

9. El paisaje como unidad de análisis para evaluar la susceptibilidad a deslizamientos de la Cuenca Arroyo Sabinal, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas

ANA JUDITH DE COSS PÉREZ*

LUIS GIOVANNI RAMÍREZ SÁNCHEZ**

HORACIO MORALES IGLESIAS***

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.279.09>

Resumen

Los deslizamientos de laderas son considerados uno de los peligros naturales más destructivos en México, debido a las condiciones geográficas que presenta el país (relieve montañoso, lluvias extremas y la actividad antrópica). Estos fenómenos generan afectaciones significativas en la población y daños a la infraestructura. El objetivo de la presente investigación fue evaluar la susceptibilidad a deslizamientos, a partir del análisis de unidades de paisajes físico-geográficos a escala 1:50 000 en la Cuenca del Arroyo Sabinal, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Para ello, se empleó la metodología modificada de Mora-Vahrson, que considera factores condicionantes como: 1) pendiente, 2) litología, 3) tipo de suelo, 4) uso de suelo. Los resultados mostraron que las categorías con alta y muy alta susceptibilidad abarcan el 25.18% de la cuenca y se localizan en paisajes de Montañas, Lomeríos y Piedemonte. Los resultados de este estudio son útiles para la formulación de estrategias de mitigación y/o prevención ante este tipo de eventos.

* Maestra en Gestión de Riesgos. Investigadora del Instituto de Investigación en Gestión de Riesgos y Cambio Climático, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, México. ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-5073-5901>; correo: anajudith.decoss@gmail.com

** Doctor en Geografía. Investigador por México SECIIHTI-El Colegio Mexiquense A. C. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0509-3413>

*** Doctor en Geografía. Profesor-investigador del Instituto de Investigación en Gestión de Riesgos y Cambio Climático, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7219-8509>

Palabras clave: *amenaza, deslizamientos, paisajes, arroyo Sabinal.*

Introducción

Los fenómenos naturales como los deslizamientos se han presentado con mayor frecuencia en los últimos años (Rodríguez y Rivera, 2023). Este aumento se debe principalmente a la intensificación de los fenómenos hidrometeorológicos y las actividades antrópicas, especialmente el cambio de uso de suelo por el crecimiento de áreas urbanas que se extienden hacia las zonas montañosas propensas a deslizamientos (Jiménez y Aristizábal, 2018). Como consecuencia, estos eventos provocan afectaciones directas a la población y a la infraestructura, como viviendas, vías de comunicación, alumbrado público, sistema de agua potable, entre otros (Lakakis y Savvaidis, 2009; Huang y Zhao, 2018).

En México, los estados con mayor incidencia de deslizamientos son Chiapas, Puebla, Veracruz, Oaxaca y Guerrero, debido a la presencia de sistemas montañosos con características geológicas, geomorfológicas, estructurales y climáticas que aumentan la probabilidad de ocurrencia de estos fenómenos (González *et al.*, 2015 y Domínguez *et al.*, 2016).

De acuerdo con lo anterior, la mayor parte del territorio de Chiapas está conformado por sistemas montañosos, con pendientes que superan los 40° (Oregel *et al.*, 2016). A esta condición se suman la sismicidad, los eventos hidrometeorológicos (huracanes, ciclones tropicales y frentes fríos) y la actividad humana, como la deforestación y el cambio de uso de suelo, lo que favorece la ocurrencia de deslizamientos (Gómez *et al.*, 2016; López, 2020).

A nivel local, la ciudad de Tuxtla Gutiérrez ha registrado eventos de deslizamientos de laderas (CECOM A. C., 2010), especialmente en los depósitos de talud de la meseta kárstica de Copoya, que se encuentra sujeta a procesos de disolución y erosión (Paz, *et al.*, 2017). Estos eventos han generado afectaciones directas a los habitantes e infraestructura, como viviendas, calles, carreteras, banquetas, parques, canchas y sistemas de agua potable y drenaje (Paz, *et al.*, 2011).

Actualmente, la Cuenca del Arroyo Sabinal (CAS) tiene registrados tres eventos de remoción en masa, éstos se localizan en la zona este, cerca del

Cerro Mactumatzá, donde los niveles de susceptibilidad son de moderados a muy altos (Paz, *et al.*, 2017), el resto de la cuenca carece de información.

El presente estudio se desarrolló desde la perspectiva de la geoecología del paisaje, que considera al paisaje físico-geográfico como unidad espacial de análisis para identificar las zonas susceptibles a deslizamientos; en este contexto, el concepto de paisaje se refiere al espacio donde interactúan elementos naturales, como el clima, el tipo de roca, el tipo de suelo y el uso del suelo, con los elementos sociales (Antrop y Van, 2019; Miklós *et al.*, 2019). Así, el paisaje se entiende como el territorio ocupado por grupos sociales, quienes lo modifican a través de sus actividades (Mateo, 2000).

Desde el anterior punto de vista, la cartografía obtenida a partir del análisis de paisajes físico-geográficos constituye una herramienta clave para evaluar la probabilidad de ocurrencia de deslizamientos.

Metodología

Descripción del área de estudio

La Cuenca del Arroyo Sabinal se localiza al sureste de la República Mexicana, en el estado de Chiapas. Esta unidad hidrográfica abarca una superficie de 109.14 km² y tiene una población de 48 843 habitantes en los municipios de Tuxtla Gutiérrez (71.70%), Ocozocoautla de Espinosa (15.62%), Suchiapa (9.82%) y Berriozábal (2.85%). Las coordenadas extremas son: 16°37'57.7" y 16°45'2.1" de latitud norte y 93°8'20.92" y 93°16'40.1" de longitud oeste (figura 1); en este marco espacial, la Cuenca limita al norte con la zona urbana de Tuxtla Gutiérrez; al este con la Meseta de Copoya; al sur con el municipio de Suchiapa; al oeste con Ocozocoautla de Espinosa y al noroeste con Berriozábal.

