

# DESCRIPCION Y USO DEL MAPA NACIONAL DE INDICE DE RIESGO POR DESLIZAMIENTOS DE TERRENO

## NATIONAL LANDSLIDE RISK INDEX MAP: DESCRIPTION AND USE

Enrique A. Castellanos Abella<sup>1</sup>, C.J. van Westen<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Geología y Paleontología (IGP), Cuba, eacastellanos@gmail.com, Vía blanca # 1002 San Miguel del Padrón, Ciudad de La Habana, CP 11000

<sup>2</sup>International Institute for Geoinformation Science and Earth Observation (ITC), PO Box 6, 7500 AA Enschede, The Netherlands

### RESUMEN

Los deslizamientos están entre los desastres naturales más importantes en Cuba, especialmente en las áreas montañosas. Para reducir las pérdidas por deslizamientos y debido al poco conocimiento sobre este tipo de evento en Cuba, la Defensa Civil Nacional solicitó una evaluación nacional de amenaza y riesgo de deslizamientos de terreno. Este trabajo explica el procedimiento llevado a cabo para realizar la evaluación nacional de 110,860 km<sup>2</sup>, que abarca el archipiélago cubano con una resolución espacial de 90 m. Se diseñó e implementó un modelo de evaluación de riesgo de deslizamientos de terreno semi-cuantitativo con 11 indicadores empleando técnicas multi-criterio en un Sistema de Información Geográfica. Cada indicador fue procesado, analizado y estandarizado acorde al modelo. Se les asignó peso a los indicadores empleando los métodos directo, comparación pareada y ordenamiento para obtener el mapa de índice de riesgo de deslizamiento. El promedio de índice de riesgo de deslizamiento final fue de 0.12 (Desviación Estándar: 0.06) con valores en el rango desde 0.0216 a 0.4600.

Los resultados fueron analizados por regiones fisiográficas y límites administrativos (provincial y municipal). Se encontró que la Sierra Maestra tiene la mayor concentración de valores de índice de riesgo de deslizamientos de terreno, mientras que el sistema Nipe-Cristal-Baracoa tiene los valores más altos pero más dispersos. Se reconocieron las provincias y municipios en estas áreas con altos valores de índice de riesgo promedio y con mayor cobertura. Los resultados obtenidos permiten diseñar un apropiado plan de mitigación de riesgo de deslizamientos de terreno a nivel nacional.

**Palabras Clave:** riesgo, deslizamientos de terreno, Cuba, evaluación espacial, análisis multi-criterio, desastres naturales.

### ABSTRACT

Landslides are among the most important natural disasters in Cuba, especially in mountainous areas. In order to reduce landslide losses and due to the little knowledge about this type of event in Cuba, National Civil Defense requested a national assessment of landslide hazard and risk. This paper explain the procedure carried out to produce the national assessment of 110,860 km<sup>2</sup>, covering the Cuban archipelago at 90 m spatial resolution. A semi-quantitative landslide risk model was designed and implemented using 11 indicators with spatial multi-criteria techniques in a GIS. Each indicator was processed, analyzed and standardized according to the model. Weights were assigned to the indicators using direct, pairwise comparison matrix and raking methods in order to obtain the index map of landslide risk. The average index of landslide risk was 0.12 (SD: 0.06) with values ranging from 0.0216 to 0.4600.

The results were analyzed per physiographic regions and administrative boundaries (provincial and municipal). It was found that Sierra Maestra has the higher concentration of landslide risk index values, while in Nipe-Cristal-Baracoa system the values are more spread. Provinces and municipalities with higher risk index values and larger coverage in these areas were recognized. Results obtained allowed design an appropriated mitigation plan for landslide risk at national level.

**KeyWords:** risk, landslide, Cuba, spatial assessment, multi-criteria analysis, natural disasters



## 1. INTRODUCCIÓN

La investigación en evaluación de riesgo por deslizamientos de terreno sobre grandes áreas o países enteros ha sido solo de manera limitada (Guzzetti, 2000; Yoshimatsu and Abe, 2006). A estas escalas tan pequeñas, el objetivo principal es producir un índice de riesgo por deslizamientos el cual permita enfocar estudios más detallados en zonas de alto riesgo. Los índices de riesgo se han aplicado en estudios de pequeñas escalas tanto en países (Carreño et al., 2007) como a escala global (Evans and Roberts, 2006; Nadim et al., 2006a; Nadim et al., 2006b). Para el diseño de los índices de vulnerabilidad es necesario tomar en cuenta los indicadores socio-económicos, los cuales pueden variar de país a país. En general, la vulnerabilidad puede ser dividida en cuatro tipos diferentes, tales como física, social, económica y ambiental la cual puede ser combinada para derivar un índice cualitativo. Hay relativamente pocas publicaciones relacionadas con evaluación de vulnerabilidad por deslizamientos y la mayoría de ellas tratan de estudios a grandes escalas o investigaciones in-situ (Glade et al., 2005). A escalas muy pequeñas tales como la evaluación nacional de riesgo por deslizamientos, no es factible representar el grado de impacto dependiendo de la magnitud de los eventos amenazantes y las características de los elementos en riesgo.

