



INTENSIDAD GEOMÓRFICA DEL RELIEVE NOROESTE DEL ESTADO DE CHIAPAS, MÉXICO: UN ENFOQUE PARA LA PLANEACIÓN TERRITORIAL

*Geomorphic intensity of the northwest relief of the State of Chiapas, Mexico:
an approach for territorial planning*

J. R. Hernández Santana(1), C. López Miguel(2), A. P. Méndez Linares(1) &
M. Bollo Mannet(3)

(1) Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito Exterior, s/n, Ciudad Universitaria
C.P. 04510, México, D.F. - Telf. (52-55) 5622-4335/51, ext. 45498

(2) Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias, Avda. Universidad, s/n, Circuito 2, C.P. 62210,
Campus Morelos, UNAM - Telf. (52-55) 5622-7824; Cuernavaca (52-777) 329-1824 (directo) - Fax 777 317 5981

(3) Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, UNAM. Antigua carretera a Pátzcuaro, 8701,
Colonia ExHacienda de San José de la Huerta, C.P. 58190, Morelia, Michoacán, México
Telf. (52-443) 322-3865 - Fax (52-443) 322-3880

Resumen: Una de las principales tareas para una adecuada planeación del territorio radica en el conocimiento y la evaluación de los grados de idoneidad del uso actual y prospectivo de su suelo, en función de los diferentes atributos naturales y socioeconómicos involucrados en su desarrollo, y que determinan, en general, la aptitud del espacio para cada uso específico del mismo. Para la planeación del territorio noroccidental del Estado de Chiapas, México, se elaboró una clasificación de la intensidad geomórfica potencial, partiendo de una tipología sustentada en el nivel de susceptibilidad litológica a los procesos geomórficos exógenos y de las condiciones energéticas, propiciadas por las pendientes del terreno, que permitiera la evaluación de la intensidad del modelado geomórfico, como contribución al análisis de la aptitud natural para diferentes usos de suelo, como la agricultura, la ganadería y el fomento forestal, así como identificar las zonas más críticas ante el desarrollo de los procesos erosivos lineales y planares, de remoción en masa, erosivo-kársticos, fluviales y lacustres. En este sentido, el trabajo presenta una metodología para la evaluación de la intensidad geomórfica exógena para grandes territorios, con precisión y rapidez, soportada en aplicaciones de SIG y en inspecciones geomorfológicas de campo. Como resultado de la aplicación al territorio noroccidental chiapaneco, se reportaron 26 tipos de intensidades geomórficas potenciales. Los resultados obtenidos contribuyeron a la planeación del uso del suelo, sobre todo agrícola, ganadero y forestal, bajo el prisma de la optimización geomórfica de las actividades socioeconómicas.

Palabras clave: Intensidad geomórfica, planeación territorial, Chiapas, México.



J. R. Hernández Santana, C. López Miguel, A. P. Méndez Linares & M. Bollo Manent (2010). Intensidad geomórfica del relieve noroeste del estado de Chiapas, México: un enfoque para la planeación territorial. *Rev. C. & G.*, 24 (1-2), 79-98.

Abstract: One of the main tasks involved in the adequate planning of territory is to know and assess the degree of suitability of present and potential land uses based on the natural and socioeconomic attributes involved in its development that, in general, define the suitability of the territory for each specific land use. For the territorial planning of the northwest state of Chiapas, Mexico, a classification was developed of the potential geomorphic intensity by means of a typology sustained both on the level of lithological susceptibility of exogenous geomorphic processes and on the energetic conditions that are conditioned by slope. Such a classification allows for evaluating the intensity of the geomorphic modelling process with the aim of contributing to the analysis of land's natural suitabilities for different land uses (agriculture, cattle grazing and forestry) and to identify critical zones susceptible to erosion linear and planar, mass removal, karstic-erosion, fluvial and lacustrine processes. The present work provides a methodology for accurate and quick evaluations of exogenous geomorphic intensity over extensive territories based on GIS software and geomorphological field inspections. The application of this methodology to the territory of northwest Chiapas resulted in the definition of 26 types of potential geomorphic intensity. The obtained results contributed to the planning of land use, in particular, for agriculture, cattle grazing and forestry, through the view of geomorphic optimization of socioeconomic activities.

Keywords: Geomorphic intensity, territorial planning, Chiapas, Mexico.

1. Introducción

En el contexto del sistema territorial y en específico de su subsistema natural, las condiciones geólogo-geomorfológicas constituyen una de sus principales componentes medioambientales, dado que determinan de manera general, el comportamiento y el estado de los restantes factores naturales, tanto de carácter zonal global como azonal, tanto de tipo regional como local. Entre sus repercusiones ambientales se pueden relacionar la distribución espacio-temporal del régimen hidrológico, las diferencias territoriales de los pisos altitudinales de la vegetación, las condiciones de estabilidad de las laderas para la expansión urbana, así como la intensidad geomórfica (el tipo genético de los procesos geomórficos exógenos y sus intensidades potenciales) y su influencia en el desarrollo natural y socioeconómico.

Es por ello, que a los efectos de la planeación del territorio noroeste del Estado de Chiapas, México, se requirió de una plataforma geólogo-geomorfológica, que permitiera la evaluación integral del grado de aptitud natural del uso de suelo sobre bases de optimización espacial. En este sentido, la clasificación y evaluación de la intensidad geomórfica potencial, partiendo de una tipología sustentada en el nivel de susceptibilidad litológica a los procesos geomórficos exógenos y de las condiciones energéticas (propiciadas por las

pendientes del terreno), contribuyó de manera general, a detectar las zonas con condiciones más críticas ante el desarrollo de los procesos erosivos lineales y planares, de remoción en masa y fluviales y lacustres acumulativos, entre los principales procesos existentes en el área de estudio. Estos procesos geomórficos deben ser evaluados en sus facetas, tanto degradativas como agradativas, a los efectos de propiciar usos adecuados del suelo ante sus efectos y evitar, en otros casos, que éstos se conviertan en catalizadores de escenarios adversos por la inadecuada aplicación de las actividades productivas, fundamentalmente del uso agrícola de suelo.

Los objetivos que persigue este trabajo son: (a) establecer, mediante la correlación entre la susceptibilidad litológica a los procesos geomórficos exógenos y el espectro de pendientes, una tipología integrada para diferenciar la intensidad geomórfica potencial del territorio; (b) identificar las zonas donde, de acuerdo con cada intensidad geomórfica potencial, puedan desarrollarse diferenciadamente los procesos de remoción en masa, los procesos erosivos lineales y planares, los erosivo-kársticos, así como los acumulativos fluviales y lacustres; (c) presentar un diagnóstico orientativo sobre la intensidad geomórfica potencial, que permita sobre la base del uso actual del suelo, detectar cuáles de dichos usos por localidades, podrían perturbar aun más las

condiciones naturales, debido al incremento de la dinámica de los procesos geomórficos exógenos; y (d) detectar las zonas críticas de la intensidad geomórfica incompatible, con el fin de evitar mayores perjuicios a la agricultura, así como evitar la aceleración degradativa del medio ambiente bajo la energía de dichos procesos geomórficos exógenos.

Esta evaluación representa una primera visión general sobre la distribución de las condiciones geólogo-geomorfológicas favorables al desarrollo de los procesos geomórficos exógenos y sus intensidades potenciales (intensidad geomórfica potencial), considerando el método correlativo entre diferentes grupos lito-estratigráficos de susceptibilidad a dichos procesos geomórficos e intervalos representativos de pendientes de las categorías y subcategorías geomorfológicas del relieve (montañas, premontañas, lomeríos, llanuras

colinosas, onduladas y planas) en el área de estudio. Esta propuesta metodológica sobre la determinación de la intensidad geomórfica potencial está soportada en aplicaciones de SIG y en observaciones geomorfológicas de campo, permitiendo realizar evaluaciones sobre la dinámica actual y potencial del relieve de grandes territorios, con precisión y rapidez. Los resultados obtenidos contribuyen a la planeación del uso del suelo, sobre todo agrícola, ganadero y forestal, bajo el prisma de la optimización geomórfica de las actividades socioeconómicas.

2. Área de estudio

El área de estudio se corresponde con el relieve del extremo noroccidental del Estado de Chiapas, México; estando limitada al oeste y al este, por las

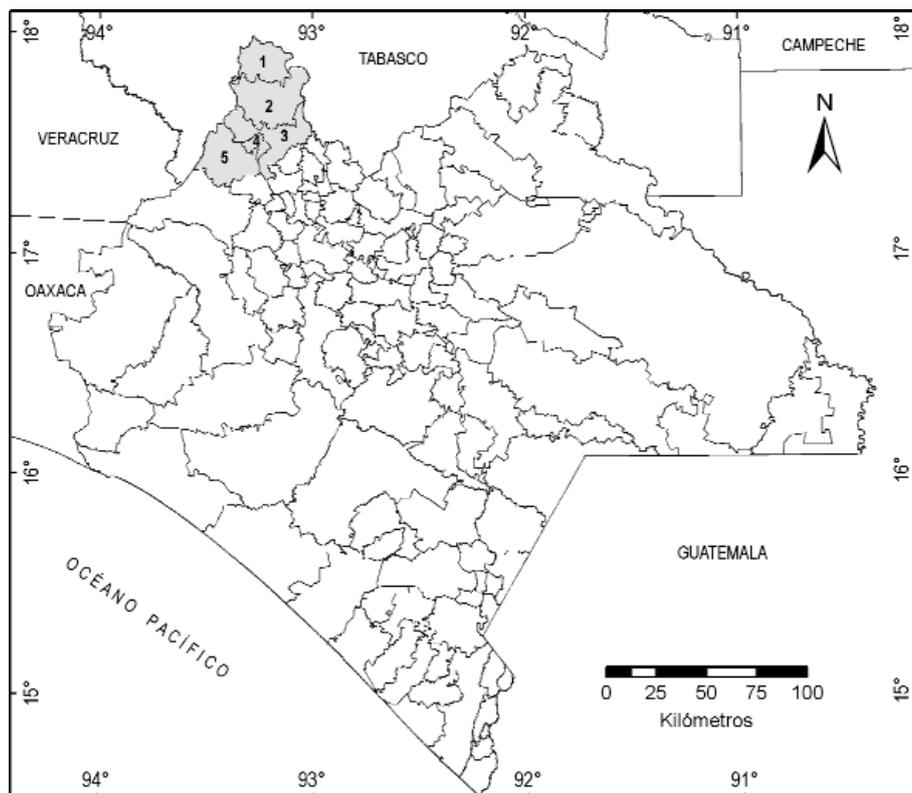


Figura 1. Área de estudio en el noroeste del Estado de Chiapas, México. Municipios involucrados: 1. Reforma, 2. Juárez, 3. Pichualco, 4. Sunuapa y 5. Ostuacán.

