

Identificación espacial del riesgo por deslizamiento de tierra en el municipio de Autlán de Navarro, Jalisco, México

Landslide risk spatial identification in the municipality of Autlan of Navarro, Jalisco, Mexico





Identificação espacial do risco de deslizamento de terra no município de Autlán de Navarro, Jalisco, México

Fátima González Bolaños¹
Universidad de Guadalajara, Jalisco, México

José Luis Olguín López²
Universidad de Guadalajara, Jalisco, México

Rubén Darío Guevara Gutiérrez³
Universidad de Guadalajara, Jalisco, México

Carlos Palomera García⁴
Universidad de Guadalajara, Jalisco, México

- 1 Ingeniero en Recursos Naturales y Agropecuarios. Departamento de Ecología y Conservación de la Biodiversidad. Centro Universitario de la Costa Sur, Av. Independencia Nacional #151, CP.48900. Universidad de Guadalajara, Jalisco México. Correo electrónico: fatima.gbolanos@alumnos.udg.mx.  <https://orcid.org/0000-0003-1404-4736>.
- 2 Profesor Investigador Asociado A. Departamento de Ecología y Conservación de la Biodiversidad. Laboratorio del medio físico, Centro Universitario de la Costa Sur #151, CP. 48900. Universidad de Guadalajara, Jalisco México. Correo electrónico: olguin@cucsur.udg.mx.  <https://orcid.org/0000-0002-6400-7039>.
- 3 Profesor Investigador Titular C. Departamento de Ecología y Conservación de la Biodiversidad. Laboratorio del medio físico, Centro Universitario de la Costa Sur #151, CP. 48900. Universidad de Guadalajara, Jalisco México. Correo electrónico: rguevara@cucsur.udg.mx.  <https://orcid.org/0000-0003-0940-7061>.
- 4 Profesor Investigador Titular C. Departamento de Ecología y Conservación de la Biodiversidad. Laboratorio del medio físico, Centro Universitario de la Costa Sur #151, CP. 48900. Universidad de Guadalajara, Jalisco México. Correo electrónico: cpalomera@cucsur.udg.mx.  <https://orcid.org/0000-0001-5338-9177>.

José Manuel Ramírez Romero⁵
Universidad de Guadalajara, Jalisco, México

Víctor Manuel Villalvazo López⁶
Universidad de Guadalajara, Jalisco, México

Resumen

El municipio de Autlán presenta problemas de cambio de uso de suelo y erosión que favorecen los deslizamientos de tierra. La identificación espacial de este fenómeno (5 clases de riesgo) muestra que 3 localidades se ubican en riesgos altos y muy altos (Autlán, Ahuacapán y Mezquitán), debido principalmente a la influencia de los suelos Regosol, precipitación anual y máxima en 24 horas con una relación estadísticamente significativa de $P < 0.05$, $R^2 = 0.99$, 0.66 y 0.86 . El deslizamiento presenta un riesgo para la infraestructura y la población encontrando una relación significativa ($\alpha = 0.001$) entre el número de viviendas y densidad de población por localidad solo para amenaza regular a alto al deslizamiento de tierra. Al no existir una planeación de uso de suelo por parte del municipio se plantea realizar actividades de atención y remediación principalmente en zonas urbanas ubicadas en estructuras sensibles al deslizamiento tomando en cuenta los resultados obtenidos.

Palabras clave: Deslave, riesgo, SIG, criterios, suelo.



Abstract

The municipality of Autlán presents problems of land use change and erosion that favor landslides. Spatial identification of these phenomena (5 risk classes) shows that 3 localities are located in high and very high risks areas (Autlán, Ahuacapán and Mezquitán), mainly due to the influence of Regosol soils, annual and maximum precipitation in 24 hours with a statistically significant relationship of $P < 0.05$, $R^2 = 0.99$, 0.66 and 0.86 . Landslides represent a risk for infrastructure and the population, finding a significant relationship ($\alpha = 0.001$) between the number of houses and population density per locality only for regular to high threat to landslide. In the absence of land use planning by the municipality, attention and remediation activities are proposed, mainly in urban areas located in landslide-sensitive structures, taking into account the results obtained.

