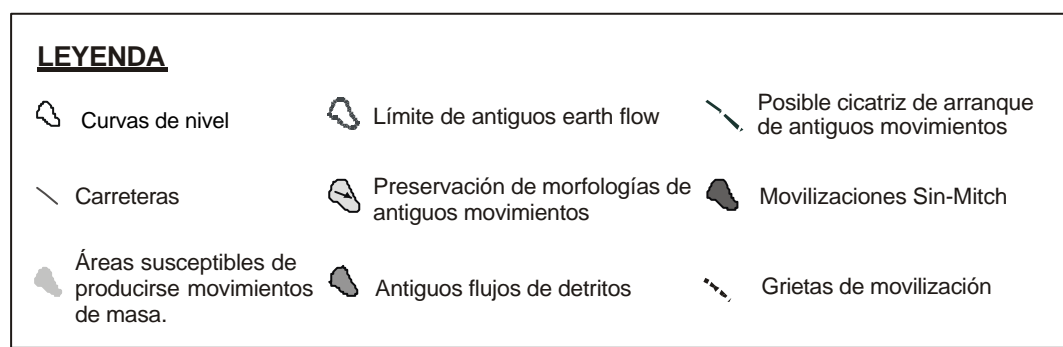
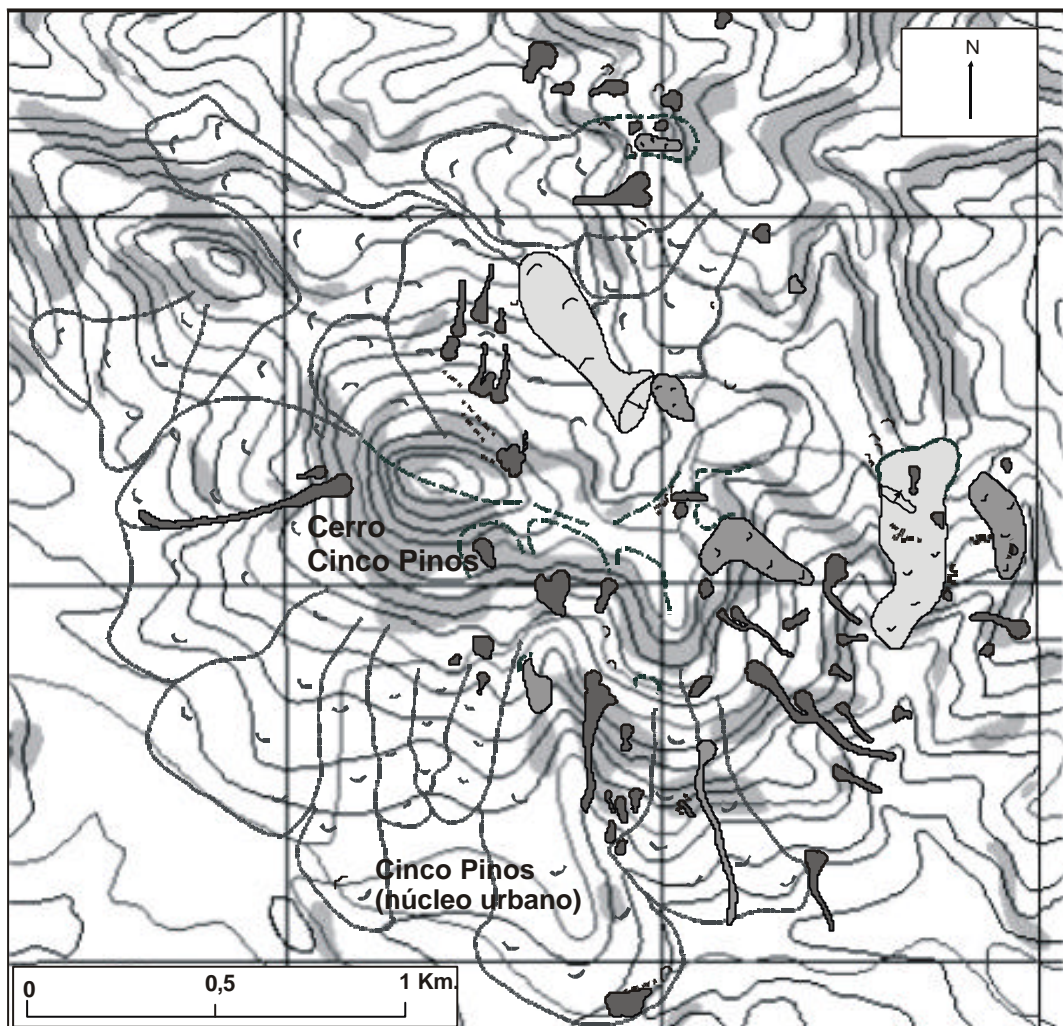