Figure 1. Geomorphological study area in the northwest of the Chiapas State, Mexico. Municipalities: 1. Reforma, 2. Juárez, 3. Pichualco, 4. Sunuapa y 5. Ostuacán.

montañas bajas, en su extremo meridional; hasta lomeríos en su parte central; y un sistema de llanuras planas y diseccionadas (onduladas y colinosas) en su porción centro-septentrional. Los topónimos con significado geólogo-geomorfológico referidos en el trabajo aparecen en la Figura 2.

En este territorio existen dos tipos de clima, a saber: (a) la región norte, correspondiente al espectro de llanuras, que a partir del poblado de Juárez, se caracteriza por tener un clima cálido húmedo con régimen de lluvias de verano, con poca oscilación térmica y temperatura media anual de 26° C; y (b) la región sur, coincidente con los lomeríos y las montañas bajas, que presenta un clima similar, pero con un régimen de lluvias abundantes durante todo el año y temperatura media anual de 23° C. Los suelos predominantes son los Acrisoles y, con menor presencia, los Gleysoles, Cambisoles, Leptosoles, Fluvisoles, Luvisoles, Andosoles, Regosoles y Vertisoles. La vegetación natural está constituida por selvas alta y mediana perennifolias, y los humedales, que han sido sustituidos por cultivos, plantaciones de cacao y ganadería extensiva, sobre todo en las llanuras muy colinosas, colinosas, onduladas y planas.

2.1. Constitución geológica

La constitución geológica presenta diversos complejos petrológicos, compuestos por rocas ígneas extrusivas (traquiandesitas, dacitas y productos piroclásticos) y sedimentarias. Sus edades oscilan entre el Cretácico superior (Senoniano), el Terciario y el Cuaternario, aunque realmente la columna estratigráfica del territorio ocupa, casi en su totalidad, todo el Cenozoico (Ortiz Pérez *et al.*, 2007) (Fig. 3). En su base descansan rocas calcáreas cretácicas del Senoniano y sus pocos afloramientos están restringidos al límite meridional, a unos kilómetros al este del volcán El Chichón. Sobre este zócalo local, se presentan secuencias terciarias y cuaternarias de complejos carbonatados, calcáreos, terrígenos, volcánicos y acumulativos fluviales. En las áreas del volcán El Chichón se extienden coberturas de materiales piroclásticos de composición traquiandesítica (<http://www.ugm.org.mx/pdf/geos02-2/CHI02-2.pdf>), identificados hacia el entorno de

Nuevo Xochimilco durante los trabajos de campo. Excluyendo las restantes secuencias carbonatadas y calcáreas paleoceno-miocénicas, existe una amplia cobertura de areniscas miocénicas, con desarrollo de cortezas de intemperismo, desde las premontañas orientales hacia el espectro de llanuras septentrionales (Fig. 3).

En general, la constitución geológica refleja diferentes eventos durante la evolución geotectónica regional, como son una gran acumulación de sedimentos marinos, deformaciones plicativas y disyuntivas, y actividad volcánica en determinadas épocas, incluso hasta el presente. Las unidades sedimentarias se dividen, de forma general, en calcáreas y epiclásticas; las primeras corresponden a sedimentos depositados durante el Cretácico, mientras que las segundas son rocas cuya edad varía del Paleoceno al Mioceno tardío. El Plioceno y el Holoceno se caracterizan por depósitos de llanuras fluviales y lacustres, así como por depósitos piroclásticos y rocas volcánicas del volcán El Chichón, aun activo, cuyo origen está asociado con sistemas de fallas transcurrentes izquierdas (García-Palomo *et al.*, 2004).

2.2. Condiciones geomórficas

Desde el punto de vista geomorfológico, el área de estudio se localiza en la macropendiente septentrional de la Sierra Madre de Chiapas, que de acuerdo con la clasificación morfoestructural de la Sierra Madre del Sur (Hernández-Santana *et al.*, 1996) se corresponde con su macrobloque más suroriental, en contacto con la provincia fisiográfica Llanuras Estructural y Deltaica de Tabasco. El relieve de las montañas de esta región está condicionado por varios factores: la tectónica, activa desde el Neógeno (Mioceno-Plioceno) e intensa en la actualidad; por la litología, la estructura geológica y las condiciones climáticas (Lugo, 1990).

En esta región las estructuras de plegamiento laramídico (Cretácico superior-Eoceno inferior), conjuntamente con el fracturamiento neotectónico (Mioceno-Cuaternario), tanto de desplazamientos transcurrentes como verticales, y la actividad volcano-tectónica reciente, han determinado la diferenciación morfoestructural y morfogenética

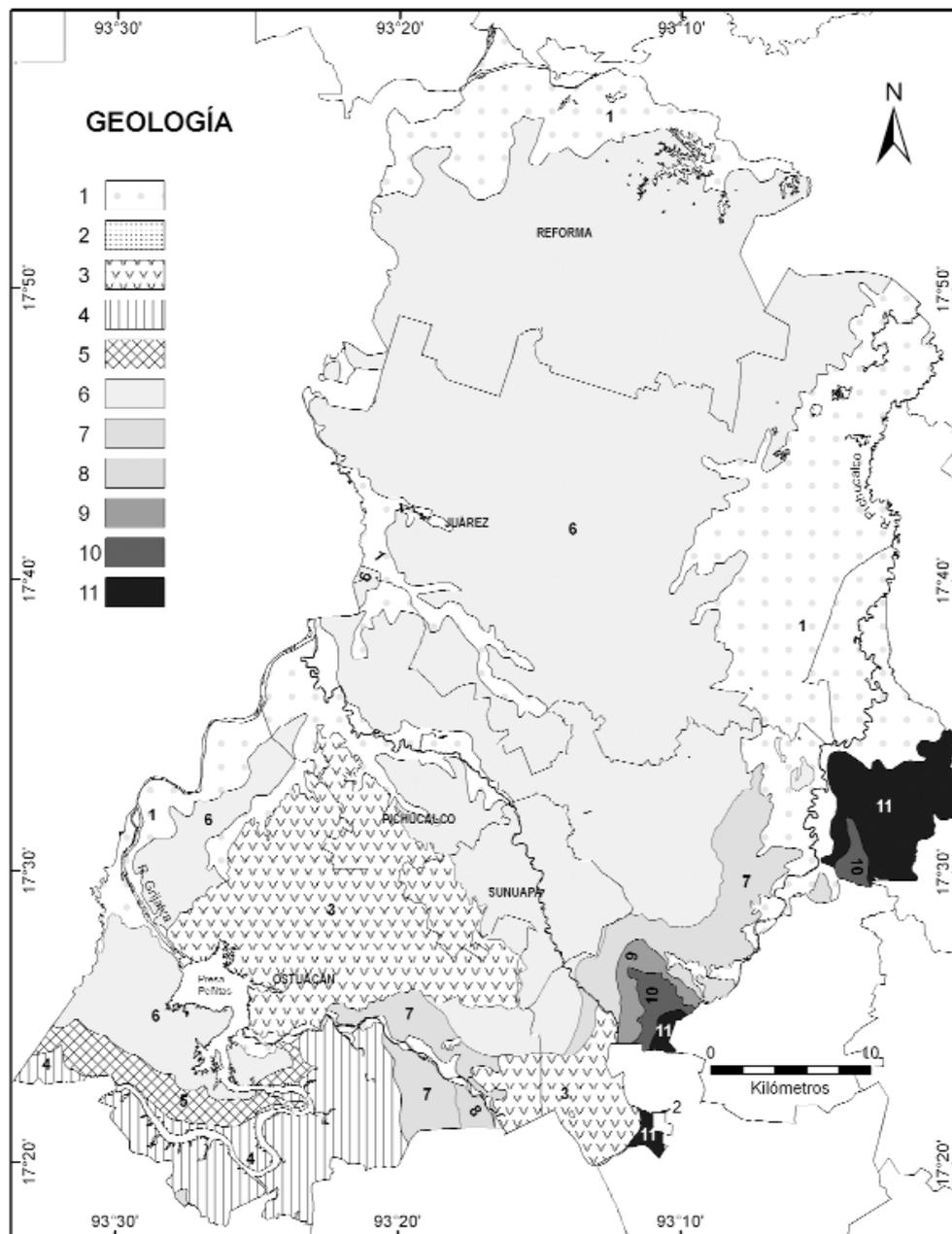


Figura 3. Constitución geológica del área de estudio (Ortiz Pérez *et al.*, 2007): 1. Holoceno: aluviones recientes; 2. Plioceno-Pleistoceno: depósitos fluvio-lacustres; 3. Plioceno-Cuaternario: traquiandesitas, dacitas y productos piroclásticos; 4. Mioceno inferior-medio: areniscas, margas y calizas arrecifales; 5. Mioceno inferior-medio: conglomerados deltaicos; 6. Mioceno: areniscas; 7. Oligoceno: areniscas, pelitas, calizas detríticas y arrecifales; 8. Eoceno: areniscas, argilitas y calizas detríticas; 9. Eoceno medio superior: margas y calizas; 10. Eoceno inferior: conglomerados poligenéticos; y 11. Paleoceno: margas, areniscas y calizas.

