



ZONACIÓN DE LOS PELIGROS, VULNERABILIDADES Y RIESGOS GEÓLOGO-GEOFÍSICOS, EN LA CORDILLERA DE GUANIGUANICO, CUBA

José Luis Cuevas Ojeda^{(1) (2)}, Bárbara Polo González^{(1) (2)}, Jesús M. López-Kramer⁽¹⁾, Efrén Jaimez Salgado⁽¹⁾, Ma. Cristina Escandón Arbolay⁽¹⁾, José F. Alcaide Orpí⁽¹⁾, Mario Guerra Oliva⁽¹⁾, Bertha E. González Raynal†⁽²⁾, Julio García Peláez⁽²⁾, Luis D. Pérez Lara⁽²⁾, Maydelín Estévez López⁽³⁾, Yusnel Torres Pérez⁽³⁾, Carlos M. Lopetegui Moreno⁽³⁾, Osmany Hernández Barreto⁽³⁾, Ernesto Castaño García⁽³⁾, José A. Valdés Pérez⁽⁴⁾ y José A. García Gutiérrez⁽⁵⁾

1. Instituto de Geofísica y Astronomía, Dpto. Geología Ambiental, Geofísica y Riesgos, Calle 212 No. 2906 e/ 29 y 31, La Coronela La Lisa, La Habana, C.P. 11600;

2. Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas, Dpto. Sismología La Habana, Calle 212 No. 2906 e/ 29 y 31, La Coronela La Lisa, La Habana, C.P. 11600;

3. Centro Provincial Meteorológico Pinar del Río; 4. Dirección Provincial de Planificación Física Pinar del Río; 5. Empresa Provincial de Investigaciones Aplicadas Pinar del Río

RESUMEN

La investigación evaluó los riesgos geólogo-geofísicos, en la región occidental del país, en particular en la cordillera de Guaniguanico (sierra de los Órganos y sierra del Rosario) y el Plan Turquino- Manatí, en las provincias de Pinar del Río y Artemisa. Entre los resultados más relevantes está la zonación de los peligros, vulnerabilidades, riesgos geólogo-geofísicos por procesos gravitacionales, hidrológicos extremos y sísmicos, en la cordillera de Guaniguanico, un sistema de información geográfica, que sirvió como base fundamental para el procesamiento de toda la información, así como un sistema de base de datos y atlas digital, que soporta la mayoría de la información de los mapas de peligros, vulnerabilidades y riesgos, y que incluye útiles consultas que se pueden hacer al sistema y que están relacionadas con los asentamientos que se encuentran en las zonas de peligros de lluvias intensas, inundaciones y deslizamientos y asociadas a los mapas resultantes con un sistema auxiliar que permite ver y manipular las diferentes capas de información similar a un SIG, aspecto estos importantes para los decisores de la Defensa Civil y los órganos de montaña y que servirá para el trabajo de la prevención y mitigación por la ocurrencia de fenómenos peligrosos. Estos resultados están vinculados estrechamente con el Programa Nacional "Desarrollo sostenible de la Montaña", al aportar resultados científicos y tecnológicos para garantizar la preparación de este territorio en las actividades de la defensa, así como relacionado con el Programa Nacional "Especial de la Defensa Civil".

ABSTRACT

The research evaluated the geological-geophysical risks, in the western region of the country, particularly in the mountains of Guaniguanico (Sierra de los Órganos and Sierra del Rosario) and Turquino-Manati Plan, in the provinces of Pinar del Rio and Artemisa. Among the most important results is the zoning of hazards, vulnerabilities, risks geologist geophysical for gravitational processes, seismic and hydrological extremes in Guaniguanico mountains, a geographic information system, which served as principal base in order to processing information and a database system and digital atlas, which supports most of the information from maps of hazards, vulnerabilities and risks, and includes useful queries that can make the system and that are related to settlements are located in areas with danger of heavy rains, floods and landslides and the resulting maps associated with an auxiliary system that allows you to view and manipulate the different layers of information similar to a GIS, these important aspect for decision-makers and Civil Defense and work serve to prevent and mitigate the occurrence of hazards. These results are linked closely with the National Programme "Sustainable Development of the Mountain" by providing scientific and technological results to ensure the



preparation of this territory in defense activities and related National Programme "Civil Defense Special".

INTRODUCCIÓN

Las pérdidas humanas y económicas causadas por los desastres naturales en general y por los de origen geológico y geofísicos – meteorológicos más particularmente han venido en aumento durante los últimos años, y globalmente la sociedad moderna se ha hecho mucho más vulnerable a estos fenómenos.

Para reducir los riesgos de desastres y la vulnerabilidad es muy importante y fundamental que haya un aumento de la resiliencia de las naciones y las comunidades ante los desastres y que se traduzcan en actividades concretas en desarrollo, para reducir los efectos de los desastres redoblando los esfuerzos nacionales e intensificando la cooperación bilateral, regional e internacional, en particular mediante la asistencia técnica y financiera.

Este hecho da la idea de la importancia que ha tenido y tiene para la comunidad mundial la observación, estudio, modelación, monitoreo de los fenómenos, evaluación de las técnicas a aplicar en diferentes zonas para la estimación de los peligros, la vulnerabilidad y los riesgos naturales a las que están sometidas las diferentes comunidades sociales, industrias y en general la infraestructura construida por el hombre y el propio medio físico, con el objetivo de mitigar y reducir las consecuencias de los diferentes fenómenos naturales y antrópicos que causan los desastres. Entre estos fenómenos se encuentran los deslizamientos de tierra en zonas montañosas, que son uno de los desastres geológicos más frecuentes en la naturaleza causados por la inestabilidad de los taludes, en unos casos debidos a obras ingenieras o en otros por condiciones naturales, disparados por intensas lluvias o por terremotos. Estos fenómenos causan daños físicos de consideración, dentro de los que se encuentran la interrupción de las vías de comunicación (carreteras, caminos, viaductos, etc.), la destrucción de inmuebles y pérdidas a la propiedad en general, pudiendo causar víctimas fatales en el caso de derrumbes de laderas y los conocidos flujos de lodos, los que son disparados por los fenómenos hidrológicos extremos como las inundaciones por intensas lluvias, así como por terremotos.

La mayoría de los autores que trabajan en esta rama de las ciencias naturales son del criterio de que los riesgos sólo pueden ser prevenidos, para lograr la reducción de los efectos, cuando se tiene suficiente información geológica, estructural, geofísica, sismológica y climatológica con registros históricos, para evaluar la posible ubicación, magnitud y frecuencia de los eventos destructivos.

El presente trabajo constituye en sí un resumen de la segunda fase de un proyecto terminado anteriormente (Cuevas *et al.*, 2004), que tuvo resultados de carácter independientes, como es el Sistema de Información Geográfica Riesgos Guamuhaya (Cuevas *et al.*, 2005a), siendo algunos de ellos expuestos en eventos científicos como el Sistema de Base de Datos y Atlas Peligros v 2.0 (Polo y Cuevas, 2005) y la metodología de estimación de los peligros en zonas montañosas (Cuevas *et al.*, 2005b). Aquí se evaluarán los riesgos geólogo-geofísicos, en la región occidental del país, en particular en la cordillera de Guaniguanico (sierra de los Órganos y sierra del Rosario) y la zona total que ocupa el Plan Turquino-Manatí que abarca la mayor parte de la provincia de Pinar del Río y Artemisa.

Como antecedente de los peligros a que está sometida la región puede decirse que es una de las más afectadas por los huracanes tropicales en nuestro país, lo que ha traído como consecuencias grandes inundaciones, deslizamientos de tierra en las zonas montañosas provocados precisamente por las intensas lluvias a que se ha visto sometido el territorio de la provincia de Pinar del Río. Reportes de grandes huracanes que han azotado a esta provincia. También, la Carretera de Montaña que se vio afectada con 16 deslizamientos (Naciones Unidas, 2002), este aspecto es uno a los que la



presente investigación le dedicó atención, dado que este fenómeno puede interrumpir las vías de comunicaciones a los diferentes asentamientos humanos en zonas de montaña, lo que por supuesto dificulta las labores de evacuación, distribución de alimentos y otras en las condiciones en que quedan los mismos.

Desde el punto de vista sismológico también existe una componente a considerar en cuanto al peligro sísmico, que como es conocido, si bien en esta región la frecuencia de ocurrencia de terremotos no es alta, de los eventos que pudieran ser perceptibles (Chuy, 2000) y ser ellos mismos productores de desastres y además de constituir eventos disparadores de otros fenómenos productores de desastres como los deslizamientos de tierra. En la región occidental el fenómeno sismológico como disparador del desastre que producen los deslizamientos también tiene su antecedente histórico con el sismo ocurrido el 22 de Enero de 1880 a las 23:10 Hora Local (04:39 UT del día 23) reportado con $I = 8$ grados MSK en la localidad de San Cristóbal en Pinar del Río (en la actualidad pertenece a Artemisa) y con una magnitud 6.0 Richter, por datos macrosísmicos en la que se señalan pérdidas materiales de consideración (Chuy *et al.*, 1988), asociado a la Zona Sismogénica Pinar. Es por ello, que este fenómeno fue muy tenido en cuenta a la hora del tratamiento de los factores disparadores.

En estudios realizados por investigadores soviéticos y cubanos para el Centro de Investigaciones Nucleares se determinó un paleodeslizamiento que aunque no fue datado se supone que estuvo asociado a este gran sismo que fue sentido en las provincias centrales de nuestro país, así como en localidades de La Florida en Estados Unidos (Orbera *et al.*, 1994). Es por ello que en la cordillera de Guaniguanico el estudio multidisciplinario de los fenómenos de riesgos geólogo-geofísicos, también tiene una gran importancia para el desarrollo de la montaña.

La presente investigación se orientó fundamentalmente a la obtención de una valoración cualitativa y cuantitativa de los riesgos geólogo-geofísicos de la zona de estudio en la región montañosa más occidental de Cuba, todo esto de manera de contribuir al conocimiento científico y aplicado a la interrelación naturaleza-sociedad, aspecto este al que Cuba le está brindando una atención esmerada en el ámbito general, y por su carácter estratégico en las zonas montañosas.

El proyecto para el cumplimiento de sus objetivos y resultados abordó todo un ciclo en la zona de la cordillera de Guaniguanico, cumplimentando una fase de recopilación informativa sobre el desarrollo de la industria e infraestructura creada para el apoyo de las labores agrícolas y del desarrollo del territorio de la montaña, así como de todas las instalaciones críticas y líneas vitales. Después de cumplimentada dicha fase del Proyecto, entonces abordó el resto de los resultados aplicando la metodología establecida y probada en el Proyecto inicial (Cuevas *et al.*, 2004). La característica en que se abordó la investigación permitió utilizar las consideraciones, adecuaciones y modificaciones metodológicas que se hicieron en la zona de Guamuhaya, las que fueron aplicadas en Guaniguanico.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de ubicación

Los trabajos tienen como área objeto de estudio, la región montañosa más occidental del país y ocupa un área de $5\,060\text{ km}^2$. La misma se encuentra aproximadamente dentro de los $22,17^\circ$ - $22,95^\circ$ de Latitud Norte y los $82,88^\circ$ - $84,06^\circ$ de Longitud Oeste, equivalente a $X = 157\,287 - 305\,823$, $Y = 261\,962 - 350\,492$. Desde el punto de vista político-administrativo, la región se encuentra dentro de la provincia de Pinar del Río y en la actual provincia de Artemisa. En esta



última provincia parte de los municipios involucrados dentro del área de trabajo son: Bahía Honda, San Cristóbal y Candelaria y en la provincia de Pinar del Río: Guane, Mantua, Minas de Matahambre, San Juan y Martínez, San Luis, Pinar del Río, Viñales, La Palma, Consolación del Sur y Los Palacios. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, puede observarse la zona de los trabajos y los límites municipales que entran en el área de estudio. Es necesario aclarar que las figuras, tablas y otras referencias hablan en general con los límites anteriores al año 2011, cuando comenzaron a ser oficiales los límites nuevos, pero se mantienen las referencias a los municipios, antes aclarados a que provincias actuales pertenece.

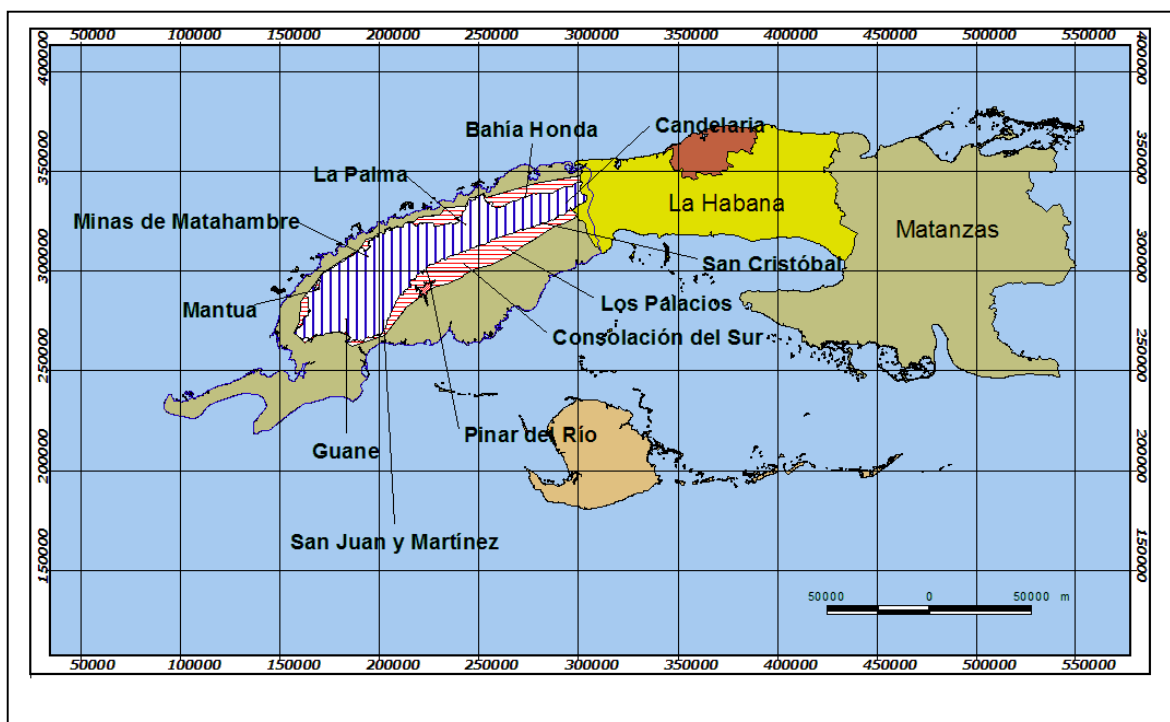


Figura 1. Mapa del área de estudio. Área con tramado horizontal de color rojo, representa la zona de estudio. Área con tramado vertical de color azul, representa la zona del Plan Turquino-Manatí.

Materiales

Para la investigación se utilizaron los mapas temáticos elaborados durante la ejecución del Proyecto (Cuevas *et al.*, 2008b) y soportados todos de manera digital sobre la plataforma del SIG implementado. Entre esos mapas que se utilizaron en esta etapa se encuentran:

Mapas de Referencias (1:50 000): Mapa general de ubicación del área de estudio, Mapa de referencias, Mapas de Inventarios de Eventos, Mapa de las Trayectorias de ciclones y huracanes más importantes que han pasado por la provincia de Pinar del Río y Mapa de Inventario de Eventos hidrometeorológicos extremos: inundaciones por lluvias y alivios de embalses.

Mapas Meteorológicos (1:50 000): Mapas de Precipitaciones Mensuales Promedio (incluye períodos poco lluvioso y lluviosos), Mapas de Precipitaciones Máximas Mensuales en 24 horas anuales 1979 – 2004, Mapa de la Humedad relativa promedio, Mapa de la Humedad relativa máxima promedio y Mapa de la Humedad relativa mínima promedio.

Mapas de Evapotranspiración mensuales, Mapa Geológico de Pinar del Río (1:100 000), Mapa



Generalizado de Complejos Litológicos de Pinar del Río (1:100 000).

Mapas Topográficos: Mapa del Modelo Digital de Elevaciones (1:25 000).

Mapas Geomorfológicos (1:25 000): Mapa Hipsométrico o pisos altitudinales, Mapa de bloques de ascensos neotectónicos, Mapa de Pendientes y Mapa de Tipos de Relieves.

