

Metodología para elaborar mapas de susceptibilidad a procesos de remoción en masa, análisis del caso ladera sur de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas

Methodology to develop maps of susceptibility to mass removal processes, case analysis south slope of Tuxtla Gutiérrez, Chiapas

J. A. Paz Tenorio*, R. González Herrera*, M. Gómez Ramírez** y J. A. Velasco Herrera*

Recibido: 10/05/2016. Aceptado en versión final: 12/09/2016. Publicado en línea (versión e-print): 27/01/2017.

Resumen. La ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas ha presentado históricamente procesos de remoción en masa en la zona sur del valle, específicamente en los depósitos de talud cuya génesis se determina a partir de la mesa kárstica de Copoya, geoforma sometida a intenso fracturamiento, procesos de disolución y erosivos, que dan como resultado el desprendimiento de grandes bloques. Estos se distribuyen en las márgenes de la mesa, siendo alterados y destruidos por intemperismo, del cual se generan partículas de menor tamaño que reposan sobre limolitas, lutitas y areniscas. Esta condición determina que las laderas sean inestables por naturaleza.

El Mapa de Amenazas por Procesos de Remoción en Masa (PRM) se elaboró a partir del método heurístico con combinación de análisis multicriterio, y determina cinco niveles de amenaza en la zona urbana, abarcando los siguientes porcentajes: muy baja 5%, baja 27.1%, media 39.3%, alta 15.3% y muy alta 13.3%, siendo esta última la que se distribuye en su mayor parte en los depósitos de talud, alrededor de la Mesa de Copoya, lo que confirma su situación de máximo peligro.

Para Tuxtla Gutiérrez se calcula una población expuesta de aproximadamente 62,500 habitantes (11.6% del total) que residen tanto en la parte sur de la ciudad como en 30 localidades rurales asentadas en los flancos de la mesa de Copoya; se estiman poco más de 28,000 viviendas expuestas agrupadas en 850 manzanas.

Las tendencias actuales del crecimiento de la ciudad hacen evidente la necesidad de ordenar y reglamentar las nuevas edificaciones.

Palabras clave: procesos de remoción en masa, laderas inestables, amenaza, depósitos de talud.

Abstract. The city of Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, has historically presented processes landslides in the southern part of the valley, specifically in deposits of slope whose genesis is determined from La Mesa karst of Copoya, geological forms subjected to intense fracturing processes dissolution and erosion, giving as a result the breaking into large blocks. These are distributed in the margins of La Mesa being altered and destroyed by mechanical and chemical weathering, which generated smaller particles that rest on siltstones, shale and sandstones. This condition determines that the slopes are unstable by nature.

A 1000 x 1000 m grid was constructed, corresponding to the canvass of the Mercator Transverse Universal Coordinate System (UTM) of the topographic map scale 1:50 000 (INEGI, 1984; INEGI, 2004; Lugo-Hubp, 1988). In each cell a centroid was generated to apply the interpolation process and draw isolines. For numerical variables such as drainage density and unevenness, defined ranges (number of equal intervals) were used by ArcMap software (version

* Facultad de Ingeniería, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, 1ª Sur Poniente, núm. 1460, col. Centro, 29000, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. E-mail: jorgepazt@yahoo.com.mx

** Facultad de Economía, Universidad Veracruzana, Av. Xalapa, Esq. Ávila Camacho s/n, Xalapa, Veracruz, México.

9.3). For the non-quantitative variables such as geology, edaphology and soil use and vegetation, the same AHP method was used, obtaining numerical values for the cartographic representation.

In all three cases, the normalized values and a Consistency Index (CI) and Consistency Ratio (CR) (the latter according to the dimension of the matrix) were obtained, below 10%, so that the weights are correct.

In order to obtain information on the changes in the use of the ground, images of Google Earth of 2006, 2008 and 2010 were revised. Subsequently, a very high resolution orthophoto was added (pixel of 0.2 m), obtained for cadastral purposes by Town Hall of Tuxtla Gutierrez between the end of 2012 and the beginning of 2013.

Finally, five layers of information are defined, one for each variable, and the final result overlaps with the events recorded in the last nine years (2006 to date), which shows that the areas classified as Very High Threat are the more susceptible to the occurrence of these events. It is to be expected that in time, the incidence of this type of phenomena is manifested in the levels of High and Very High Threat.

Applying the Analytic Hierarchy Process (AHP) developed by Saaty (1988), which consists of matrix analysis and involves value judgments. In this way the matrix of preference over the selected criteria was generated, obtaining the weighting of the five chosen variables. It was important the knowledge of the study area, the documentation and local studies generated to date, where the criteria of the specialists are taken up.

The process was done in an Excel spreadsheet (2007 version), applying the corresponding formulas. Because

only five variables and the size of the area (250 km²) were handled, no specialized software was required.

With the data obtained a table was created in which a column with the name of "Threat" was created, which corresponds to the sum of the parameters of the six criteria mentioned above. This is reflected in the Map of Threats by Mass Removal Processes. Thus, in the one the extreme values are included in a range from 0 to 1.

The map of hazard by removing processes in mass or landslide (PRM), was developed from the heuristic combination of multi-criteria analysis method, and determined five levels of threat in the urban area, covering the following percentages: Very Low 5%, Low 27.1%, Middle 39.3%, High 15.3% and Very High 13.3%, the latter being distributed mostly in slope deposits around La Mesa of Copoya, confirming their status as maximum hazard.

For Tuxtla Gutierrez is estimated a population exposed about 62,500 inhabitants (11.6% of the total) (537.102 inhabitants in the urban area) who reside both in the southern part of the city and 30 rural towns settled on the flanks of La Mesa of Copoya; estimates about 28,000 dwellings exposed grouped into 850 blocks.

Current trends in the growth of the city, make evident the need to manage and regulate new buildings. Although the southern slope is determined unstable by nature, on the northern the housing complexes are changing the slope geometry sets, which can be a trigger for the occurrence of landslide in the short and medium term factor.

Key words: landslides, unstable slopes, hazard, slope deposits, susceptibility map

INTRODUCCIÓN

Los procesos de remoción en masa son fenómenos naturales que generan formas del relieve modificando condiciones originales de las laderas por medio de desplazamientos con diferente intensidad y velocidad, lo que representa un peligro para zonas habitadas.

La escasez y poca difusión de estudios locales en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, así como las inconsistentes políticas de ordenamiento, permiten el establecimiento de zonas habitacionales y obra civil sin ninguna restricción en zonas susceptibles a procesos de remoción en masa (PRM), tanto en el área urbana como rural.

Ante esta situación, los daños los resienten directamente los habitantes al ver deterioradas sus viviendas y negocios; de igual manera se afectan severamente las líneas vitales (infraestructura de vialidades, agua, drenaje y alumbrado). Esta situa-

ción modifica sustancialmente el espacio, generando condiciones de riesgo de desastre por PRM.

Con estas situaciones, las esferas social, económica y ambiental, se ven seriamente afectadas en diferente medida, obstaculizando el desarrollo sustentable de la zona, ya que gran parte de los recursos y esfuerzos institucionales se canalizan a la atención de la emergencia.

El propuesto Mapa de Amenazas por PRM considera cinco diferentes variables ambientales asociando cartografía temática escala 1:250 000 y topográfica 1:50 000. Se aplica el método heurístico con apoyo de cartografía temática, combinado con análisis multicriterio a través del proceso de análisis jerárquico (AHP) (Muñiz-Jauregui y Hernández-Madrigal, 2012), logrando resultados inéditos sobre el nivel de amenazas por PRM en la ciudad.

A partir de 2006 se ha dado seguimiento a eventos ocurridos en la zona, construyendo así un inventario, elemento primordial para el estudio continuo

y permanente de estos fenómenos (Alcántara-Ayala y Murillo-García, 2008; Paz-Tenorio, 2012).

La zona de estudio se ubica en el sur de la República Mexicana, en la parte central del estado de Chiapas (Figura 1). Administrativamente queda comprendida en territorio de los municipios de Chiapa de Corzo, Suchiapa y Tuxtla Gutiérrez.

Problemática

Se identifican varios eventos antiguos de gran magnitud, dos especialmente han incidido en el cambio de curso de igual número de ríos, uno de ellos el Santo Domingo, al sur oeste de la mesa y el otro, el Grijalva hacia el nor este (Figura 2),

sobre el cual se encuentran cuatro complejos hidroeléctricos de importancia nacional, y que, junto con el Usumacinta, representan los ríos más caudalosos de México (Paz-Tenorio y Carreño-Collatupa, 2014).