Figura 3. Mapa de fenómenos y de zonas susceptibles a la rotura; sector de Cinco Pinos.

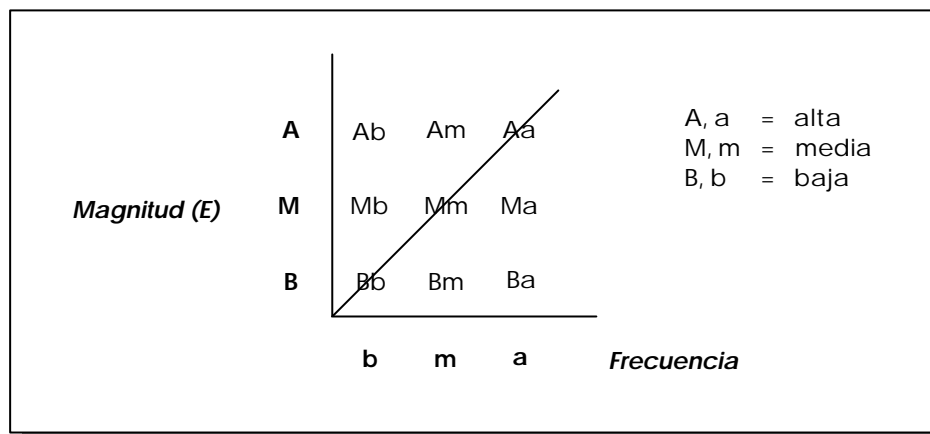


Figura 4. Matriz propuesta para la evaluación de la peligrosidad.

EVALUACIÓN Y ZONIFICACIÓN DE LA PELIGROSIDAD

Relacionando la tipología, los datos de ocurrencia de los movimientos detectados a partir de indicadores de actividad y el mapa de susceptibilidad, se ha realizado una evaluación y zonificación de la peligrosidad geológica o grado de amenaza de la zona. En el análisis de peligrosidad se ha trabajado con una matriz de doble entrada (Figura 4.), considerando la combinación de los distintos grados (bajo, medio y alto) de la magnitud y la frecuencia de los eventos (Altimir et al., 2001 y Corominas et al., 2002).

La magnitud de los movimientos de ladera se debería de estimar sobre la base de la energía desarrollada. Así pues los parámetros masa o volumen y velocidad del movimiento analizado son fundamentales para evaluar su magnitud.

La frecuencia de los movimientos se debería de estimar, en una situación ideal, sobre la base del conocimiento de los periodos de retorno. En el presente estudio no se dispone de este tipo de datos, en consecuencia, la frecuencia se ha evaluado sobre la base del grado de actividad de cada fenómeno. Utilizando indicadores de actividad (datos de entrevistas, datos geomorfológicos, análisis multitemporal a partir de las fotos aéreas Pre-Mitch y Pos-Mitch, indicadores vegetales, indicadores de funcionalidad actual, etc.) se ha realizado una cronología relativa de eventos que se han clasificado agrupados en tres clases:

- Movimientos que funcionaron antes del huracán Mitch, también durante el Mitch y que actualmente siguen activos.
- Movimientos que funcionaron antes del huracán Mitch y también durante el Mitch.
- Movimientos que funcionaron antes del huracán Mitch o durante el Mitch.