Keywords: Landslide, risk, GIS, criteria, soil.

Resumo

O município de Autlán apresenta problemas de mudança de uso da terra e erosão que favorecem os deslizamentos de terra. A identificação espacial deste fenômeno (5 tipos de risco) mostra que 3 localidades estão localizadas em risco alto e muito alto (Autlán, Ahuacapán e Mezquitán), principalmente devido à influência dos solos Regosol, precipitação anual e máxima em 24 horas com uma relação significativa de $P < 0,05$, $R^2 = 0,99$, $0,66$ e $0,86$. O deslizamento apresenta risco para a

- 5 Profesor Investigador Titular B. Departamento de Ecología y Conservación de la Biodiversidad. Laboratorio del medio físico, Centro Universitario de la Costa Sur #151, CP. 48900. Universidad de Guadalajara, Jalisco México. Correo electrónico: jmromero@cucsur.udg.mx.  <https://orcid.org/0000-0003-4698-7747>.
- 6 Profesor Investigador Titular B. Departamento de Ecología y Conservación de la Biodiversidad. Laboratorio de desarrollo rural, Centro Universitario de la Costa Sur #151, CP. 48900. Universidad de Guadalajara, Jalisco México. Correo electrónico: vvillalv@cucsur.udg.mx.  <https://orcid.org/0000-0003-1160-6457>.

infraestrutura e para a população, encontrando uma relação significativa ($\alpha = 0,001$) entre o número de casas e a densidade populacional por localidade apenas para ameaça de deslizamento regular a alta. Como não há planejamento de uso do solo por parte do município, propõe-se a realização de atividades de atenção e remediação principalmente em áreas urbanas localizadas em estruturas sensíveis a deslizamentos, levando em consideração os resultados obtidos.

Palavras-chave: Critérios; Deslizamento de terra; Risco; SIG; Solo.

Introducción

Los deslizamientos de tierra son procesos destructivos donde el 90% de las pérdidas son evitables si el problema se identifica con anterioridad bajo la prevención (Suárez-Díaz, 1998), al igual que los flujos o caídas de tierra y la expansión lateral del suelo son fenómenos gravitacionales (Fraustro, 1999) causados por alteraciones en el equilibrio natural de una pendiente por lluvias torrenciales, sismos, y cambios de uso de suelo (Andrade, 2020). Para Alcántara (2000, p. 77) son los movimientos ladera abajo de una masa de suelo, detritos o roca, la cual ocurre sobre una superficie reconocible de ruptura y, son las grietas transversales la primera señal de la ocurrencia de estos movimientos. Mergili, Marchant y Moreiras (2014, p. 120) identifican las lluvias prolongadas como el agente que inducen variaciones freáticas que saturan niveles profundos del terreno, lo que facilita su inestabilidad con superficies de rotura profundas. Por el contrario, las lluvias intensas de corta duración tienden a producir superficies inestables. Por su parte Suárez-Díaz (1998, p. 1) menciona que las zonas más susceptibles son las zonas montañosas tropicales, debido a su topografía, sismicidad, meteorización y presencia de lluvias intensas. Adicional a ello, Borja y Alcántara (2004, p. 12) mencionan que otro factor como la actividad antrópica, que puede traer como consecuencia cambios de relieve que ocasionan inestabilidad en las laderas. El Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED, 2018) afirma que el deslizamiento es influenciado por variables predictoras, como la pendiente, humedad del suelo, tipos de vegetación, textura del suelo y nivel altitudinal; para Chacón (2012) la meteorización química-física y para Mardones y Vidal (2001, p. 112) son los sismos, deforestación y la construcción sin medidas de mitigación. Ayala-Carcedo (2002), añade que uno de los procesos geológicos más destructivos, es la remoción en masa, ya que dañan a infraestructura y personas, lo que causa pérdidas millonarias anualmente, tanto como cientos