Por otra parte, el subsistema abiótico de la cuenca está conformado por un clima cálido subhúmedo, con temperaturas anuales superiores a 22°C y precipitaciones que varían entre 0 y 60 mm, con lluvias en verano (García y Conabio, 1998). Respecto al componente litológico, predominan las rocas sedimentarias, donde destaca la caliza bioclástica debido a que cubre 47.02% de la Cuenca, este tipo de roca se ubica principalmente en paisajes de lome-

a escala 1:50 000, propuesta por De Coss-Pérez (2024). Este mapa se elaboró mediante el análisis e integración de componentes biofísicos (geomorfología, litología, clima, pendiente, uso de suelo y edafología), donde se identificaron ocho localidades, 15 parajes complejos y 53 parajes simples; esto permitió segmentar el territorio de manera adecuada para el análisis.

Por otra parte, se identificaron los paisajes físico-geográficos susceptibles a deslizamientos a través del método propuesto por Mora-Vahrson (1994); que clasifica los factores en dos tipos: condicionantes (pendiente, litología y humedad) y desencadenantes (precipitación y sismicidad); sin embargo, dado que el objetivo principal de este estudio es analizar la susceptibilidad, es decir, identificar aquellos paisajes cuyas condiciones estructurales son favorables para desencadenar deslizamientos sin considerar los eventos que los desencadenan, se decidió centrarse únicamente en los factores condicionantes. Este enfoque permite un análisis detallado de las condiciones geográficas y biofísicas que favorecen la ocurrencia de deslizamientos (Suárez, 2009).

La fórmula original para calcular la susceptibilidad a deslizamientos se expresa de la siguiente manera:

$$S = FC * FD$$

donde:

S es la susceptibilidad

FC son los factores condicionantes

FD representan los factores desencadenantes

dado que en este estudio no se consideraron los factores desencadenantes, la ecuación fue modificada para centrarse únicamente en los factores condicionantes. La versión adaptada de la fórmula es la siguiente:

$$S_{i=1}^n = (Pend_i * A) + (Lito_i * B) + (Edaf_i * C) + (UsyV_i * D)$$

donde:

Si es la susceptibilidad de cada polígono

A, B, C y D = pesos de cada variable

$Pend_p, Lito_p, Edaf_p, USyV_i$ son valores correspondientes a pendiente, litología, edafología y uso de suelo del polígono

Para la asignación de los pesos se consideró la influencia de cada componente a través de una escala de 0.1 a 0.9, donde 0.1 indica menor susceptibilidad y 0.9 mayor susceptibilidad; por ejemplo, en el factor Pendiente se asignaron valores más altos a las áreas con mayor inclinación, dado que, a mayor pendiente el paisaje tiene una probabilidad superior de que ocurra un deslizamiento (tabla 1). De esta manera se asignaron los siguientes pesos a cada variable:

- Pendiente (A): se consideró que los paisajes con pendientes mayores a un cierto umbral tienen mayor riesgo de deslizamientos, por lo que se asignaron valores más altos a las pendientes más elevadas.
- Litología (B): la litología juega un papel fundamental, debido a que tienen distintas características de resistencia al deslizamiento.
- Edafología (C): los tipos de suelo influyen en la susceptibilidad; en este sentido, los más frágiles o con menor capacidad de retención de agua tienen una mayor probabilidad de deslizamientos.
- Uso de suelo (D): el uso de suelo afecta la estabilidad del terreno, ya que las actividades humanas, como la urbanización o la agricultura, pueden alterar las condiciones naturales y aumentar el riesgo de deslizamientos.

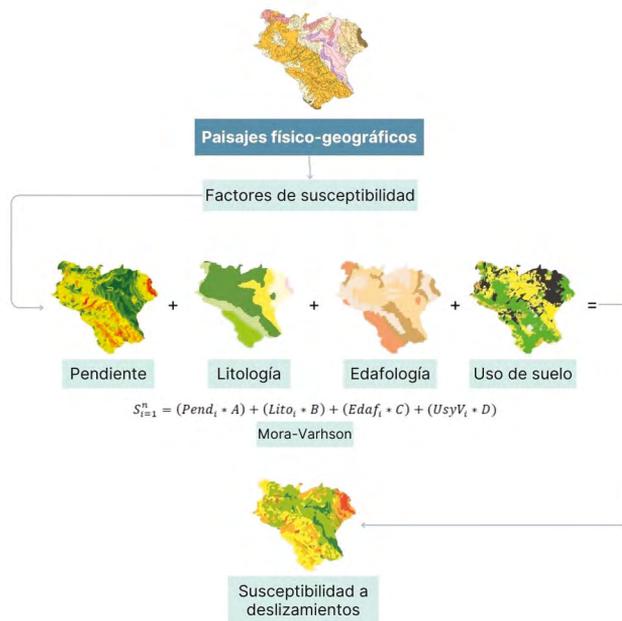
Tabla 1. Ponderación de variables

	<i>Variables</i>	<i>Ponderación</i>
Pendiente	<1°	0.1
	1°-3°	0.2
	3°-5°	0.3
	5°-10°	0.5
	10°-15°	0.6
	15°-20°	0.7
	20°-30°	0.8
	30°-45°	0.9

	<i>Variables</i>	<i>Ponderación</i>
Litología	Lutitas areniscas	0.1
	Calizas arrecifales	0.4
	Calizas bioclásticas	0.5
	Calizas-areniscas-lutitas	0.6
	Calizas-areniscas	0.7
Edafología	Derrubios	0.9
	Vértisol pélico en planicie	0.1
	Vértisol en ladera	0.2
	Litosol	0.3
	Rendzina	0.7
Uso de suelo y vegetación	Regosol calcárico	0.9
	Pastizal	0.2
	Vegetación secundaria de selva baja caducifolia	0.3
	Agricultura	0.4
	Zona urbana	0.8
	Áreas desprovistas de vegetación	0.9

Fuente: elaboración propia.