Figure 3. Geological constitution of study area (Ortiz Pérez *et al.*, 2007): 1. Holocene: recent alluvium; 2. Pliocene-Pleistocene: fluvial and lacustrine deposits; 3. Pliocene-Quaternary: traquiandesites, dacites and pyroclastic products; 4. Middle and lower Miocene: sandstones, marls and reef limestones; 5. Middle and lower Miocene: deltaic conglomerates; 6. Miocene: sandstones; 7. Oligocene: sandstones, pelites, detritic and reef limestones; 8. Eocene: sandstones, argillites and detritic limestones; 9. Middle and Upper Eocene: marls and limestones; 10. Lower Eocene: polygenetic conglomerates; 11. Paleocene: marls, sandstones and limestones.

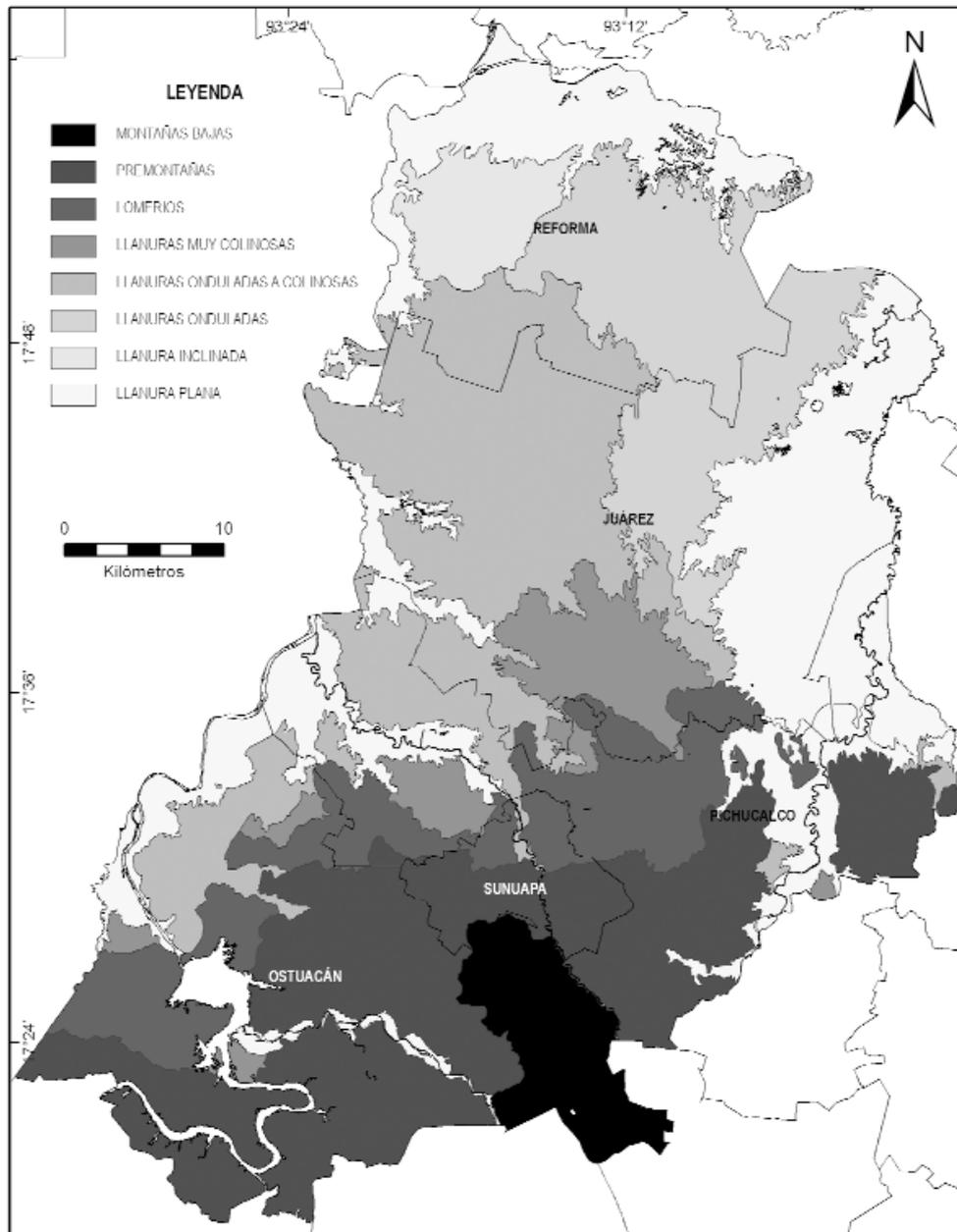


Figura 4. Categorías y subcategorías geomorfológicas del relieve: montañas bajas ($800 < H$, altitud ≤ 1260 m), premontañas ($300 < H \leq 800$ m), lomeríos ($200 < H \leq 300$ m), llanuras muy colinosas, llanuras onduladas a colinosas, llanuras onduladas, llanura inclinada y llanuras planas (todas con altitudes menores a los 200 m).

Figure 4. Geomorphological categories and subcategories of relief: low mountains, premountains, hills, very hilly plains, undulate to hilly plains, undulate plains, inclined plain and flat plain.

del relieve. Un papel importante en la conformación endógena del relieve lo desempeñó la etapa de los movimientos neotectónicos mio-

ceno-cuaternarios de la corteza terrestre; sus ascensos diferenciados formaron y consolidaron los escalones morfoestructurales del relieve actual

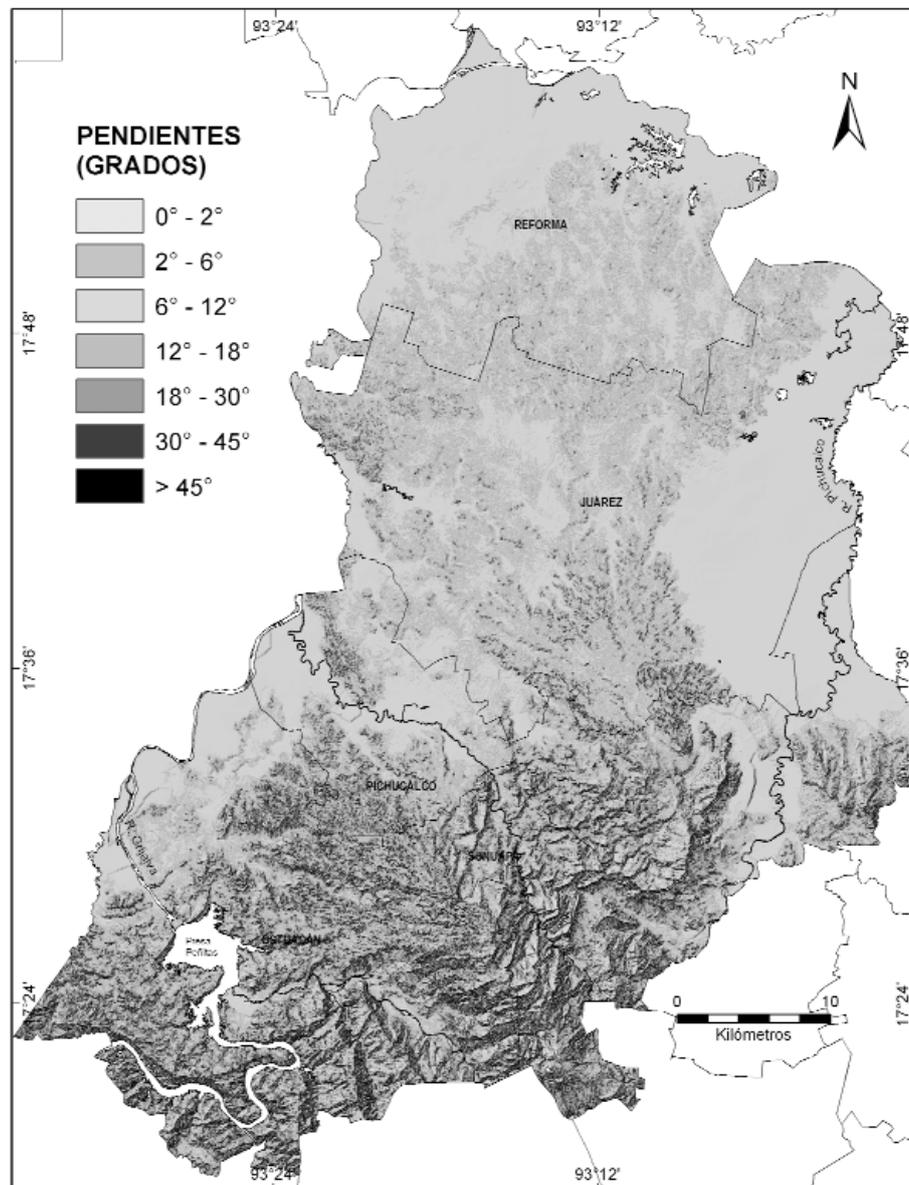


Figura 5. Intervalos de pendientes empleados en la determinación de las intensidades geomórficas potenciales: 0-2°, 2.1-6°, 6.1-12°, 12.1-18°, 18.1-30°, 30.1-45° y mayor de 45°.

Figure 5. Intervals of slopes used in the determination of the potential geomorphic intensities: 0-2°, 2.1-6°, 6.1-12°, 12.1-18°, 18.1-30°, 30.1-45° and more than 45°.

(categorías del relieve): montañas bajas ($800 < H$, altitud ≤ 1260 m), premontañas ($300 < H \leq 800$ m), lomeríos ($200 < H \leq 300$ m) y los pisos de llanuras de distinta génesis ($200 \text{ m} \leq H$). A su vez, densificaron y profundizaron la disección del relieve, y delinearon la red hidrográfica actual.

Las principales categorías del relieve (Fig. 4), reflejan también una notable influencia en el comportamiento y la distribución de las pendientes de las laderas. Los intervalos de pendientes seleccionados fueron los siguientes: 0-2°, 2.1-6°, 6.1-12°, 12.1-18°, 18.1-30°, 30.1-45° y mayor de

45° (Fig. 5). Estos intervalos de pendientes se corresponden con las características morfométricas de las principales geoformas del área de estudio.