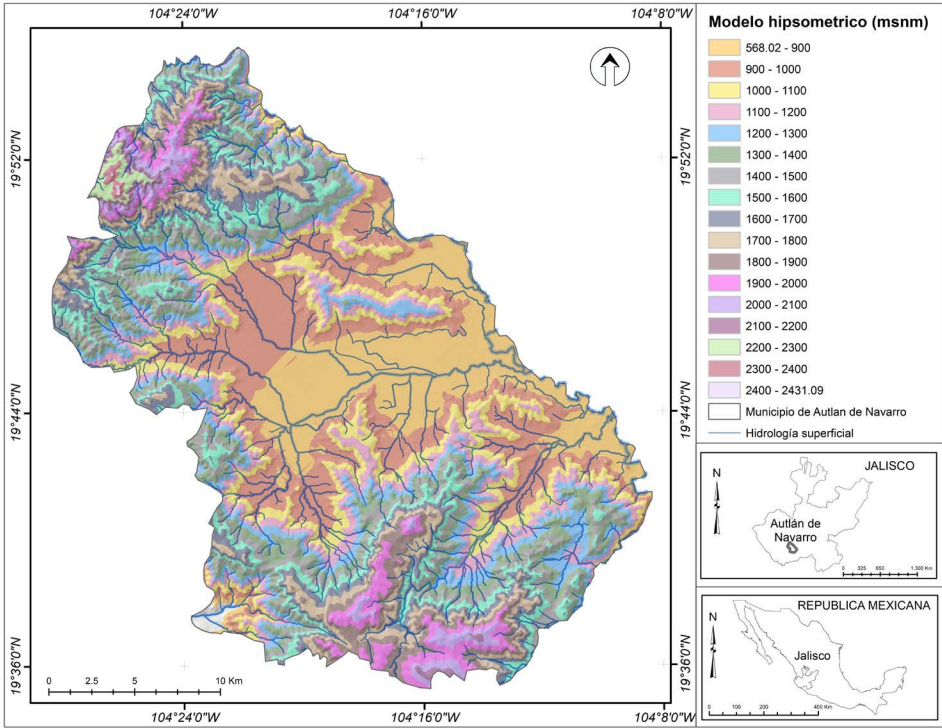
de muertos y heridos. Así mismo, el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED 2016, p. 4) menciona que México presenta una alta incidencia a la ocurrencia de estos fenómenos, principalmente en las zonas montañosas durante la época de lluvias, llegando a afectar severamente poblaciones y vías de comunicación. De los estudios realizados se identifican a Borja y Alcántara (2004, p. 13), quienes emplean los criterios de relieve, humedad y propiedad de materiales, a través del Modelo Digital del Terreno (MDT) identificando el incremento de los asentamientos humanos en laderas inestables sin planeación del crecimiento. Quesada-Román y Feoli-Boraschi (2018) utilizan una comparación entre el método de Mora y Varhson (1994) y el método morfométrico; para el primero, se concluye que se debe poner atención en la escala de trabajo y el número de variables a utilizar; y para el segundo, en las curvas de nivel. Quesada y Zamorano (2019, p. 3-18) utilizaron la altitud, inclinación del terreno, densidad y profundidad de la disección, relieve, erosión potencial y total y donde esta metodología puede ser replicada con facilidad.

Con base en lo dicho, este estudio surge con la finalidad de identificar zonas susceptibles a deslizamientos de tierra en el municipio a partir del uso de los sistemas de información geográfica (SIG) y la determinación de criterios edafoclimáticos. Así mismo, la importancia de los resultados radica en el interés de prevenir y evitar la afectación de áreas urbanas ubicadas en zonas de laderas, además, de poder ser incluido en un atlas de riesgo para implementar medidas preventivas y de control.

Área de estudio

El municipio de Autlán de Navarro forma parte de la región Sierra de Amula en el estado de Jalisco, se localiza entre las coordenadas geográficas de 19°30'00" a 20°10' 00" de latitud norte y 104°05'00" a 104°15'00" de longitud oeste. Tiene un área de 715.08 km² de los cuales el 60% se conforma de terrenos montañosos con pendientes arriba de 15 grados, con rango altitudinal de 568.02 a 2431.09 msnm (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2018).

Figura 1. Ubicación de la zona de estudio.



Fuente: elaboración propia con información del [Instituto Nacional de Estadística y Geografía \(2018\)](#).