En el uso de la matriz de doble entrada presentada en la figura 4 para evaluar la peligrosidad hay que tener en cuenta que en cada celda, no siempre magnitud y frecuencia tienen el mismo peso. En consecuencia es aconsejable establecer una ponderación entre los dos parámetros de la matriz. En el contexto socioeconómico en el que se ha desarrollado el estudio y teniendo en cuenta que la magnitud del fenómeno, es decir, su energía, representa la capacidad de producir daños, debemos tener en cuenta que también energías bajas producen daños. En la región donde se centra el proyecto, las viviendas, generalmente de adobe, madera y otros materiales de construcción poco resistentes, son muy vulnerables, por baja que sea la energía del fenómeno al que están expuestas. Esto, complica la determinación de unos intervalos de peligrosidad sobre la base de la magnitud, ya que prácticamente cualquier grado de magnitud supone una alta peligrosidad (sobre la base de los daños esperables). Así pues, se ha propuesto establecer una gradación de peligrosidad en función del grado de actividad de los fenómenos. Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores y teniendo también en cuenta el análisis de susceptibilidad, se han definido las siguientes clases de peligrosidad:

Peligrosidad elevada: zonas donde se han detectado movimientos que funcionaron antes del huracán Mitch (Pre-Mitch), durante el Mitch (Sin-Mitch) y actualmente aún activos.

Peligrosidad media: zonas donde se han detectado movimientos Pre-Mitch y Sin-Mitch.

Peligrosidad baja: zonas donde se han detectado movimientos Pre-Mitch o Sin-Mitch y zonas susceptibles a la rotura no movilizadas.

Peligrosidad muy baja o no detectada: zonas donde no se han detectado indicios de actividad y no son susceptibles a la rotura.

A partir de la superposición de las cartografías de susceptibilidad y de fenómenos se ha establecido una zonificación de los distintos grados de peligrosidad que presentan las laderas de la zona estudiada. (Ver una muestra del mapa en la figura 5).

El mapa de susceptibilidad únicamente representa posibles zonas de rotura de los materiales. Para realizar la zonificación de peligrosidad sobre la base de este parámetro, se ha hecho una estimación de las zonas que podrían estar afectadas por el transporte y acumulación del material movilizado sobre la base de criterio de experto. La mayoría de fenómenos recientes que han afectado las laderas de la zona, se comportan como corrientes de derrubios encajadas en las quebradas y hondonadas del terreno hasta el torrente principal donde el material es incorporado como carga de fondo. Este comportamiento genérico, permite establecer una estimación de las zonas posiblemente afectadas por movimientos generados en las zonas susceptibles de rotura.

En resumen, para establecer una zonificación de la peligrosidad sobre la base de los fenómenos detectados, se ha realizado una delimitación de zonas inestables en función del grado de actividad de los movimientos. La elevada inestabilidad del terreno ha obligado a tomar decisiones conservadoras en el establecimiento de los límites de las zonas afectadas por movimientos recientes, en consecuencia se ha considerado una franja de seguridad en la delimitación de los polígonos de peligrosidad que engloban movimientos

recientes. Esta franja (factor) de seguridad se ha establecido básicamente en función de las observaciones de campo y del comportamiento y características del propio movimiento, considerando alrededor de éste el área de mayor inestabilidad.

UTILIDAD Y APLICACIONES DE LOS RESULTADOS

El documento final obtenido es un mapa de zonificación de la peligrosidad (Figura 5). Esta cartografía pretende ser una herramienta de uso sencillo y de aplicación inmediata para las alcaldías. Aunque todavía no es un mapa de riesgo, puesto que no evalúa el factor vulnerabilidad, ya permite proponer una serie de recomendaciones preventivas de cara tanto a la gestión territorial como a la gestión de situaciones de emergencias. En él, se puede diferenciar entre zonas peligrosas (no edificables ni habitables), donde difícilmente se podrán activar alertas tempranas, zonas peligrosas (tampoco edificables, aunque habitables según condiciones) donde sí se pueden activar alertas tempranas y zonas de peligrosidad no detectada. Esta zonificación permite establecer: a) la ubicación de nuevos asentamientos, b) estrategias de alertas tempranas para la evacuación de población y c) la ubicación de zonas de refugio y de corredores de escape en situaciones de emergencia.

SOBRE LAS LIMITACIONES DEL ESTUDIO

El presente trabajo está condicionado por una serie de limitaciones relativas al contexto socioeconómico en el que se ha desarrollado así como limitaciones de tipo técnico.