A partir de análisis de imágenes satelitales, por medio de Google Earth, ortofotos digitales (INEGI, 1996) y del H. Ayuntamiento (2012), carta topográfica E15 C69 (INEGI, 2004) y de recorridos en campo, se han identificado estos dos grandes PRM, mismos que ocurrieron cuando la mesa kárstica era de mayores dimensiones (no se olvide que está sometida a erosión intensa).

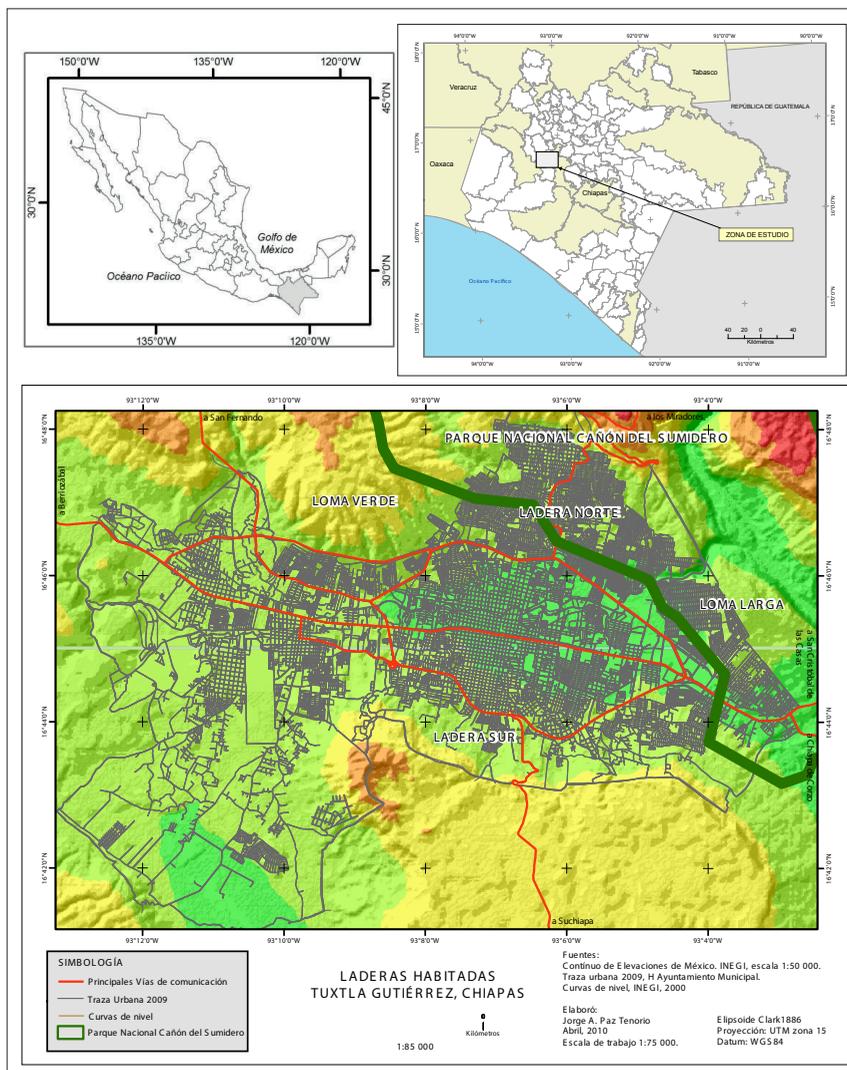


Figura 1. Ubicación de la zona de estudio.

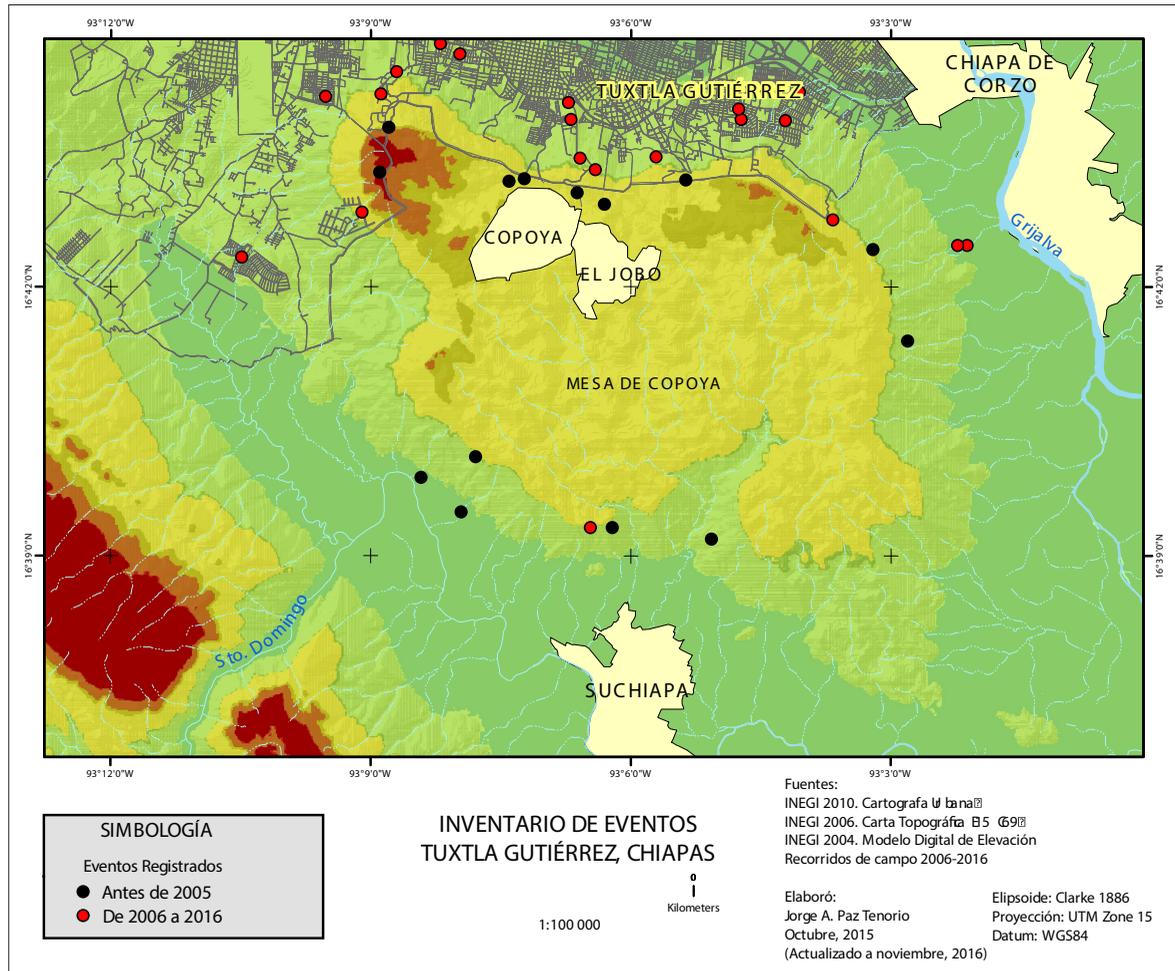


Figura 2. Inventario de eventos, Tuxtla Gutiérrez.

A partir de este análisis cartográfico, y de diversos recorridos en campo a lo largo de 15 años en los flancos y superficie de la mesa, se establece que el origen de los depósitos de talud provienen del material desprendido de la mesa kárstica de Copoya (Paz-Tenorio *et al.*, 2011).

Ante la falta de estudios locales que delimiten la zona inestable, se mantuvo por mucho tiempo la idea de que los daños manifestados en diferentes colonias del sur de la ciudad obedecían únicamente a deficiencias en el diseño y construcción de las viviendas. Sin embargo, la ciudad ha crecido hacia las laderas que rodean el valle de Tuxtla, manifestándose los problemas de inestabilidad en la ladera sur.

En octubre de 2011, uno de varios casos registrados en esta zona fue el de la colonia Lomas del Oriente donde se presentó un movimiento en la ladera que dañó 70 casas, obligando a las autoridades a reubicar a sus habitantes en la colonia 6 de junio, localizada a 200 m al oriente. Para evitar su regreso, estas viviendas fueron demolidas. En septiembre de 2013, la colonia 6 de junio (tercera sección) sufrió graves daños por un deslizamiento rotacional (Paz-Tenorio, 2013), lo que demuestra que no se tiene una dimensión territorial del área que ocupa la zona inestable.