Dentro del municipio se localiza la ciudad de Aultlán en la cual se concentra el 80% de un total de 64,931 habitantes ([Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2020](#)). Según el Instituto de Información Estadística y Geografía de Jalisco (IIEG, 2019) la región mencionada está influenciada por climas semicálidos y semihúmedo donde la temperatura media anual es de 21.2° C, la precipitación media anual es de 967 mm. El municipio se encuentra delimitado por dos sistemas montañosos con pendientes promedio de 22 grados y constituidas mayormente por suelos regosoles ubicados principalmente sobre zonas de montaña ([Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2018](#)). El área de estudio ha sido expuesto a diferentes fenómenos naturales como lo fue el registro del huracán Jova, en el que se registró rangos de precipitación pluvial de 230 a 490 mm en un tiempo de 18 horas y 30 minutos provocando deslizamientos de tierra ([Olguín-López, Guevara-Gutiérrez, Ramírez-Romero y Álvarez-Rodríguez., 2012, p. 9](#)), así como la

presencia de fenómenos sísmicos, como en el año 1995, que registró una intensidad de 7.3 magnitud Richter y en el 2003 de 7.6, tal como lo ha reportado el Servicio Sismológico Nacional (SSN, 2021).

Marco conceptual

La presente investigación se basa en la aplicación de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) para la identificación espacial de áreas susceptibles al deslizamiento de tierra en el municipio de Autlán, la herramienta SIG identifica áreas bajo condiciones físicas (pendiente, tipos de suelo, vegetación y erosión) y climáticas y las relaciona al riesgo por deslizamiento, las anteriores condiciones varían de un lugar a otro, específicamente en cuanto a condiciones naturales y humanas (Mergili Marchant y Moreiras, 2014). La identificación de la susceptibilidad a movimientos en masa es un paso necesario para la gestión del riesgo a desastres, ya que genera el conocimiento base para la toma de decisiones en materia de ordenamiento territorial (Quesada y Barrantes, 2017), por lo tanto, los resultados de la presente investigación es ubicar y relacionar las zonas urbanas con las condiciones de riesgo por deslizamiento de tierra en el municipio de Autlán.

¿Que son los Sistemas de Información Geografica?

Un SIG se definen como un conjunto de métodos, herramientas y datos que están diseñados para trabajar coordinada y lógicamente en la captura, almacenamiento, análisis, transformación y presentación de la información geográfica (Moreno-Jiménez, 2006, p. 3), entendiéndose por información geográfica, la abstracción o representación de la realidad de manera gráfica; ésta información puede referirse al ambiente natural (topografía, geología, geomorfología) o al ambiente humano (ciudades, edificaciones, vías).

Los Sistemas de Información Geográfica en los deslizamientos de tierra.

Los SIG es una herramienta valiosa que se complementa con el levantamiento geomorfológico que proporciona una información precisa y concreta de los procesos geomorfológicos, de las formas resultantes y los fenómenos naturales, como el caso de los deslizamientos. Lo anterior se obtiene a partir del análisis de la cartografía topográfica, geológica y modelos de clima se determinan las áreas susceptibles a peligros por procesos

gravitacionales (Aceves-Quesada, Legorreta-Paulín, Umaña-Romero y Legorreta-Cuevas, 2016, p. 45).

Marco metodológico

Para identificar zonas en laderas susceptibles al deslizamiento de tierra y el riesgo que esto conlleva, se implementaron tres pasos fundamentales:

1. Uso de información cartográfica (edafología, geología, uso de suelo y vegetación, curvas de nivel, hidrología y cuerpos de agua) escala 1 a 50,000 (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2018). Obtención de la precipitación pluvial máxima diaria y anual, obtenida de la base de datos climática ERICIII V. 3.2 del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA, 2016); y finalmente la información de sismos, extraída del Servicio Sismológico Nacional (SSN, 2021) a la vez que se utilizan magnitudes Richter arriba de 4 considerando que bajo estas intensidades los daños son menores a destructivos (Trujillo P., Ospina L. y Parra L., 2010).
2. La clasificación de atributos para cada criterio condicionante y desencadenante se expresó con valores cuantitativos a partir de la relación de éstos para desencadenar el riesgo alto o bajo al deslizamiento de tierra.