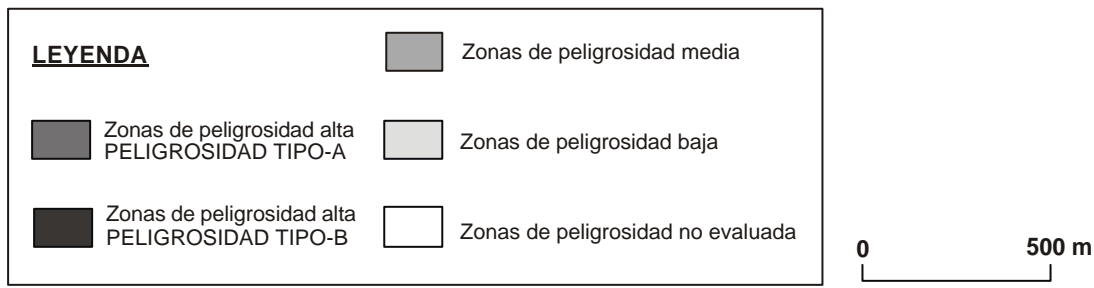
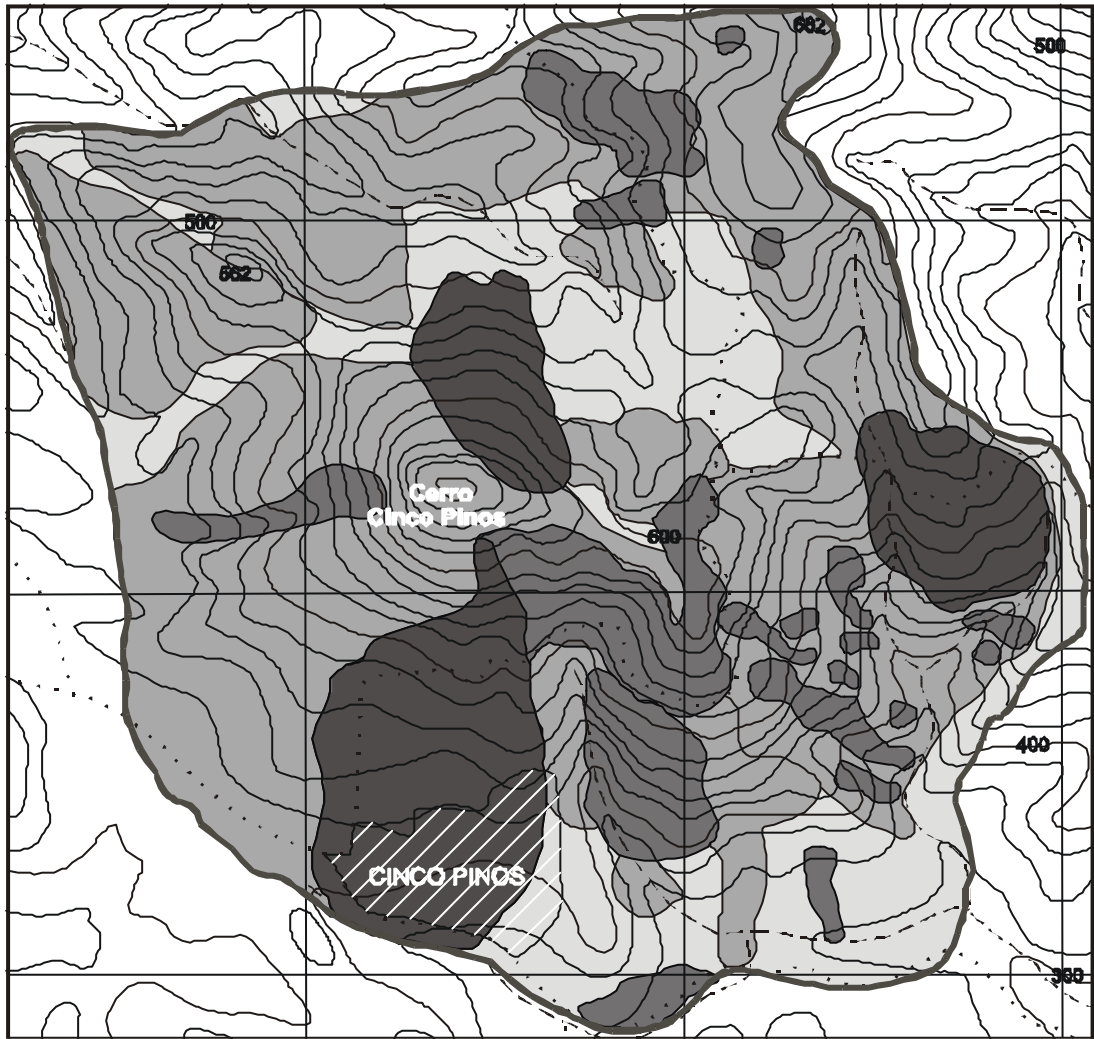