En este sentido, las mayores pendientes (mayor a 45°), tanto en inclinación como en longitud, se presentan en la edificación volcánica de El Chichón, en las escarpas kárstico-denudativas del valle del Río Grijalva, en las premontañas de Maspac (al oeste de El Chichón), en las montañas bajas de los cerros El Zopilote y El Cucayo, en las laderas de la estructura circular de Manchas Blancas (al suroeste de Pichucalco) y en las laderas periféricas de las premontañas de El Azufre (Fig. 2), entre los principales sectores más inclinados. Precisamente, esta distribución se corresponde con la localización de los substratos calcáreos y traquiandesíticos más resistentes, los cuales bajo la acción de los procesos geomórficos exógenos, generan escarpas de tipo gravitacional y kárstico-gravitacional. Este tipo de ladera es frecuente en el valle encajado del Río Grijalva, aguas arriba de la presa Peñitas.

Las pendientes con valores entre 18.1-30° y 30.1-45°, se presentan fundamentalmente en las premontañas y en los lomeríos altos, que circundan a las montañas por el norte; así como muy aisladamente en lomeríos bajos y en las llanuras altas y muy altas, colinosas y muy diseccionadas, estas últimas localizadas en el entorno de la cabecera de Juárez y en el poblado El Triunfo, y en menor extensión y frecuencia, en Platanar Abajo (1ra. Sección), Ignacio Allende y El Paraíso (Fig. 2). Finalmente, en las llanuras medias, de colinosas a onduladas y ligeramente diseccionadas, situadas al norte y al este del territorio (Limoncito, Reforma y Santa Teresa) predominan los valores entre 6.1°-12° y 12.1°-18°; y en las bajas y planas (llanuras acumulativas de inundación de los ríos Grijalva y Pichucalco, y llanura lacustre septentrional de Reforma), la inclinación general alcanza valores inferiores a los 2° (Fig. 5).

3. Antecedentes

Ante la importancia del vector exógeno del modelado del relieve, ya en el año 1976, la Unión Geográfica Internacional, previo a su vigésimo tercer Congreso Internacional, celebró el Simposio "Present-Day Geomorphic Processes", en la

ciudad de Kanev, Ucrania central. Este conclave permitió conocer los avances de las investigaciones sobre la dinámica de los procesos geomórficos exógenos en diferentes condiciones geográficas y la problemática de su cartografía; sobre las aplicaciones de su fotointerpretación para comprender la evolución exogenética del relieve; sobre la elaboración de modelos matemáticos para pronosticar su desarrollo dinámico; sobre los estudios experimentales, tanto de campo como en laboratorios geomorfológicos, para conocer sus magnitudes cuantitativas e implicaciones en el medio ambiente; y en otras vertientes de la ciencia geomorfológica, relacionadas con la génesis, el carácter y las tendencias de los procesos geomórficos exógenos.

Actualmente, en la literatura internacional existen diversos enfoques teórico-metodológicos para revelar las magnitudes y tendencias dinámicas del modelado del relieve, algunas orientadas al análisis geomórfico-ambiental (Díaz-Díaz *et al.*, 2001), bajo el empleo de unidades morfotectónicas y la valoración y ponderación de atributos morfométricos y litológicos, de carácter cuantitativo y de codificación numérica, para determinar la dinámica endógena y exógena del relieve. Otras investigaciones transitan por la aplicación de métodos geomórficos cuantitativos para la determinación de deposiciones volcánicas (Smith *et al.*, 1987), de métodos dendrocronológicos para el análisis espacio-temporal de deslizamientos y de derrumbes (Stefanini, 2004; Stoffel *et al.*, 2005), de análisis sedimentológico y dataciones isotópicas para estimar las pérdidas de suelos en tiempos históricos (Gale *et al.*, 2005), de monitoreo de la erosión y de flujos sedimentarios en sitios fluviales y estuarinos (Lawler, 2005, 2008), y de modelación de procesos sedimentarios para el cálculo de la erosión potencial (Curtis *et al.*, 2005) y del crecimiento de cárcavas (Fernández *et al.*, 2008). Sin embargo, no se reportan métodos aplicados a la determinación de la intensidad geomórfica por procesos genéticos del modelado exógeno del relieve, en función de atributos naturales generadores de esa intensidad, como son la litología, las categorías geomorfológicas y la energía condicionada por las pendientes del terreno, aspectos que se evalúan en la presente propuesta metodológica.

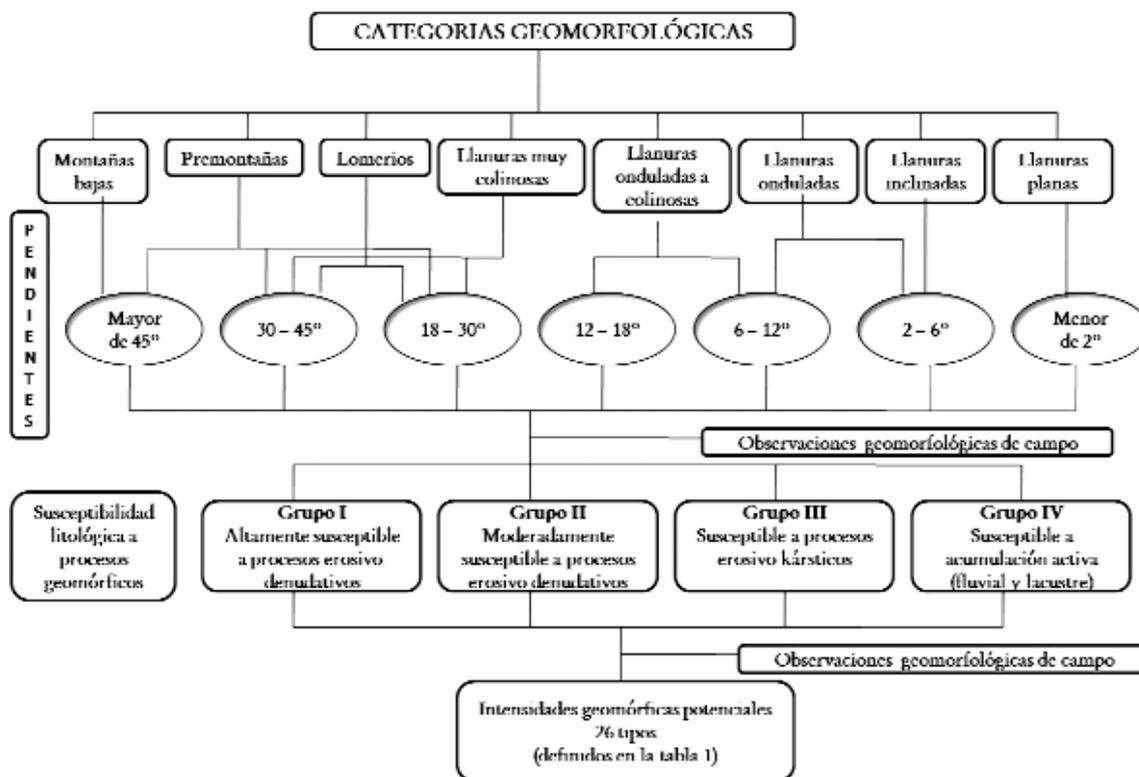


Figura 6. Flujograma del procedimiento metodológico para la clasificación de las intensidades geomórficas potenciales.
 Figure 6. Flow chart illustrating the methodological procedure for the classification of potential geomorphic intensities.

El análisis de la dinámica geomórfica, a través de las investigaciones sobre la génesis e intensidad de los procesos geomórficos exógenos posee diversos antecedentes insulares, en el caso cubano, y continentales, en las condiciones de México. Las primeras experiencias cartográficas aparecen con la clasificación genética y dinámica de los procesos exógenos recientes para la Sección Relieve del Atlas Nacional de Cuba (Blanco-Segundo *et al.*, 1989) y en el sector montañoso del Pico Turquino, en la Sierra Maestra, Cuba (Blanco-Segundo, 1983), a partir de observaciones geomorfológicas de campo. Estos resultados fueron retomados y enriquecidos, con mayor precisión, en la evaluación de la dinámica de los procesos geomórficos en el área de influencia del proyecto hidroeléctrico “La Parota”, en el Estado de Guerrero, México (CFE, 2003), con la inserción de

un análisis correlativo entre las geoformas y sus pendientes; en la evaluación exodinámica de las cuencas de México, del Alto Lerma y de Valle de Bravo para el gobierno del Estado de México (Hernández-Santana *et al.*, 2005), bajo el mismo enfoque metodológico; y en la determinación de la compatibilidad geomórfica del uso agrícola de suelo en la cuenca alta del Río Lerma, México (Hernández-Santana *et al.*, 2009), en la cual se proponen coeficientes específico y general de la compatibilidad geomórfica de las actividades agrícolas.

Estos estudios son los antecedentes básicos de la presente evaluación de la intensidad geomórfica potencial de la exogénesis del relieve en el extremo noroeste de Chiapas. Por otra parte, esta metodología posibilita la clasificación cualitativa de la intensidad geomórfica del relieve, en función

del reconocimiento de la morfometría de sus formas y microformas, de sus condiciones litológicas y de sus pendientes, para grandes territorios con precisión, rapidez y empleo de pocos recursos, mediante aplicaciones de SIG y observaciones geólogo-geomorfológicas de campo.

4. Materiales y métodos

4.1. Materiales topográficos y geológicos

El mapa topográfico del área de estudio fue elaborado a partir de las bases cartográficas digitales, a escala 1: 50 000 (INEGI, 2005), con una equidistancia de 10, 20 y 40 metros, según zonas de diferentes gradientes verticales del relieve. En su preparación se empleó el elipsoide GRS80 y la proyección UTM, con cuadrículas de 10 000 m y un DATUM horizontal ITR92.