Figura 2. Diagrama de flujo de la secuencia metodológica



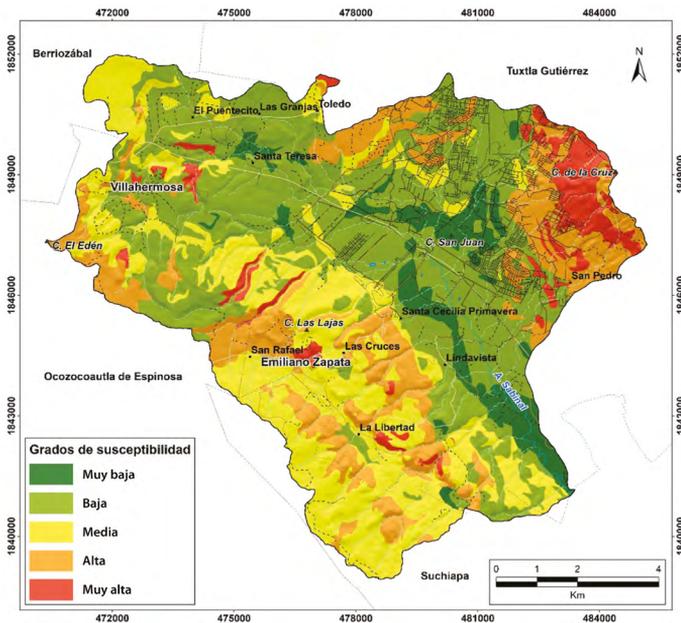
De acuerdo con lo anterior, los 421 paisajes (polígonos) que conforman la cuenca fueron evaluados, los resultados obtenidos se clasificaron en cinco categorías de susceptibilidad: muy baja, baja, media, alta y muy alta, mediante el método de rompimiento “Natural Breaks” (Jenks). Esta clasificación permitió generar un mapa de susceptibilidad, que identifica los paisajes físico-geográficos con mayor probabilidad de deslizamientos. De acuerdo con la secuencia metodológica (figura 2), la cartografía obtenida es una herramienta clave para la planificación territorial y la mitigación de riesgos en la región.

Resultados y discusión

Susceptibilidad a deslizamientos de laderas

Con la metodología modificada de Mora-Vahrson (1994) se identificaron las categorías de susceptibilidad a deslizamientos de los paisajes de la CAS

Figura 3. *Susceptibilidad a deslizamientos de laderas*



Fuente: elaboración propia.

(figura 3). En este sentido, los resultados mostraron que el factor de mayor influencia en los altos grados de susceptibilidad es la inclinación del terreno, seguido por el uso de suelo urbano y las áreas desprovistas de vegetación.

La mayor parte de los paisajes de la Cuenca presenta baja susceptibilidad (40.10%), le sigue el nivel medio con 27.98%, posteriormente, se ubica la clase alta con 19.69%, las categorías muy baja y muy alta representan apenas 6.75% y 5.49%, respectivamente (tabla 2).

Tabla 2. Extensión territorial de los grados de susceptibilidad a deslizamientos

Grados de susceptibilidad	Área (km ²)	Porcentaje (%)
Muy baja	7.37	6.75
Baja	43.76	40.10
Media	30.53	27.98
Alta	21.48	19.69
Muy alta	5.99	5.49

Fuente: elaboración propia.

Tabla 3. Definición de los grados de susceptibilidad a deslizamientos de laderas

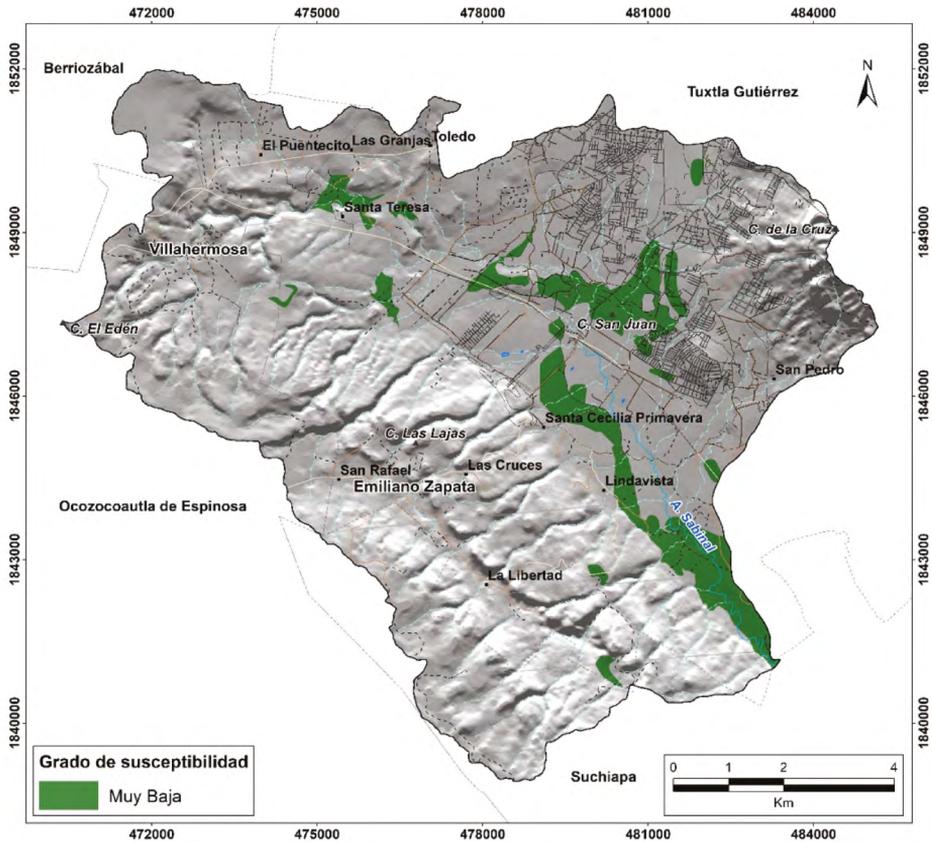
Grado de susceptibilidad	Rango	Descripción
Muy baja	0.23 – 0.39	Geocomplejos que se encuentran en superficies planas, donde las características litológicas, edafológicas y de usos del suelo no favorecen a la ocurrencia de deslizamientos.
Baja	0.39 – 0.48	Geocomplejos que tienen pendientes poco pronunciadas, con tipos de roca, suelos y vegetación y uso de suelo no influyen de manera representativa a la ocurrencia de deslizamientos.
Media	0.48 – 0.57	Geocomplejos con características de pendiente, roca, tipo suelo y uso de suelo que comienzan a ser factores importantes en la susceptibilidad.
Alta	0.57 – 0.66	Geocomplejos donde la inclinación del terreno y los materiales del tipo de roca, tipo de suelo y uso de suelo contribuyen de manera representativa a la ocurrencia de deslizamientos.
Muy alta	0.66 – 0.77	Geocomplejos que reúnen características favorables para una mayor probabilidad de deslizamientos como: pendientes pronunciadas, tipo de roca, tipo de suelo y uso de suelo.