Mapa de Red Hidrográfica de la provincia de Pinar del Río (1:25 000),

Mapa de Suelos (1:25 000): Mapa Genético de Suelos de la zona de estudio y Mapa de Erosión Actual de los Suelos de la zona de estudio.

Mapas Sismológicos (1:1 000 000): Mapa de isosistas del terremoto de 23 de enero de 1880 (San Cristóbal), Localidades donde fue perceptible el sismo de 1880 e intensidades reportadas y Mapa de epicentros de sismos perceptibles e instrumentales en la región de Pinar del Río.

Mapa de Distribución de la vegetación, en el área de estudio, Mapas de Instalaciones Críticas y Mapa de Líneas Vitales.

Todos estos mapas pueden consultarse en el Sistema de Base de Datos (Polo *et al.*, 2010a), elaborada dentro de la investigación y que se explica más adelante en detalle.

Métodos

Para la determinación de los escenarios de peligros, se utilizaron expresiones que relacionan tanto los factores condicionantes como los disparadores de los fenómenos peligrosos. A continuación se describen brevemente estos factores:

Escenarios de peligro por deslizamientos

Para determinar los escenarios por deslizamientos fue empleada la metodología desarrollada por (Mora *et al.*, 1988), a la cual se le modificaron algunos de sus parámetros, con el objetivo de adaptarla a las condiciones geológicas y climatológicas de nuestro país, y en especial en correspondencia con la zona montañosa donde se aplicó en nuestro caso (Cuevas *et al.*, 2005b), la misma plantea que los deslizamientos ocurren cuando los factores de disparo (terremotos y precipitaciones) rompen el equilibrio a que están sometidos los factores de susceptibilidad (litología, humedad y relieve). Por lo que la amenaza estaría expresada en función de los factores de susceptibilidad y los factores de disparo, mientras que los escenarios quedarían expresados en función de los factores de susceptibilidad, como se expresa en la siguiente ecuación:

$$S_d = (F_l * F_r * F_w) + F_v \quad (1)$$

Donde:

F_l : Factor de Susceptibilidad Litológica ó Factor Litológico

F_r : Factor de Susceptibilidad por Relieve

F_w : Factor de Susceptibilidad por Humedad

F_v – Factor de Susceptibilidad por vegetación

En esta oportunidad y a diferencia de lo que se hizo en Guamuhaya (Cuevas *et al.*, 2005b), se introdujo una modificación en lo referido a la vegetación y que se discutirá más adelante.

Factor de Susceptibilidad por Humedad (F_w)



El factor de susceptibilidad por la humedad de los suelos (F_w), fue estimado a partir de la combinación de los parámetros de permeabilidad de los suelos (K_s), según el agrupamiento de los mismos y los valores máximos mensuales de las precipitaciones (LI) en más de 34 pluviómetros (incluyendo las siete estaciones meteorológicas) ubicadas en la región de estudio y sus alrededores, así como los valores de evaporación media mensual. Este factor de susceptibilidad fue calculado según la metodología desarrollada en Guamuhaya (Cuevas *et al.*, 2005b). El análisis estadístico de los datos de precipitaciones mensuales en la zona de estudio permite la clasificación que se muestra en la Tabla I.

Tabla I. Clasificación del parámetro lluvias máximas mensuales (factor disparador lluvias)

LI - E_{mm} (mm)	Calificativo	Valor
<50	Muy Bajo	1
50-100	Bajo	2
100-125	Medio	3
125-200	Alto	4
200-325	Muy Alto	5
325-450	Fuerte	6
450-575	Muy Fuerte	7
575	Extrem. Fuerte	8

En el caso de la permeabilidad de los suelos (K_s), los datos de las propiedades físicas de los mismos indican que los más capaces de retener la humedad son los Ferralítico Rojo Oscuro y Ferralítico y los menos susceptibles a retener la humedad los Arenosol, por lo que se pueden categorizar como aparecen en la En el caso de la susceptibilidad por la litología, en la zona de estudio las rocas terrígenas, areno arcillosas y turbáceas son las de más factibilidad para la ocurrencia de los deslizamientos, este factor puede observarse en la Figura 3.

En la Tabla IV y Para el análisis de este factor en general hay que decir que la susceptibilidad de una zona a presentar un fenómeno de remoción en masa depende de aspectos como el uso de la tierra, la deforestación, el manejo de aguas en la zona, la presencia de aguas subterráneas, las acciones antrópicas incluyendo la fragmentación de hábitats (los procesos de deterioro o afectación del terreno) y otros sistemas, los aspectos climáticos, y en general todos los factores que puedan afectar las condiciones de equilibrio de un terreno con una pendiente determinada (Suárez, 2007).

Según (Medina, 2007), la importancia de la cubierta vegetal sobre la estabilidad de las pendientes ha sido muy debatido en los últimos años; el estado del arte actual deja muchas dudas e inquietudes,

Tabla V, se categorizan según la susceptibilidad al deslizamiento las rocas, según sus litologías, y los suelos, por su grupo genético, presentes en el área.

Tabla II. En la se muestra la categorización del factor de humedad de los suelos (F_w) en seis niveles.

Factor de Susceptibilidad Litológica ó Factor Litológico (F_l)

El Factor de Susceptibilidad Litológica (F_l) se calculó a partir de la combinación multiplicatoria de los parámetros litoestratigráfico y genéticos de las rocas y suelos (Cuevas *et al.*, 2005b), como son: 1) posibilidad al deslizamiento de los suelos según el agrupamiento genético (P_s) y 2) las características litológicas, texturales e ingeniero-geológicas de las formaciones y grupos ingeniero-geológicos presentes (P_g) en el área de estudio.

En la región los suelos de mayor susceptibilidad al deslizamiento son los ferríticos rojos oscuros y ferrálicos, que se encuentran distribuidos en la zona donde los valores hipsométricos se consideran altos, potenciando de esta manera el peligro por deslizamiento (Figura 2).

En el caso de la susceptibilidad por la litología, en la zona de estudio las rocas terrígenas, areno arcillosas y turbáceas son las de más factibilidad para la ocurrencia de los deslizamientos, este factor puede observarse en la Figura 3.

En la Tabla IV y Para el análisis de este factor en general hay que decir que la susceptibilidad de una



zona a presentar un fenómeno de remoción en masa depende de aspectos como el uso de la tierra, la deforestación, el manejo de aguas en la zona, la presencia de aguas subterráneas, las acciones antrópicas incluyendo la fragmentación de hábitats (los procesos de deterioro o afectación del terreno) y otros sistemas, los aspectos climáticos, y en general todos los factores que puedan afectar las condiciones de equilibrio de un terreno con una pendiente determinada (Suárez, 2007).

Según (Medina, 2007), la importancia de la cubierta vegetal sobre la estabilidad de las pendientes ha sido muy debatido en los últimos años; el estado del arte actual deja muchas dudas e inquietudes,

Tabla V, se categorizan según la susceptibilidad al deslizamiento las rocas, según sus litologías, y los suelos, por su grupo genético, presentes en el área.

Tabla II. Clasificación del parámetro permeabilidad de los suelos (K_s)

Ks - Permeabilidad Suelos	Valor	Calificativo
Arenosol , Macizo rocoso	5	Muy Alto
Fluvisol, Lithosol y Gley Nodular Ferruginoso ¹	4	Alto
Alíticos (todos los tipos genéticos), Ferralítico Amarillento Lixiviado	3	Medio a Alto
Ferralítico, Fersialítico, Ferralítico Rojo Lixiviado, Pardo, Húmico	2	Medio
Ferralítico Rojo Oscuro, Ferralítico	1	Bajo

La categorización de este factor (F_i). por los valores calculados se muestra en la aunque la experiencia ha demostrado el efecto positivo de la vegetación para evitar problemas de erosión, reptación y fallas subsuperficiales.

El efecto más importante de la vegetación en los suelos, universalmente aceptado, es la protección contra la erosión en todos los casos y con el uso de todo tipo de plantas (Barker *et al.*, 1994). La vegetación cumple dos funciones principales: en primer lugar tiende a determinar el

Tabla VI. Clasificación del factor litológico

Calificativo	FI - Factor Litológico	Valor
Muy Alto	= 16,00 <= 20,00	5
Alto	= 12,00 < 16,00	4
Medio	= 8,00 < 12,00	3
Moderado	= 2,00 < 8,00	2
Bajo	= 1,00 < 2,00	1

. El mapa de distribución espacial de este factor puede observarse en la Figura 4.

Factor de Susceptibilidad por Relieve (F_r)

El factor del relieve fue estimado a través del comportamiento de las pendientes del terreno

expresadas en grados. Por ser esta un área fundamentalmente de montaña, las pendientes llegan incluso hasta algo más de los 70°, lo que hace a este factor bastante influyente en la determinación de la susceptibilidad al deslizamiento.

Tabla III. Clasificación del factor susceptibilidad humedad

Calificativo	F_w - Factor Susc. Humedad	Valor
Muy Alto	> 4.00 = 5.00	6
Alto	> 3.00 = 4.00	5

¹ Gley Nodular Ferruginoso resulta alta debido a la variedad textural sin embargo el drenaje en este tipo de suelo es deficiente al encontrarse distribuido en relieve bajo e incluso muy bajo (depresional)

Medio	>	2.00	=	3.00	4
Moderado	>	1.00	=	2.00	3
Bajo	>	0.20	=	1.00	2
Muy Bajo	=	0.00	=	0.20	1

El Factor de Susceptibilidad por Relieve (F_r), no es más que la pendiente, expresada en grados. En la

Tabla VII, se muestra el valor asignado a cada

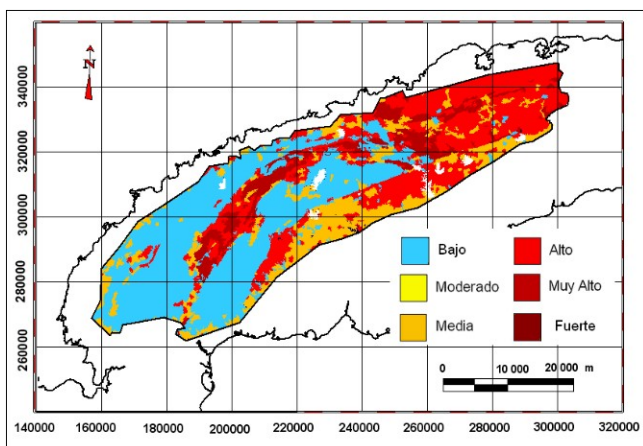


Figura 2. P_s – Susceptibilidad al deslizamiento según el grupo genético de los suelos

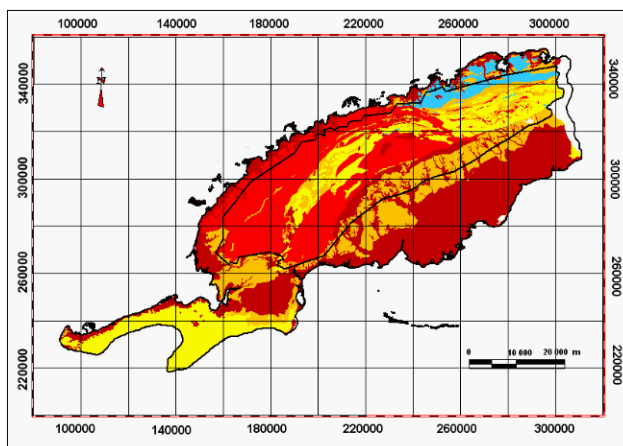


Figura 3. Susceptibilidad al deslizamiento, según la litología

intervalo de pendiente para categorizar el factor del relieve.

Factor de Susceptibilidad por vegetación (F_v)

Sobre el factor de susceptibilidad al deslizamiento por la vegetación, se va a profundizar en algo más de detalle, pues dentro de la metodología original utilizada en el macizo montañoso de

Tabla IV. Clasificación de la susceptibilidad al deslizamiento, según la litología

Pg - Susp. Desliz. Litología	Valor	Calificativo
Efusivo Sedimentarios-Ofolitas-ultrabasitas	1	Bajo
Carbonatados	2	Moderado
Conglomerado brechas - Terrígenos - Carbonatados	3	Medio
Metaterígenos	4	Alto
Terrígenos, Arenos Arcilloso Turbáceo	5	Muy Alto

Guamuhaya (Cuevas *et al.*, 2005b), no fue introducida.

Para el análisis de este factor en general hay que decir que la susceptibilidad de una zona a presentar un

fenómeno de remoción en masa depende de aspectos como el uso de la tierra, la deforestación, el manejo de aguas en la zona, la presencia de aguas subterráneas, las acciones antrópicas incluyendo la fragmentación de hábitats (los procesos de deterioro o afectación del terreno) y otros sistemas, los aspectos climáticos, y en general todos los factores que puedan afectar las condiciones de equilibrio de un terreno con una pendiente determinada (Suárez, 2007).

Según (Medina, 2007), la importancia de la cubierta vegetal sobre la estabilidad de las pendientes ha sido muy debatido en los últimos años; el estado del arte actual deja muchas dudas e inquietudes,

Tabla V. Clasificación de la susceptibilidad al deslizamiento de los suelos, según su grupo genético

Ps - Susp. Desliz. Suelos	Valor	Calificativo
Ferráltico - Alítico	4	Muy Alto

Humico Sialítico - Pardo Sialítico - Fersialítico	3	Alto
Fluvisol	2	Medio
Poco Evolucionados	1	Bajo

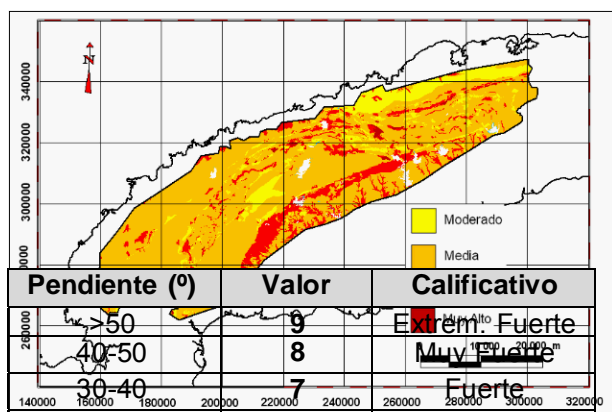
aunque la experiencia ha demostrado el efecto positivo de la vegetación para evitar problemas de erosión, reptación y fallas subsuperficiales.

El efecto más importante de la vegetación en los suelos, universalmente aceptado, es la protección contra la erosión en todos los casos y con el uso de todo tipo de plantas (Barker *et al.*, 1994). La vegetación cumple dos funciones principales: en primer lugar tiende a determinar el

Tabla VI. Clasificación del factor litológico

Calificativo		FI - Factor Litológico		Valor
Muy Alto	=	16,00	<= 20,00	5
Alto	=	12,00	< 16,00	4
Medio	=	8,00	< 12,00	3
Moderado	=	2,00	< 8,00	2
Bajo	=	1,00	< 2,00	1

contenido de agua en la superficie y además da consistencia a esta por el entramado mecánico de sus raíces. La cubierta vegetal presente en el talud y encima de este es un parámetro importante para su estabilidad (Sidle, 2005; Suárez, 2007; Turkelboom, 2006). En la investigación de la cubierta vegetal de la Cordillera de Guaniguanico se consultaron los antecedentes bibliográficos afines con el área de estudio y se utilizaron Imágenes pancromáticas de Google Earth del 2007, procesadas y foto interpretadas por métodos clásicos, los polígonos se identificaron por las diferencias de tonos y texturas, los que fueron comprobados en expediciones realizada a la zona investigada.



Pendiente (°)	Valor	Calificativo
>50	9	Muy Alto
40-50	8	Alto
30-40	7	Fuerte
25-30	6	Muy Alto
20-25	5	Alto
15-20	4	Medio
10-15	3	Moderado
5-10	2	Bajo
0-5	1	Muy Bajo

Figura 24-25- Factor de susceptibilidad al deslizamiento, según la litología

Tabla VII. Categorización del factor relieve

Al analizar el efecto de la vegetación sobre los deslizamientos del suelo del sistema montañoso, se trabajaron diferentes puntos situados en áreas en que habían ocurrido movimientos del suelo. La relación de la cubierta vegetal con los deslizamientos de los taludes fue obtenida a través del uso de la metodología empleada por Dotor (2004), la cual valora en el talud el tipo de vegetación y la presencia o no de esta. La existencia de especies vegetales disminuye la probabilidad de deslizamiento, mientras que la

pérdida de cobertura vegetal la aumenta.