Para la caracterización geológica del área de estudio, se utilizaron la carta geólogo-minera E15-8 (Villahermosa), a escala 1:250 000 (INEGI, 1983); la Monografía Geológico-Minera del Estado de Chiapas (Consejo de Recursos Minerales, 1999); el mapa geológico del área (Carfantán, 1986); los estudios volcánico-tectónicos del volcán El Chichón (García-Palomo *et al.*, 2004); la Geología del Estado de Chiapas (De la Rosa *et al.*, 1989); el mapa geológico del territorio, a escala 1:100 000 (Ortiz Pérez *et al.*, 2007) y diversos trabajos geológicos de la VI Convención Geológica Nacional de la Sociedad Geológica Mexicana (Instituto de Geología, 1983). Para el agrupamiento de la susceptibilidad del substrato geológico a la acción de los procesos geomórficos exógenos, con fines de determinar los tipos de intensidad geomórfica potencial del área de estudio, fueron consultadas las versiones litológicas de los mapas geológicos de INEGI (1983) y de Ortiz Pérez *et al.* (2007), y se desarrollaron observaciones geólogo-geomorfológicas de campo, con el fin de identificar la relación litología-pendientes-procesos geomórficos-inventario de geoformas y microformas del relieve-intensidad geomórfica potencial.

4.2. Métodos

4.2.1. Determinación de las intensidades geomórficas (génesis e intensidad potencial de los procesos geomórficos)

Para establecer la correlación de los aspectos litológicos del substrato geológico con las condiciones de las pendientes, se procedió al agrupamiento de dichas litologías, de acuerdo con el grado de susceptibilidad potencial a la acción de los procesos geomórficos exógenos, utilizando la información geológica digital disponible (INEGI, 1983; Ortiz Pérez *et al.*, 2007) y utilizando las evaluaciones geólogo-geomorfológicas de campo (identificación de procesos geomórficos predominantes e inventario de geoformas y microformas del relieve). Para este fin, luego de interpretar las fotografías aéreas, a escala 1:75 000, y realizar las observaciones de campo para el inventario de formas genéticas del relieve en cada una de sus categorías geomorfológicas (montañas bajas, premontañas, lomeríos y llanuras), se identificaron cuatro grupos principales de susceptibilidad litológica, tres para los procesos degradativos: (1) procesos de remoción en masa, (2) procesos erosivos lineales y planares, y (3) erosivo-kársticos; y (4) uno para los procesos agradativos o acumulativos, a saber:

Grupo I: Rocas altamente susceptibles a los procesos geomórficos degradativos (erosivos lineales y planares, y de remoción en masa): Areniscas miocénicas (6 en Fig.3); Conglomerados poligenéticos, areniscas y pelitas rojas del Eoceno inferior (10 en Fig. 3).

Grupo II: Rocas moderadamente susceptibles a los procesos geomórficos degradativos (erosivos lineales y planares, y de remoción en masa): Traquiandesitas, dacitas y productos piroclásticos del Plioceno y del Cuaternario (3 en Fig. 3); Conglomerados deltaicos del Mioceno inferior y medio (5 en Fig. 3); y areniscas, argilitas y calizas detríticas del Eoceno (8 en Fig. 3).

Grupo III: Rocas susceptibles a los procesos erosivo-kársticos, con diferente grado de intensidad, según la energía del relieve: Areniscas, margas y calizas arrecifales del Mioceno (4 en Fig. 3); areniscas, calizas detríticas y arrecifales del

Tabla 1. Tipos de intensidades geomórficas (génesis e intensidad potencial u orientativa de los procesos geomórficos exógenos).

Asociaciones litológicas, de acuerdo con la susceptibilidad a los procesos geomórficos exógenos	Grupo I	Grupo II	Grupo III	Grupo IV
	Rocas altamente susceptibles a los procesos erosivos lineales y planares, y de remoción en masa. Areniscas miocénicas (6 en Fig. 3). Conglomerados poligenéticos, areniscas y pelitas rojas del Eoceno inferior (10 en la Fig. 3).	Rocas moderadamente susceptibles a los procesos erosivos lineales y planares, y de remoción en masa. Andesitas, dacitas y productos piroclásticos del Plioceno y del Cuaternario (3 en Fig. 3). Conglomerados deltaicos del Mioceno inferior y medio (5 en Fig. 3). Areniscas, argilitas y calizas detríticas del Eoceno (8 en Fig. 3).	Rocas susceptibles a los procesos erosivo-kársticos, con diferente grado de intensidad, según la energía del relieve. Areniscas, margas y calizas arrecifales del Mioceno (4 en Fig. 3). Areniscas, calizas detríticas y arrecifales del Oligoceno (7 en Fig. 3). Margas y calizas del Eoceno medio-superior (9 en Fig. 3). Margas, areniscas y calizas en bancos pequeños del Paleoceno - (11 en Fig. 3).	Depósitos no consolidados, en zonas deprimidas onduladas y planas, susceptibles a los procesos agradativos o de acumulación. Depósitos fluvio lacustres del Plioceno y del Pleistoceno (2 en Fig. 3). Aluviones recientes, del Holoceno (1 en Fig. 3).
Grados de inclinación de las laderas	1 Procesos de remoción en masa y erosivos lineales extremadamente intensos.	2 Procesos de remoción en masa y erosivos lineales muy intensos.	3 Procesos erosivo-kársticos extremadamente intensos.	—
> 45°	4 Procesos de remoción en masa moderados y erosivos lineales muy intensos.	5 Procesos de remoción en masa moderados y erosivos lineales muy intensos.	6 Procesos erosivo-kársticos muy intensos.	—
30.1° - 45°	7 Procesos de remoción en masa moderados y erosivos lineales intensos.	8 Procesos de remoción en masa débiles y erosivos lineales moderados.	9 Procesos erosivo-kársticos intensos.	10 Procesos fluviales acumulativos débiles.
18.1 - 30°	11 Procesos erosivos lineales moderados y erosivos planares (laminares) muy intensos.	12 Procesos erosivos lineales débiles y erosivos planares (laminares) intensos.	13 Procesos erosivo-kársticos moderados.	14 Procesos fluviales acumulativos moderados.
12.1° - 18°	15 Procesos erosivos lineales débiles y erosivos planares (laminares) intensos.	16 Procesos erosivos lineales moderados y erosivos planares (laminares) moderados.	17 Procesos erosivo-kársticos débiles.	18 Procesos fluviales acumulativos de cauce y de llanura, intensos.
6.1° - 12°	19 Procesos erosivos planares (laminares) moderados.	20 Procesos erosivos planares (laminares) débiles.	21 Procesos erosivo-kársticos muy débiles.	22 Procesos fluviales acumulativos de cauce y de llanura, muy intensos.
2.1° - 6°	23 Procesos erosivos planares (laminares) muy débiles.	24 Procesos erosivos planares (laminares) extremadamente débiles.	25 Procesos erosivos-kársticos, extremadamente débiles.	26 Procesos lacustres y biogénicos acumulativos, muy intensos.
0° - 2°				

Nota: La información geológica, tanto geocronológica como litológica, fue consultada en el mapa geológico de INEGI (1983), modificado a escala 1: 100 000 (Ortiz Pérez *et al.* 2007). Los tipos de intensidad geomórfica potencial son 26 y aparecen numerados en la cuadrícula de correlación matricial.

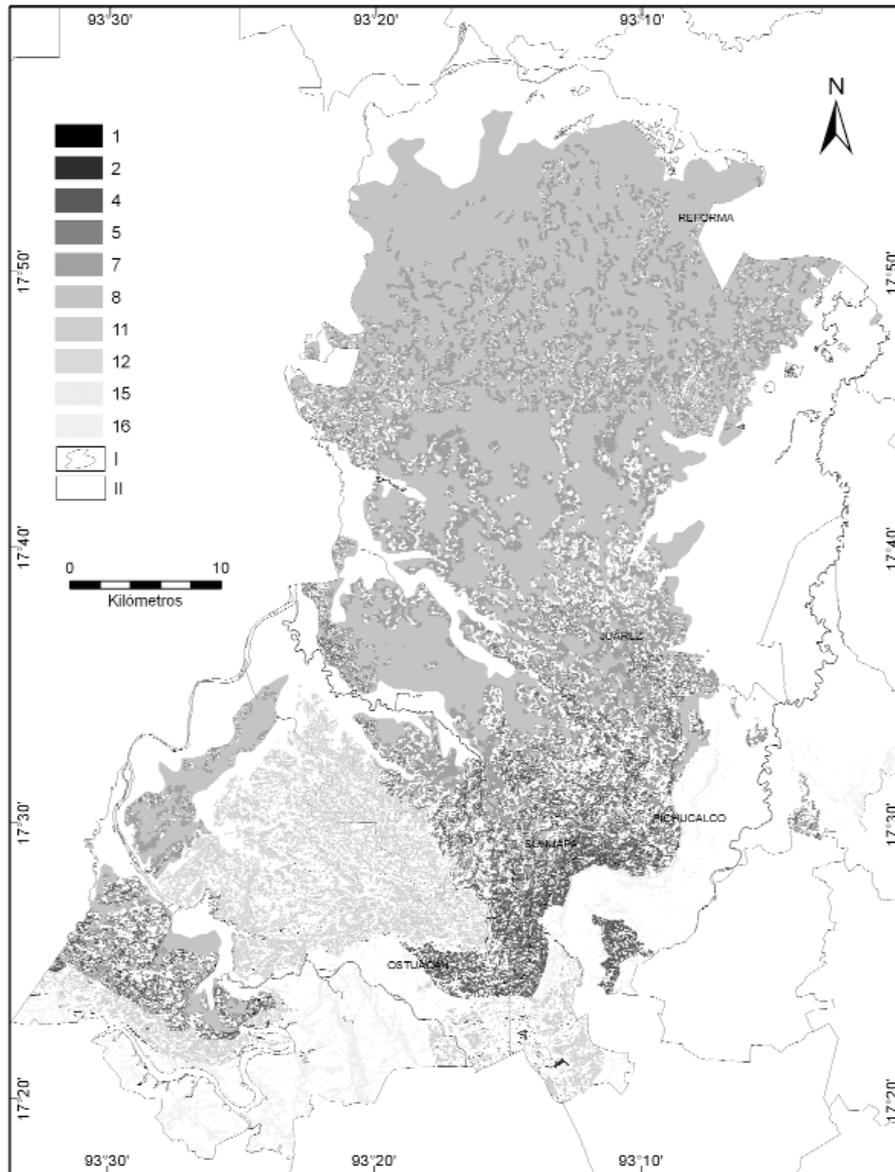


Figura 7. Principales intensidades geomórficas potenciales del territorio (conservan el número de su tipo en la clasificación): 1. Procesos de remoción en masa y erosivos lineales extremadamente intensos; 2. Procesos de remoción en masa y erosivos lineales muy intensos; 4. Procesos de remoción en masa intensos y erosivos lineales muy intensos; 5. Procesos de remoción en masa moderados y erosivos lineales muy intensos; 7. Procesos de remoción en masa moderados y erosivos lineales intensos; 8. Procesos de remoción en masa débiles y erosivos lineales moderados; 11. Procesos erosivos lineales moderados y erosivos planares (laminares) muy intensos; 12. Procesos erosivos lineales débiles y erosivos planares (laminares) intensos; 15. Procesos erosivos lineales débiles y erosivos planares (laminares) intensos; 16. Procesos erosivos lineales moderados y erosivos planares (laminares) moderados. I. C u e r p o s perennes de agua; II. Otras intensidades geomórficas (representadas en las figuras 8 y 9).