Fuente: modificado de Ramírez, *et al.*, 2021.

La evaluación de la susceptibilidad indica que los paisajes de planicies tectónico-kársticas y tectónico-acumulativas, ubicados principalmente en el extremo noroeste y la zona central de la cuenca presentan un nivel muy bajo de susceptibilidad (figura 4); esto se debe al tipo de pendiente, donde, los rangos varían entre 1° a 3° y de 3° a 5°, donde la litología está conformada

por asociaciones de lutitas-areniscas y calizas bioclásticas; en este caso, los suelos (Vertisoles, Litosoles y Regosoles) y el uso de suelo (vegetación secundaria de selva, agricultura y zona urbana) son factores que no favorecen al proceso de deslizamiento.

Figura 4. Grado de susceptibilidad muy baja

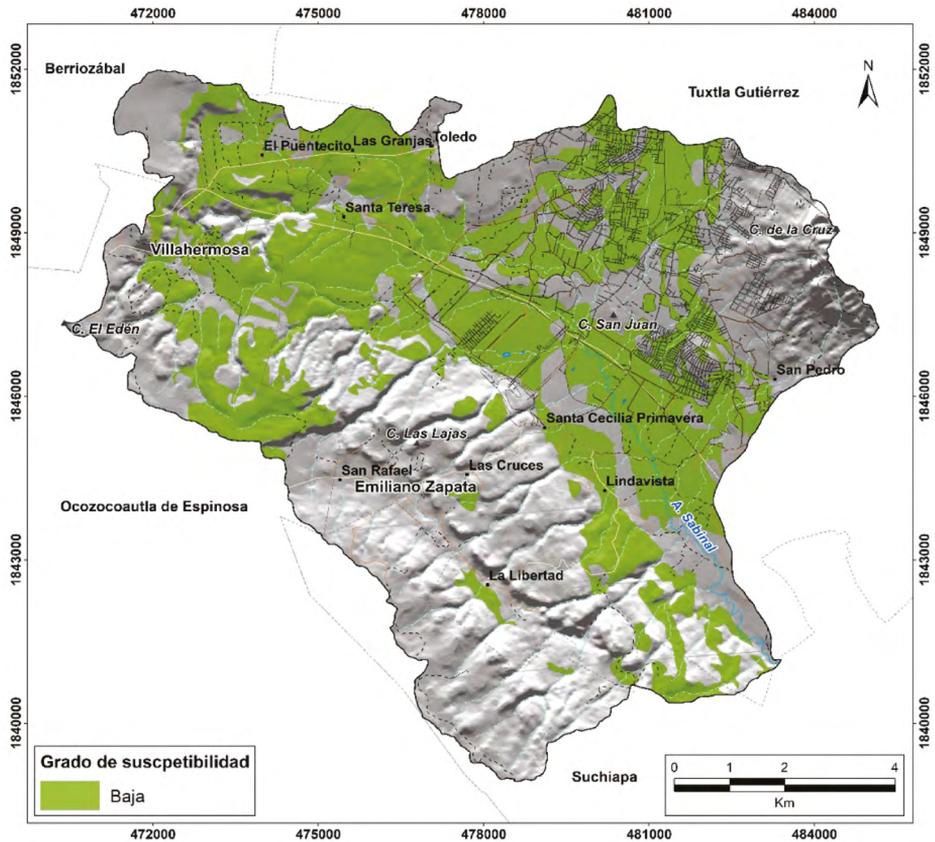


Fuente: elaboración propia.

Por otro lado, la clase de susceptibilidad baja (figura 5) se dispone en paisajes de planicies y lomeríos de génesis tectónico-acumulativo y tectónico-kárstico en clima cálido subhúmedo, que se ubican en las partes norte, sur, noroeste y centro de la zona de estudio. La estructura de estos paisajes-pendientes moderadas a bajas ($<1^\circ$, 3° - 5° y 10 - 15°), formadas por asociaciones de

rocas sedimentarias terrígenas y químico-carbonatadas (calizas bioclásticas, lutitas-areniscas, calizas-areniscas-lutitas y calizas arrecifales) con vegetación secundaria de selva, agricultura y zonas urbanas sobre suelos de tipo Litosol, Regosol, Vertisol y Rendzinas, no favorecen la ocurrencia de deslizamientos.