Las formaciones vegetales observadas en la cordillera de Guaniguanico se corresponden con las referidas por Capote *et al.* (1988; 1989), las que fueron agrupadas en: *Bosques*: Siempreverde Mesófilo submontano, Semideciduo Mesófilo típico, de pinos (Pinares), *Formaciones arbustivas*: Matorral xeromorfo espinoso (cuabal), *Formaciones herbáceas*: Vegetación acuática. *Complejos de vegetación*: De mogotes. *Vegetación secundaria*: Matorrales secundarios; Bosques secundarios, Sabanas seminaturales. *Vegetación cultivada*: Cultivos agrícolas, pastos con zona de cultivos agrícolas, Plantaciones forestales, otras plantaciones.

Atendiendo a las características botánicas de las especies que conforman las unidades vegetales



presentes en el macizo montañoso las probabilidades de deslizamientos de los suelos en los que se encuentran se muestran en la .

En las condiciones de Cuba, (García-Gutiérrez y Ordaz-Hernández, 2007), en los estudios realizados en la red vial de la provincia de Pinar del Río, hallaron entre otros sitios, corrimientos de masas de suelo de los taludes en la zona montañosa de referencia, particularmente en las áreas con afectaciones en la vegetación lo que demuestra la notable influencia que tiene esta componente en la persistencia de los taludes, aunque no sea el factor disparador de estos movimientos de los suelos.

En el Figura 5, se presenta el mapa del factor de susceptibilidad por la vegetación, en el mismo se pueden apreciar puntos donde han ocurrido deslizamientos en la red vial según García-Gutiérrez y Ordaz-Hernández (2007), además de otros puntos registrados en la presente investigación.

Al comparar los esquemas de cubierta de vegetación con los de deslizamientos de la Sierra de los Órganos y la del Rosario, se demuestra que en las diferentes áreas y en los puntos en que han ocurrido pérdidas de la estabilidad del talud, existe correspondencia entre el tipo de vegetación con el factor de deslizamiento por la vegetación.

A manera de sumario se debe decir que los puntos donde ocurrieron deslizamientos de los taludes coinciden con áreas que presentan cubierta vegetal que las hace susceptible a dichos movimientos del suelo. Los resultados obtenidos demostraron que la cubierta vegetal es un factor de relevancia en la estabilidad de los taludes. Es por ello, que se ha modificado la metodología original utilizada en Guamuhaya (Cuevas *et al.*, 2005b), para incluir el factor de la vegetación en la metodología actual y que quedó plasmada en la ecuación 3.1. Este factor (F_v), se ha introducido como una combinación lineal y no como una multiplicatoria, pues en este caso particular se consideró que este factor es de un peso menor que los demás, aunque influyente, y entonces se utilizó la concepción del multicriterio en combinación lineal (Bojórquez-Tapia *et al.*, 2005).

Susceptibilidad al deslizamiento (S_d) y escenario de peligro (P_{Sd})

Con la combinación de todos los factores de susceptibilidad, según la ecuación 1, fue posible obtener la susceptibilidad al deslizamiento (S_d) (Figura 6).

Finalmente el escenario de peligro está condicionado por los factores de disparos, que en este caso lo constituyen los sismos y las lluvias intensas en 24 horas, calculándose de la misma manera en que se desarrolló en Guamuhaya (Cuevas *et al.*, 2005b).

Factor disparador sismológico (F_s)

Para calcular este factor se estiman dos subfactores, uno relacionado con la sismicidad regional (terremoto ocurrido en las zonas lejanas al área de estudio que la han afectado) y el otro relacionado con la sismicidad local (terremotos ocurridos en las zonas cercanas al área de estudio y/o dentro de ella).

Considerando como a nivel regional el terremoto de San Cristóbal y a nivel local el terremoto de Alonso de Rojas (Figura 7). Para esto se calculan los mapas de isosistas de los terremotos de manera integrada y se calcula en cada cuadrícula el valor máximo de intensidad.

Estos resultados se combinan con la humedad y potencia de los suelos, elementos determinantes en el patrón de atenuación y/o amplificación de las intensidades provocadas por los terremotos. La metodología fue la misma que se utilizó en Guamuhaya, teniéndose la misma clasificación del factor sismológico (Cuevas *et al.*, 2005b), lo que permitirá una valoración comparativa entre ambas regiones.



Tabla VIII.

En las condiciones de Cuba, (García-Gutiérrez y Ordaz-Hernández, 2007), en los estudios realizados en la red vial de la provincia de Pinar del Río, hallaron entre otros sitios, corrimientos de masas de suelo de los taludes en la zona montañosa de referencia, particularmente en las áreas con afectaciones en la vegetación lo que demuestra la notable influencia que tiene esta componente en la persistencia de los taludes, aunque no sea el factor disparador de estos movimientos de los suelos.

En el Figura 5, se presenta el mapa del factor de susceptibilidad por la vegetación, en el mismo se pueden apreciar puntos donde han ocurrido deslizamientos en la red vial según García-Gutiérrez y Ordaz-Hernández (2007), además de otros puntos registrados en la presente investigación.

Al comparar los esquemas de cubierta de vegetación con los de deslizamientos de la Sierra de los Órganos y la del Rosario, se demuestra que en las diferentes áreas y en los puntos en que han ocurrido pérdidas de la estabilidad del talud, existe correspondencia entre el tipo de vegetación con el factor de deslizamiento por la vegetación.

A manera de sumario se debe decir que los puntos donde ocurrieron deslizamientos de los taludes coinciden con áreas que presentan cubierta vegetal que las hace susceptible a dichos movimientos del suelo. Los resultados obtenidos demostraron que la cubierta vegetal es un factor de relevancia en la estabilidad de los taludes. Es por ello, que se ha modificado la metodología original utilizada en Guamuhaya (Cuevas *et al.*, 2005b), para incluir el factor de la vegetación en la metodología actual y que quedó plasmada en la ecuación 3.1. Este factor (F_v), se ha introducido como una combinación lineal y no como una multiplicatoria, pues en este caso particular se consideró que este factor es de un peso menor que los demás, aunque influyente, y entonces se utilizó la concepción del multicriterio en combinación lineal (Bojórquez-Tapia *et al.*, 2005).

Susceptibilidad al deslizamiento (S_d) y escenario de peligro (P_{Sd})

Con la combinación de todos los factores de susceptibilidad, según la ecuación 1, fue posible obtener la susceptibilidad al deslizamiento (S_d) (Figura 6).

Finalmente el escenario de peligro está condicionado por los factores de disparos, que en este caso lo constituyen los sismos y las lluvias intensas en 24 horas, calculándose de la misma manera en que se desarrolló en Guamuhaya (Cuevas *et al.*, 2005b).

Factor disparador sismológico (F_s)

Para calcular este factor se estiman dos subfactores, uno relacionado con la sismicidad regional (terremoto ocurrido en las zonas lejanas al área de estudio que la han afectado) y el otro relacionado con la sismicidad local (terremotos ocurridos en las zonas cercanas al área de estudio y/o dentro de ella).

Considerando como a nivel regional el terremoto de San Cristóbal y a nivel local el terremoto de Alonso de Rojas (Figura 7). Para esto se calculan los mapas de isosistas de los terremotos de manera integrada y se calcula en cada cuadrícula el valor máximo de intensidad.

Estos resultados se combinan con la humedad y potencia de los suelos, elementos determinantes en el patrón de atenuación y/o amplificación de las intensidades provocadas por los terremotos. La metodología fue la misma que se utilizó en Guamuhaya, teniéndose la misma clasificación del factor sismológico (Cuevas *et al.*, 2005b), lo que permitirá una valoración comparativa entre ambas regiones.



Tabla VIII. Clasificación de la susceptibilidad de deslizamiento, según el tipo de vegetación

TIPO DE VEGETACIÓN	SUSCEPTIBILIDAD AL DESLIZAMIENTO
Bosques	
Siempre verde Mesófilo submontano	baja
Semidecíduo Mesófilo típico	baja
Pinares	baja
Formaciones arbustivas	
Xeromorfo espinoso (cuabal)	baja
Formaciones herbáceas	
Vegetación acuática	alta
Complejos de vegetación	
De mogotes	baja
Vegetación secundaria	
Bosques secundarios	baja
Matorrales secundarios	media
Sabanas seminaturales	alta
Vegetación cultural	
Cultivos agrícolas	alta
Pastos con zonas de cultivos agrícolas	alta
Plantaciones forestales	baja
Otras plantaciones	media

Factor disparador lluvia (F_{II})

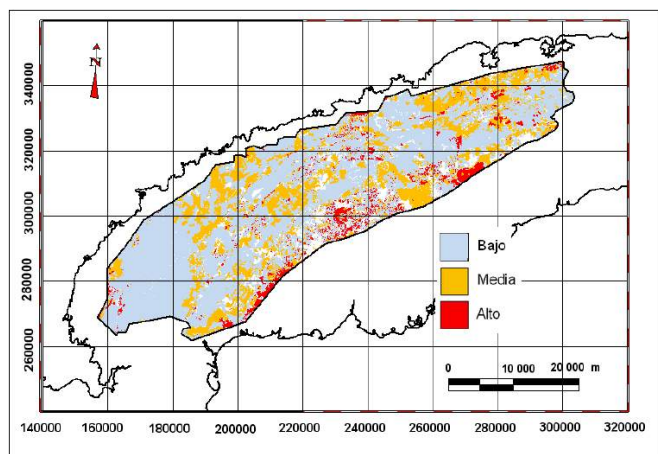
Este factor disparador se evalúa a partir de los datos mensuales de lluvias máximas en 24 horas registrados en las estaciones y pluviómetros que están en la zona de estudio y sus alrededores. Con los datos de más de 10 años se estimó este factor hasta un período de recurrencia de 100 años.

La clasificación del factor disparador por lluvias se hizo de la siguiente manera: 0–50 mm (Muy bajo), 50–100 mm (Bajo), 100–125 mm (Moderado), 125–200 mm (Medio), 200–325 mm (Alto), 325–400 mm (Muy alto), 400–575 mm (Fuerte), 575–700 mm (Muy fuerte), 700–825 mm (Extremadamente fuerte). Cuevas *et al.* (2008b) plantearon que los máximos

acumulados en 24 horas, se reportaron en su mayoría cuando ocurrió el evento meteorológico precursor del organismo tropical Alberto en el año 1982 (640 mm – en Cayos de San Felipe y Sumidero), que de acuerdo a la clasificación de este factor disparador, se podría clasificar como Muy Fuerte. Otro evento similar producido 10 años más tarde en el 1992, dio lluvias máximas del orden de los 604 mm (Muy Fuerte) registrados en el pluviómetro (Pluv.) del Correo de Río Feo y en Pinar del Río, puntos situados en la llanuras medias de la costa sur occidental (*LICSocc – m*), una distribución de estas precipitaciones

Otros registros máximos con valores menores de los antes mencionados ocurrieron en el año 1996 con valores máximos de 400 mm (Muy alto) en Pluv. Candelaria de Aguacate, en los

Figura 5. F_v - Factor de susceptibilidad al deslizamiento, según la vegetación



poblados de El Roble (alturas medias / Alt – m) y en la propia Candelaria de Aguacate (Alt – m) y en Ciro Redondo (submontañas / Submont).



Ya más reciente se han registrado valores máximos de 478 mm (Fuerte) en el 2001, en San Diego de los Baños y Pilotos, 408 mm (Fuerte) en el 2002, en el Pluv. Ancón, 560 mm (Muy fuerte) en el 2003, de nuevo en Candelaria de Aguacate. Un detalle mayor sobre todas las características de las precipitaciones máximas en 24 horas y sus mapas puede encontrarse en Cuevas *et al.* (2008b).

Escenarios de peligro (P_{sd})

Entonces una vez que se tienen todos los factores de susceptibilidad y de disparo definidos y categorizados, entonces teniendo en cuenta la sumatoria de los dos factores disparadores por lluvias y sismos, estos son multiplicados por la susceptibilidad al deslizamiento (Figura 6) se

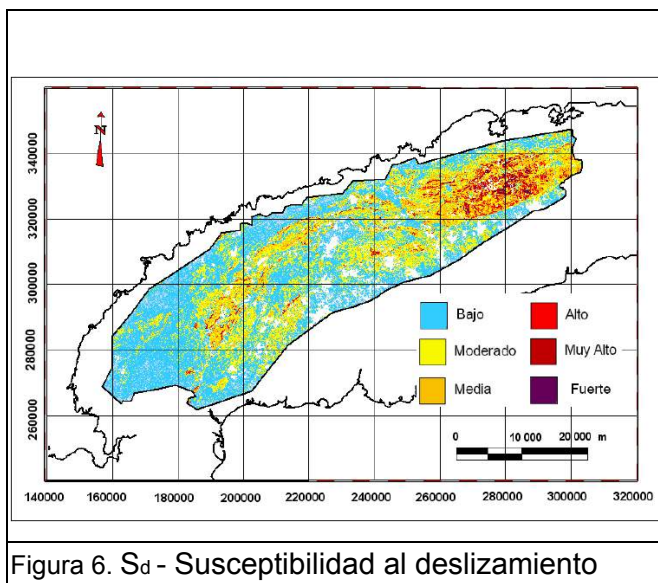


Figura 6. S_d - Susceptibilidad al deslizamiento

obtienen los valores que caracterizan la potencialidad del peligro por deslizamientos con su categorización (Cuevas *et al.*, 2010a). En la Figura 8, se puede observar el mapa de escenarios de peligro por deslizamiento.

Escenarios de peligro sísmico

El proceso de determinación de los escenarios de peligro sísmico involucran a varios factores. En primer término es necesario conocer donde ocurren los terremotos, así como la forma en que se manifiestan a diferentes distancias del foco o hipocentro.

La provincia de Pinar del Río se caracteriza por

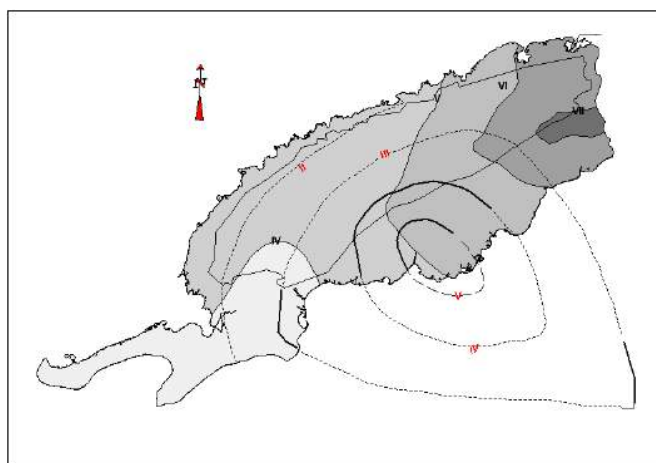


Figura 7. Isosistas del terremoto de San Cristóbal, 22 de Enero de 1880 reportado con $I=8$ grados MSK y del terremoto de Alonso de Rojas en 1981, reportado con $I=5$ grados MSK

una sismicidad de baja a moderada, donde se alternan periodos de mayor actividad con otros de relativa calma. La frecuencia de ocurrencia de eventos sísmicos de gran intensidad ha sido muy baja. Sin embargo, existen estructuras disyuntivas capaces de generar terremotos de magnitudes mayores que 6,0 en la escala de Richter. Un ejemplo es la Falla Pinar, a la que se asocia la mayoría de los sismos perceptibles y fuertes que han afectado históricamente a la provincia de Pinar del Río.