Figure 7. Main potential geomorphic intensities of the territory (see the type's number of the classification): 1. Extremely intense mass movement and linear erosive processes; 2. Very intense mass movement and linear erosive processes; 4. Intense mass movement and very intense linear erosive processes; 5. Moderate mass movement and very intense linear erosive processes; 7. Moderate mass movement and intense linear erosive processes; 8. Weak mass movement and moderate linear erosive processes; 11. Moderate (linear) erosive and very intense (planar) erosive processes; 12. Weak (linear) erosive and intense (planar) erosive processes; 15. Weak (linear) erosive and intense (planar) erosive processes; 16. Moderate (linear) erosive and moderate (planar) erosive processes; I.

Tabla 2. Superficies de la distribución de los tipos de intensidades geomórficas (génesis de los procesos geomórficos exógenos y sus intensidades potenciales).

Grupos correlativos Litológico-Pendientes	Tipo de intensidad geomórfica	Superficie (km ²)
I-7	1	1.93
II-7	2	2.71
III-7	3	20.95
I-6	4	62.36
II-6	5	82.10
III-6	6	180.42
I-5	7	262.75
II-5	8	665.62
III-5	9	28.00
IV-5	10	71.83
I-4	11	70.36
II-4	12	75.95
III-4	13	38.43
IV-4	14	20.76
I-3	15	5.43
II-3	16	39.96
III-3	17	80.33
IV-3	18	61.23
I-2	19	61.95
II-2	20	27.77
III-2	21	16.05
IV-2	22	0.99
I-1	23	1.93
II-1	24	5.68
III-1	25	20.80
IV-1	26	549.50

Oligoceno (7 en Fig. 3); margas y calizas del Eoceno medio-superior (9 en Fig. 3); y margas, areniscas y calizas en bancos pequeños del Paleoceno (11 en Fig. 3).

Grupo IV: Depósitos no consolidados, en zonas deprimidas planas, susceptibles a los procesos de acumulación activa: Depósitos fluvio-lacustres del Plioceno y Pleistoceno (2 en Fig. 3); y aluviones recientes, del Holoceno (1 en Fig. 3). Los detalles litológicos se ofrecen en la Tabla 1.

Posteriormente, de acuerdo con las condiciones de susceptibilidad litológica del substrato geológico a los procesos geomórficos y con los ángulos de inclinación de las laderas del territorio, así como con las evaluaciones geomorfológicas de campo (Fig. 6), se elaboró una matriz de correlación, que permitió distinguir los principales tipos de intensidad geomórfica potencial (procesos geomórficos exógenos y sus intensidades potenciales). La clasificación tipológica de la intensidad

geomórfica potencial arrojó 26 tipos, descritos en la Tabla 1.

Para la elaboración del mapa de las intensidades geomórficas potenciales (Fig. 7) fue utilizado el SIG ILWIS, versión 3.3, con el procesamiento siguiente: a) se creó un modelo digital de elevación con una resolución espacial de 25 m, el cual permitió la generación del mapa de pendientes (Fig. 5); b) a partir de la versión litológica del mapa geológico (INEGI, 1983; Ortiz Pérez *et al.*, 2007) los tipos litológicos fueron agrupados en cuatro grupos de susceptibilidad a los procesos geomórficos exógenos (Tabla 1) y rasterizados con un tamaño de píxel de 25 m; c) finalmente, el mapa de las intensidades geomórficas potenciales fue creado a partir de ambas bases de datos mediante el uso de Álgebra Booleana. Las superficies (km²) de cada tipo de intensidad geomórfica potencial son mostradas en la Tabla 2. A su vez, por cuestiones de

representación cartográfica y de legibilidad espacial, en este trabajo el mapa de intensidades geomórficas potenciales fue dividido, según la esencia genética de los procesos geomórficos dominantes, en las Figuras 7, 8 y 9.

5. Resultados y discusión

El procesamiento automatizado de la matriz correlativa (Tabla 1) para la determinación de la distribución espacial de los tipos de intensidades geomórficas fue aplicado al área de estudio, arrojando los resultados cartográficos reflejados en las Figuras 7, 8 y 9. Una interpretación general sobre la distribución de las distintas intensidades geomórficas potenciales muestra la estrecha correspondencia entre ellas y las categorías básicas del relieve (montañas, lomeríos y llanuras) e incluso con sus subcategorías (montañas bajas y premontañas; lomeríos altos, medio y bajos; y llanuras altas, medias, bajas y muy bajas).

De esta manera, los tipos de procesos de remoción en masa y erosivos lineales extremadamente intensos, muy intensos e intensos (tipos de intensidades geomórficas potenciales No. 1, 2, 4 y 5, según Tabla 1) se localizan en las laderas de los principales grupos montañosos del sur del territorio (montañas bajas del volcán El Chichón y de los cerros El Zopilote, El Llano y El Cucayo, y de las premontañas de la Sierra de Manchas Blancas, de las localidades de Amacoite, Nuevo Xochimilco, Samba, Cerro de Cal, y de la porción suroriental del Cerro Santa Cruz (Fig. 7). Los procesos de remoción en masa moderados y los erosivos lineales muy intensos y moderados (intensidades geomórficas potenciales No. 5 y 7, según Tabla 1), se concentran en algunas áreas de las premontañas del sinclinal de Maspac, hacia el centro sur; al este de las premontañas de El Azufre, 2da. Sección; y en las localidades circundantes a Mariano Matamoros, 1ra. Sección, al norte del poblado de Pichucalco (Fig. 7).

Hacia las premontañas de Amacoite, fundamentalmente en la región de los conglomerados miocénicos, y en las zonas de lomeríos altos, se desencadenan los procesos erosivos lineales moderados, y erosivos planares muy intensos e intensos (tipos de intensidades geomórficas

potenciales No. 11 y 12, según Tabla 1). Es evidente, dada la extensión de las areniscas terrígenas del Mioceno, al norte del territorio, que los procesos erosivos lineales intensos y moderados (tipos de intensidades geomórficas No. 5 y 8, según Tabla 1) se desarrollen en los lomeríos bajos, llanuras muy colinosas, colinosas y onduladas, extendidas al norte del poblado de Juárez y hasta la ciudad de Reforma (Fig. 7). Por otra parte, la presencia de los procesos erosivos lineales moderados y débiles intercalados con erosivos planares (laminares o areales) intensos y moderados se observa en las partes colinosas más altas e inclinadas de los niveles geomorfológicos sobresalientes sobre el fondo general de las llanuras (intensidades geomórficas potenciales No. 11, 12, 15 y 16, según Tabla 1) (Fig. 7).

En las partes más suaves de los valles bajos de los ríos Ostuacán, Pichucalco (Fig. 8), Platanar y otros, se aprecia un desarrollo de procesos erosivos planares de moderados a débiles, muy débiles y extremadamente débiles (tipos de intensidades geomórficas No. 19, 20, 23 y 24, según Tabla 1) respectivamente.

Especial tratamiento se le otorgó a los procesos erosivo-kársticos en regiones de substratos calcáreos y carbonatados, donde se conjugan los desarrollos de ambos procesos, con diferentes intensidades, en función de las pendientes de las superficies, desde extremadamente intensos, muy intensos e intensos (tipos de intensidades geomórficas potenciales No. 3, 6 y 9, según Tabla 1) hasta moderados, débiles, muy débiles y extremadamente débiles (tipos de intensidades geomórficas potenciales 13, 17, 21 y 25, según Tabla 1), localizados los más intensos en las premontañas de Amacoite, Maspac, Samba, La Sal, Manchas Blancas, Mariano Matamoros, 1ra. Sección, y Santa Cruz; y los más débiles en las partes bajas y menos inclinadas, con pendientes inferiores a los 18°, de estas mismas categorías de relieve (Fig. 9).