Figura 5. Grado de susceptibilidad baja

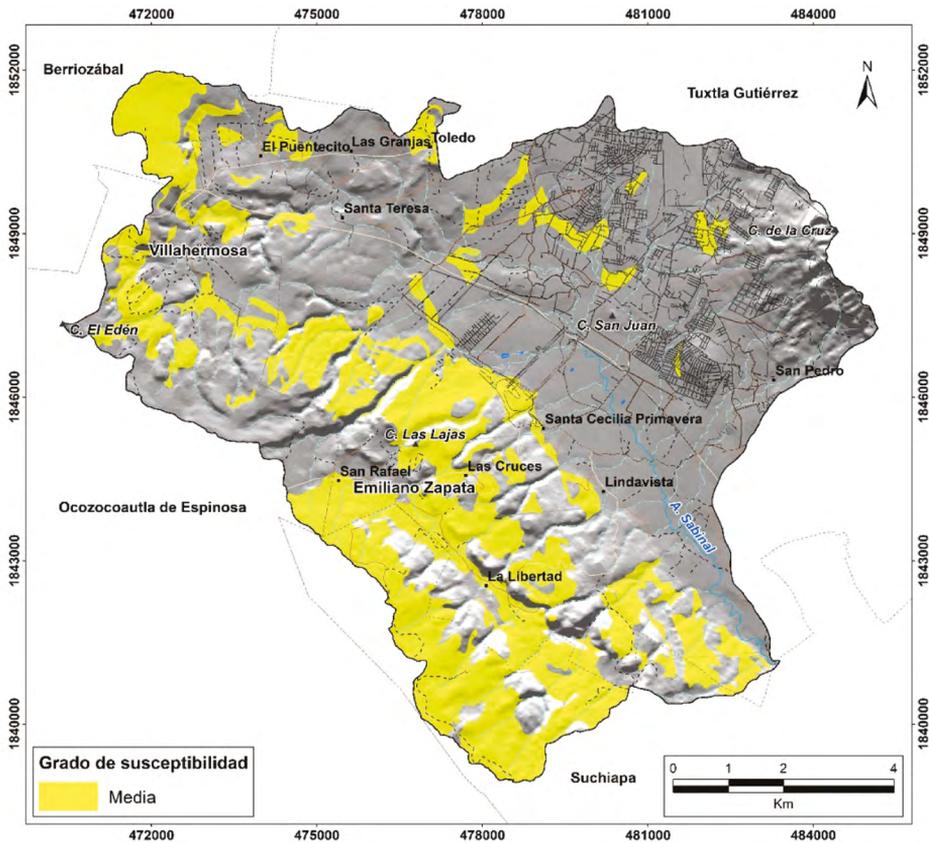


Fuente: elaboración propia.

Por su parte, la categoría de susceptibilidad media (figura 6) se distribuye en paisajes de lomeríos, planicies, montañas, valles y piedemonte de origen tectónico-kárstico, tectónico-acumulativo y fluvio-torrencial en clima cálido subhúmedo, éstos se localizan en las zonas sur, oeste y noroeste de la Cuenca.

En este sentido, las características estructurales de estos paisajes comienzan a influir de manera significativa en la probabilidad de deslizamientos debido a la presencia de pendientes más pronunciadas (20° - 30°); en el caso del componente litológico, las rocas están representadas por calizas arrecifales, calizas bioclásticas y asociaciones de calizas-areniscas-lutitas; mientras que el componente edáfico está constituido por Rendzinas, Litosoles, Regosoles, y Vertisoles; el uso de suelo está integrado por vegetación secundaria de selva baja caducifolia, agricultura, zona urbana y en menor proporción por áreas desprovistas de vegetación y pastizales.

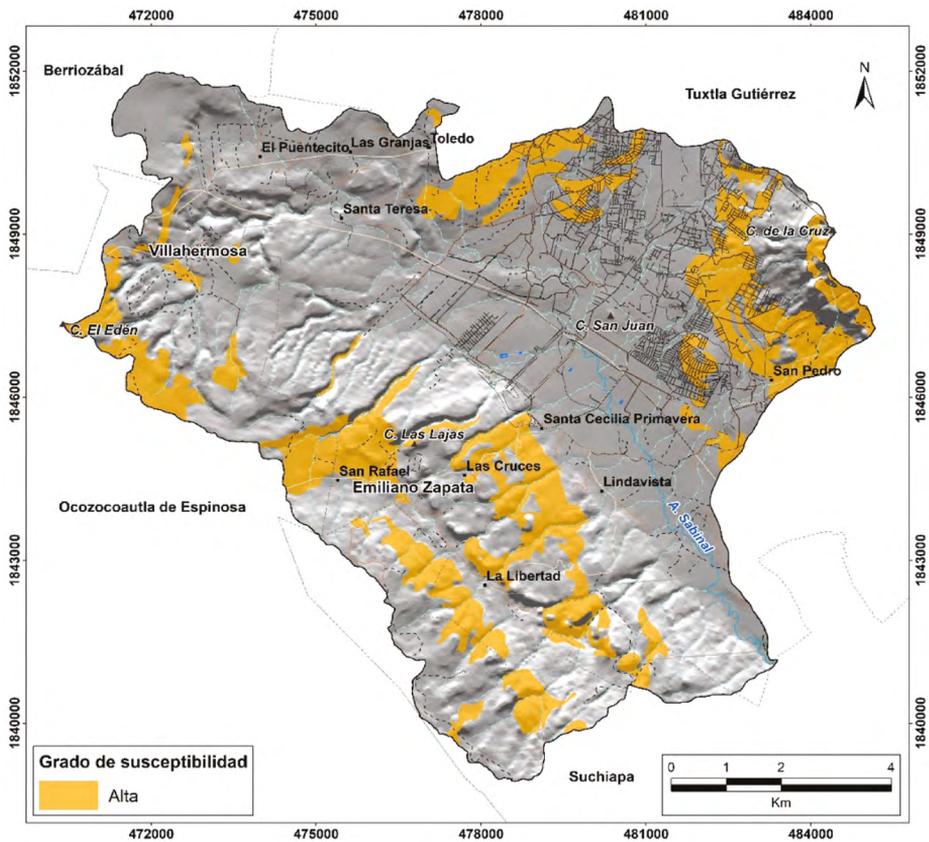
Figura 6. Grado de susceptibilidad media