Otras estructuras de menor orden, que han manifestado actividad sísmica en diferentes épocas, son las fallas Consolación del Norte, Norte-Cubana Occidental y Río Hondo. Sin embargo, las

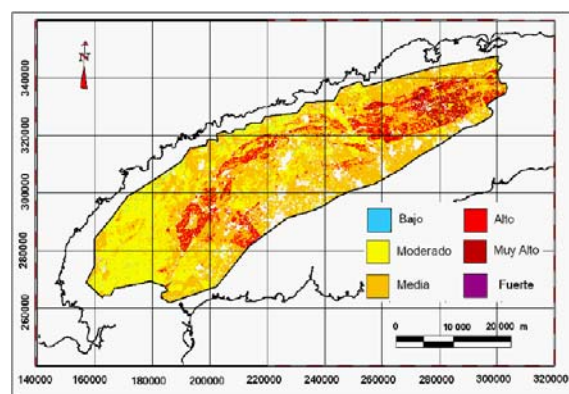


Figura 8. Mapa de escenario de peligro de deslizamiento



magnitudes estimadas de los terremotos asociados a las mismas no han sobrepasado el valor 4,0. (González-Raynal *et al.*, 2008), en el marco de la presente investigación detallaron las características sismológicas de la zona occidental de Cuba, incluyendo el área de estudio, en la Figura 7, se puede apreciar el escenario de peligro sísmico que tiene la provincia teniendo en cuenta las isosistas de dos de los terremotos de mayores intensidades ocurridos en la zona.

Escenarios de peligro por inundaciones

Para que existan inundaciones en determinadas zonas es necesario que primero esté el factor externo que constituyen las lluvias, en segundo término que el modelo digital de elevaciones exprese la morfología adecuada para que la acumulación de grandes volúmenes de agua sea factible y en tercer lugar que las rocas y el suelo tengan la capacidad suficiente para retener el volumen hídrico. Con estas condiciones se puede formular que una valoración del potencial de peligro por inundaciones depende del factor de susceptibilidad hídrico, de la humedad dado por el nivel de retención de las aguas en el suelo y estimado según el grupo genético del suelo y el factor de disparo, dado el nivel de precipitaciones máximas en 24 horas. Un detalle metodológico puede consultarse en Cuevas *et al.*, (2005b).

Métodos para la determinación de las vulnerabilidades

En esta etapa el objetivo es obtener los mapas de riesgos por inundaciones, lluvias, sismos y deslizamientos, a partir de la confección, primero de los mapas de vulnerabilidad ante los distintos eventos peligrosos, partiendo del análisis temporal previo del factor o factores de disparo desencadenantes de cada uno de estos fenómenos y de la estimación de los costos de los bienes expuestos.

Las matrices vulnerabilidad se evaluaron a partir de los daños esperados ante eventos de diferente intensidad tomando en cuenta la experiencia nacional e internacional, según la tipología de las construcciones y su estado técnico. Los riesgos fueron estimados a partir de los costos de las viviendas de acuerdo con su tipología utilizando las normas del Instituto Nacional de la Vivienda, la vulnerabilidad estimada y la expresión de (Ordaz, 1996).

En este trabajo se utilizaron las bases metodológicas de la estimación de la vulnerabilidad introducidos por Fundora *et al.* (2000; 2003) y que fueron también utilizadas en Guamuhaya (Cuevas *et al.*, 2005b).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Peligro por Inundaciones

A partir del análisis por las diferentes capas rasters, según su multiplicatoria (Cuevas *et al.*, 2005b) se calcularon los diferentes peligros teniendo en cuenta el factor disparador por lluvias F_{II} para los tiempos de recurrencia de $T=5, 10, 15, 20, 50$ y 100 años, es así que de estos se tomaron en cuenta para hacer un análisis comparativo para $5, 10$ y 50 , que serán los mismos en que se analizarán las vulnerabilidades y riesgos más adelante. Tenemos que para un período corto de recurrencia de 5 años las mayores afectaciones, categorizadas como de intensidades ALTAS, por este concepto se encuentran en el Municipio Bahía Honda, 6 asentamientos afectados (Las Treinta, San Claudio 1, San Blas, La Caoba, Valdés y Los Cayos), que involucran a 699 habitantes. En segundo lugar se encuentra el Municipio San Cristóbal con tres asentamientos (Ojo de Agua, Rangel Nuevo y Machuca) donde existe una población de 193 habitantes. Después se encuentran los Municipios de Minas de Matahambre, donde los asentamientos afectados son Cabeza I y Sumidero, aquí las afectaciones a la población involucran a mayor cantidad de habitantes (3972). La Palma es el otro municipio donde existen dos asentamientos involucrados: Vladimir I. Lenin y Loma de Caleta (504 habitantes). Finalmente dos asentamientos uno en Candelaria (Las Terrazas, 892 habitantes) y otro en el Municipio de Pinar del Río (La Cantera, 277 habitantes), pueden también ser afectados con



inundaciones de categoría ALTA.

En el Figura 9, se ven estas zonas de peligro. En general de los 259 asentamientos que están situados en la zona de estudio 15 están en zonas de peligro de inundación ALTA para un tiempo de recurrencia de 5 años.

Se determinó que todos los asentamientos con peligro de inundaciones también están en zonas de lluvias máximas promedios por encima de los 250 mm (Alto), incluso teniendo en cuenta la evapotranspiración, los valores pueden considerarse entre ALTOS y MEDIOS (129 - 208 mm), pero si por otra parte se tiene en cuenta la lluvia máxima en 24 horas (177 – 260 mm), puede verse que todos estos asentamientos están afectados por los efectos acumulativos de las lluvias y afectadas por el factor disparador de este fenómeno de las inundaciones.

Un análisis con respecto a los Consultorios Médicos de Familia (CMF) que pueden ser afectados por las inundaciones con peligro ALTO, para un tiempo de recurrencia de 5 años da como resultado que las mayores afectaciones podrían estar en el Municipio de San Cristóbal y Candelaria con 7 CMF cada uno y Bahía Honda con 6, en los demás municipios Minas de Matahambre, Viñales, La Palma, Los Palacios y Pinar un solo consultorio en cada uno de ellos se verían afectados. Este es un aspecto que hay que tener muy en cuenta por la Defensa Civil, pues es la atención médica básica que tiene la población y que puede estar afectada.

Más información sobre otras instalaciones críticas que se encuentran en la zona de peligros puede consultarse en el sistema de bases de datos (Polo *et al.*, 2010a), donde pueden verse por ejemplo los Centros Deportivos (CD), Centros Educativos (CE), Industrias (Ind), Centros Turísticos (CT), los yacimientos y Pasivos Ambientales (YPA), así como otras importantes instalaciones. Esto permitirá a los decisores tener la información necesaria para la elaboración de los planes de contingencia.

Cuando se analizó el mapa de peligro de las inundaciones para un tiempo de recurrencia de $T=10$ años, se observó, que para el Municipio Bahía Honda que era el más afectado con 6 asentamientos aumento en uno sólo (Rancho Canelo -Sierra Azul-). Ahora bien el Municipio de San Cristóbal que tenía 3 asentamientos afectados para un período de recurrencia de 5 años aumentó un total de 7 asentamientos involucrando a un total de 2232 habitantes, siendo con anterioridad de sólo 193 habitantes. En el Municipio Minas de Matahambre se incluyó otro asentamiento aumentando la población afectada a 4291 habitantes. Bahía Honda aumento un asentamiento afectado con una población total de 719 habitantes, lo que representa sólo un 2% de aumento. En general los asentamientos con peligro de inundaciones para un tiempo de recurrencia (T) de 10 años, la población total involucrada asciende a 9617.

Resumiendo hay 28 asentamientos afectados con este peligro de inundación ALTA, representando un aumento del 87% con respecto a los 15 asentamientos afectados para un $T=5$ años. Esta misma cantidad de asentamientos son afectados para peligro de inundación MUY ALTA, para un $T=50$ años. Un mayor detalle puede consultarse en Cuevas *et al.*, (2010).

Peligro por deslizamientos

En el caso de los mapas de peligro por deslizamiento, también se calcularon para los tiempos de recurrencia de 5, 10, 15, 20, 50 y 100 años, teniendo en cuenta el factor disparador de lluvias y el sismológico. No obstante por ser por norma 50 años la vida útil promedio de las instalaciones, es que se ha considerado para presentar el mapa de peligro por deslizamiento para un tiempo de recurrencia de 50 años.

En el Figura 10, se presenta el mapa de peligros por deslizamientos de donde puede determinarse que las mayores afectaciones se encuentran en San Juan y Martínez con 6 asentamientos (Hermanos Vena, La Mulata, El Cafetal, Campo Alegre, El Porvenir y el Entronque de San Luis) que pudieran estar



afectados por este fenómeno.

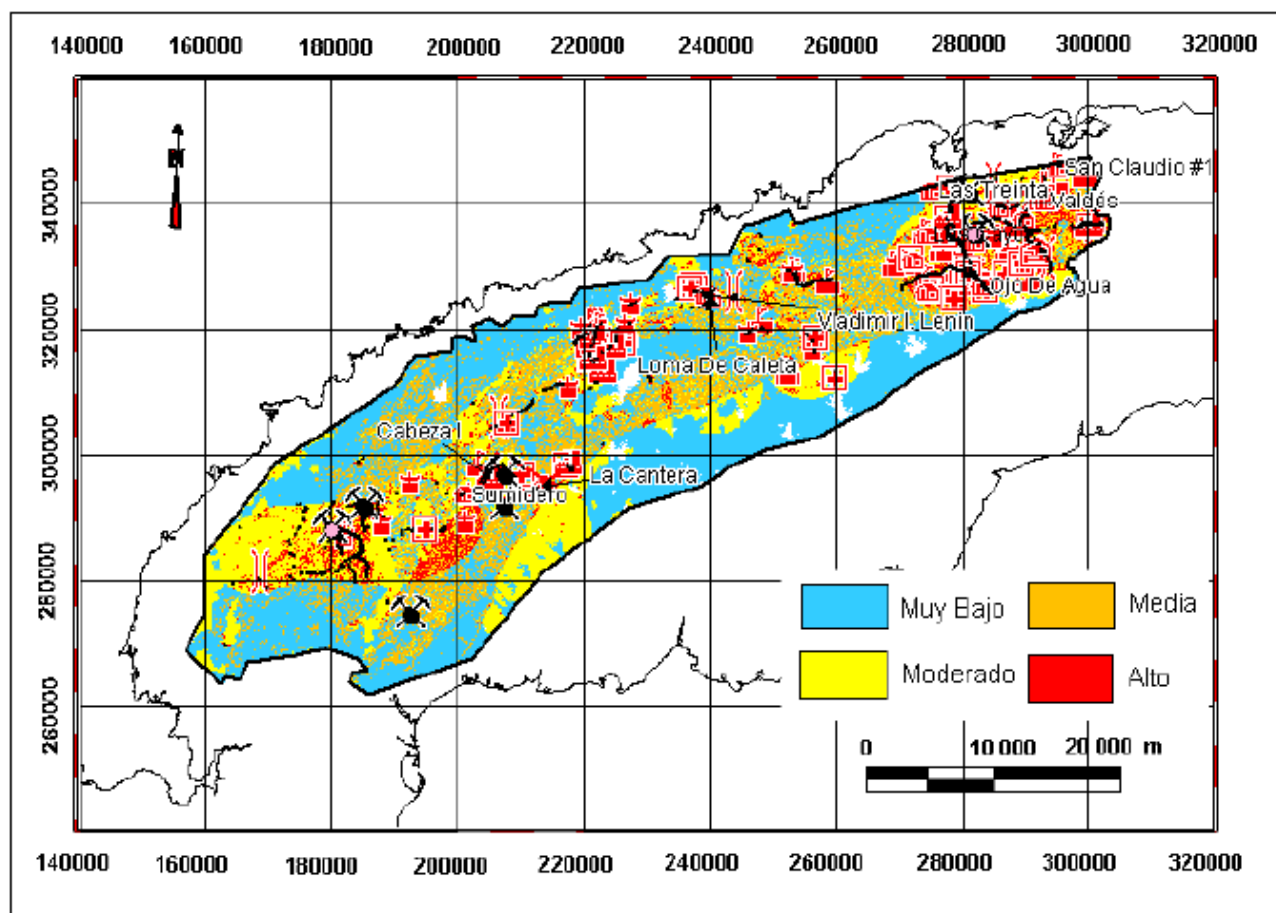


Figura 9. Mapa de peligro por inundaciones para un período de recurrencia de 5 años. Asentamientos e instalaciones críticas afectadas con inundaciones ALTAS. De los 259 asentamientos que están situados en la zona de estudio 15 están en zonas de peligro de inundación ALTA.

En segundo lugar por la cantidad de asentamientos en peligro, está el de Pinar del Río con 4 asentamientos (Vista Hermosa, Entronque el Guayabo, El Mamey y el Km 6 ½ Carretera de Luis Lazo). Con tres asentamientos en esta zona de peligros está el Municipio Viñales (San Vicente -Ent. Ancón-, La Pimienta y El Moncada). También otros municipios afectados con 2 asentamientos como Minas de Matahambre (2 asentamientos: Cabeza I y Caliente), Bahía Honda (La Caoba y Rancho Mar), con un solo asentamiento los municipios de La Palma (El Círculo) y San Luis (San Nicolás).

En el Municipio San Cristóbal se determinan dos asentamientos Ojo de Agua y El Rosario, que pueden estar afectados por deslizamientos de carácter MUY ALTO.

Haciendo un análisis similar pero teniendo en cuenta las unidades de salud que fueron determinadas dentro de la zona de peligro por deslizamiento ALTO, están un total de 26 unidades. En zonas de peligro por deslizamiento MUY ALTO 9 unidades de salud.

En el sistema de base de datos se pueden consultar los detalles de otras instalaciones críticas como son las escuelas que llegan a un número de 44 en zonas de peligro ALTO y 22 en zonas de peligro MUY ALTO.



Las industrias que se encuentran en el área de estudio también pudieran estar afectadas por encontrarse en zonas de peligro por deslizamiento ALTO, que alcanzan el número de 18. Sólo dos están en zonas de peligro MUY ALTO.

El análisis de los mapas de peligros para este fenómeno brinda información además de los asentamientos afectados, las áreas dentro del macizo, donde para un desarrollo posterior de nuevas instalaciones debe de tenerse en cuenta estas zonas como peligrosas, y en los casos que sea

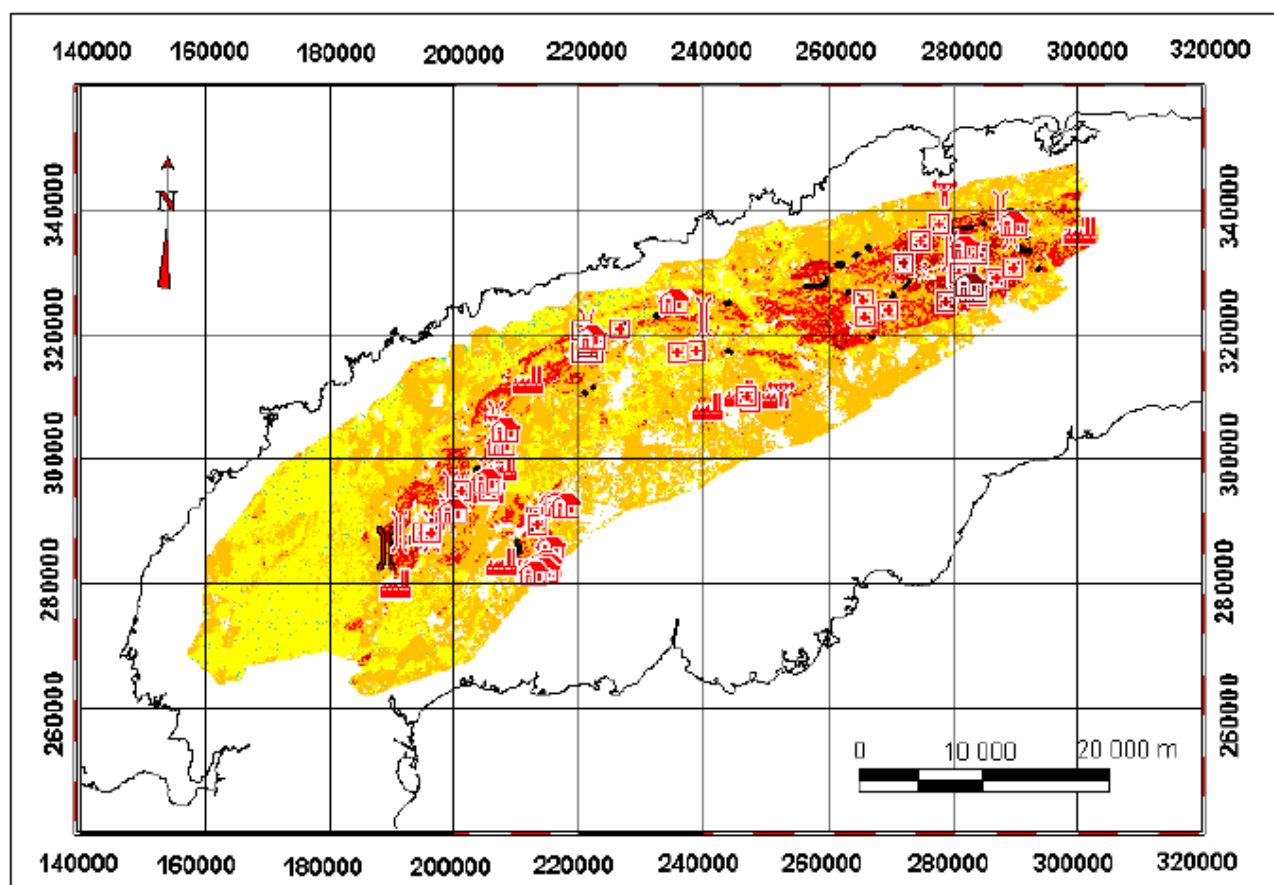


Figura 10. Mapa de peligro por deslizamientos para un período de recurrencia de 50 años. Asentamientos e instalaciones críticas afectadas por deslizamientos ALTOS.

necesario tomar las medidas pertinentes en la etapa de diseño, como ya se ha explicado anteriormente, que por el desconocimiento de estos factores o no tenerlos en cuenta debidamente, puedan ocurrir después de construidas las instalaciones, desastres y pérdidas económicas y/o sociales.