A las condiciones de geología, pendiente, edafología, hidrografía y uso del suelo (factores condicionantes), se suman los detonadores, como

las lluvias intensas (Lugo-Hubp *et al.*, 2005) y la sismicidad. Allí radica la importancia de conocer el comportamiento espacial y temporal del fenómeno de remoción en masa.

Antecedentes

Muñíz-Jauregui y Hernández-Madrigal (2012) construyeron un mapa susceptibilidad a procesos de remoción en masa en la ciudad de Puerto Vallarta, Jalisco, combinando el análisis multicriterio y el método heurístico. Sobre el mapa original, integrado en 2009, proyectan el crecimiento urbano de acuerdo al Plan Municipal de Desarrollo Urbano (2008). Aunque no especifican escala numérica, el detalle se muestra a nivel municipal. La clasificación empleada para los PRM está basada en Varnes (1978) y Casale *et al.* (1993) (ambos citados por Muñíz-Jauregui y Hernández-Madrigal, 2012).

En ese mismo año, Paz-Tenorio *et al.* (2012) integran el Mapa de Amenazas por Procesos de Remoción en Masa para Tuxtla Gutiérrez. Emplean el método heurístico, considerando las mismas cinco variables que se abordan en este documento pero sin normalizar. Estas son: geología, desniveles, densidad de drenaje, edafología y uso del suelo y vegetación. Y aplican la propuesta por CENAPRED (Alcántara-Ayala *et al.*, 2008) a la clasificación de los movimientos. Su calibración entre 2012 y 2014 mostró un buen grado de confiabilidad, por lo que se decidió brindarle más consistencia al incorporar el análisis multicriterio.

A la par del desarrollo de ese mapa, un grupo de expertos en cartografía de peligros y riesgos de desastre elaboraban el Atlas Municipal de Riesgos de Tuxtla Gutiérrez (H. Ayuntamiento de Tuxtla Gutiérrez, 2012), en cuyo capítulo 4, denominado "Identificación de Peligros, Vulnerabilidad y Riesgos ante Fenómenos Perturbadores de Origen Natural", clasifican a los riesgos en dos grandes grupos, fenómenos geológicos y fenómenos hidrometeorológicos.

En el primer grupo se consideran los procesos de remoción en masa clasificados en deslizamientos, derrumbes y flujos. No especifica el autor de la clasificación de los movimientos registrados ni la escala numérica de los mapas.

La mayor parte estudios y reportes técnicos locales se ubican en la década pasada al intensificarse el poblamiento de la ladera sur y los consecuentes daños (Colegio de Ingenieros Geólogos de México, 2002; Muciño-Porras *et al.*, 2005; Membrillo-Ortega, 2006; Mora-Chaparro *et al.*, 2007; Gobierno de Chiapas, 2011; Paz-Tenorio *et al.*, 2011; Paz-Tenorio, 2012 y Espíritu-Tlatelpa, 2012a). Espíritu-Tlatelpa (2012a) propone un mapa escala 1:35 000 en donde estima la superficie en metros cuadrados de las zonas sometidas a peligros geológicos en cuatro subcuencas al sur de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez; entre los peligros considera diferentes manifestaciones de PRM utilizando la clasificación de CENAPRED (Alcántara-Ayala *et al.*, 2008).

Características de la zona

La ciudad de Tuxtla Gutiérrez se encuentra en el centro del estado, asentada en un valle fluvial en forma alargada este-oeste, limitado al norte por la mesa de las Ánimas (INEGI, 2006a). Una falla normal, con rumbo noroeste-sureste, se hace evidente por la presencia de una secuencia de facetas triangulares generadas por la erosión a partir del plano de falla. Estas estructuras son ocupadas por pastizales y algunos cultivos temporales. Al sur se encuentra la mesa cárstica de Copoya, formada por una sucesión de distintas unidades litológicas casi horizontales (Figura 3), que constituyen un sinclinal.

Se considera que los cambios de pendiente, tanto hacia el norte y al sur, han frenado el crecimiento de la ciudad. En el primer caso, la zona se extiende hasta la base de las facetas triangulares, en donde se presenta ese aumento de la inclinación. Para el sur, entre más cercano a los circos de erosión, la pendiente se intensifica.

El fracturamiento marginal y los intensos procesos de disolución de la mesa, favorecen el desprendimiento de bloques de caliza que se disponen por gravedad en los flancos de su alrededor. Este material es sometido a procesos de intemperismo químico, mecánico y biológico, interviniendo, posteriormente, el transporte y la erosión fluvial lo que ayuda a su distribución pendiente abajo.

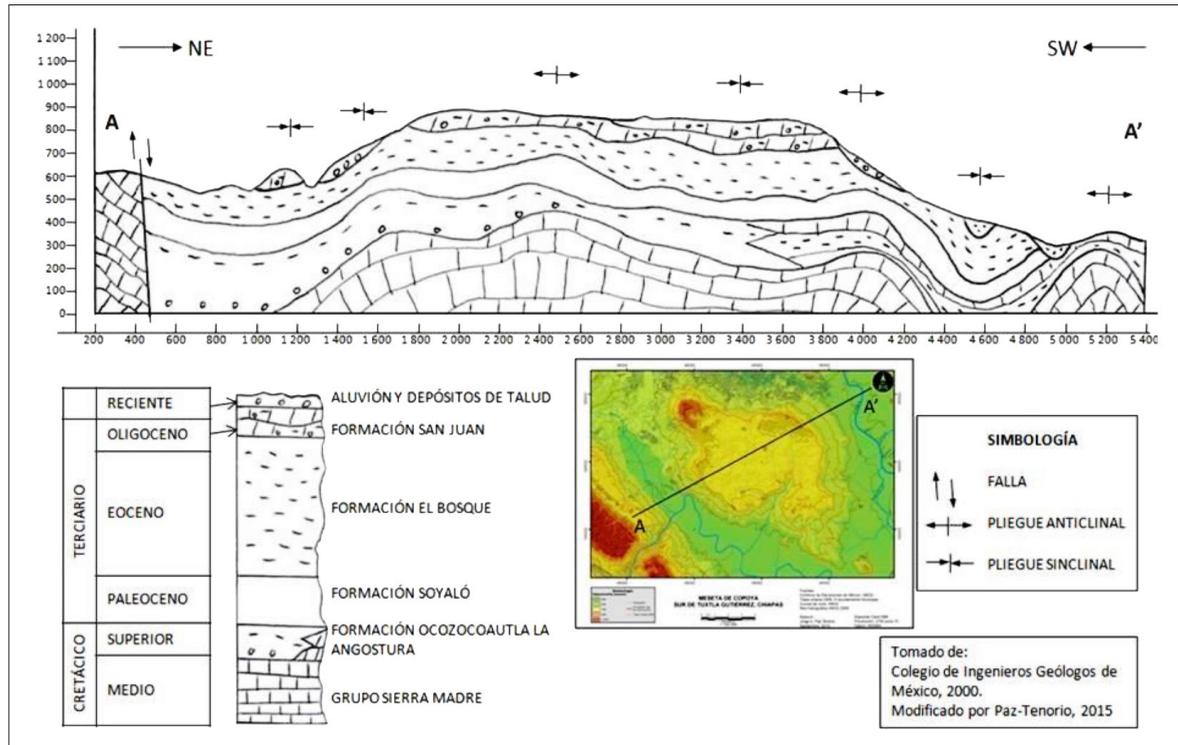


Figura 3. Sección geológica de la mesa de Copoya.

Cortes de terreno para obra civil en diferentes zonas de la ladera sur muestran la ocurrencia de PRM antiguos, en donde se aprecia material no consolidado ni clasificado. Este material, que descansa y en su mayoría enmascara las lutitas-areniscas de la Formación El Bosque y las limolitas-areniscas de la Formación Soyaló, se dispone en forma de coluviones, mismos que no son clasificados en la cartografía geológica de INEGI (2006a).