Desafortunadamente no hay un inventario nacional de deslizamientos disponible en Cuba. Recientemente se ha iniciado un proyecto para desarrollar una base de datos. La actual base de datos nacional sobre deslizamientos solo contiene aquellos deslizamientos donde se han reportado grandes daños y por tanto no está completo tanto en espacio como en el tiempo. Además la información cuantitativa sobre los daños no está disponible para la mayoría de los deslizamientos en la base de datos. Por esta razón en este estudio, la base de datos nacional sobre deslizamientos fue empleada con precaución ya que la misma aún no brinda la imagen completa sobre la situación en el país. De haber existido una base de datos sobre deslizamientos completa, esta habría sido la principal fuente para determinar un índice de riesgo por deslizamientos de terreno. La densidad de deslizamientos por municipio por municipio podría haber sido el principal indicador de amenaza, mientras que el daño de deslizamiento por municipio sería el principal indicador de vulnerabilidad. Como parte del proyecto nacional de evaluación de riesgo por deslizamiento para la Defensa Civil Nacional, un proyecto de investigación también se inició para mejorar el inventario nacional de deslizamientos, haciendo uso del personal local de la defensa civil que está siendo entrenado para reportar la ocurrencia de nuevos deslizamientos, combinado con los mapas de deslizamientos multi-temporales ba-

sados en teledetección (Castellanos Abella and Van Westen, 2005).

## 2. METODOLOGÍA

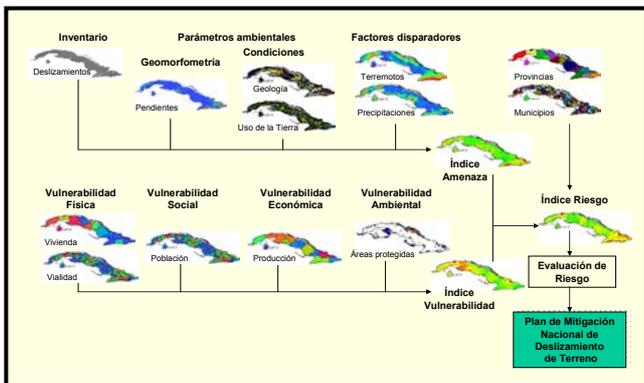
Se seleccionó una metodología semi-cuantitativa considerando los objetivos para producir un mapa de índice nacional de riesgo por deslizamiento de terreno, el tamaño del área de estudio y las limitaciones de los datos disponibles. La estimación semi-cuantitativa para la evaluación de riesgo por deslizamientos se considera útil en la siguientes situaciones: como un proceso de revisión inicial para identificar amenaza y riesgos, cuando el nivel de riesgo (presumiblemente) no justifica tiempo ni esfuerzo o donde la posibilidad de obtener datos numéricos es limitada (AGS, 2000). Las estimaciones semi-cuantitativas consideran explícitamente los factores que influyen sobre la estabilidad de los taludes. Para evaluar cuánto un factor es favorable o desfavorable a la ocurrencia de inestabilidad (amenaza) y a la ocurrencia de pérdidas o daños (consecuencia) se emplean un rango de puntos y pesos para cada factor.

**Tabla I: Resumen de indicadores, mapas intermedios o sub-metas, con sus valores de peso correspondiente. El método de asignación de peso y estandarización se indica en la columna de la derecha (Castellanos Abella and Van Westen, 2007)**

Modelo Nacional de Riesgo por deslizamiento		Peso	Estandarización	
Amenaza		Directo		
0.8	<b>Condiciones</b>	Directo		
	0.50		Ángulo	Cóncavo
	0.20		Uso de la Tierra	Ordenación
	0.30		Geología	Ordenación
0.2	<b>Factores</b>	Comparación de pares		
	0.90		Lluvia	Máximo
	0.10		Terremoto	Máximo
Mapa de amenaza restringido a ángulo de pendiente menores de 3 grados				
<b>Vulnerabilidad</b>		Ordenación valor esperado.		
0.256667	Vivienda		Máximo	
0.090000	Transporte		Máximo	
0.456676	Populación		Cóncavo	
0.156667	Producción		Máximo	
0.040000	Áreas protegidas		Ordenación	