Fuente: elaboración propia.

La clase de susceptibilidad alta (figura 7) se dispone principalmente en paisajes de montañas y lomeríos tectónico-kársticos, piedemonte fluvio-torrential, planicies y valles tectónico-acumulativos, que se ubican en las zonas norte, este, suroeste y al oeste de la Cuenca. Estos paisajes representan una elevada probabilidad para la ocurrencia de deslizamientos debido a la sinergia de varios componentes, como las pendientes elevadas (20° - 30°), la litología (derrubios, calizas-areniscas-lutitas), los suelos (Litosol, Regosol, Rendzina), y el uso de suelo (agrícola, urbano, pastizales y áreas desprovistas de vegetación).

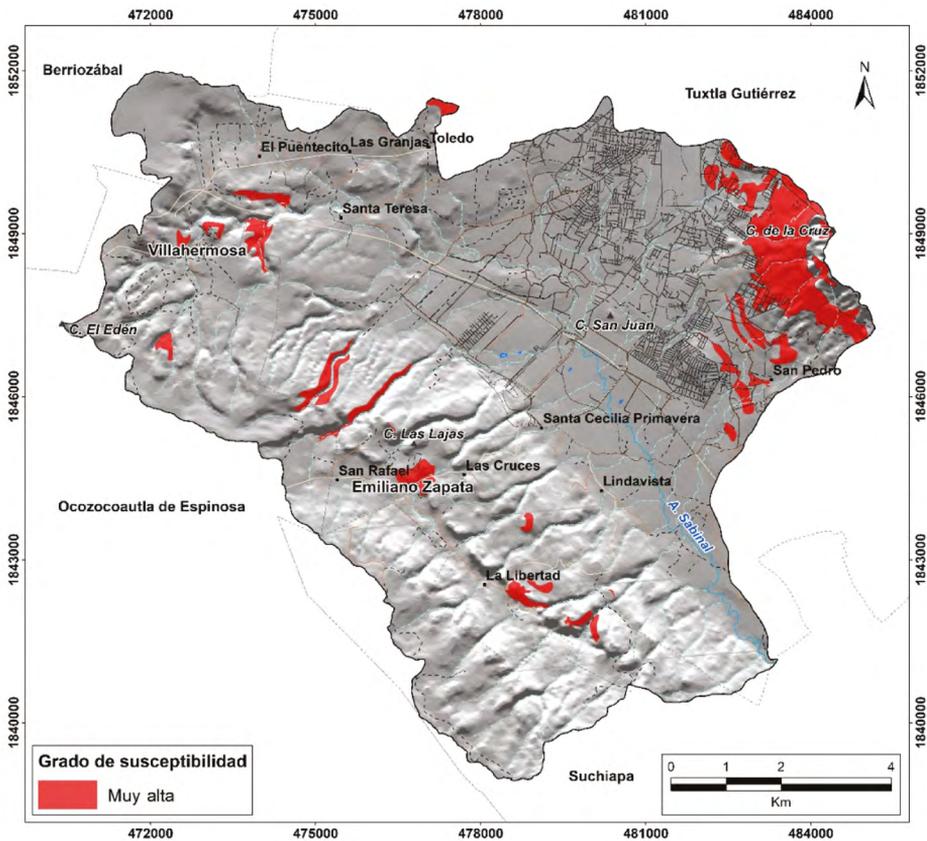
Figura 7. Grado de susceptibilidad alta



Fuente: elaboración propia.

La clase de susceptibilidad muy alta (figura 8) se establece en paisajes de piedemonte fluvio-torrencial, montañas y lomeríos tectónico-kárstico en clima cálido subhúmedo, estas unidades geográficas se localizan en el extremo noreste y, de manera dispersa en las partes centro-sur y oeste de la Cuenca. En este sentido, las pendientes elevadas (30°-45°) combinadas con una litología de derrubios, calizas bioclásticas y calizas-areniscas-lutitas con la presencia de suelos de tipo Litosol y Regosol, aunado a un uso de suelo urbano y agrícola con presencia de áreas desprovistas de vegetación, incrementan la probabilidad de deslizamiento.

Figura 8. Grado de susceptibilidad muy alta



Fuente: elaboración propia.