Peligro por lluvias intensas

En este caso se calcularon los mapas de lluvias en 24 horas para diferentes períodos de recurrencia, que fueron utilizados como factores disparadores, de las inundaciones y de los deslizamientos, en este caso se han tomado como los mapas de peligro para este fenómeno que afecta a toda el área de estudio, se escogió para presentar los de período de recurrencia (T_r) de 10, 15 y 20 años, donde las lluvias por este concepto pueden llegar hasta los 365 mm (MUY ALTO - $T_r=10$), 413 mm (MUY



ALTO - $T_r=15$) y 453 mm (FUERTE - $T_r=20$). Se hizo el análisis de los asentamientos que estarían afectados por lluvias de intensidad ALTA por municipios y el más afectado es Pinar del Río con 22 asentamientos dentro de la zona de peligro y después estaría Guane con 9 asentamientos. Los mapas de peligro por lluvias con los asentamientos e instalaciones críticas en zonas de peligro alto y muy alto para tiempos de recurrencia de 10, 15 y 20 años, se detallan en Cuevas *et al.* (2010), a manera de ejemplo puede verse el mapa de peligro por lluvias intensas para un período de

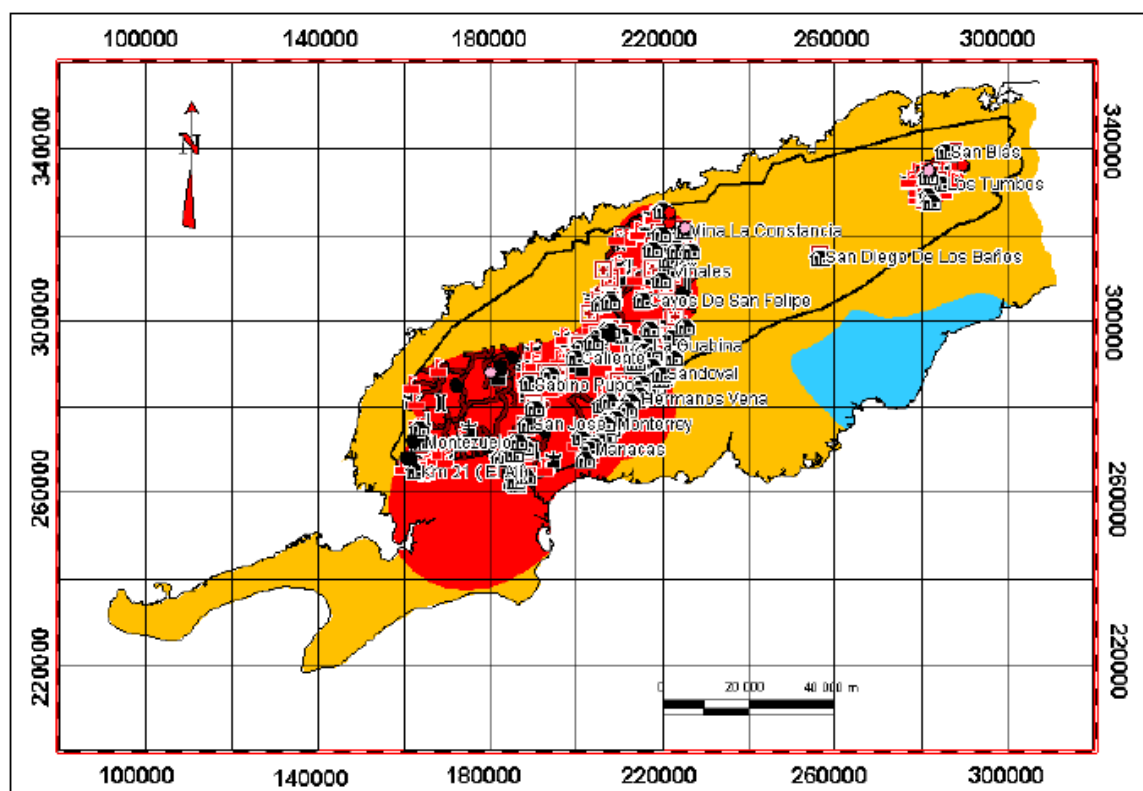


Figura 11. Mapa de peligro por deslizamientos para un período de recurrencia de 50 años. Asentamientos e instalaciones críticas afectadas por deslizamientos ALTOS.

recurrencia de 15 años en la Figura 10.

Vulnerabilidad sísmica de las instalaciones económico-sociales

En las edificaciones destinadas a viviendas, principalmente en horas de la noche, es donde se encuentran concentrados la mayor parte de las personas de una ciudad y en dependencia de su vulnerabilidad, será el nivel de daño que sufrirán las edificaciones y sus ocupantes al ocurrir sismos moderados y/o fuertes.

Para la evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica de las viviendas en la cordillera de Guaniguanico, debido a que se tienen caracterizados cada asentamiento por una tipología predominante, se aplicó la variante metodológica desarrollada por Fundora-Granda *et al.* (2000). Los aspectos metodológicos utilizados han sido aplicados y descritos en Cuevas *et al.* (2010).

Se debe aclarar que la evaluación se refiere solamente a la vulnerabilidad física de las edificaciones destinadas a viviendas, en esta etapa no se realizó una evaluación de la vulnerabilidad sísmica de las industrias y otras instalaciones críticas debido a la escala de trabajo y la ausencia de información



necesaria, quedando esto como una tarea a cumplir en futuros trabajos.

El cálculo de la vulnerabilidad por la ocurrencia de un evento sísmico se estimó a partir de la fracción de la vivienda que se afecta ante la ocurrencia de un sismo con intensidad de VIII grados MSK.

Como se conoce en la escala de intensidades MSK-78 utilizada en la evaluación de los daños ocasionados por los sismos en nuestro país, las edificaciones se clasifican según la tipología constructiva en A, B y C. Esta clasificación difiere de la clasificación de la DAU, porque está basada fundamentalmente en el tipo de material (hormigón, bloques y ladrillos, adobe, madera, etc.) que predomina en la edificación, considerándolas sin medidas antisísmicas.

Por esta razón fue necesario adecuar la clasificación de la DAU (cuatro categorías), la cual divide las edificaciones según las características constructivas de los elementos que las componen (paredes, techo, pisos, etc.), para poder pronosticar los daños en caso de un evento sísmico de acuerdo a la escala MSK-78. De esta forma las edificaciones de tipología I serían del tipo C, las de tipología II y III de tipo B y las de tipología IV de tipo A.

En la Tabla IX, se muestra el comportamiento de la tipología constructiva de las viviendas, luego de realizada la conversión a la tipología de la escala MSK. Por otra parte, se presenta un estimado del grado de afectación o monto del daño de las viviendas según la tipología constructiva de la escala MSK-78 ante diferentes grados de intensidad sísmica; V-VII grados para el terremoto máximo posible y VIII grados para el máximo observado, lo que constituye la matriz de vulnerabilidad utilizada.

Tabla IX. Estimados de daños a edificaciones según tipología constructivas en escala MSK

Intensidad sísmica	A	B	C
VIII	1,0	0,8	0,5
VII	0,7	0,5	0,2
VI	0,3	0,1	0
V	0,1	0	0

Aplicando la metodología descrita anteriormente se obtuvieron los mapas de vulnerabilidad de las viviendas según la tipología constructiva de la escala MSK-78 ante diferentes grados de intensidad sísmica: V, VI, VII y VIII grados, se representan en el Figura 12.

Los estimados de vulnerabilidad media de las edificaciones ante los terremotos para las intensidades sísmicas analizadas oscilan entre 0,01 y 0,97, para la intensidad de grado V y VI, entre 0,01 y 0,16; para la de grado VII, entre 0,17 y 0,47 y para la de grado VIII, entre 0,5 y 0,97. En el caso de la Intensidad VI y V, la vulnerabilidad media a la que está expuesto el territorio es por lo general baja, esto se debe a que sólo serán afectadas las viviendas bajo la tipología A y excepcionalmente la B cuando se encuentran en un estado técnico-constructivo deficiente. Cabe señalar que prácticamente todos los asentamientos de la región de estudio, podrían sufrir daños bajo esta categoría. Las zonas donde la vulnerabilidad es nula responden a la ausencia de edificaciones o la presencia de edificaciones de tipología C y B con un estado técnico constructivo bueno.

Para un sismo de intensidad VII, aparecen zonas de vulnerabilidad MEDIA, cubriendo una parte del territorio, bajo esta intensidad, un por ciento de las edificaciones de tipología C, pueden sufrir daños ligeros, especialmente aquellas cuyo estado técnico-constructivo es malo o regular. Las zonas que se mantienen en la categoría baja, prevalecen edificaciones de tipología C y B en estado técnico-constructivo bueno. En la zona de vulnerabilidad media, se encuentra 21 asentamientos, entre ellos dentro de la actual provincia de Artemisa hay 7 asentamientos, Bahía Honda (5 asentamientos) y San Cristóbal (2): El Mameyal y San Diego de Tapia. En la provincia de Pinar del Río: Consolación del Sur (3), La Palma (7), Los Palacios (1): La Güira, Pinar del Río (2): Entronque de Ovas y Vega Monte.

Por otra parte para el evento de caso extremo y observado en la zona con una intensidad de VIII grados (Figura 7), la parte más oriental del territorio presenta una vulnerabilidad ALTA (Figura 12). La zona de vulnerabilidad ALTA, engloba a 61 asentamientos. En la actual provincia de Artemisa hay 44 asentamientos que clasifican en esta zona, ellos son los municipios de: Bahía Honda (11), San

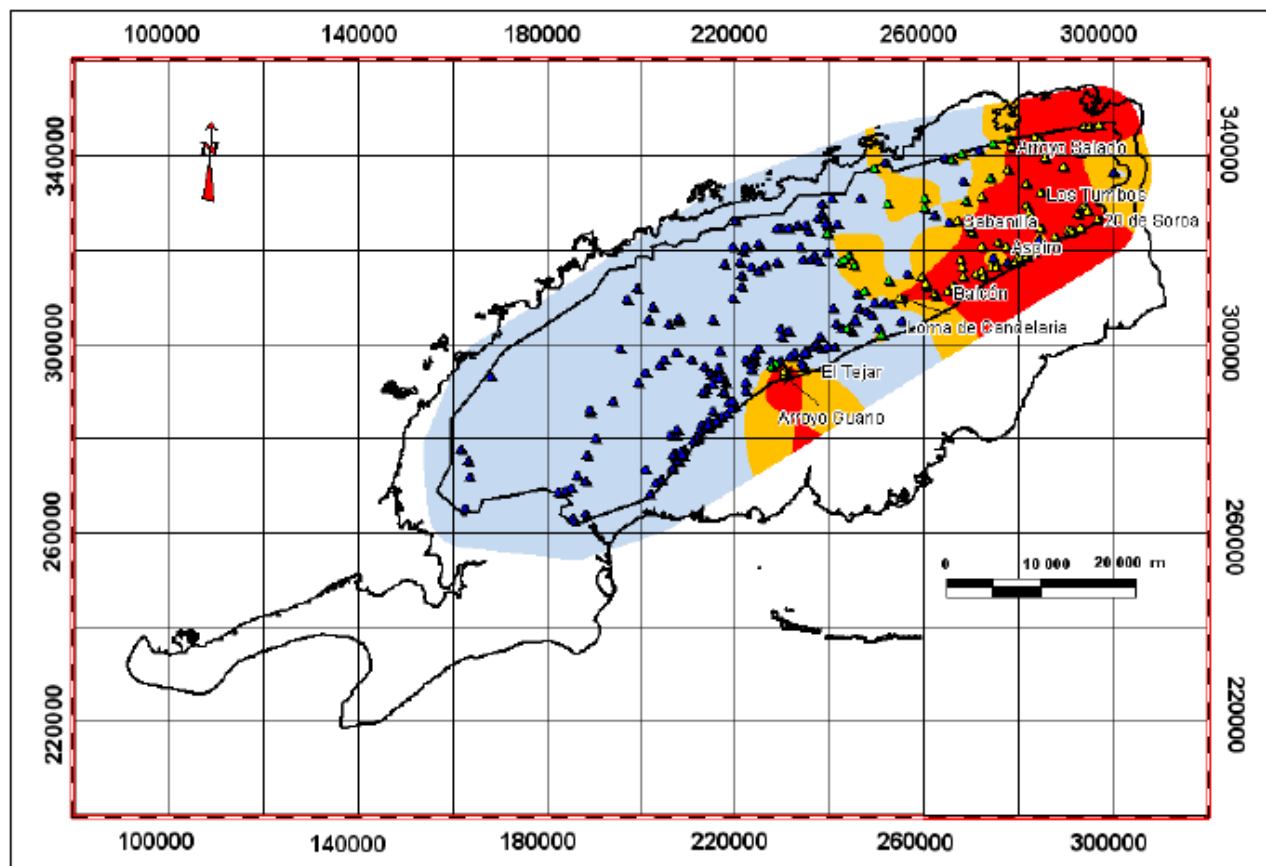


Figura 12. Mapa de la Vulnerabilidad Sísmica para asentamientos. Leyenda: símbolo triángulo amarillo: asentamientos con vulnerabilidad (AV) ALTA (color de fondo: rojo); triángulo verde: AV MEDIA (color de fondo: rojo); triángulo azul: AV BAJA (color de fondo: azul claro) .

Cristóbal (28), que es precisamente la zona en que ocurrió el terremoto de enero de 1880 (Figura 7) y en Candelaria (5). En la actual provincia de Pinar del Río hay 17 asentamientos en esta zona de vulnerabilidad ALTA: Los Palacios (5) y Pinar del Río (2): El Tejar y Arroyo Guano.

Se debe señalar que la cordillera de Guaniguanico es heterogéneo en cuanto a la densidad de edificaciones y como las que más abundan son zonas rurales, prevalecen construcciones de tipología A aisladas y pueden existir construcciones de tipo B y C no destinadas a viviendas (edificaciones de carácter económico-sociales, escuelas etc.). Esto dificulta la aplicación de las metodologías convencionales de la evaluación de la vulnerabilidad que han sido concebidas para ser aplicadas en zonas densamente urbanizadas y bajo esta óptica se deben analizar los resultados.

Estimados del riesgo sísmico

Considerando la ocurrencia del suceso extremo y además observado en el territorio, $M=5,9$, $I=VIII$ (Chuy *et al.*, 1988); con epicentro en la zona sismogénica de la Falla Pinar, se cree conveniente analizar el caso del mismo, debido a la existencia en el territorio varias instalaciones críticas. Para esta Intensidad sísmica se calculará el mapa de Riesgo, a pesar de que la probabilidad de ocurrencia del mismo sea muy baja (0.00003 de probabilidad de ocurrencia para 50 años de vida útil). Puesto que el valor de los bienes expuestos se calculó según el costo de las viviendas



atendiendo a la tipología constructiva de la escala MSK, el mapa de Riesgo obtenido se expresa en las mismas unidades que los costos (miles de pesos - MP), ya que el peligro y la vulnerabilidad son cantidades adimensionales. En realidad como que la probabilidad de ocurrencia de terremotos de las Intensidad VIII es extremadamente baja, los estimados de riesgo van a resultar muy bajos, no obstante se trata solo de un cálculo matemático, el sentido práctico de las pérdidas esperadas se puede observar mejor cuando se multiplican los mapas de Vulnerabilidad por los costos, según cada zona delimitada por las isosistas de distintas intensidades.