Paz-Tenorio *et al.* (2010) caracterizan las laderas habitadas de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, destacando la gran diferencia de estabilidad entre las laderas norte y sur, por lo que el crecimiento urbano hacia la primera no muestra las mismas afectaciones, a pesar de que se han ocupado pendientes con inclinaciones semejantes a las registradas en el sur (Paz-Tenorio, 2012). La hidrografía está constituida por una densa red de arroyos intermitentes que aportan sus aguas al río Sabinal, principal corriente de la cuenca y donde también se vierten las aguas pluviales y drenajes de la ciudad. Esta situación

genera cada año problemas de inundaciones de diferente magnitud, otra de las amenazas que, en comparación de los PRM, ha sido muy estudiada pero mal atendida. Muestra de ello son la rectificación de márgenes con gaviones, mismos que llegan a desestabilizarse perdiendo la capacidad de contener la erosión.

En cuanto a la edafología, son precisamente las zonas ocupadas por Regosoles las que se asocian a la zona inestable del sur. Estos son suelos regidos por la pendiente del terreno. Seguramente su contacto con las lutitas-areniscas y las limonitas-areniscas de horizontes inferiores favorecen la manifestación de PRM.

La vegetación original era de selva baja caducifolia, la cual ha sido sustituida por actividad agrícola y pecuaria en los alrededores y por ocupación de la zona urbana. En algunas zonas de la mesa de Copoya, superiores a los 900 msnm, existen pequeños macizos de bosque de Quercus, comunidad que está mejor conservada en la cima del cerro

Mactumatzá. Estas variables ambientales han sido consideradas para la construcción del mapa de amenazas por PRM.

Características geológicas

Cretácico Superior

El Cretácico Superior está representado por calizas que corresponden con la Formación Ocozocoautla-Angostura, bien expuesta en el Cañón del Sumidero y en la región de Suchiapa; de la Rosa *et al.* (1989) mencionan que se trata de rocas calizas que se formaron en aguas someras, lo que está indicado por la presencia de algunos desarrollos arrecifales y zonas de talud arrecifal, lo que se sustenta por los fósiles registrados. Mientras que para el área periférica a Copoya y lugares aledaños a Tuxtla Gutiérrez, Ferrusquía-Villafranca *et al.* (2000) mencionan una gama de variedades litológicas dentro de las rocas carbonatadas que le han dado pauta a interpretar ambientes de depósito de baja energía para carbonatos con aporte escaso a moderado de terrígenos de grano fino, así como también depósitos de sedimentos carbonatados de alta energía, reportando además foraminíferos planctónicos del Cretácico Superior; esto lo llevó a imaginar un escenario de plataforma somera a moderadamente profunda que solamente puede comprobarse con estudios petrográficos detallados y trabajo de campo.

Debido a las condiciones de alteración y a la cubierta de suelo que cubre a las rocas, el contacto con las rocas del Terciario está enmascarado y solo puede suponerse con ayuda de algunos rasgos del relieve; sin embargo, este contacto puede interpretarse como discordante, ya que la relación entre las rocas del Cretácico y el Terciario está muy bien expuesto, a escasos 2 kilómetros al noreste, cerca del puente que cruza el río Grijalva.

Paleoceno

El inicio del Terciario está representado por areniscas, lutitas y conglomerados de la Formación Soyaló. Para de La Rosa *et al.* (1989) estas rocas están representadas por lutitas, areniscas y horizontes escasos de caliza, con variaciones de localidad en localidad, llegando a presentar conglomerados de fragmentos de caliza y cuarzo,

mientras que muestras paleontológicas llevaron a interpretar ambientes de cuenca marina. Ferrusquía-Villafranca *et al.* (2000) mencionan que la Formación Soyaló está representada en el área de Copoya por lutitas, limolitas, filarenitas sarcósicas de grano fino con matriz calcárea, así como por conglomerados y frecuentemente en su parte superior por calizas.

Capra *et al.* (2003) señalan que las lutitas son rocas “muy susceptibles a deslizamientos y a flujos de detritos voluminosos”.

Eoceno Inferior-Medio

El Eoceno Inferior-Medio está representado por areniscas y conglomerados de la Formación El Bosque. Según informes de la Rosa *et al.* (1989), se encuentra constituida comúnmente por lechos rojos, es decir areniscas, limolitas y conglomerados. Es importante mencionar que en la localidad tipo, muy cerca del poblado El Bosque, estos depósitos presentan una gran cantidad de micas blancas. No obstante, también han mencionado que en otros lugares esta unidad puede cambiar a una serie de variedades litológicas que alcanzan las calizas y las dolomías, por lo que la distinción en muchos de los casos con las rocas del Eoceno Medio-Superior, constituido por calizas y areniscas, no siempre es reconocible.

Descripciones más detalladas llevan a los autores de ese estudio a interpretar que la Formación El Bosque se depositó mayormente sobre tierras por tracción y saltación como lodos en canales de ríos, como abanicos aluviales, y como lodos suspendidos en planicies inundadas, quizá cercanos a ambientes de litoral, sobre un sistema de meandros.

Las descripciones para las rocas del Eoceno Medio-Superior están mejor documentadas por Ferrusquía-Villafranca *et al.* (2000), quienes mencionan en descripciones petrográficas seis de las variedades líticas más comunes dentro de la unidad de rocas que representan al Eoceno Medio, a la cual se refieren como Formación San Juan. El ambiente más probable del depósito para esta unidad es una plataforma somera, localizada no muy lejos de la zona litoral con influjos suaves a moderados de terrígenos. El fallamiento extensivo, numerosos bloques deslizados, vegetación y depósitos cuater-

narios oscurecen las relaciones estratigráficas con las unidades que subyacen a la Formación San Juan. Diversas travesías muestran que sobre los estratos de la Formación Soyaló sobreyacen bloques deslizados de la Formación San Juan.

Depósitos recientes

Coluvión

Estos depósitos llegan a extenderse en espesores irregulares en las laderas de la meseta por lo que su cartografía es complicada, aunque pueden reconocerse en muchas ocasiones como rasgos geomorfológicos que definen abanicos y depósitos de pie de monte.

Los materiales procedentes de las partes altas, así como de los materiales periféricos a la meseta, se presentan conformando lomeríos que llegan a extenderse hasta Tuxtla Gutiérrez, cubriendo las rocas más antiguas. Así, el coluvión se compone de brechas, conglomerados y depósitos arenosos y limosos. Las brechas se componen de líticos angulosos de roca caliza cuyos tamaños van de los cantos a los bloques, por sus características se suponen que han sufrido el menor transporte, lo cual significa que son los testigos más inmediatos de la erosión de la meseta; mientras que los conglomerados se componen de líticos que van desde los guijarros hasta los bloques que se disponen caóticamente, de tal forma que, al no guardar ninguna gradación en su depósito, se infiere que muchos de estos materiales han sido depositados en eventos rápidos, algo así como avenidas de escombros y lodo. Finalmente, los depósitos arenosos y limosos provienen de la desintegración de las rocas más blandas, que en este caso pueden ser la Formación Soyaló y la Formación El Bosque, y forman la matriz que soporta a los líticos de tamaño variable.

Mora-Chaparro *et al.* (2007), refiriéndose a los coluviones, mencionan que “estos materiales tienen una alta susceptibilidad para la absorción de agua y cuando estos se saturan tienen un comportamiento de tipo plástico o incluso cuando se sobresaturan de agua, y si hay la pendiente pronunciada, se comportan en forma de flujo gravitatorio”.

Reportes similares fueron documentados por el Colegio de Ingenieros Geólogos de México (2000), enfocados en la zona del ZOOMAT, donde

mencionaron localmente depósitos de talud que evidencian la inestabilidad en la ladera que soporta varios árboles inclinados. Asimismo, Ferrusquía Villafranca *et al.* (2000) mencionan una construcción dañada en el rancho de Santa Josefina, ubicada en la ladera noreste de la meseta de Copoya, como consecuencia de deslizamiento de tierras.

IDENTIFICACIÓN DE PRM EN LA ZONA DE ESTUDIO

Tras los recorridos de campo en la zona de estudio se han identificado cuatro tipos de procesos (Figura 3), de acuerdo con la Clasificación de CENAPRED (Alcántara-Ayala *et al.*, 2008); estos son:

- Caídos y vuelcos de roca, en las partes altas, aledañas a los circos de erosión.
- Deslizamientos rotacionales. Se presentan también en zonas cercanas a circos de erosión y partes medias de la ladera.
- Flujos de detritos. Tienen lugar en zonas en donde se concentran los flujos de aguas superficiales, subterráneas y pendiente pronunciada.
- Deslizamiento planar o Creep, en zonas de menor pendiente.