En cuanto a los procesos fluviales acumulativos, las intensidades geomórficas potenciales más bajas se localizan en los fondos de los valles de montañas bajas y premontañas (tipos de intensidades geomórficas potenciales No. 10 y 14, según Tabla 1); mientras que las mayores intensidades de acumulación se evidencian en los

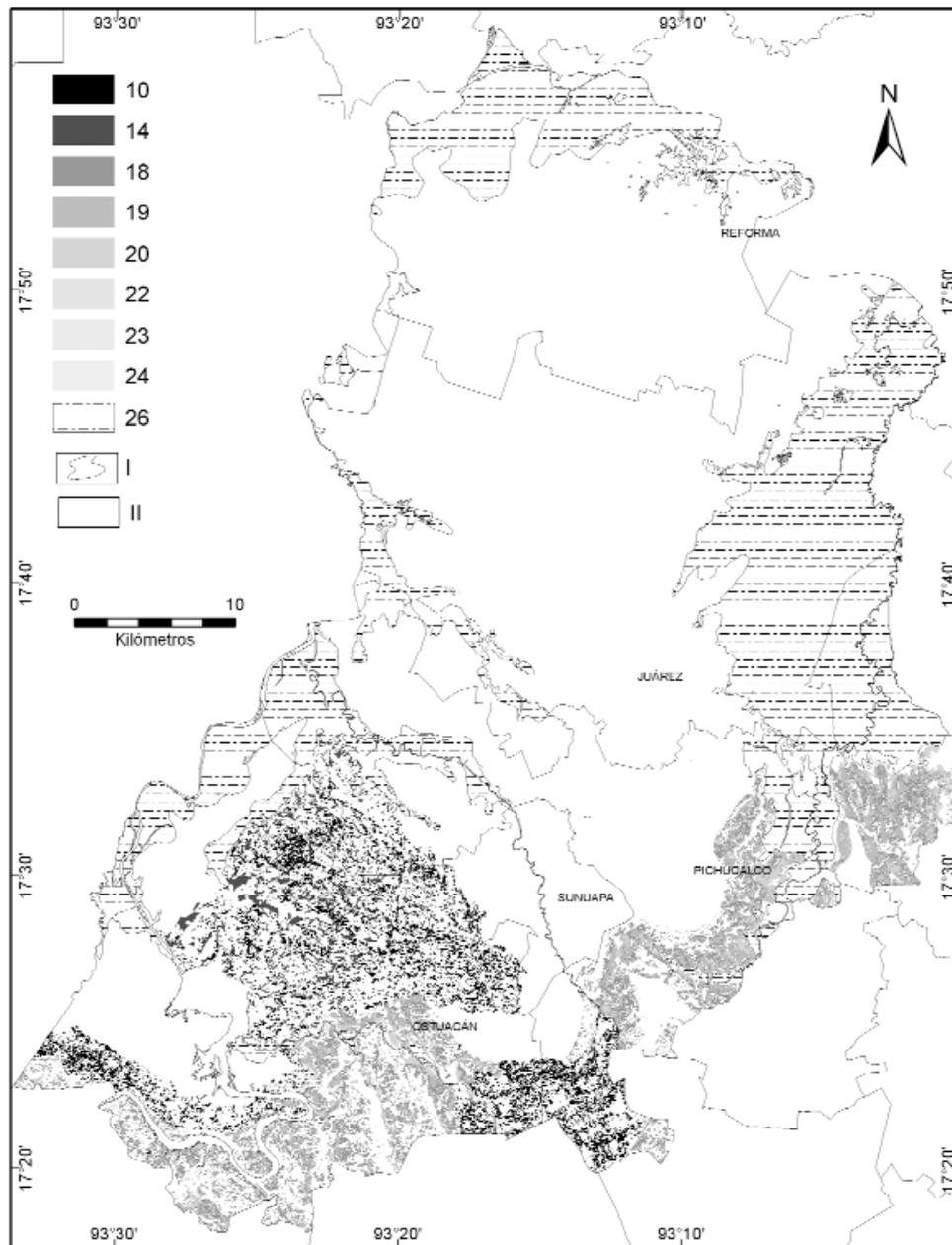


Figura 8. Principales intensidades geomórficas potenciales del territorio (conservan el número de su tipo en la clasificación): 10. Procesos fluviales acumulativos débiles; 14. Procesos fluviales acumulativos moderados; 18. Procesos fluviales acumulativos de cauce y de llanura, intensos; 19. Procesos erosivos planares (laminares) moderados; 20. Procesos erosivos planares (laminares) débiles; 22. Procesos fluviales acumulativos de cauce y de llanura, muy intensos; 23. Procesos erosivos planares (laminares) muy débiles; 24. Procesos erosivos planares (laminares) extremadamente débiles; 26. Procesos lacustres y biogénicos acumulativos, muy intensos; I. Cuerpos perennes de agua; II. Otras intensidades geomórficas (representadas en las figuras 7 y 9).

Figure 8. Main potential geomorphic intensities of the territory (see the type's number of the classification): 10. Weak fluvial accumulation processes; 14. Moderate fluvial accumulation processes; 18. Intense accumulation processes (riverbed and plains); 19. Moderate (planar) erosive processes; 20. Weak (planar) erosive processes; 22. Very intense accumulation processes (riverbed and plains); 23. Very weak (planar) erosive processes; 24. Extremely weak (planar) erosive processes; 26. Very intense lacustrine and biogenic accumulation processes; I. Water bodies; II. Other geomorphic intensities (represented in the figures 7 and 9).

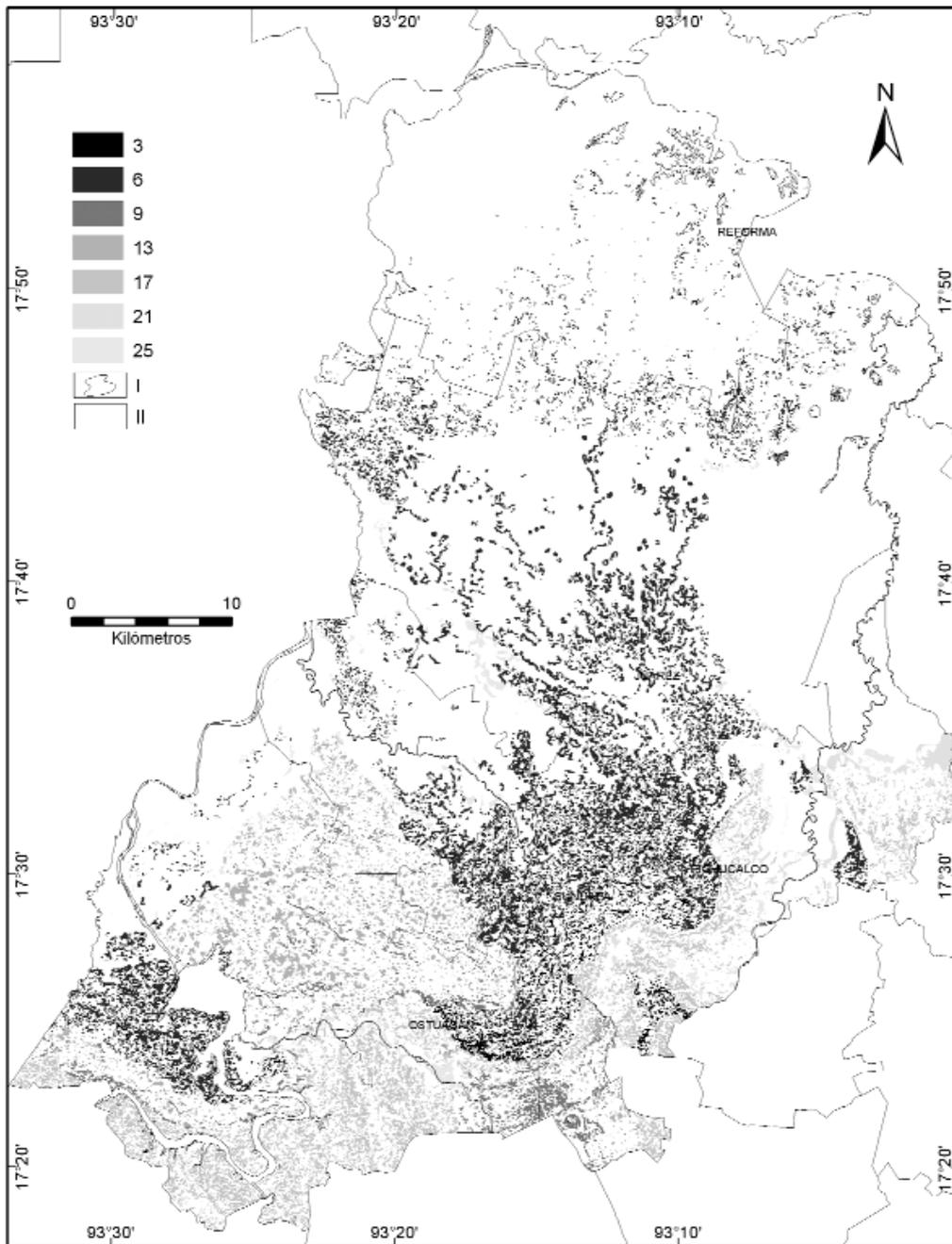


Figura 9. Principales intensidades geomórficas potenciales del territorio (conservan el número de su tipo en la clasificación): 3. Procesos erosivo-kársticos extremadamente intensos; 6. Procesos erosivo-kársticos muy intensos; 9. Procesos erosivo-kársticos intensos; 13. Procesos erosivo-kársticos moderados; 17. Procesos erosivo-kársticos débiles; 21. Procesos erosivo-kársticos muy débiles; 25. Procesos erosivos-kársticos, extremadamente débiles. I. Cuerpos perennes de agua; II. Otras intensidades geomórficas (representadas en las figuras 7 y 8).

Figure 9. Main potential geomorphic intensities of the territory (see the type's number of the classification): 3. Extremely intense erosive-karstic processes; 6. Very intense erosive-karstic processes; 9. Intense erosive-karstic processes; 13. Moderate erosive-karstic processes; 17. Weak erosive-karstic processes; 21. Very weak erosive-karstic processes; 25. Extremely weak erosive-karstic processes; I. Water bodies; II. Other geomorphic intensities (represented in the figures 7 and 8).

sectores de valles fluviales con pendientes entre 6° y 12° (tipo de intensidad geomórfica potencial No. 18, según Tabla 1). Finalmente, los procesos acumulativos fluviales intensos y muy intensos se extienden por las llanuras y terrazas bajas y planos de inundación de los ríos Mexcalapa, Pichualco, Ostuacán, Platanar, Mundo Nuevo y otros, así como en las llanuras lacustres del norte-noreste del territorio (Fig. 8).

Conclusiones

Las intensidades geomórficas potenciales de mayor presencia en el territorio se refieren a los procesos de remoción en masa débiles y erosivos lineales moderados, sobre rocas moderadamente susceptibles al modelado exogenético y en condiciones de pendientes entre 18.1° y 30° (Tipo de intensidad geomórfica potencial No. 8), con 665.62 km², para un 27 % del territorio; las intensidades geomórficas potenciales correspondientes a los procesos de remoción en masa moderados y erosivos lineales intensos, sobre rocas altamente susceptibles al modelado exogenético y en condiciones de pendientes entre 18.1° y 30° (Tipo de intensidad geomórfica potencial No. 7), con 262.75 km², para un 10.6 %; y finalmente, las intensidades geomórficas potenciales relacionadas con los procesos erosivo-kársticos muy intensos, sobre rocas susceptibles a los procesos erosivo-kársticos, con diferente grado de intensidad, según la energía del relieve y en condiciones de pendientes entre 30.1° y 45° (Tipo de intensidad geomórfica potencial No. 6), con 180.42 km², para un 7.3 % del área de estudio.