En el mapa de la Figura 13, que corresponde al producto de la vulnerabilidad para el sismo de Intensidad Máxima VIII escala MSK, se aprecia que las zonas de mayor riesgo sísmico (MUY ALTO) se localizan en el este y sur de la zona de estudio, con una marcada influencia en 17 asentamientos

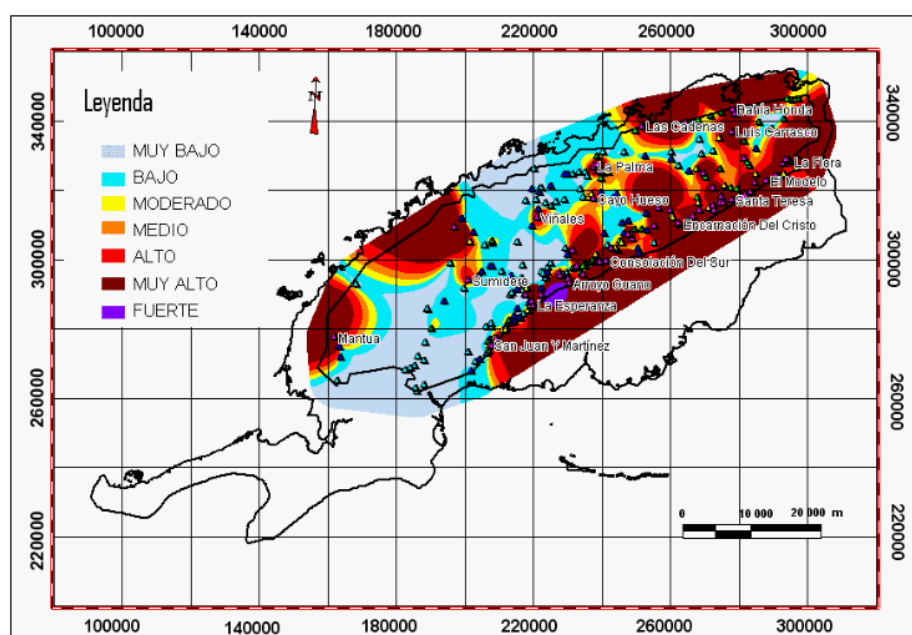


Figura 13. Mapa de la riesgo sísmico para asentamientos. Leyenda: símbolo triángulo violeta: asentamientos con riesgo (AR) MUY ALTO; triángulo amarillo: AR ALTO; triángulo verde: AR MEDIO; triángulo verde oscuro: AR MODERADO; triángulo azul oscuro: AR BAJO; triángulo azul claro: AR MUY BAJO

del Municipio San Cristóbal (Artemisa), donde las pérdidas potenciales pudieran estar en más de 500 - 50000 MP, para 50 años de vida útil de las edificaciones en riesgo. La cantidad de asentamientos por municipios con un riesgo sísmico MUY ALTO, representa un 26% del total de asentamientos de la zona de estudio, después de San Cristóbal como municipio más afectado, se encuentran otros con 9 asentamientos: Consolación del Sur, Los Palacios y Pinar del Río (provincia Pinar del Río). En este mismo mapa se puede observar la zona con riesgo sísmico ALTO, donde se ven involucrados unos 26 asentamientos (10%, respecto al total), siguiendo como el municipio más afectado el de San Cristóbal con 5 asentamientos y con 4, Consolación del Sur, Los Palacios y Pinar del Río. En este caso las pérdidas potenciales están entre 300 - 500 MP por asentamientos. El riesgo sísmico estimado como MEDIO, calcula pérdidas estimadas entre 200 - 300 MP por asentamientos, llegando a 16 (10%) continuando San Cristóbal como el municipio de mayores afectaciones potenciales, estando involucrados 6 asentamientos. En la Figura 13, se puede observar que los asentamientos en zonas de riesgo sísmico MODERADO, alcanzan la cantidad de 28 (11%), siendo los municipios de Consolación



del Sur y Bahía Honda con 9 y 7 asentamientos involucrados con pérdidas potenciales entre 125 -200 MP.

En general hay 68 asentamientos en ambas provincias que se encuentran en zona de riesgo MUY ALTO. Un mayor detalle puede verse en Cuevas *et al.* (2010a) y en especial sobre el asunto de los riesgos en Cuevas *et al.* (2006).

Vulnerabilidad ante lluvias intensas

Haciendo un análisis del comportamiento de la vulnerabilidad media para un período de recurrencia de $T = 10$ años, en la Figura 14, la vulnerabilidad es alta en la parte occidental de la zona de estudio, sin llegar al extremo oeste, y dentro de esta zona una pequeña área con valores de vulnerabilidad muy alta, donde se encuentran los asentamientos de La Envidia, Piedra Blanca y Taurino, los tres pertenecientes al Municipio de Pinar del Río,

otros asentamientos que se encuentran en la zona de valores altos como El Moncada, Cabeza II, Sabino Pupo, La Curva El Barón y otros que se pueden observar en la misma figura. En la zona oriental donde se encuentra aproximadamente ubicada la Sierra del Rosario se observa una zona intercalada entre valores altos y medios. Se pueden preciar algunos asentamientos con valores de vulnerabilidad media altos como: La 24, Arroyo Salado, Los Tumbos, El Mameyal, Barbosa Norte, Callejón La Coronela, Maguelles y otros.

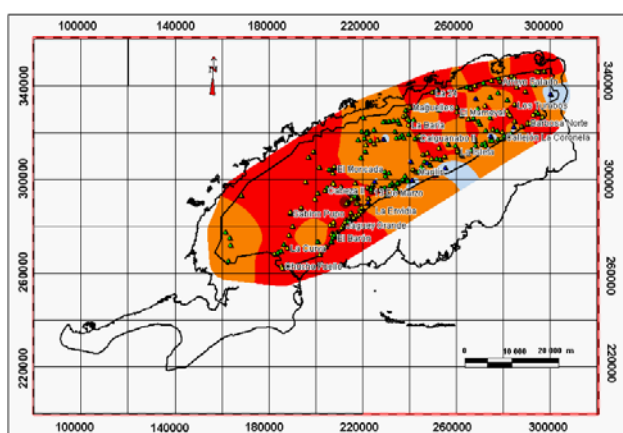


Figura 14. Mapa de la Vulnerabilidad media por lluvias intensas, $T=10$ años para asentamientos. Leyenda: símbolo triángulo amarillo: asentamientos con vulnerabilidad (AV) ALTA; triángulo verde: AV MEDIA; triángulo azul: AV BAJA

Se puede resumir que los municipios con mayor cantidad de asentamientos en zonas de vulnerabilidad media (V_m) ALTA están Pinar del Río (con 26 asentamientos), San Juan y Martínez (23), San Cristóbal (17), Bahía Honda (12), Minas de Matahambre (11), Guane y La Palma (con 10 cada uno); con menos de 10 asentamientos están: Consolación del Sur (8), Viñales (5),

Candelaria y Los Palacios (4 cada uno) y Mantua (1). Para un período de recurrencia de 15 años la V_m se mantiene la misma característica del anterior período analizado, pero con una mayor área de valores ALTOS, y aumentando la zona de MUY ALTO, aumentando en 7 asentamientos con V_m de estos valores el Municipio de Pinar del Río, San Juan y Martínez (con 4) y Minas de Matahambre y Bahía Honda con 1 respectivamente (Figura 14).

Para el período de recurrencia de 20 años también se mantienen las características anteriores, pero con un mayor aumento de las zonas de valores ALTOS de la V_m . Aquí se mantienen con estos valores los 7 asentamientos de Pinar del Río, aumentando uno San Juan y Martínez, 3 Bahía Honda, Guane y Minas de Matahambre con 1.

En general el municipio más afectado es Pinar del Río con V_m MUY ALTA (para 3 asentamientos en un período de recurrencia $T_r = 10$ años y 7 para $T_r = 15$ y 20 años, respectivamente), también sigue siendo Pinar del Río el más afectado con V_m ALTA para 26 asentamientos ($T_r = 10$ años), 24 asentamientos ($T_r = 15$ años) y 27 asentamientos ($T_r = 50$ años), posteriormente San Juan y Martínez también es afectado con 23 asentamientos para $T_r = 10$ años, 20 asentamientos para $T_r = 15$ años y 22 asentamientos para $T_r = 20$ años y San Cristóbal con 17 asentamientos para un $T_r = 10$ años, 23



asentamientos para $T_r = 15$ años y también 23 asentamientos para $T_r = 20$ años.

Para V_m MEDIAS, los municipios más afectados son Consolación del Sur (24 asentamientos para $T_r = 10$ años, 26 asentamientos para $T_r = 15$ años y 24 asentamientos para $T_r = 20$ años). La Palma (17 asentamientos para $T_r = 10$ años, 15 asentamientos para $T_r = 15$ años y 15 asentamientos para $T_r = 20$ años). También San Cristóbal para $T_r = 10$ años tiene afectaciones para 15 asentamientos y los Palacios con 13 asentamientos para el mismo período de recurrencia.

Vulnerabilidad ante las inundaciones

El análisis de los mapas de vulnerabilidad media para las inundaciones, según los períodos de recurrencia de 5, 10 y 50 años siguen un patrón similar, para caso $T_r = 5$ años, los asentamientos más vulnerables (V_m ALTA) se encuentran en el municipio de Bahía Honda [La Caoba, San Blas, San Claudio #1, Rancho Canelo (Sierra Azul)], San Cristóbal (Ojo de Agua y Machuca) y en Pinar del Río, el asentamiento La Cantera. Con V_m MEDIA, están los municipios de Bahía Honda (Valdés y Los Cayos), San Cristóbal (Rangel Nuevo), La Palma (Loma de Caleta y Vladimir I. Lenin) y en Minas de Matahambre (Cabeza I y Sumidero).

Haciendo un análisis para un tiempo de recurrencia de 10 años (Figura 15) resulta que en el municipio de Bahía Honda, se mantienen los mismos asentamientos con valores de vulnerabilidad media ALTA, al fenómeno de las inundaciones, en el municipio de Matahambre en esta misma categoría se encuentra el asentamiento Julio A. Mella, en Pinar del Río se mantiene La Cantera y se adiciona Guanito #1, en San Cristóbal se mantienen con valores ALTOS Ojo de Agua y Machuca, adicionándose El Mameyal, Arroyo Seco y Niceto Pérez. Aparece el municipio de San Juan y Martínez con el asentamiento La Comuna.

Para este mismo período de recurrencia se calcularon valores MEDIOS de la vulnerabilidad en los asentamientos de Rancho Mar, Valdés y Los Cayos de Bahía Honda, en La Palma se encuentran Loma de Caleta y Vladimir I. Lenin, igual que para $T_r = 5$ años. En Minas de Matahambre aparecen dos nuevos asentamientos Cabeza I y II, dejando de tener estos valores los anteriores asentamientos para $T_r = 5$ años. En San Cristóbal los asentamientos con estos valores son: Los Chirinos, San Diego de Tapia, Rangel Nuevo y Sabanilla.

Para $T_r = 50$ años, las características son similares, pero con las zonas de V_m ALTA y MEDIA, algo más ampliadas, encontrándose un asentamiento La Cantera (en Pinar del Río), con valores de V_m MUY ALTA, en Bahía Honda se mantienen con estos valores San Blas, San Claudio #1 y Rancho Canelo (Sierra Azul), adicionándose el asentamiento Las Treinta. En La Palma aparece Baría, en Mantua aparece Pueblo Nuevo (Largo) y en Minas de Matahambre, Julio A. Mella, Cabeza I y Sumidero. En Pinar del Río Guanito #1, se mantienen en el municipio de San Cristóbal, Ojo de Agua, El Mameyal, Machuca y Arroyo Seco; y en San Juan y Martínez se mantiene La Comuna.

Como puede apreciarse no son muchos los municipios en el área de estudio que tienen vulnerabilidades MUY ALTAS, ALTAS y MEDIAS con respecto a las inundaciones, en total hay un municipio con un asentamiento (La Cantera) con V_m MUY ALTA (Pinar del Río), para un $T_r = 50$ años, con V_m ALTA, $T_r = 5$ años, hay 7 asentamientos, siendo Bahía Honda con 4 el más afectado por la calidad de la tipología constructiva, para un $T_r = 10$ años, con V_m ALTA hay 13 asentamientos en el área de estudio siendo los más afectados San Cristóbal (5) y Bahía Honda (4). Para un período de recurrencia mayor de $T_r = 50$ años, hay 15 asentamientos con ALTA V_m , siendo los más afectados Bahía Honda (4), San Cristóbal y Minas de Matahambre (3). Esta información en más detalle se puede ver en Cuevas *et al.* (2010a).

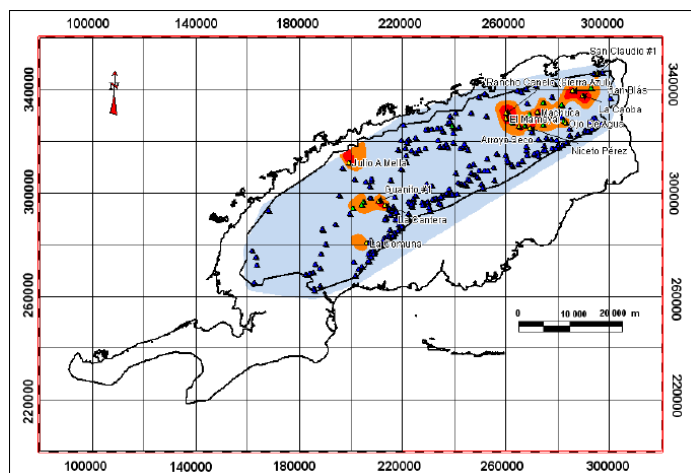


Figura 15. Mapa de la Vulnerabilidad media por inundaciones, $T=10$ años para asentamientos. Leyenda: triángulo amarillo: asentamientos con vulnerabilidad (AV) ALTA; triángulo verde: AV MEDIA; triángulo azul: AV BAJA

Riesgos por lluvias intensas e inundaciones

Riesgos por lluvias intensas

Los estimados de los riesgos por lluvias intensas se realizaron para períodos de recurrencia de 10, 15 y 20 años. En términos generales sus valores oscilan entre 1,6 miles de pesos (MP) y 13 300 MP (por asentamientos).

El Riesgo total para $T_r = 10$ años (Figura 16) varía entre 2,6 y 13 300 MP, sus valores más altos (5 000 MP a 13 300 MP) aparecen hacia el sur oeste de la zona de estudio, en el municipio Pinar del Río, con centro en el propio Pinar del Río. Como se puede observar, existen varias áreas con valores MUY ALTOS (entre 500 – 5 000 MP), donde se evaluó que los asentamientos: Bahía Honda (municipio Bahía Honda),

Consolación del Sur y Pilotos y Entronque de Herradura (todos del municipio Consolación del Sur), La Palma (La Palma), Mantua (Mantua), Sumidero y Minas de Matahambre (Minas de Matahambre), San Juan y Martínez (San Juan y Martínez) y Viñales (Viñales), su riesgo por lluvias intensas es MUY ALTO, teniendo en cuenta la tipología de las construcciones. Para este mismo tiempo de recurrencia se observa un aumento de los asentamientos en riesgo ALTO (entre 100 – 500 MP). Se determinaron 21 asentamientos con riesgo evaluado de ALTO siendo el de mayor afectación el municipio de Pinar del Río con cuatro (4) asentamientos, aunque la mayoría de los municipios afectados tienen 3 asentamientos involucrados en esta categoría de riesgo.

Para el caso de un tiempo de recurrencia de $T=15$ años, los valores del riesgo calculado varían entre 2,2 - 8 860 MP. Sigue siendo Pinar del Río el de mayor riesgo calificado como FUERTE con un valor calculado de 8 860 MP, en pérdidas potenciales por lluvias intensas con el mencionado período de recurrencia. Con valores de MUY ALTO riesgo se encuentran 6 asentamientos 1 por municipios del mismo nombre: Bahía Honda, Consolación del Sur, La Palma, Mantua, Minas de Matahambre y San Juan y Martínez.