MÉTODO

En el caso que aquí se expone se utilizaron el método heurístico y el análisis multicriterio, combinación también empleada por Muñiz-Jauregui y Hernández-Madrigal (2012) en el mapa de susceptibilidad a remoción en masa en Puerto Vallarta, Jalisco, para lo cual consideran 10 capas de información, una por cada variable.

El método heurístico, en combinación de mapas cualitativos (Turner y Schuster, 1996; Muñiz-Jauregui, 2009), demanda un conocimiento vasto de la zona de estudio, por lo que al momento de priorizar las variables empleadas para el caso de Tuxtla Gutiérrez se estableció que bajo condiciones de pendiente, drenaje y vegetación semejantes entre las laderas norte y sur, debían ser determinantes las

diferencias litológicas en primer lugar, y edáficas en segundo término.

Esta jerarquización de criterios se sustenta en las investigaciones realizadas en la zona por especialistas, entre los que se mencionan los trabajos de Muciño-Porras *et al.* (2005), en cuyo Reporte Técnico sobre el Fraccionamiento Cueva del Jaguar se refieren al suelo como “arcilla expansiva con un porcentaje mínimo de carbonato de calcio (marga). Este tipo de suelo al saturarse en épocas de lluvia disminuye su resistencia al esfuerzo cortante”; sin embargo, más adelante precisa que en “este tipo de suelo como es la Lutita [*sic*] se presenta un fenómeno conocido como repteo, y que consiste en un lento e imperceptible movimiento o deformación del material de un talud frente a bajos niveles de esfuerzos... Este fenómeno es característico de materiales cohesivos y rocas blandas como las lutitas, en taludes moderadamente empinados”.

Membrillo-Ortega (2006), en su reporte geológico a nivel regional, indica que “los materiales procedentes de las partes altas, así como de los materiales periféricos a la meseta, se presentan conformando lomeríos que llegan a extenderse hasta Tuxtla Gutiérrez, cubriendo las rocas más antiguas; así, el coluvión se compone de brechas, conglomerados y depósitos arenosos y limosos. Algunos ejemplos de movimiento de sedimentos no consolidados y asentamientos del suelo pueden observarse en el Fraccionamiento Zoque de la Ciudad de Tuxtla Gutiérrez y en la zona centro de la ciudad, donde se muestran algunos ejemplos de grietas generadas en casas y construcciones ubicadas sobre coluviones que fueron detectados en observaciones de campo.

Mora-Chaparro *et al.* (2007), en su Reporte de Observaciones Geológicas de la Ciudad de Tuxtla Gutiérrez, mencionan que los “materiales que componen esta ladera son depósitos de talud, los cuales se formaron por el intemperismo físico y químico de las rocas calcáreas que afloran en Cerro Hueco. Estos materiales están compuestos principalmente por arcillas ricas en carbonatos, las cuales rodean a fragmentos de rocas calizas fuertemente alteradas”. Y continúa: la ladera “es inestable por naturaleza, ya que además de estar compuesta por estos materiales de talud y de encontrarse en zonas con un alto

porcentaje de humedad, presenta pendientes que varían entre 30° y 70°. De forma natural la zona se estabilizó con la cubierta vegetal que ahí se ha desarrollado, como se observa en las zonas donde todavía se conserva su vegetación”.

El Gobierno de Chiapas (2011), de acuerdo con el orden de información que se presenta en el formato, indica que el terreno presenta una pendiente “de 30 a 70°” y está “conformado por arcillas de diferentes tonalidades”.

Espíritu-Tlatelpa (2012b) considera en su primer objetivo “establecer el uso de suelo pertinente en la zona conurbada, mediante el análisis espacial de las condiciones y fenómenos geológicos potenciales que se manifestarán aún más por la presencia de lluvias de 5 y 25 años”.

Por último, CENAPRED (2015), en su Nota Técnica: Visita Técnica de Seguimiento al Proceso de Inestabilidad de Laderas que afecta a las Colonias Lomas del Oriente y Cueva del Jaguar, Municipio de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, considera como factores condicionantes “las propiedades intrínsecas de los suelos y rocas que constituyen las laderas (propiedades mecánicas de los materiales), su distribución estratigráfica y la geometría del terreno”.

Por lo tanto, la jerarquización quedó como se muestra, apoyándose en el proceso de análisis jerárquico (Analytic Hierarchy Process, AHP) (Saaty, 1988):

1. Geología
2. Desniveles
3. Densidad de drenaje
4. Edafología
5. Uso del suelo y vegetación

Una limitante importante fueron las fuentes cartográficas, ya que la cartografía temática generada por INEGI presenta una escala de 1:250 000; por otra parte, la cartografía topográfica, que es la fuente para obtener la red de drenaje y las curvas de nivel, se encuentra a escala 1:50 000, el apoyo con la carta topográfica escala 1:20 000 (de reciente edición) permitió identificar deslizamientos antiguos en los flancos de la mesa kárstica de Copoya.

Para evitar incurrir en inconsistencias, se compensó la diferencia de detalle entre las escalas de la cartografía temática (1:250 000) y topográfica (1:50 000 y 1:20 000), a partir de la definición de la unidad mínima cartografiable (UMC), que depende de la metodología propuesta para cada mapa. Para el caso de la cartografía 1:250 000, en donde un área de 4 mm por lado en el mapa equivale a 1 km por lado en el terreno, se consideran los criterios de INEGI para la elaboración y actualización de la cartografía temática escala 1:250 000 (INEGI, 2006b).

Para fines de la cartografía derivada a escala 1:85 000, para este estudio se tomó la cuadrícula que corresponde al caneavá del sistema de coordena-

nadas UTM que contiene la carta topográfica escala 1:50 000 (INEGI, 1984; INEGI, 2004). Este tipo de mapas elaborados a partir de figuras geométricas (cuadros, en este caso) puede mantener este formato para su representación final (Lugo-Hubpp, 1988), o afinarse a través de métodos de interpolación para el trazo de isolíneas, lo cual se realizó aplicando el método Kriging de la extensión Spatial Analyst.

Previo a la clasificación por nivel de amenaza se obtuvo el mapa de geoformas (Figura 4), que caracteriza el relieve de acuerdo a la taxonomía propuesta por Priego *et al.* (2008), en donde se refieren a los depósitos de talud como “rampas de piedemonte”. Se considera que los factores detonantes, mencionados como lluvias intensas y