El riesgo por deslizamientos fue representado a escala nacional por un índice de riesgo semi-cuantitativo. Para implementar el modelo semi-cuantitativo se empleó el módulo de evaluación espacial multi-criterio (SMCE) del sistema de información Geográfica (SIG) ILWIS. La aplicación SMCE asiste y guía a los usuarios para realizar evaluación multi-criterio de manera espacial (ITC, 2001). Se utilizan como entrada un conjunto de mapas los cuales son la representación espacial de los criterios (Fig. 1). Ellos se agrupan, estandarizan y se les asigna peso en un "árbol de criterio" (Tabla

l). La salida es uno o más “mapa(s) de índice compuesto”, el cual indica la ejecución del modelo implementado. La teoría de la evaluación espacial multi-criterio está basada en el proceso analítico jerárquico (AHP) desarrollado por Saaty (1980).



**Fig.1. Modelo de evaluación de riesgo por deslizamiento de terreno a nivel nacional en Cuba (Castellanos Abella and Van Westen, 2007).**

Como fue mencionado anteriormente, la cuantificación de los daños esperados por deslizamientos no es posible dada las limitaciones de los datos disponibles y el tamaño del área de estudio. La Figura 1 muestra una representación esquemática del modelo de evaluación de riesgo por deslizamientos de terreno. El índice de riesgo por deslizamiento es alto solo si ambos mapas de índice de amenaza y vulnerabilidad son altos. El componente de amenaza solo representa realmente la susceptibilidad por deslizamiento, ya que no incluye el factor tiempo requerido para estimar la probabilidad, debido a que la información temporal de deslizamientos en el país no fue suficiente. El mapa intermedio de amenaza se realiza multiplicando otros dos factores intermedios: las condiciones y los factores disparadores. Las condiciones son los parámetros ambientales intrínsecos del terreno que generan particular susceptibilidad de ocurrencia de deslizamientos y los factores disparadores son los mecanismos disparadores más frecuentes que hacen que los deslizamientos ocurran. El mapa intermedio de vulnerabilidad se genera por combinar los cuatro tipos de vulnerabilidad mencionados anteriormente.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Después de seleccionar los indicadores, realizar su estandarización y definir sus pesos, se lleva a cabo el análisis empleando un archivo de comandos (script) en el SIG ILWIS para obtener los mapas de índice compuesto y el mapa final de índice de riesgo por deslizamiento de terreno como se muestra en la Figura 2. La frecuencia de los valores

de índice de riesgo están altamente influenciados por la cantidad de píxeles con valores 0, los cuales fueron introducidos empleando una máscara para áreas llanas o con ángulo de pendiente menor que tres grados. Sin considerar los ceros, los valores de índice de riesgo están en el rango desde 0.022 hasta 0.620 con una media de 0.18, una mediana de 0.170 y un valor predominante de 0.097. Estos valores son bajos debido a la multiplicación de los mapas intermedio de amenaza y vulnerabilidad, los cuales fueron realizados con pesos como se muestra en la Tabla I.

El mapa de índice de riesgo por deslizamiento muestra la distribución espacial de los valores de riesgo relativos para todo el país. Es posible reconocer las áreas con altos valores y consultar la base de datos de los mapas indicadores para buscar las causas de estos valores como un análisis retrospectivo. Debido a las características de los conjuntos de datos disponibles, no es posible evitar que los límites de los polígonos aparezcan en el mapa, especialmente con indicadores de vulnerabilidad relacionados a unidades administrativas, unidades geológicas y tipos de uso de suelo. Para un estudio mas detallado, los valores de índice de riesgo fueron analizados fisiográfica y administrativamente a nivel provincial y a nivel municipal.

**Tabla III: Porcentaje de riesgo por deslizamiento de terreno de cada provincia.**

Provincia	Bajo %	Medio %	Alto %
Pinar del Rio	74.8	24.1	1.2
La Habana	88.6	8.4	3.1
Ciudad de La Habana	84.8	4.5	10.7
Isla de la Juventud	97.4	2.6	0.0
Matanzas	96.5	3.0	0.5
Cienfuegos	82.0	17.8	0.3
Villa Clara	86.7	8.6	4.8
Sancti Spiritus	79.1	20.5	0.5
Ciego de Avila	96.5	3.2	0.3
Camaguey	96.9	2.9	0.2
Las Tunas	98.5	1.4	0.1
Holguin	64.3	9.6	26.1
Granma	74.7	3.6	21.8
Santiago de Cuba	35.9	14.3	49.8
Guantánamo	31.6	37.2	31.2