Como último caso de análisis para las lluvias intensas de un período de recurrencia de $T=20$ años). Aquí continúa siendo Pinar del Río la ciudad más afectada por el riesgo de lluvias intensas, con un riesgo FUERTE (6646,0 MP, en pérdidas potenciales), lo que está hablando de que independientemente de la probabilidad de ocurrencia del fenómeno siempre el riesgo será FUERTE. Para el caso de riesgo calificado como MUY ALTO, en este caso están sólo cuatro asentamientos: Bahía Honda, Consolación del Sur, Minas de Matahambre y San Juan y Martínez, con pérdidas potenciales entre 790,0 – 1309,0 MP.

En todos los casos de las probabilidades de ocurrencia de las lluvias intensas, los asentamientos que no se han mencionado en ninguno de los casos, están clasificados en zonas de riesgo BAJO (pérdidas potenciales entre 20, - 35,0 MP) y MUY BAJO (1,6 – 20,0 MP). Un detalle de estos asentamientos con sus valores calculados del riesgo puede ser consultado en el Sistema de Base de Datos RGuaniguanico y el Sistema de Información Geográfica asociados a esta investigación (Polo *et al.*, 2010a; 2010b).

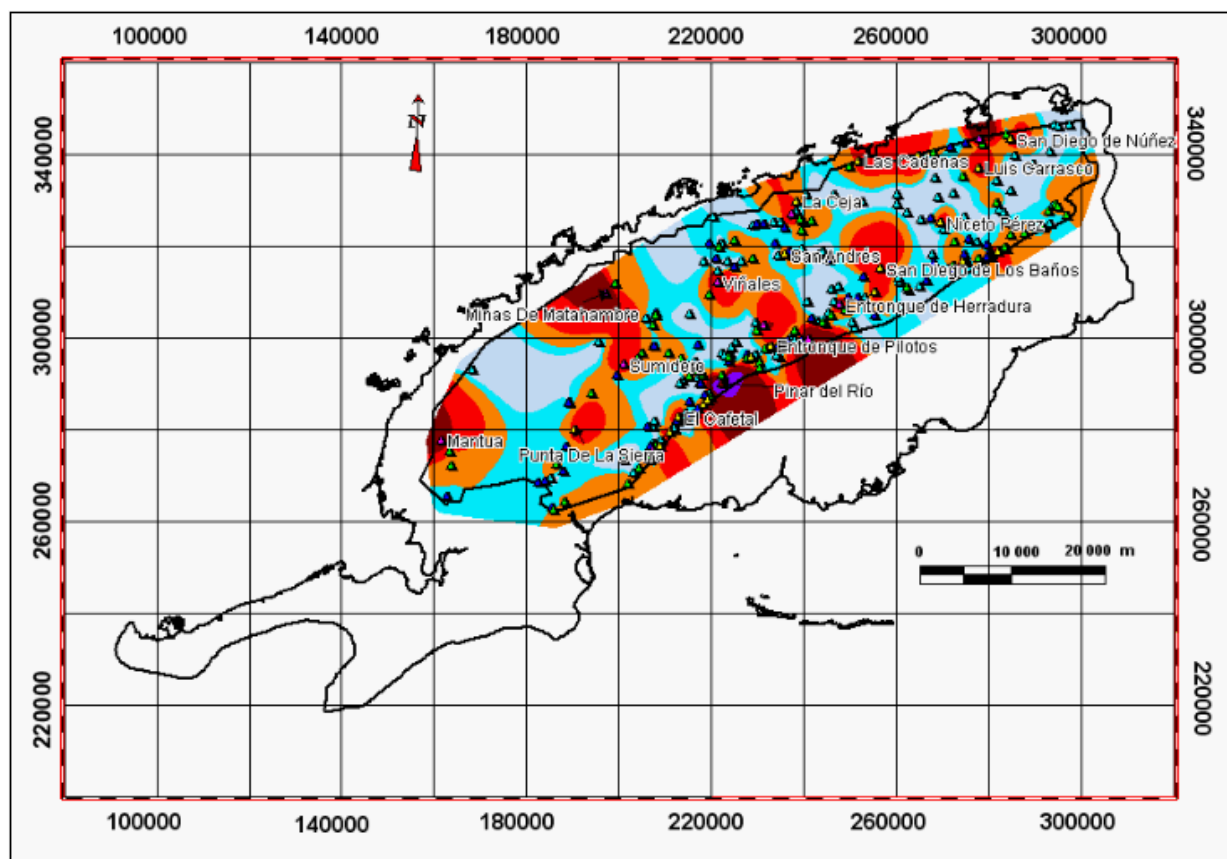


Figura 16. Mapa de Riesgo por intensas lluvias, T=10 años para asentamientos. Leyenda: triángulo rojo oscuro: asentamientos con riesgo (AR) FUERTE; triángulo violeta: AR MUY ALTO; triángulo amarillo: AR ALTO; triángulo verde: AR MEDIO; triángulo azul oscuro: AR BAJO; triángulo azul claro: AR MUY BAJO

Riesgos por inundaciones

En cuanto a los riesgos por inundaciones la situación es la siguiente: este oscila entre de 0 – 923,0 MP. Las áreas de mayor riesgo MUY ALTO para T= 5 años, sólo están circunscritas al municipio de Minas de Matahambre en el asentamiento de Sumidero con pérdidas calculadas 917,7 MP y en el propio municipio antes mencionado quedó determinado el asentamiento Cabeza I con riesgo ALTO, cuyas pérdidas potenciales pueden llegar a 182,2 MP. Otros asentamientos de interés y que se calcularon sus pérdidas potenciales ante el fenómeno de las inundaciones por lluvias intensas como riesgo MEDIO (35,0 – 100,0 MP) son: Los Cayos (en Bahía Honda, con 69,0 MP pérdidas potenciales), Las Terrazas (Candelaria, 77,4 MP), Vladimir I. Lenin (La Palma, 98,3 MP) y La Cantera (Pinar del Río, 86,9 MP). En la Figura 17, se puede apreciar la distribución y la ubicación de los asentamientos señalados. Los demás asentamientos se le determinaron riesgos BAJO (con pérdidas 20,7 – 27,7 MP) y MUY BAJO (con pérdidas 7,3 – 19,9 MP).

Para T = 10 años, los mayores riesgos (desde 500 MP hasta 5000 MP), clasificados como MUY ALTOS (Figura 18) caen en el municipio Minas de Matahambre (Sumidero, con pérdidas de 923 MP). Con riesgo ALTO sólo tres asentamientos son clasificados en dos municipios: San Cristóbal, el asentamiento Niceto Pérez (pérdidas potenciales de 401,5 MP) y Minas de Matahambre, los asentamientos de Julio A. Mella (131,4 MP) y Cabeza I (180,4 MP). Riesgo categorizado como MEDIO

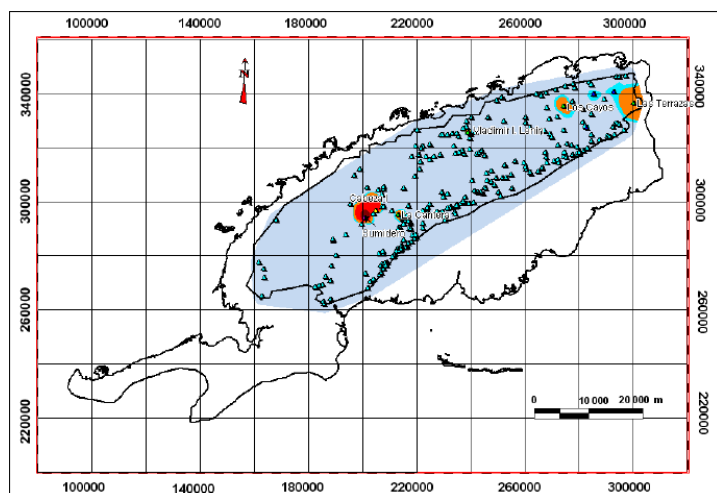


Figura 17. Mapa de Riesgo por inundaciones, T=5 años para asentamientos. Leyenda: triángulo violeta: asentamientos con riesgo (AR) MUY ALTO (color de fondo - cf: rojo oscuro); triángulo amarillo: AR ALTO (cf: rojo); triángulo verde: AR MEDIO (cf: ocre); triángulo azul oscuro (cf: azul): AR BAJO; triángulo azul claro: AR MUY BAJO (cf: azul claro)

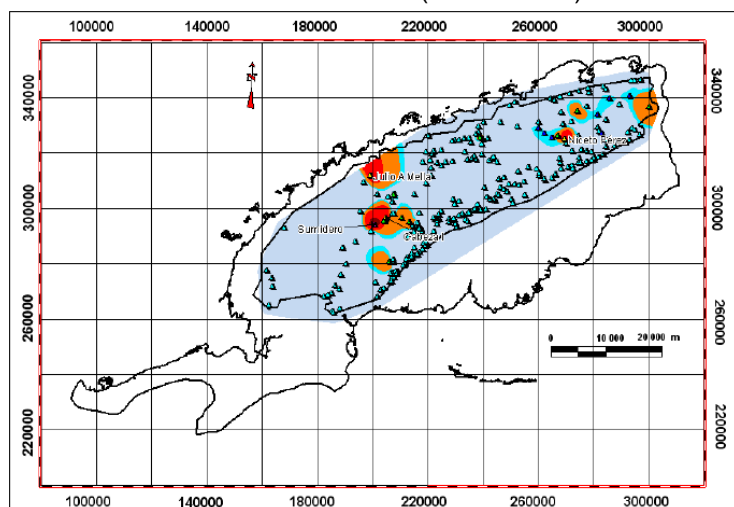


Figura 18. Mapa de Riesgo por inundaciones, T=10 años para asentamientos. Leyenda: triángulo violeta: asentamientos con riesgo (AR) MUY ALTO; triángulo amarillo: AR ALTO; triángulo verde: AR MEDIO; triángulo azul oscuro: AR BAJO; triángulo azul claro: AR MUY BAJO

un T= 5 años la afectación es para 15 asentamientos lo que representa el 6% aproximadamente de la totalidad de los asentamientos de la zona de estudio; para T= 10 años son 29 asentamientos afectados con pérdidas de diferentes categorías, lo que representa 11%, y para el caso de T= 50 años, 27 asentamientos, lo que representa un 10%. En general el municipio con mayores afectaciones es San Cristóbal y Bahía Honda.

(35,0 – 100,0 MP), se puede ver ejemplificado en 9 asentamientos de 7 municipios, donde los valores de las pérdidas estimadas están entre 53,1 – 98,1 MP. Los riesgos clasificados como BAJO (pérdidas entre 20,0 – 35,0 MP) y MUY BAJO (≈ 0 – 20,0 MP), se determinó que 8 asentamientos tienen un riesgo BAJO entre 20,2 – 32,6 MP, perteneciendo a Bahía Honda (3 asentamientos), La Palma (1) y San Cristóbal (4).

Finalmente para un tiempo de recurrencia de T=50 años, los mayores riesgos MUY ALTOS, sólo se determinan en el asentamiento Sumidero (Minas de Matahambre), con pérdidas potenciales de 108 MP. En el propio municipio se determinan riesgos BAJOS para el asentamiento Cabeza I (21,4 MP).

Con riesgos MUY BAJOS se determinaron 26 asentamientos con pérdidas potenciales entre 0,7 – 15,9 MP, involucrándose en este caso los municipios de Bahía Honda (7 asentamientos con pérdidas entre 0,7 – 8,3 MP), Candelaria (1 asentamiento, Las Terrazas, pérdidas potenciales de 8,0 MP), La Palma (3 asentamientos: La Baria, Loma de Caleta y Vladimir I. Lenin, pérdidas entre 2,1 – 10,4 MP), Mantua (1 asentamiento: Pueblo Nuevo – Largo, pérdidas 2,6 MP), Minas de Matahambre (2 asentamientos: Julio A. Mella, 15,9 MP de pérdidas y Cabeza II, 9,3 MP de pérdidas), Pinar del Río (2 asentamientos: Guanito #1, 9,2 MP, La Cantera, 10,1 MP), San Cristóbal (9 asentamientos con pérdidas entre 1,0 – 5,7 MP). En el Anexo 34, se puede ver el mapa de riesgos para este tiempo de recurrencia.

En resumen, se los municipios que pueden ser afectados por las inundaciones para los diferentes tiempos de recurrencia que se han analizado: para



Vulnerabilidad de los asentamientos ante deslizamientos

Para la estimación de la vulnerabilidad se utilizó la misma metodología desarrollada para el caso de las inundaciones y sismos, partiendo del estimado del grado de afectación o monto del daño de las viviendas según su calidad o seguridad.

En este caso particular, el cálculo de la vulnerabilidad se realizó por intensidades, correlacionando los coeficientes de daños de los cuatro niveles de lluvias intensas y de las cuatro intensidades sísmicas posibles en el territorio ya que estos son los disparadores de este peligro de deslizamientos.

Tabla X. Monto del daño de las viviendas por deslizamientos según la tipología constructiva

Intensidad	Nivel de lluvia (mm/24h)	Sismos	Susceptibilidad Habitacional				
			I	II	III	IV	V
I	100-200	V	0,01	0,02	0,05	0,10	0,15
II	200-325	VI	0,05	0,10	0,15	0,20	0,3
III	325-450	VII	0,2	0,3	0,40	0,50	0,70
IV	> 450	VIII	0,5	0,6	0,7	0,80	1,0

En la Figura 19 se representa el comportamiento de la vulnerabilidad media de las viviendas en los asentamientos del área de estudio, ante los deslizamientos para el período de recurrencia de 50 años.

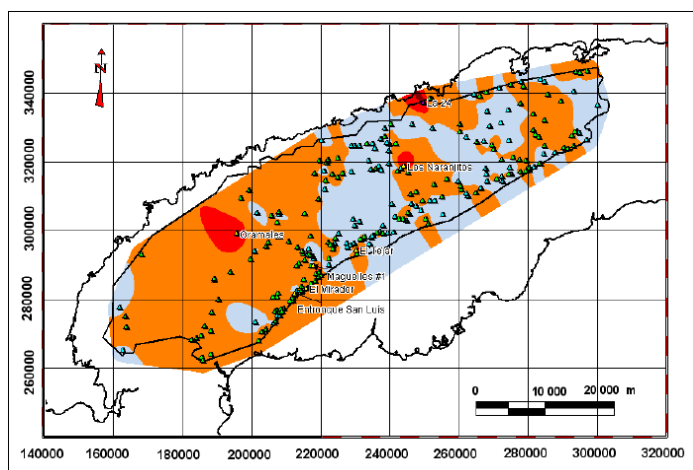


Figura 19. Mapa de la Vulnerabilidad media por deslizamientos, T=50 años para asentamientos. Leyenda: triángulo amarillo: asentamientos con vulnerabilidad (AV) ALTA; triángulo verde: AV MEDIA; triángulo azul: AV BAJA

Los valores de vulnerabilidad media obtenidos oscilan entre 0,06 y 0,72. Las zonas más vulnerables o menos preparadas desde el punto de vista de la tipología constructiva, se localizan en los caseríos de La 24, Los Naranjos ambos de La Palma, El Tejar en San Cristóbal, Maguelles #1 en Pinar del Río, El Mirador y Entronque de San Luis en San Juan y Martínez y por último en Gramales perteneciente a Minas de Matahambre.

Como se puede observar en la propia figura, la mayoría de los asentamientos (149, representa un 58% del total de asentamientos en el área de estudio), se encuentran en zonas de vulnerabilidad MEDIA.

Estimados de riesgos por deslizamientos

En la Figura 20, se presenta el mapa de riesgo por deslizamientos expresados en MP, donde las zonas con mayores valores de riesgos (entre 112 - 255 MP) están limitadas a varios poblados como Punta de La Sierra en Guane. El Cafetal y Río Seco en San Juan y Martínez, El Callejón y el Km 7 ½ Carretera de San Juan ambos en Pinar del Río. Puede llamar la atención que ninguno está en zona claramente como montañosa, pero si en general están en zonas de llanuras altas (80 – 120 m) y



comprendidos en estas zonas de peligros, además los mapas de riesgos por lluvias, inundaciones, deslizamientos y sísmica los que brindan una importante información sobre las posibles zonas afectadas en caso de ocurrir estas catástrofes.