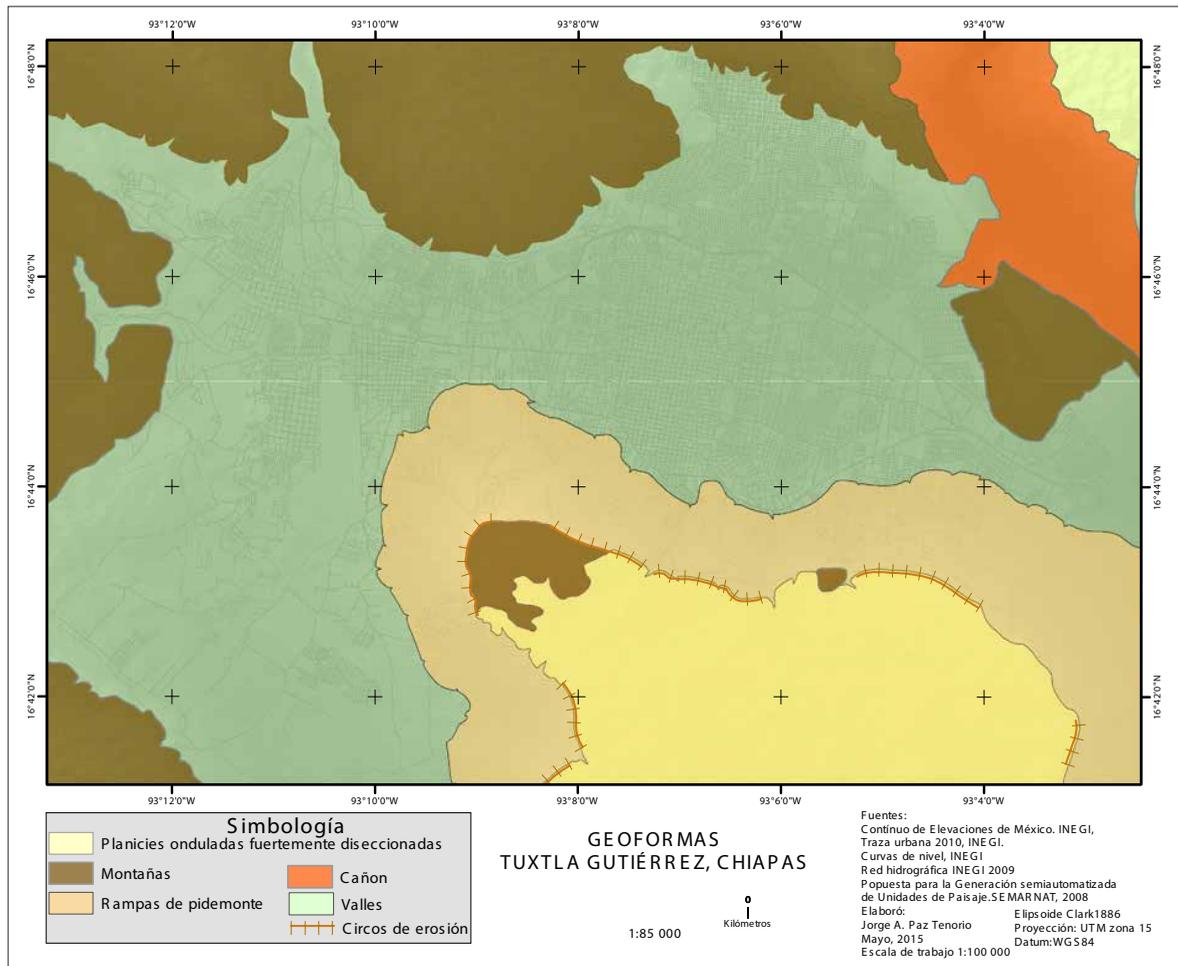


Figura 4. Mapa de Geoformas de Tuxtla Gutiérrez.

sismicidad, actúan de manera regional, por lo que ya están implícitos en este proceso.

Elaboración del mapa

Se construyó la retícula de 1 000 x 1 000 m, que corresponde al caneavá del sistema de coordenadas Universal Transversa de Mercator (UTM) de la carta topográfica escala 1:50 000 (INEGI, 1984; INEGI, 2004; Lugo-Hubp, 1988). A cada cuadro de la retícula se le generó un centroide para aplicar el proceso de interpolación y generar las isolíneas. Para las variables numéricas como densidad de drenaje y desniveles, se utilizaron los rangos definidos (número de intervalos iguales) por el software ArcMap (versión 9.3). Para las variables no cuantitativas, como son geología (Tabla 1), edafología (Tabla 2) y uso del suelo y vegetación (Tabla 3), se utilizó el mismo método AHP, obteniendo valores numéricos para la representación cartográfica.

En los tres casos se obtuvieron los valores normalizados y un Índice de Consistencia (IC) y la Relación de Consistencia (RC) (este último de acuerdo con la dimensión de la matriz), inferiores al 10% (Saaty, 1988), por lo que las ponderaciones son correctas.

Este método también es empleado por Aceves-Quesada *et al.* (2006), Muñiz-Jáuregui y Hernández-Madrigal (2012), Borja-Baeza (2012), Murillo-García (2013) (lo menciona como uno de los métodos aplicables), Hernández-Moreno *et al.* (2013) y Celemín (2014).

A diferencia de otros autores, hay dos capas que no se consideran en el caso aquí expuesto; estas son: distancia a caminos y radiación solar. La primera debido a que es una zona urbanizada y amanzanada en su mayor parte, y la segunda porque los materiales desprendidos provienen de una mesa kárstica de erosión que tiene los bordes muy bien definidos y expuestos en todas direcciones, y los fenómenos se han presentado en todos sus flancos; obviamente, se tienen más evidencias en la zona urbanizada por los efectos en la obra civil.

En cambio, para obtener información sobre los cambios en el uso del suelo se revisaron imágenes de Google Earth de los años 2006, 2008 y 2010. Posteriormente, se agregó una ortofoto de muy alta

Tabla 1. Ponderación geológica.

| VARIABLES | PONDERACIÓN |
|-------------------|-------------|
| Caliza-Arenisca | 0.2693 |
| Limolita-Arenisca | 0.2387 |
| Caliza-Lutita | 0.1749 |
| Limolita-Lutita | 0.1734 |
| Aluvi3n | 0.1438 |
| Total | 1.0000 |

Tabla 2. Ponderación edafología.

| VARIABLES | PONDERACIÓN |
|-----------|-------------|
| Regosol | 0.4756 |
| Vertisol | 0.1282 |
| Litosol | 0.1565 |
| Rendzina | 0.2133 |
| Feozem | 0.0265 |
| Total | 1.0000 |

Tabla 3. Ponderación uso del suelo y vegetación.

| VARIABLES | PONDERACIÓN |
|------------------|-------------|
| Urbano | 0.4746 |
| Agricultura | 0.2752 |
| Selva baja | 0.0278 |
| Pastizal | 0.1355 |
| Bosque de Encino | 0.0869 |
| Total | 1.0000 |

resolución (pixel de 0.2 m), obtenida para fines catastrales por el H. Ayuntamiento Municipal de Tuxtla Gutiérrez entre finales de 2012 y principios de 2013.

Finalmente, se definen cinco capas de informaci3n, una por cada variable, y al resultado final se le sobreponen los eventos registrados en los últimos nueve años (2006 a la fecha), lo que muestra que las zonas clasificadas como de amenaza muy alta son las más susceptibles para la ocurrencia de estos eventos. Es de esperarse que en el tiempo la incidencia de este tipo de fenómenos se manifieste en los niveles de alta y muy alta amenaza.

Aplicando el Proceso de Análisis Jerárquico (Analytic Hierarchy Process AHP) desarrollado por Saaty (1988), el cual consiste en análisis matricial e involucra juicios de valores, se generó la matriz de preferencia sobre los criterios seleccionados obteniendo la ponderación de las cinco variables elegidas. Fue importante el conocimiento de la zona de estudio, la documentación y estudios locales generados a la fecha, en donde se retoman los criterios de los especialistas.

El proceso se realizó en una hoja de cálculo de Excel (versión 2007), aplicando las fórmulas correspondientes. Debido a que solo se manejan cinco variables, y a las dimensiones de la zona (250 km²), no fue necesario *software* especializado (Tabla 4).

Con los datos obtenidos se elaboró una tabla en la cual se creó una columna con el nombre de “Amenaza”, que corresponde a la suma de los parámetros de los seis criterios arriba mencionados. Esto se plasma en el mapa de amenazas por procesos de remoción en masa. Así, en la zona los valores extremos quedan comprendidos en un rango desde 0 hasta 1 (Tabla 5; Figura 5).

Tabla 4. Ponderación de variables.

| VARIABLES | PONDERACIÓN |
|------------------|-------------|
| Geología | 0.2969 |
| Desnivel | 0.2245 |
| Densidad drenaje | 0.1931 |
| Edafología | 0.1871 |
| Uso del suelo | 0.0981 |
| Total | 1.0000 |

Tabla 5. Niveles de amenaza.

| AMENAZA | PONDERACIÓN |
|----------|-------------|
| Muy baja | >= 0.4 |
| Baja | 0.41 – 0.6 |
| Media | 0.61 – 0.7 |
| Alta | 0.71 – 0.8 |
| Muy alta | 0.81 =< |

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

A partir del análisis cartográfico con el Inventario Nacional de Viviendas (INEGI, 2012) y recorridos en campo, se estima que en la ladera sur de la ciudad habitan alrededor de 62 471 habitantes, distribuidos en 20 870 viviendas, que ocupan 849 manzanas. En el ámbito rural son 30 localidades de los municipios de Chiapa de Corzo, Tuxtla Gutiérrez y Suchiapa, las que suman 154 habitantes distribuidos en los todos los flancos de la mesa, lo que arroja en total 62 625 personas expuestas. Además, establecimientos comerciales, instituciones gubernamentales (Zoológico Miguel Álvarez del Toro, MUCH), escuelas (Colegios La Paz y Descartes) y la carretera Tuxtla Gutiérrez-Villaflores, por la que se movilizan personas de las comunidades de Copoya, El Jobo, Suchiapa y Villaflores a la capital Chiapaneca, lo que en conjunto representa un considerable volumen de población flotante difícil de estimar.