El mapa resultante de índice de riesgo por deslizamiento no es estático, ya que hay un número de indicadores que tienen una variabilidad temporal, de manera que este mapa debe ser actualizado regularmente. Similarmente, la ecuación del modelo puede ser mejorada adicionando nuevos indicadores, cuando se hagan disponible nuevos datos, o

por refinar los valores de la estandarización y de los pesos. Dependiendo de otras solicitudes de los usuarios finales, se puede hacer el modelo más complejo, y también a mayor resolución espacial. El uso de las estadísticas del índice de riesgo por deslizamientos para las provincias y los municipios es útil para ordenar los mismos según su importancia para tomar las medidas de reducción de riesgo por deslizamientos de terreno.

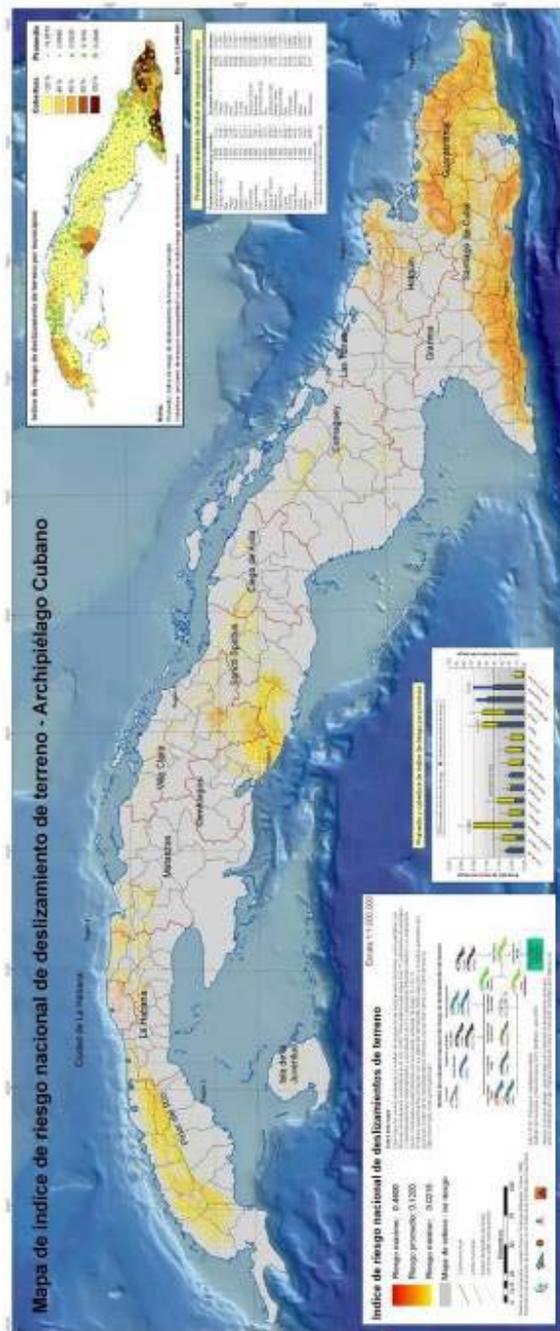


Fig. 2. Mapa nacional de índice de riesgo por deslizamientos de terreno.

#### 4. CONCLUSIONES

Este método permite evaluar cuál de los indica-

dores es responsable de altos valores de riesgo. Ahora, las autoridades locales (provinciales y municipales) pueden ser alertadas sobre el riesgo por deslizamientos que tienen sus áreas y, como ellos son parte del sistema de defensa civil en Cuba, ellos pueden ubicar recursos para un programa de mitigación de riesgo por deslizamiento a nivel local. La ciudad de Santiago de Cuba está en el tope del índice de riesgo por deslizamientos ya que es un área densamente poblada y está ubicada en el sistema montañoso de la Sierra Maestra.