Las intensidades geomórficas potenciales más restringidas se corresponden con los procesos fluviales acumulativos de cauce y de llanura, muy intensos, sobre depósitos en zonas deprimidas planas, susceptibles a los procesos de acumulación activa y en condiciones de pendientes entre 2.1° y 6° (Tipo de intensidad geomórfica potencial No. 22), con 0.99 km², para un 0.04 %; con los procesos de remoción en masa y erosivos lineales extremadamente intensos, sobre rocas altamente susceptibles al modelado exogenético y en condiciones de pendientes mayores a 45° (Tipo de

intensidad geomórfica potencial No. 1), con 1.93 km², para un 0.07 %; y con los procesos erosivos planares (laminares) muy débiles, sobre rocas altamente susceptibles al modelado exogenético y en condiciones de pendientes entre 0° y 2° (Tipo de intensidad geomórfica potencial No. 23), con 1.93 km², para un 0.07 %, entre los tipos de intensidad geomórfica potencial menos frecuentes.

De gran importancia agrícola es la presencia significativa de los procesos fluvio-lacustres y biogénicos acumulativos, muy intensos, sobre depósitos en zonas deprimidas planas, susceptibles a los procesos de acumulación activa y en condiciones de pendientes entre 0° y 2° (Tipo de intensidad geomórfica potencial No. 26), con 549.50 km² (22.5 %), ocupando las amplias llanuras fluviales de los ríos Mezcalapa y Pichualco, al oeste y al este del territorio respectivamente, y las llanuras fluvio-lacustres y lacustres del sector septentrional del territorio.

La aplicación de esta metodología es válida para territorios de gran extensión y de notable diversidad lito-geomórfica, permitiendo una evaluación rápida y bastante precisa de la gama de intensidades geomórficas potenciales que modelan el territorio. Paralelamente a estos aportes de carácter geomorfológico, en especial para el levantamiento cartográfico de la génesis de las geoformas y microformas del relieve, también contribuye a la adecuada planeación del uso de suelo, fundamentalmente del agrícola, ganadero, forestal y de conservación, a través de la identificación de las zonas con intensidades geomórficas potenciales incompatibles con dichas actividades socioeconómicas.

Recomendaciones

A los efectos de diferenciar áreas de vulnerabilidad socioeconómica, en general, ante el desarrollo de estas intensidades geomórficas potenciales, se recomienda a las autoridades de los municipios estudiados establecer correlaciones espaciales con la red de asentamientos humanos e infraestructura económica (agrícola, ganadera, forestal, industrial, hidráulica, vías de comunicación terrestre, etc.), tanto a esta escala regional,

como mediante el reconocimiento local, a escala mayor y en condiciones de campo. Estos estudios permitirían identificar y evaluar los diferentes niveles de vulnerabilidad ante la amenaza de las diferentes intensidades geomórficas potenciales y adoptar las medidas preventivas, correctivas, mitigativas y de control indispensables.

En general, para aquellas áreas donde prevalezcan los procesos degradativos extremadamente intensos, muy intensos e intensos (de remoción en masa, erosivos lineales y planares, y erosivo-kársticos), las actividades socioeconómicas deben ser muy limitadas, recomendándose el desarrollo forestal en todas sus alternativas.

Las áreas que presentan estos mismos procesos, pero con intensidades geomórficas potenciales moderadas, pueden ser empleadas para actividades productivas, siempre y cuando se apliquen medidas antidegradativas y de control de los procesos geomórficos exógenos, generadores de las distintas intensidades geomórficas potenciales. Por otra parte, se recomienda el desarrollo ganadero y agrícola, donde las intensidades oscilen entre débiles y muy débiles.

Finalmente, la influencia de los procesos agradativos (de acumulación fluvial) suelen ser fundamentalmente muy adecuados para el desarrollo agrícola en superficies planas y extensas, como llanuras fluviales (planos de inundación alto y terrazas fluviales inferiores). En el caso de los planos bajos de inundación no se recomienda el desarrollo de cultivos, no por los efectos de la intensidad geomórfica potencial, sino por la influencia de las inundaciones durante las avenidas fluviales, casi siempre concentradas en la época de mayor cantidad de precipitaciones.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Instituto de Historia Natural y Ecología del Gobierno de Chiapas el financiamiento del proyecto "Ordenamiento Ecológico Territorial de la Zona Petrolera de la Región V Norte de Chiapas", del cual derivaron los resultados de este trabajo. Un sincero agradecimiento a los árbitros anónimos por la revisión del manuscrito y por sus observaciones críticas.

Bibliografía

- Blanco-Segundo, P. (1983). Los procesos exógenos en un sector de la Sierra Maestra, Cuba. *Ciencia de la Tierra y del Espacio*, 7, 69-79.
- Blanco-Segundo, P., A.R., Magaz García, J.L., Díaz Díaz, J.R., Hernández-Santana, O., Bouza, Alonso R., González Ortiz (1989). *Procesos exógenos recientes*. En: Nuevo Atlas Nacional de Cuba. Ed. Inst. Geogr. Nac. España, Madrid, IV.3.1.
- Carfantan, J.C. (1986). *Du système cordilleraïn Nord - Americain au domaine Caraïbe. Etude géologique du Mexique meridional*. These de Doctorat d'Etat es Science, Université de Savoie, France. Volume I y II, 558 pp.
- CFE (2003). *Manifestación de impacto ambiental, modalidad regional, del proyecto hidroeléctrico "La Parota", Estado de Guerrero, México*. Informe técnico (Capítulo IV, Geología y Geomorfología), México, D.F., 64 pp.
- Consejo de Recursos Minerales (1999). *Monografía Geológico-Minera del Estado de Chiapas*, 180 pp.
- Curtis, J.A., L.E., Flint, Ch.N., Alpers, S.M., Yarnell (2005). Conceptual model of sediment processes in the upper Yuba River watershed, Sierra Nevada, CA. *Geomorphology*, 68, 149-166.
- De la Rosa Z., J.L., Aldemar Eboli, M., Moisés Dávila, S. (1989). *Geología del Estado de Chiapas*. Subdirección de Construcción, Superintendencia de Estudios Zona Sureste, 192 pp.
- Díaz-Díaz, J.L., J.R., Hernández-Santana, R., Reyes González (2001). El análisis geomórfico-ambiental en territorios montañosos. *Mapping*, 6, 94-98.
- Fernández, S., J., Marquínez, R., Menéndez-Duarte (2008). A sappling erosion susceptibility model for the southern Cantabrian Range, North Spain. *Geomorphology*, 95, 145-157.
- Gale, S.J., R.J., Haworth (2005). Catchment-wide soil loss from pre-agricultural times to the present: transport -and supply-limitation of erosion. *Geomorphology*, 68, 314-333.
- García Palomo, A., J.L., Macías, J.M., Espíndola (2004). Strike-slip faults and K-alkaline volcanism at El Chichón volcano, southeastern Mexico. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 136, 247-268.
- Hernández-Santana, J.R., M.A., Ortíz Pérez, J.J., Zamorano Orozco (1996). Regionalización morfoestructural de la Sierra Madre del Sur, México. *Investigaciones Geográficas*, 31, 45 - 67.
- Hernández-Santana, J.R., M.A., Ortiz Pérez, L., Luna González, M., Figueroa Mah Eng (2005). Intensidad orientativa de los procesos geomórficos exógenos de las cuencas de México, de Toluca, del Alto Lerma y de Valle de Bravo. Secretaría de Ecología del Estado de México, Toluca, 17 pp.
- Hernández-Santana, J.R., C., Miguel López, A.P., Méndez Linares, M., Bollo Manent, M.M., Ricardez Cabrera (2009). Geomorphic compatibility of the agricultural land use on the higher basin of Lerma River, México. *Journal of Maps*, v. 2009, 253-262.
- INEGI (1983). *Carta geólogo-minera E15-8 (Villahermosa), a escala 1:250 000*, México, D.F.

- INEGI (2005). Bases cartográficas digitales a escala 1:50 000. México, D.F., 6 hojas.
- Instituto de Geología (1983). El Volcán Chichonal. En: *Simposio sobre el volcán Chichonal. VI Convención Geológica Nacional de la Sociedad Geológica Mexicana UNAM*, México, D.F., 120 pp.
- Lawler, D.M. (2005). The importance of high resolution monitoring in erosion and deposition dynamics studies: examples from estuarine and fluvial systems. *Geomorphology*, 64, 1-23.
- Lawler, D.M. (2008). Advances in the continuous monitoring of erosion and deposition dynamics: Developments and applications of the new PEEP-3T system. *Geomorphology*, 93, 17-39.
- Lugo Hubp, J. (1990). El Relieve de la República Mexicana. *Rev. Instituto de Geología, UNAM*, Vol. 9 (1): 82-111.
- Ortiz Pérez, M.A., Hernández-Santana, J.R., Figueroa Mah Eng J. M. (2007), Geología. En *Ordenamiento ecológico territorial de la zona petrolera de la región V Norte de Chiapas*, t. 1, 14-36.
- Smith, R.D., F.J., Swanson (1987). Sediment routing in a small drainage basin in the blast zone at Mount. St. Helens, Washington, U.S.A. *Geomorphology*, 1, 1-32.
- Stefanini, M.C. (2004). Spatio-temporal analysis of a complex landslide in the Northern Apennines (Italy) by means of dendrochronology. *Geomorphology*, 63, 191-202.
- Stoffel, M., D., Schneuwly, M., Bollschweiler, I., Lièvre, R., Delaloye, M., Myrt, M., Monbaron (2005). Analysing rockfall activity (1600-2002) in a protection forest- a case study using dendrogeomorphology. *Geomorphology*, 68, 224-241.