Parte de los resultados basados en el crecimiento histórico de la ciudad a partir de 1892 (Gobierno de Chiapas, 1992), año en que se registra el primer plano urbano de la ciudad, al trasladarse los poderes y establecerse la capital del estado en Tuxtla Gutiérrez, indican que de 1892 a 2010 la ciudad ha crecido en superficie 100 veces y 70 en cantidad de habitantes.

Tendencias del crecimiento de la ciudad

Las tendencias actuales del crecimiento de la ciudad, a dos años de elaborado el mapa, hacen evidente la necesidad de ordenar y reglamentar las nuevas edificaciones, considerando el aspecto de PRM, además de los efectos destructivos de las inundaciones y los sismos que afectan frecuentemente a la ciudad. No obstante que la ladera sur se determina inestable por naturaleza, en la ladera norte se establecen complejos habitacionales que están modificando la geometría de la pendiente, lo que puede ser un factor detonador para la ocurrencia de PRM.

Hacia la ladera sur se construye un complejo habitacional vertical, muy exclusivo, proyecto que consiste en la construcción de dos torres conformadas por 23 pisos cada una. De acuerdo a su

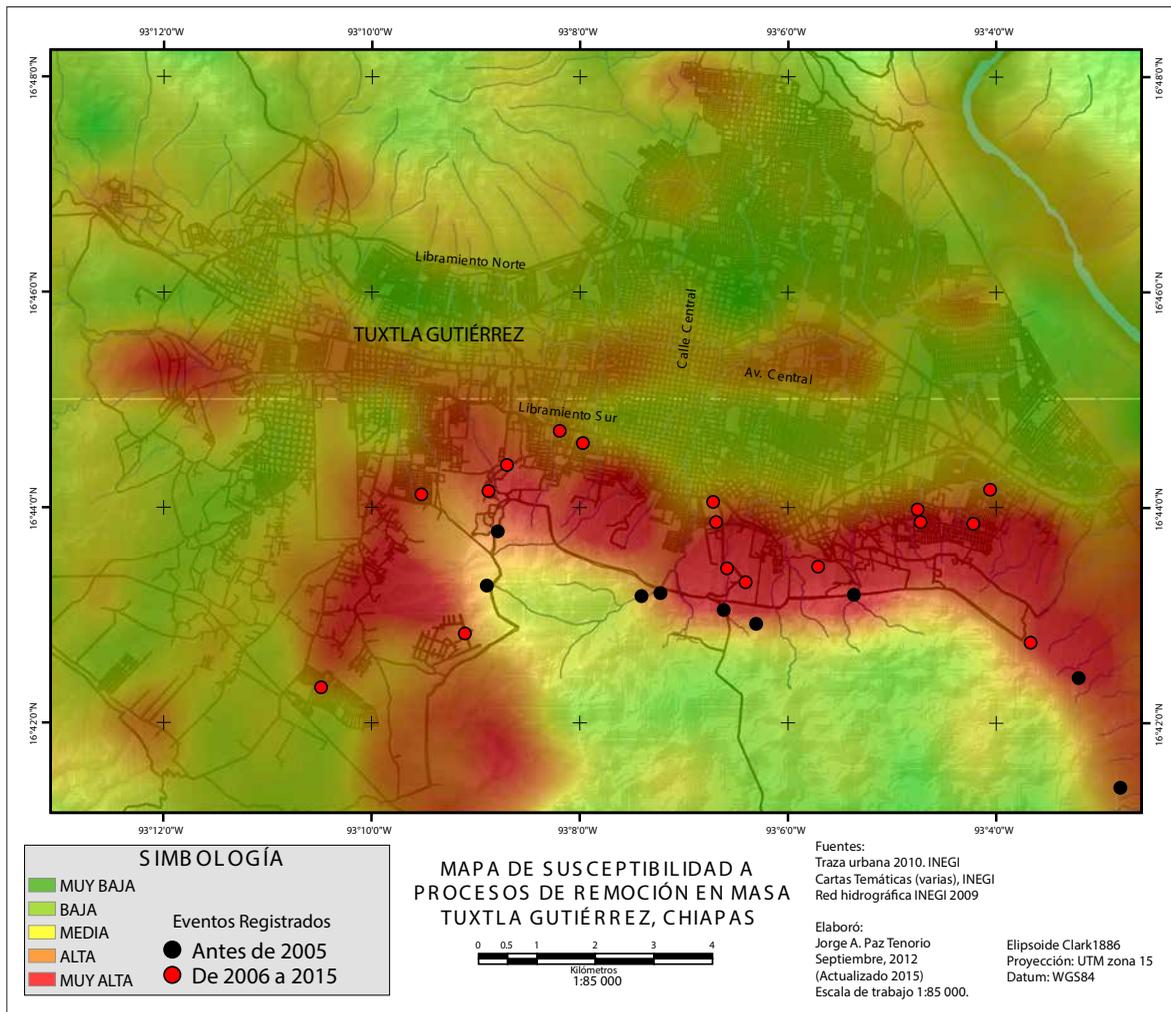


Figura 5. Mapa de Susceptibilidad a Procesos de Remoción en Masa para Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

ubicación sobre el mapa objeto de este estudio, el predio se ubica una parte en zona de alta y muy alta amenaza, por lo que, seguramente, se realizaron estudios exhaustivos que generan datos valiosos para conocer, entre otros aspectos, la profundidad de los depósitos de talud (a los cuales no se tuvo acceso).

Son varias las colonias que han sufrido severos daños por PRM desde 2005 y que, actualmente, no han sido atendidas adecuadamente. A este respecto, Lavell (2005) considera que se continúa privilegiando el problema de los impactos. Esto es que la visión institucional a nivel municipal, estatal y nacional, se centra en la atención de la emergencia, aún cuando tenemos una historia de estudios de

desastres de 30 años a raíz del sismo de la ciudad de México de 1985.

CONCLUSIONES

Con base en los resultados de los trabajos de campo y analíticos con técnicas SIG, se propone una metodología para la construcción de mapas de amenazas por procesos de remoción en masa a partir del método heurístico con combinación de cinco mapas cualitativos (geología, edafología, pendiente, densidad de drenaje, uso de suelo y vegetación), así como un factor de amplificación del

peligro a partir de las evidencias observadas en campo.

Para el caso de estudio de la ladera sur en Tuxtla Gutiérrez, con esta metodología, se presentaron cinco niveles de amenaza en la zona, que abarcan los siguientes porcentajes: muy baja 5%, baja 27.1%, media 39.3%, alta 15.3% y muy alta 13.3%, siendo esta última la que se distribuye en su mayor parte en los depósitos de talud, alrededor de la Mesa de Copoya, lo que confirma su situación de máximo peligro.

Para Tuxtla Gutiérrez se calcula una población expuesta de aproximadamente 62 500 habitantes (11.6% del total) (537 102 habitantes en el área urbana) que residen tanto en la parte sur de la ciudad como en 30 localidades rurales asentadas en los flancos de la mesa de Copoya; se estiman poco más de 28 000 viviendas expuestas agrupadas en 850 manzanas.

Las tendencias actuales del crecimiento de la ciudad hacen evidente la necesidad de ordenar y reglamentar las nuevas edificaciones. No obstante que la ladera sur se determina inestable por naturaleza, en la ladera norte se establecen complejos habitacionales que están modificando la geometría de la pendiente, lo que puede ser un factor detonador para la ocurrencia de PRM en el corto y mediano plazo.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Geogr. Elisa M. Sandoval Sierra el apoyo para la revisión del documento.