Figura 5. Mapa de zonificación de la peligrosidad por movimientos de ladera del sector de Cinco Pinos. En las zonas con peligrosidad alta de tipo A no existen indicadores precursoros de los fenómenos y en las de tipo B, si que existen indicadores precursoros de los fenómenos.

Dificultades en el desarrollo del trabajo en un país en vías de desarrollo que pueden limitar los resultados del trabajo

Generalmente, las gestiones para obtener documentación en la administración pública resultan dificultosas. En la preparación del proyecto es necesario considerar siempre, la necesidad de planificar un periodo previo al trabajo para realizar contactos y gestiones en organismos y administraciones públicas. Muchas veces no resulta sencillo encontrar el camino adecuado para conseguir la documentación existente adecuada al proyecto que se va a realizar (mapas topográficos, geológicos, fotografías aéreas, datos meteorológicos y/o hidrológicos, etc.) A veces, la mejor información está en manos de organismos internacionales o en ONGs.

Normalmente hay pocos antecedentes publicados. A veces los pocos trabajos de referencia que existen son informes técnicos inéditos o de difícil obtención. Otras veces, el enfoque de dichos trabajos, su escala o su calidad no coincide con las necesidades del estudio que se plantea.

En estos países es necesario conocer y adaptarse al léxico técnico y popular utilizado para designar los fenómenos estudiados. A pesar de tener un idioma común, en el caso de la tipología y significado de los movimientos de ladera no hay coincidencia terminológica con las palabras utilizadas en España.

Limitaciones de origen técnico

En nuestro proyecto las escalas de los distintos vuelos no eran las mismas y tampoco correspondían con la del mapa topográfico. En Nicaragua y en el momento que se planteó el estudio, la cartografía topográfica disponible, a escala 1:50.000, la consideramos de baja resolución para el cumplimiento adecuado de nuestros objetivos (cartografía de peligrosidad a escala de detalle). La digitalización del

mapa 1:50.000 para la realización de la cartografía de fenómenos, la susceptibilidad y la zonificación de la peligrosidad a 1:10.000, ha repercutido negativamente en el grado de resolución de dichos productos cartográficos.

En estos países, generalmente, hay escasez y o poca densidad geográfica de datos climáticos. También ocurre con los datos históricos, lo cual limita cualquier análisis de estimación de períodos de retorno. En consecuencia, para evaluar la frecuencia de los eventos hay que optar por la formulación de aproximaciones cualitativas.

CONSIDERACIONES FINALES

En este trabajo se ha desarrollado y aplicado una metodología para evaluar y zonificar la peligrosidad geológica (grado de amenaza) de determinadas laderas a escala de detalle o local.

Se han delimitado las zonas con peligro de movimiento de ladera a partir de la superposición de una cartografía de fenómenos (movimientos de ladera) con una cartografía de zonas susceptibles a la formación de corrientes de derrubios sobre la base del ángulo umbral de estabilidad estimado.

La evaluación de la peligrosidad o grado de amenaza de los movimientos de ladera (principalmente flujos) se ha realizado fundamentalmente sobre la base de la temporalidad de los eventos que en el presente trabajo se ha denominado grado de actividad de los movimientos.

El mapa final (zonificación de la peligrosidad), en síntesis, es el resultado de la combinación de las zonas con peligro detectado y de la evaluación de la peligrosidad de cada movimiento. Esta cartografía tiene vocación de documento de uso sencillo e inmediato por parte de las autoridades locales en la toma de decisiones para la planificación territorial y para la gestión de alertas tempranas y de situaciones de emergencia.