En cuanto a la composición geomorfológica de los paisajes, según su nivel de susceptibilidad a deslizamientos en la cuenca, se destaca lo siguiente (tabla 4):

- El relieve de paisajes con susceptibilidad muy baja está dominado por planicies —baja energía—, que representa el 91.12% del área total.
- Los paisajes de susceptibilidad baja presentan una estructura geomorfológica más heterogénea, en este caso las planicies abarcan 59.03% de la superficie, mientras que los lomeríos ocupan 36.21% del área total.
- El componente geomorfológico de la clase de susceptibilidad media está representado principalmente por lomeríos y planicies; en este caso, el primer tipo de relieve representa 67.76% de la superficie de la categoría, mientras que el segundo abarca 28.19%. En comparación con los niveles anteriores, los tipos de relieve del presente nivel categoría invierten la proporción de superficie ocupada.
- Los paisajes de susceptibilidad alta muestran una mayor heterogeneidad geomorfológica, donde, los lomeríos ocupan 43.02%, las planicies acolinadas 31.10% y el piedemonte 20.27%.
- Finalmente, los paisajes de susceptibilidad muy alta manifiestan una elevada heterogeneidad geomorfológica; en este sentido, el piedemonte ocupa 52.89%, los lomeríos 29.84% y las montañas 12.94%.

Tabla 4. Grados de susceptibilidad a deslizamientos en las distintas geoformas.

GSDL	Muy baja		Baja		Media		Alta		Muy alta	
	Km ²	%								
Montañas	-	-	-	-	0.56	1.85	0.77	3.57	0.77	12.94
Lomeríos	0.29	3.96	15.85	36.21	20.69	67.76	9.24	43.02	1.79	29.84
Piedemonte	0.36	4.91	2.08	4.76	0.29	0.95	4.35	20.27	3.17	52.89
Valles	-	-	-	-	0.38	1.26	0.44	2.04	0.04	0.70
Planicies	6.71	91.12	25.83	59.03	8.61	28.19	6.68	31.10	0.22	3.63

Fuente: elaboración propia.

Los resultados muestran que existe una clara correlación entre las características geomorfológicas del paisaje y los grados de susceptibilidad a deslizamientos en la Cuenca; en este sentido, la interacción de las pendientes

pronunciadas con la litología (rocas inestables) y el uso de suelo (agricultura, zona urbana) de los paisajes de piedemonte fluvio-torrencial y lomeríos tectónico-kársticos incrementan los niveles de susceptibilidad.

En contraste, los paisajes de planicies tectónico-acumulativos y lomeríos tectónico-kársticos ubicados principalmente en el extremo noroeste y centro de la Cuenca, presentan condiciones más estables, debido a que cuentan con pendientes bajas, rocas y suelos que dificultan la ocurrencia de deslizamientos. La mayor parte de la cuenca (40.10%) tiene una baja susceptibilidad.

El análisis muestra que la actividad humana, especialmente la deforestación y la expansión urbana hacia áreas de riesgo, agrava la susceptibilidad a deslizamientos. En Tuxtla Gutiérrez, la urbanización de las laderas del Cerro Mactumatzá y los asentamientos rurales en paisajes de lomeríos con alta susceptibilidad aumentan el riesgo para las comunidades e infraestructura expuestas. Estas áreas, ya vulnerables por sus características naturales y el cambio de uso de suelo, se ven aún más amenazadas por la intervención humana.

Finalmente, los resultados coinciden con investigaciones previas (Cuano, *et al.*, 2006; Paz, *et al.*, 2017), que identificaron patrones similares de susceptibilidad a deslizamientos en paisajes montañosos con características geológicas y geomorfológicas comparables; sin embargo, la presente investigación se distingue por emplear unidades geográficas objetivas, lo que ofrece un análisis más detallado y preciso, desde una perspectiva geográfica integral del territorio en riesgo.

Conclusiones

El método empleado permitió identificar el grado de susceptibilidad a deslizamientos de los paisajes de la Cuenca, proporcionando una distribución espacial detallada. Los factores condicionantes utilizados en el análisis, como litología, pendiente, tipo de suelo y uso de suelo, demostraron que la geomorfología, la litología y la pendiente son los factores con mayor influencia en la probabilidad de ocurrencia de deslizamientos.

El enfoque metodológico Mora-Vahrson reveló que una cuarta parte del territorio (25.18%) presenta un grado de susceptibilidad alta y muy alta

a deslizamientos. Estas categorías se ubican principalmente en las faldas del Cerro Mactumatzá, en zonas que actualmente experimentan crecimiento urbano de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez; por tanto, es crucial prestar especial atención a estas áreas e implementar estrategias de mitigación y prevención de deslizamientos en estos paisajes.

Por otro lado, los paisajes con grados de susceptibilidad media, baja y muy baja predominan en la Cuenca, ocupan un 74.82% del área total. En estas zonas, es posible aplicar estrategias de planificación y ordenamiento territorial, con el objetivo de prevenir la ocurrencia de deslizamientos y proteger a la población que se encuentra asentada en estos paisajes.

Con el fin de prevenir desastres ocasionados por deslizamientos, se recomienda considerar la cartografía obtenida en este estudio como una herramienta clave para la planificación del crecimiento urbano de Tuxtla Gutiérrez. Se sugiere orientar el desarrollo urbano de manera que evite la expansión hacia las zonas susceptibles, donde los factores como la pendiente pronunciada, el tipo de roca, el tipo de suelo y el uso de suelo favorecen la ocurrencia de deslizamientos.