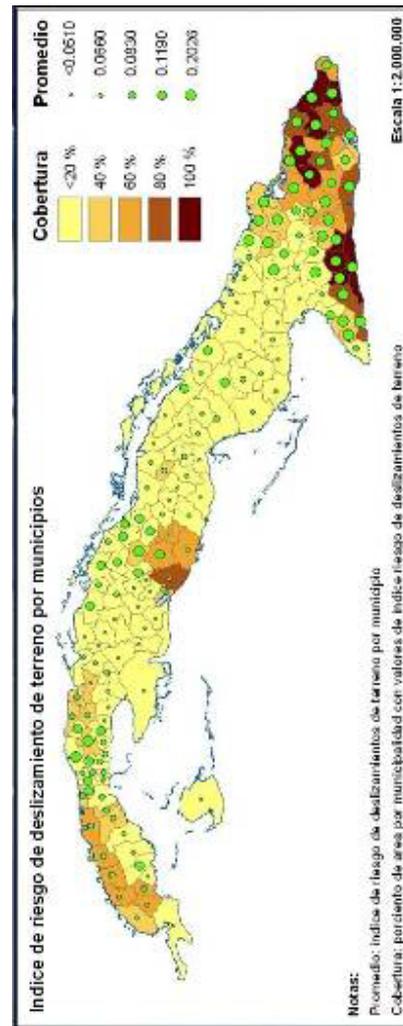


Fig. 3. Índice de riesgo por deslizamientos de terreno por municipios

Los resultados fueron analizados por regiones fisiográficas y límites administrativos (provincial y municipal). Se encontró que la Sierra Maestra tiene la mayor concentración de valores de índice de riesgo de deslizamientos de terreno, mientras que el sistema Nipe-Cristal-Baracoa tiene los valores más altos pero más dispersos. Se reconocieron las provincias y municipios en estas áreas con altos valores de índice de riesgo promedio y con mayor cobertura como se muestra en Figura 3. Los resultados obtenidos permiten diseñar un apropiado plan

de mitigación de riesgo de deslizamientos de terreno a nivel nacional.

Estos resultados obtenidos tienen la intención de apoyar la toma de decisiones para priorizar financiamiento y recursos para la evaluación de riesgo a niveles local, municipal y provincial. Con los resultados de este estudio en Cuba, la organización de la Defensa Civil será capaz de alertar a las autoridades locales los niveles de riesgo y unir esta información al sistema nacional de alerta temprana para huracanes, permitiendo también alertar y evacuar áreas propensas a deslizamientos de terreno.

## 5. AGRADECIMIENTOS

El autor agradece a todas las instituciones nacionales que aportaron datos para la realización de este estudio incluyendo la Oficina Nacional de Estadística y el Instituto Nacional de la Vivienda.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGS, 2000. *Landslide Risk Management Concepts and Guidelines*, Australian Geomechanics Society (AGS), Subcommittee on Landslide Risk Management, 32 p.

Carreño, M., Cardona, O., Barbat, A., 2007. A Disaster Risk Management Performance Index. *Natural Hazards* 41, 1-20.

Castellanos Abella, E.A., Van Westen, C.J., 2005. Development of a System for Landslide Risk Assessment for Cuba. In: E. Eberhardt, O. Hungr, R. Fell And R. Couture (Editors), *Landslide Risk Management*, pp. 10

Castellanos Abella, E.A., Van Westen, C.J., 2007. Generation of a Landslide Risk Index Map for Cuba using Spatial Multi-Criteria Evaluation. *Landslides* 4, 311-325.

Evans, S.G., Roberts, N.J., 2006. A Country-Specific Geo-Risk Index (GRI): A first Approximation to Partitioning the Contribution of Hazard and Vulnerability. *EGU General Assembly*. April 2-7, 2007 Vienna, Austria. Geophysical Research Abstracts 8, 10089.

Glade, T., Anderson, M., Crozier, M.J. (Editors), 2005. *Landslide Hazard and Risk*. John Wiley & Sons, Ltd., Chichester, England, 802 Pp.

Guzzetti, F., 2000. Landslide Fatalities and the Evaluation of Landslide Risk in Italy. *Engineering Geology* 58, 89-107.

ITC, 2001. *Ilwis 3.0 Academic - User's Guide*. ITC, Enschede, Netherlands, 520 Pp.

Nadim, F., Kjekstad, O., Domaas, U., Rafat, R., Peduzzi, P., 2006a. Global Landslide Risk Case Study. In: M. Arnold, R.S. Chen, U. Deichmann And M. Dille (Editors), *Natural Disaster Hotspots. Case Studies*. The World Bank, Washington, D.C., pp. 204.

Nadim, F., Kjekstad, O., Peduzzi, P., Herold, C., Jaedicke, C., 2006b. Global Landslide and Avalanche Hotspots. *Landslides* 3, 159-173.

Saaty, T.L., 1980. *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*. McGraw-Hill, 287 Pp.

Yoshimatsu, H., Abe, S., 2006. A Review of Landslide Hazards in Japan and Assessment of their Susceptibility using an Analytical Hierarchic Process (AHP) Method. *Landslides* 3, 10