REFERENCIAS

- Aceves-Quesada, F., López-Lanco, J., Martín del Pozzo, A. L. (2006). Determinación de peligros volcánicos aplicando técnicas de evaluación multicriterio y SIG en el área del Nevado de Toluca, centro de México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 23(2), 113-124.
- Alcántara-Ayala, I., Echevarría-Luna, A., Gutiérrez-Martínez, C., Domínguez-Morales, L., Noriega-Rioja, I. (2008). *Inestabilidad de laderas*. México: CENAPRED.
- Alcántara-Ayala, I., Murillo-García, F. (2008). Procesos de remoción en masa en México: hacia una propuesta de elaboración de un inventario nacional. *Investigaciones Geográficas*, 66, 47-64.
- Borja-Baeza, R. C. (2012). Determinación de peligros volcánicos aplicando técnicas de evaluación multicriterio y SIG en el área del Nevado de Toluca, centro de México. Tesis doctoral. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias.
- Capra, L., Lugo-Hubp, J., Dávila-Hernández, N. (2003). Fenómenos de remoción en masa en el poblado de Zapotitlán de Méndez, Puebla: relación entre litología y tipo de movimiento. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 20(1): 95-106.
- Celemín, J. P. (2014). El proceso analítico jerárquico en el marco de la evaluación multicriterio: un análisis comparativo. *Revista de la Universidad de Luján*, 6(6), 47-63.
- Colegio de Ingenieros Geólogos de México, A. C. (2000). *Estudio geológico ambiental del área donde se ubica el Zoológico regional "Miguel Álvarez del Toro" (ZOO-MAT), de Tuxtla Gutiérrez, Estado de Chiapas, México*.
- De la Rosa Z, J. L., Eboli M., A. y Dávila S., M. (1989). *Geología del Estado de Chiapas*. México: Subdirector de Construcción, Comisión Federal de Electricidad.
- Espíritu-Tlatelpa, G. (2012a, 22 de abril). Movimientos de masas y sus implicaciones en el ordenamiento urbano. En *El Sudcaliforniano. Ciencia, Innovación y Tecnología para el desarrollo de México*, 4(102), La Paz, B.C.S., México. Recuperado de: <http://www.pcti.mx/articulos/item/movimientos-de-masas-y-sus-implicaciones-en-el-ordenamiento-urbano>.
- Espíritu-Tlatelpa, G. (2012b), "Criterios geológico-hidrologicos para recomendaciones del uso de suelo en zonas conurbadas sujetas a afectaciones por lluvias intensas. Caso de estudio: sur de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas", *Investigaciones Geográficas*, 80, 36-54.
- Ferrusquilla-Villafranca, I., Applegate Shelton, P. y Espinosa Arrubarrena, L. (2000). First Paleogene selachifauna of the middle American-Caribbean Antillean region, La Mesa de Copoya, west-central Chiapas, Mexico—Geologicsetting. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 17(1), 1-23.
- Gobierno de Chiapas (1992), *Tuxtla Gutiérrez 1892-1992*. Documento conmemorativo de los 100 años de Tuxtla Gutiérrez como capital. Tuxtla Gutiérrez: Secretaría de Programación y Presupuesto.
- Gobierno de Chiapas (2011, 18 de enero). *Dictamen de Identificación de Riesgos (Colonia Lomas del Oriente)*. Chiapas: Instituto de Protección Civil para el Manejo Integral de Riesgo de Desastres Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.
- H. Ayuntamiento Municipal de Tuxtla Gutiérrez (2012). *Atlas de Riesgos de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México*.

- Hernández-Moreno, G., Borja-Baeza, R. C., Garnica-Peña, R. J., Alcántara-Ayala, I. (2013). Susceptibilidad a Procesos de Remoción en Masa. En *Atlas de Factores de Riesgo de la Cuenca de Motozintla, Chiapas*. México: Instituto de Geofísica, Instituto de Geografía, UNAM, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (1984). Carta Topográfica E15C69 Tuxtla Gutiérrez, Escala 1:50 000, Proyección UTM zona 15. 1 mapa, color. México: INEGI.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2004), Carta Topográfica E15C69 Tuxtla Gutiérrez, Escala 1:50 000, Proyección UTM, México, INEGI, 1 mapa, color.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2006a). Carta Geológica E15-11. Tuxtla Gutiérrez. Escala 1:250 000, Proyección UTM. 1 mapa, color. México: INEGI.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2006b). Metodología para la actualización de la cartografía de Uso del Suelo y Vegetación, Serie V, Mimeog. Aguascalientes, Ags.: INEGI.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2012). Inventario Nacional de Viviendas. Recuperado de: www3.inegi.org.mx/sistemas/mapa/inv/Default.aspx.
- Lavell, A. (2005). Los conceptos, estudios y práctica en torno al tema de los riesgos y desastres en América Latina: evolución y cambio, 1980-2004: el rol de la red, sus miembros y sus instituciones de apoyo. En *La gobernabilidad en América Latina. Balance reciente y tendencias a futuro*. Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales.
- Lugo-Hubp, J. (1988), *Elementos de Geomorfología aplicada; Métodos cartográficos*, Insituto de Geografía, UNAM, México.
- Lugo-Hubp, J., Zamorano-Orozco, J. J., Capra, L., Inbar, M. y Alcántara-Ayala, I. (2005). Los procesos de remoción en masa en la Sierra Norte de Puebla, octubre de 1999: Causas y efectos. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 22(2), 212-228.
- Membrillo-Ortega, H. (2006). Geología de la meseta de Copoya (Mimeog.). Tuxtla Gutiérrez.
- Mora-Chaparro, J. C., Carrera, M., García-Diego, A. M., Escobedo, S., Figueroa, H. N., Hernández, V. M., Sol, L. L. (2007). *Reporte de observaciones geológicas en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, Informe técnico*. Chiapas: Instituto de Protección Civil para el Manejo Integral de Riesgos de Desastre.
- Muciño-Porras, J. J., Domínguez-Salazar, F. F., Villalvazo-Báez, M. (2005). *Informe técnico del problema de deslizamiento en las colonias Lomas del Oriente y la Cueva del Jaguar, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas*.
- Muñiz-Jauregui, J. A. (2009). *Inestabilidad de laderas en la zona de montaña de la ciudad de Puerto Vallarta, Jalisco. Caracterización, susceptibilidad e implicaciones relacionadas con el crecimiento urbano*. Tesis de maestría. Centro de Investigaciones de Geografía Ambiental, UNAM.
- Muñiz-Jauregui, J. A., Hernández-Madriral, V. M. (2012). Zonificación de procesos de remoción en masa en Puerto Vallarta, Jalisco, mediante combinación de análisis multicriterio y método heurístico. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 29(1), 103-114.
- Murillo-García, A. (2013). *Análisis y Cartografía de Riesgo de Desastre por Procesos de Remoción en Masa en el municipio de Pabuatlán, Puebla*. Tesis de maestría.
- Paz-Tenorio, J. A., Domínguez-Salazar, F. F., González-Herrera, R., Martínez-Villar, J. R. (2010). Caracterización de las laderas habitadas en Tuxtla Gutiérrez y su relación con el riesgo. *Pakbal*, 30(1), 1-12.
- Paz-Tenorio, J. A., Gómez-Ramírez, M., González-Herrera, R. y Domínguez-Salazar, F. F. (2011). Los procesos de remoción en masa; génesis, efectos y limitaciones en el crecimiento urbano de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. *Revista Geográfica de América Central*, 2(47E), 1-18.
- Paz-Tenorio, J.A., Gómez-Ramírez, M., González-Herrera, R., Murillo-Sánchez, M. E. Domínguez-Salazar, F. F. (2012). Mapa de Amenazas por Procesos de Remoción en Masa en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. VIII Reunión Nacional de Geomorfología. Guadalajara, México.
- Paz-Tenorio, J. A. (2012). La inestabilidad de laderas y la construcción social del riesgo; tres casos en el sur de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Tesis de maestría. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas.
- Paz-Tenorio, J. A. (2013). Identificación del deslizamiento rotacional en la Colonia 6 de junio tercera sección. Reporte de campo.
- Paz-Tenorio, J. A. y Carreño-Collatupa, R. (2014). *Deslizamientos Urbanos en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México*. Quito, Ecuador: Centro Panamericano de Estudios e Investigaciones Geográficas CEPEIGE.
- Priego, A., Bocco, G., Mendoza, M., Garrido, A. (2008). *Propuesta para la generación semiautomatizada de unidades de paisajes. Fundamentos y métodos*. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, UNAM.
- Saaty, T. L. (1988). *The Analytic Hierarchy Process; Planning, Priority Setting Resource Allocation*. Nueva York: McGraw-Hill.
- Secretaría de Gobierno (SEGOB) (2015, 25 de febrero). *Visita técnica de seguimiento al proceso de inestabilidad de laderas que afecta a las Colinas lomas del oriente y cueva del Jaguar, municipio de Tuxtla Gutiérrez*,

- Chiapas, nota técnica.* México: Centro Nacional de Prevención de Desastres, México.
- Turner, A. K. y Schuster R. L. (1996). *Landslides. Investigation and mitigation.* Special report 247. Washington, D.C.: National Academy Press.
- Vega, F. J., Nyborg, T., Coutiño-José, M. A., Hernández-Monzón, O. (2008). Review and additions to the Eocene decapod Crustacea from Chiapas, Mexico. *Bulletin of the Mizunami Fossil Museum*, 34, 51-71.