El presente estudio proporciona una herramienta valiosa para la comunidad científica, las autoridades gubernamentales y las organizaciones interesadas en la prevención de desastres. Los resultados obtenidos y las herramientas generadas pueden servir de base para la toma de decisiones en políticas públicas, enfocadas en la gestión y prevención de deslizamientos de laderas en la Cuenca del Arroyo Sabinal, en el municipio de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

Referencias

- Antrop M. y Van Eetvelde, V. (2019). Territory and/or Scenery: Concepts and Prospects Of Western Landscape. Current Trends in Landscape. Research. Editors: Mueller, L. y Eulenstein, F. Springer.
- Centro de Investigación y Consultoría Aplicada (CECOM A. C.). (2010). Atlas de Riesgos del municipio de Tuxtla Gutiérrez.
- Cuanalo C. O. A., Quezada P. P., Aguilar M. A., Olivan R. A. M. y Barona D. E. (2006). Sismos y lluvias, factores detonantes de deslizamientos de laderas en las regiones montañosas de Puebla, Mexico. e-Gnosis. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=73000413>

- De Coss-Pérez, A. J. (2024). *El Paisaje como unidad de análisis para evaluar la Susceptibilidad a Deslizamientos de la Cuenca Arroyo Sabinal, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas*. [Tesis de Maestría, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas].
- Domínguez L., Castañeda A. y González A. (2016). Análisis de umbrales de lluvia que detonan deslizamientos y sus posibles aplicaciones en un sistema de alerta temprana por inestabilidad de laderas, Informe interno, Cenapred, México, pp. 28.
- García, E. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio). (1998). Conjunto de Datos Vectoriales de climatología (clasificación de Köppen, modificado por García). Escala 1:1 000 000. México.
- Gómez Ramírez, M., Gonzáles Herrera, R., Paz Tenorio, J. A. y Velasco Herrera, J. A. (2016). Caracterización de procesos gravitacionales en diferentes ambientes geológicos de Chiapas, México. *Espacio I+D Innovación más Desarrollo* 5 (12) 116-130. doi: 10.31644/IMASD.12.2016.a08.
- González Huesca, A. E., Domínguez Morales, L., y Castañeda Martínez, A. (2015). Generación de insumos para el Atlas Nacional de riesgos. Mapa Nacional de susceptibilidad por inestabilidad de laderas. Cenapred. Coordinación Nacional de Protección Civil. Secretaría de Gobernación.
- Huang, Y. y Zhao, L. (2018). Review on landslide susceptibility mapping using support vector machines. *ELSEVIER. Catena*. 520-529. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.03.003>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (1985). Conjunto de Datos Vectoriales de Edafología. Escala 1:250 000 Serie I. Continuo Nacional Tuxtla Gutiérrez. Edafología (inegi.org.mx).
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (1985). Conjunto de Datos Vectoriales de Litología. Escala 1:250 000. Serie I. Continuo Nacional Geología (inegi.org.mx).
- Jiménez, J. A. y Aristizábal, E. (2018). Propuesta metodológica para la zonificación de la susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa en proyectos lineales: Caso de estudio Tramo 2, vía Medellín – Turbo. *Boletín de Ciencias de la Tierra*. Universidad Nacional de Colombia. Pp. 14-23.
- Lakakis, K. y Savvaidis, P. (2009). Landslide Definition by an Integrated Monitoring System. ResearchGate. Fifth International Conference on Construction in the 21st. Century (CITC-V) "Collaboration and Integration in Engineering, Management and Technology". Istanbul. Turkey. <https://www.researchgate.net/publication/272701508>
- López, I. (24 de noviembre de 2020). El deslizamiento de laderas es causa de orografía. *El Heraldo de Chiapas*. <https://www.elheraldodechiapas.com.mx/local/el-deslizamiento-de-laderas-en-chiapas-causa-de-orografia-experta-danos-carreteras-montanas-6052764.html>
- Mateo Rodríguez, J. M. (2000). *Geoecología de los paisajes: bases para la planificación y la gestión ambiental*. La Habana.
- Miklós, L., Kočická, E., Izakovičová, Z., Kočický, D., Špinerová, A., Diviaková, A., y Miklósová, V. (2019). *Landscape as a Geosystem*. The Approaches to the Definition of the Landscape. Springer International Publishing. doi.org/10.1007/978-3-319-94024-3_2
- Mora Castro, S. (1994). Macrozonation Methodology for Landslide Hazard Determination. *Bulletin of the Association of Engineering Geologists*. pp. 49-58.

- Paz Tenorio, J. A., Gómez Ramírez, M. González Herrera, R. y Domínguez Salazar, F. F. (2011). Los procesos de remoción en masa; génesis, limitaciones y efectos en el crecimiento urbano de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. *Revista Geográfica de América Central*, vol 2. Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica. pp. 1-18. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=451744820602>
- Oregel Romero, A., Cuevas Salgado, S., Salvador Flores, R., Moreno Ruiz, J. P., Barrios Sánchez, J. L., Cázares Ventura, A., Ávila Ramos, F., Castillo Rodríguez, F., De Los Santos Montaña, J., Arceo y Cabrilla, F. y Cuevas Covarrubias, A. (2016). Atlas de riesgos del estado de Chiapas. Servicio Geológico Mexicano. Informe Técnico.
- Paz Tenorio, J. A., González Herrera, R., Gómez Ramírez, M. y Velasco Herrera, J. A. (2017). Metodología para elaborar mapas de susceptibilidad a procesos de remoción en masa, análisis del caso ladera sur de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. *Investigaciones Geográficas*. Núm. 92. Pp. 1-16. Instituto de Geografía. Distrito Federal. México. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=56950566011>
- Ramírez-Sánchez, L. G., Priego, A. y Bollo, M. (2021). Modificación antropogénica de la cubierta vegetal de los paisajes naturales de Michoacán. En: Arredondo, C. (coord.). Paisaje y Territorio en el Occidente Michoacano. Programa Editorial Unidad Académica de Estudios Regionales. pp. 215-244.
- Rodríguez Van Gort, M. F. T. y Rivera González, O. D. (2023). Afectaciones en la Vivienda por deslizamientos de tierra y vinculación con la población por medio de modelos preventivos, México. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Filosofía y Letras.
- Ruíz Arriaga, D. (2014). *Actualización del mapa geológico de Tuxtla Gutiérrez*, [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México].
- Suárez, J. (2009). Zonificación de Susceptibilidad, Amenaza y Riesgo. En Deslizamientos. Análisis Geotécnico. p. 533. Colombia. Escuela de Filosofía.