Los procedimientos desarrollados en el Proyecto Piloto y presentados en este trabajo se han implementado en un Proyecto más

amplio de prevención de riesgos geológicos (*PREVENCIÓN DE DESASTRES EN LOS 6 MUNICIPIOS DEL NORTE DE CHINANDEGA*) financiado por la Unión Europea (DIPECHO) y ejecutado por la ONG española Solidaridad Internacional (SI) durante el 2001.

BIBLIOGRAFÍA

Altimir, J., Copons, R., Amigó, J., Corominas, J., Torreadella, J., Vilaplana, J.M. (2001) "Zonificació del territori segons el grau de perillositat d'esllavissades al Principat d'Andorra". En CRECIT (Ed.): *La Gestió dels Riscos Naturals*. 1es Jornades del CRECIT. Andorra. Pp. 119-132.

Carreño, R. (1998). "Evaluación del desastre y peligros residuales en el volcán Casita. Identificación y evaluación preliminar de peligros asociados a terrenos inestables en algunos puntos del Norte y Centro de Nicaragua". *Informe para COSUDE/ AH+CSS e INETER*. Managua. 25pp.

Corominas, J. (1989). "Estabilidad de taludes y laderas naturales". *Monografía* nº 3, Sociedad Española de Geomorfología. Zaragoza. 249pp.

Corominas, J. Copons, R.; Vilaplana, J. M.; Altimir, J. y Amigó, J. (2002- en prensa). "Integrated landslide susceptibility analysis and hazard assessment in the Principality of Andorra". *Natural Hazards*.

Darce, M., Levi, B. Nystrom, J.O. y Troëng, B. (1989). "Alteration patterns in volcanic rocks within an east-west through Central Nicaragua". *Journal of South American Earth Sciences*. Vol. 2. nº 2. pp.155-161.

Ehrenborg, J. (1996). "A new stratigraphy for the Tertiary volcanic rocks of the Nicaraguan Highland". *GSA Bulletin*, Vol. 108, nº 7, pp. 830-842.

Fenzl, N. 1988. *Nicaragua: Geografía, Clima, Geología y Hidrogeología*. Gráfica Editora Universitaria, Belém. Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales. Managua, Nicaragua. 62 pp.

Ineter (1998). *Las Lluvias del Siglo en Nicaragua*. Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales. Managua, Nicaragua. 159 pp.

Martínez, W. (1998). "Enfrentando los riesgos geológicos naturales en Nicaragua". *TIERRA, Revista del CIGEO*. Nº 5, pp. 4-5.

Rodríguez, D. (1998)- "Inundaciones y deslizamientos de tierra, caso del volcán Casita". *TIERRA, Revista del CIGEO*. Nº 5, pp. 2-3.

Varnes, D. J. 1978. "Slope Movements Types and Proceses in Landslides; Analysis and Control". *Special report* nº 176. Transportation Research Board. pp. 11-33.

Vilaplana, J.M. (en prensa). "El Huracán Mitch y las inestabilidades en las laderas: una lección para la evaluación del Riesgo Geológico". *TIERRA Revista del CIGEO. Managua*.

Vilaplana J.M.; Pallàs R.; Guinau M.; Falgàs E.; Alemany X. y Muñoz A. 2001. "Peligrosidad geológica asociada a los movimientos de ladera en el Noroeste de Nicaragua". *Actas V Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables*. Madrid, Noviembre 2001. Vol. II : 499-510.

Agradecimientos

El Proyecto Piloto que ha dado lugar al presente estudio ha sido financiado por la "Fundació Solidaritat-UB" y por el Departament de Geodinàmica i Geofísica de la Universitat de Barcelona. El trabajo se ha realizado bajo el auspicio del Grup de Recerca Consolidat en Riscos Naturals (*RISK NAT: 3130-UB-06*) financiado por la Generalitat de Catalunya (SGR 2001-00081).

Agradecemos todo el soporte recibido por parte del CIGEO, muy especialmente la aportación de un vehículo todo terreno, fundamental en el desarrollo logístico de las campañas de campo. Gracias también a Santiago, su conductor.

A las Alcaldías y Comisiones Ambientales de Cinco Pinos y San Francisco del Norte, y a la Unión Nacional de Agricultores y Ganaderos, sin su apoyo logístico, sus valiosas aportaciones y su confianza no hubiera sido posible el trabajo.

Y finalmente, a los habitantes de la zona, por su amable y desinteresada colaboración.