Toda la información que se manejó en la presente investigación se implementó en un sistema multimedia (Cuevas et al. 2008a; 2010b) que incluye el SIG que de una manera sistematizada y resumida muestra un conjunto de mapas climáticos, los mapas de los factores de susceptibilidad y disparadores, de peligros, de vulnerabilidades y riesgos. Por otra parte, también incluye un Sistema de Base de Datos que permite de una manera interactiva dar a conocer los mapas de los peligros por lluvias intensas, inundaciones y deslizamientos de tierra por fenómenos hidrometeorológicos extremos y sismos, así como los asentamientos

- ✓ El mayor peligro al que está sometido el macizo de Guaniguanico es a las lluvias e inundaciones que se generan tanto en la zona de altos valores hipsométricos, como en las zonas de pre-montaña y valles cársicos de la Sierra de los Órganos. En general pudieran estar involucrados más de 6535 habitantes en 15 asentamientos con peligro de inundación ALTO, así como 35 unidades de salud en estas zonas de peligro.
- ✓ Las mayores afectaciones por el peligro de deslizamiento se encuentran en el Municipio de San Juan y Martínez con 6 asentamientos (Hermanos Vena, La Mulata, El Cafetal, Campo Alegre, El Porvenir y el Entronque de San Luis) que pudieran estar afectados por este fenómeno.
- ✓ Las unidades de salud que fueron determinadas dentro de la zona de peligro por deslizamiento ALTO, están un total de 26 unidades. En zonas de peligro por deslizamiento MUY ALTO 9 unidades de salud.
- ✓ Otras instalaciones críticas como son las escuelas que llegan a un número de 44 en zonas de peligro por deslizamiento ALTO y 22 en zonas de peligro MJUY ALTO fueron determinadas.
- ✓ Dentro de las zonas de peligros por lluvias intensas están como más afectados el municipio de Pinar del Río con 22 asentamientos y Guane con 9 asentamientos.
- ✓ La mayor Vulnerabilidad del área de estudio es a las intensas lluvias que afectan prácticamente a toda la región de estudio, siendo el municipio más afectado Pinar del Río con V_m MUY ALTA, posteriormente San Juan y Martínez y San Cristóbal. Todo afectando a la



- población y las instalaciones, debido a interrupciones laborales y daños a los medios construidos, con interrupciones de servicios básicos para la población.
- ✓ En el área de estudio no son muchos los municipios donde las vulnerabilidades son MUY ALTAS, ALTAS y MEDIAS con respecto a las inundaciones.
 - ✓ La vulnerabilidad ante los fenómenos de deslizamientos no es significativa, las zonas más vulnerables o menos preparadas desde el punto de vista de la tipología constructiva, se localizan en La Palma, San Cristóbal, Pinar del Río, San Juan y Martínez y por último en Minas de Matahambre. La mayoría de los asentamientos (149, representa un 58% del total de asentamientos en el área de estudio), se encuentran en zonas de vulnerabilidad MEDIA.
 - ✓ El riesgo total ante las lluvias intensas en el área de estudio es el mayor. Existen varias áreas con valores MUY ALTOS (entre 500 – 5 000 MP), donde se evaluó que los asentamientos de: Bahía Honda, Consolación del Sur, La Palma, Mantua, Minas de Matahambre, San Juan y Martínez y Viñales, su riesgo por lluvias intensas es MUY ALTO, teniendo en cuenta la tipología de las construcciones.
 - ✓ Las áreas de mayor riesgo por inundaciones (MUY ALTO) al municipio de Minas de Matahambre en el asentamiento de Sumidero con pérdidas calculadas 917,7 MP y en el propio municipio antes mencionado quedó determinado el asentamiento Cabeza I con riesgo ALTO, cuyas pérdidas potenciales pueden llegar a 182,2 MP.
 - ✓ Las zonas con mayores valores de riesgos por deslizamientos están limitadas a varios poblados en San Juan y Martínez, en Pinar del Río. En las zonas de mayor peligro por deslizamiento, se encuentran estas zonas antes mencionadas. Los asentamientos que se encuentran en las áreas de las Sierras contenidas en Guaniguanico no presentan la vulnerabilidad ALTA, de acuerdo a la tipología y la calidad que presentan los asentamientos involucrados, ni están en zonas de peligro ALTO.

REFERENCIAS

- Barker, D. H., A. R. Nordin, M. T. Noraini y N. G. Bayfield (1994): *Revegetating Slopes for Stability*. International Conference on Landslides and Slope Stability, Kuala Lumpur, Malasia, pp. 35-43
- Bojórquez-Tapia, L. A., S. Sánchez-Colón y A. Flore-Martínez (2005): Building Consensus in Environmental Impact Assessment Through Multicriteria Modeling and Sensitivity Analysis. *Environmental Management*, 36(3): 469-481.
- Capote, R., E. García, J. Urbino y M. Surli (1988): Mapa de la vegetación actual de Pinar del Río, Cuba, a escala 1:250 000. *Acta Botánica*, (68). Academia de Ciencias de Cuba.
- , N. Ricardo, A. González, E. García, D. Vilamajó y J. Urbino (1989): Flora y Vegetación. En: Nuevo Atlas Nacional de Cuba (Acc), Impreso Inst. Geográf. Nac. de España, Cap. X
- Cuevas, J. L., M. Fundora, B. Polo, I. Pedroso y B. E. González (2006): Riesgos Geólogo-Geofísicos y Tecnológicos inducidos por deslizamientos, inundaciones, lluvias y sismos, en condiciones de montaña y valles colindantes: Guamuhaya, Cuba, [En línea]. *Rev. Ciencias de la Tierra y el Espacio, Segunda Época*, Año 2006(7): 15, Consultado: [27 oct., 2010]. Disponible en: http://www.iga.cu/revista/cte_07/art_07-07/id41.htm.
- , B. Polo, J. F. Alcaide, E. Jaimez, M. Guerra, M. Estévez, Y. Torres y otros (2008a): *Sistema Multimedia Guaniguanico Mapas Temáticos* [CD-ROM], V. 1.0, La Habana. Inst. Geof. y Astron.
- , B. Polo, J. F. Alcaide, E. Jaimez, M. Guerra, B. E. González, J. A. García-Peláez y otros (2008b): *Mapas Temáticos para la Estimación de la Vulnerabilidad, Peligros, Riesgos Geólogo-Geofísicos y Tecnológicos asociados en la cordillera de Guaniguanico* [Inf. Result.]. Inst. Geof. y Astron., La Habana, Colección Proy. Nac. Zonación de los Peligros, Vulnerabilidades y Riesgos Geólogo-Geofísicos y Tecnológicos asociados en la cordillera de Guaniguanico, Cuba, 134 pp. (+ 80 Anex. Gráf. y 13 Anex. Text., 105 pp.).
- , B. Polo, J. M. López-Kramer, E. Jaimez, Ma. C. Escandón, J. F. Alcaide, M. Guerra y otros (2010): Zonación de los Peligros, Vulnerabilidades y Riesgos Geólogo-Geofísicos y Tecnológicos asociados en la cordillera de Guaniguanico, Cuba [Inf. Result. Final]. Inst. Geof. y Astron., La Habana, Colección Proy. Nac. Zonación de los Peligros, Vulnerabilidades y Riesgos Geólogo-Geofísicos y Tecnológicos asociados



- en la cordillera de Guaniguanico, Cuba, 172 pp. (+ 46 Anex. Gráf., 47 pp.).
- , B. Polo, J. F. Alcaide, E. Jaimez, M. Guerra, B. E. González, J. A. García-Peláez y otros (2010b): **Sistema Multimedia Riesgos Guaniguanico** [CD-ROM], V. 1.0, La Habana. Inst. Geof. y Astron. Colección Proy. Nac. Zonación de los Peligros, Vulnerabilidades y Riesgos Geólogo-Geofísicos y Tecnológicos asociados en la cordillera de Guaniguanico, Cuba.
- , B. Polo, M. Fundora, I. Pedroso, L. A. Díaz, J. F. Alcaide, E. Jaimez y otros (2004): *Zonación de los Riesgos Geólogo-Geofísicos y Tecnológicos asociados, en los macizos montañosos de Guamuhaya y Guaniguanico, Cuba* [Inf. Final Proy.]. GEPROG - Inst. Geof. y Astron., La Habana, 138 pp. (+ 32 Anex. Gráf.).
- , B. Polo, M. J. Fundora, I. I. Pedroso, L. A. Díaz, Y. González, M. Guerra y otros (2005a): *SIG Riesgos Guamuhaya v 1.0: Sistema de Información Geográfica de Peligros, Vulnerabilidad y Riesgos Geólogo-Geofísicos y Tecnológicos inducidos en el macizo montañoso de Guamuhaya* [Manual de Usuario]. Inst. Geof. y Astron., La Habana, 16 pp.
- , B. Polo, I. I. Pedroso, M. J. Fundora, L. A. Díaz, J. F. Alcaide, E. Jaimez y otros (2005b): *Estimación y Zonación de Escenarios de Peligros y la Vulnerabilidad por procesos gravitacionales e hidrometeorológicos extremos, en el Macizo Montañoso de Guamuhaya, Cuba: Una Metodología de Estimación para Zonas Montañosas*. [En CD-ROM]. Memorias GEOCIENCIAS 2005 (I Convención Cubana de Ciencias de la Tierra – I Simposio de Sismicidad y Riesgos Geológicos), La Habana, 5-8 Abril, Soc. Cub. Geol., pp. GEO2-31: 24 p. ISBN 959-7117-03-7. ()
- Chuy, T. J. (2000): *Macrosísmica de Cuba y su aplicación en los estimados de peligrosidad y microzonación sísmica*. CENAI-IGA. Stgo. de Cuba, Inst. Geof. y Astron. 125. pp. (Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Geofísicas)
- , B. E. González y B. Polo (1988): Algunos criterios sobre la Peligrosidad Sísmica de la región occidental de Cuba. *Comunicaciones Científicas sobre Geofísica y Astronomía*, (4): 1-21.
- Dotor, E. (2004): *Análisis de susceptibilidad y peligrosidad de deslizamientos de laderas*, Univ. de Girona. pp. (Citado por García, J. A. y A. Ordaz-Hernández (2007): Mapa de susceptibilidad a los deslizamientos a escala 1 : 250 000 en las vías de interés nacional de la provincia de Pinar del Río. Memorias GEOCIENCIAS'2007 (II Convención Cubana de Ciencias de la Tierra), La Habana, 20-23 Mar., Soc. Cub. Geol., GEO6-P5: 13 p. ISBN 978-959-7117-16-2. p. 3.)
- Fundora-Granda, M. J., L. A. Díaz-Larrinaga, I. I. Pedroso-Herrera, T. Torres-Rodríguez, B. E. González-Raynal, J. A. García-Peláez, M. Serrano-Herrera y otros (2000): *Elaboración y validación de una metodología para la estimación de riesgos geológicos y tecnológicos conexos del municipio San José de Las Lajas, provincia Habana* [Inf. Final Proy. - código 003054]. Inst. Geof. y Astron., La Habana, 152 pp.
- , I. I. Pedroso-Herrera, Y. González-Jorge, M. Guerra-Oliva, S. E. Pacheco-Moreno, I. González-Metauten, E. J. Jaimez-Salgado y otros (2003): *Peligros, Vulnerabilidad y Riesgos Geológicos, Geofísicos, Geológicos y Tecnológicos, del municipio capitalino Playa* [Inf. Final Proy.-código 030158]. Inst. Geof. y Astron., La Habana, 233 pp.
- García-Gutiérrez, J. A. y A. Ordaz-Hernández (2007): *Mapa de susceptibilidad a los deslizamientos a escala 1 : 250 000 en las vías de interés nacional de la provincia de Pinar del Río*. Memorias GEOCIENCIAS'2007 (II Convención Cubana de Ciencias de la Tierra), La Habana, 20-23 Mar., Soc. Cub. Geol., pp. GEO6-P5: 7 ISBN 978-959-7117-16-2.
- González-Raynal, B. E., J. A. García-Peláez y L. D. Pérez-Lara (2008): Características de la sismicidad y la sismotectónica de la provincia de Pinar del Río. En: Mapas Temáticos para la Estimación de la Vulnerabilidad, Peligros, Riesgos Geólogo-Geofísicos y Tecnológicos asociados en la cordillera de Guaniguanico [Cap. IX]. Colección Proy. Nac. Zonación de los Peligros, Vulnerabilidades y Riesgos Geólogo-Geofísicos y Tecnológicos asociados en la cordillera de Guaniguanico, Cuba, 134 pp. (+ 80 Anex. Gráf. y 13 Anex. Text., 105 pp.). [Inf. Result.] (Cuevas, J. L., B. Polo, J. F. Alcaide, E. Jaimez, M. Guerra, B. E. González, J. A. García-Peláez Y Otros), Inst. Geof. y Astron., La Habana,
- Medina, B. Y. (2007): *Deslizamientos e impactos ambientales de los huracanes Mitch y Stan, en Guatemala*. Jornadas Internacionales sobre Gestión del Riesgo de Inundaciones y Deslizamientos de Laderas, Brasil, Mayo, 2007, pp.
- Mora, S., G. Vahrson y R. Mora (1988): *Macrozonación de la amenaza de deslizamiento y resultados obtenidos en el área del valle central de Costa Rica*, (Poster).
- Naciones Unidas (2002): *Misión Interagencial ONU en respuesta a los daños causados por los Huracanes Isidoro y Lili*, [en línea]. Consultado: [28 Jun., 2005]. Disponible en: <http://www.onu.org/cu/uunn/CD-Isidore/esp/efectos.html> y <http://www.onu.org/cu/uunn/CD-Isidore/esp/pinar.html>.
- Orbera, L., T. J. Chuy, B. E. González y otros (1994): Seismicity and Seismic Hazard Assessments



- for Western Cuba. *Minería y Geología en Cuba*, XI(3).
- Polo, B. y J. L. Cuevas (2005): *Peligbas: Sistema de Base de Datos de Peligros, Vulnerabilidad a Riesgos Geológicos y Tecnológicos inducidos. Herramienta para la gestión y el manejo de los peligros geológicos en el macizo montañoso de Guamuhaya*. [En CD-ROM]. Memorias GEOCIENCIAS 2005 (I Convención Cubana de Ciencias de la Tierra – I Simposio de Sismicidad y Riesgos Geológicos), La Habana, 5-8 Abril, Soc. Cub. Geol., pp. GEO2-16: 10 ISBN 959-7117-03-7.
- , J. L. Cuevas, E. J. Jaimez, M. C. Escandón, J. M. López-Kramer y M. Estévez (2010a): Sistema de Base de Datos y Atlas Digital de los peligros, vulnerabilidad y riesgos geólogo-geofísicos y tecnológicos inducidos, en la cordillera de Guaniguanico. La Habana. Inst. Geof. y Astron. Colección Proy. Nac. Zonación de los Peligros, Vulnerabilidades y Riesgos Geólogo-Geofísicos y Tecnológicos asociados en la cordillera de Guaniguanico, Cuba.
- , J. L. Cuevas, E. J. Jaimez, M. C. Escandón, J. M. López-Kramer y M. Estévez (2010b): SIG Riesgos Guaniguanico v 1.0: Sistema de información geográfica de los peligros, vulnerabilidad, riesgos geólogo - geofísicos y tecnológicos inducidos, en la cordillera de Guaniguanico La Habana. Inst. Geof. y Astron. Colección Proy. Nac. Zonación de los Peligros, Vulnerabilidades y Riesgos Geólogo-Geofísicos y Tecnológicos asociados en la cordillera de Guaniguanico, Cuba.
- Side, R. C. (2005): Influence of forest harvesting activities on debris avalanches and flows. En: *Debris Flow Hazards and Related phenomena* (Jakob, M. y O. Hungr), Springer-Praxis, Heidelberg, 345-367,
- Suárez, J. (2007): La vegetación y los deslizamientos. En: *Deslizamientos: técnicas de remediación* (Anderson, M. G.), John Wiley and Sons Ltd., New York, 187-230, Cap. 9. Slope Stability (Disponible en: <http://www.erosion.com.co>. Revisado: 30 julio de 2010)
- Turkelboom, F. R. (2006): Erosion processes in steep terrain—Truths, myths, an uncertainty related to forest management in Southeast Asia. *Forest Ecology and Management* 224. pp.