A. Criterios condicionantes

El riesgo de erosión del suelo, para su estimación fue a través de la metodología RUSLE3D desarrollada en Arcmap 10.5, mediante la siguiente ecuación:

$$E = R * K * L * S * C * P$$

Dónde: E, pérdida de suelo promedio anual en (t ha⁻¹ al año); R, Factor erosividad de la lluvia (Mj mm/ha hr); K, factor erodabilidad del suelo [(t ha) (ha h/Mj mm)]; LS, factor de la inclinación y forma de la pendiente (adimensional); C, factor cubierta vegetal (adimensional); P, factor de prácticas del suelo (adimensional).

Para el factor R se utilizó la metodología adaptada para la República Mexicana, propuesta por Cortés (1991, p. 48-49), de la que se ha indicado para la zona de estudio la región 7 (14 regiones diferentes para México) y donde se aplica a la relación siguiente.

$$Y = -0.0334X + 0.006661X^2$$

Dónde: Y , valor de R con una correlación del 98%, X , es la precipitación anual (mm).

El factor K se utilizó la metodología propuesta por la FAO (1980) citado por Figueroa *et al.*, (1991, p. 88), donde se utilizó cada unidad de suelo y grupo textural.

El factor LS se obtuvo con base en la metodología de Moore y Burch (1986) citados en Dumas (2012, p. 25-27) quienes indican que este factor varía de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$LS = (\text{Flujo acumulado} * \text{Tamaño de celda} / 22.13)^{0.4} \\ * (\text{sin sin pendiente} / 0.0896)^{1.3}$$

Dónde: *Flujo acumulado* proviene del modelo digital de elevación; *tamaño de celda* corresponde a los valores aplicados para el modelo (20 x 20 metros); *la pendiente* en radianes.

El factor C , proviene de la propuesta de Montes, Uribe y García. (2011) utilizada por Renard *et al.*, 1997 y Becerra, (1999), la cual utiliza cuadros con valores que relaciona los tipos de uso de suelo y vegetación. El factor P , no se aplica debido a que no existen estudios de prácticas aplicadas al suelo y cultivo, por lo tanto, el valor P asume el valor de la unidad.

De acuerdo con la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, 2013, p. 148-149), los atributos para el criterio de erosión se clasificaron mediante cinco categorías: nula (0 – 5), ligera (5 – 10), moderada (10 – 50), alta (50 – 200) y muy alta (> 200).

Luego el criterio de geología refleja la influencia de los tipos de materiales, sedimentos y rocas en la activación de los deslizamientos. Por tal motivo, se elaboró cinco categorías con base a la metodología de Mora y Vahrson (1996), además, se tomó en cuenta las características que propician los deslizamientos de tierra. Por lo tanto, las rocas sedimentarias con baja resistencia a las condiciones climáticas, estos atributos fueron clasificados con valores cercanos a 5 como máximo y por el contrario valores cercanos a 1 para las rocas volcánicas resistentes y con alta resistencia al deslizamiento.

Sobre el uso de suelo y vegetación, en este criterio se consideró lo mencionado por Suárez-Díaz (1998), quienes identifican el mayor movimiento

del suelo en terrenos cultivados que en bosques naturales. En ese contexto, se utilizó la metodología de Centro de Levantamientos Integrados de Recursos Naturales por Sensores Remotos (CLIRSEN, 2011), de la que se han considerado cinco categorías, de las cuales, los valores cercanos a uno representan atributos sensibles al riesgo bajo. En esta última, parte se implementó el criterio de pendiente en porcentaje que utiliza las categorías: nula (0 – 5), ligera (5 – 12), moderada (12 – 35), alta (35 – 75) y muy alta (> 75) a través de la metodología de la Corporación Autónoma Regional Rionegro-Nare (CORNARE, 2012, p. 20). El criterio de edafología fue establecido en relación de los tipos de suelo y grupos de textura (gruesa, media y fina), y con ello, se estableció su influencia sobre los deslizamientos; el riesgo alto se presenta en suelos poco profundos y con poca estructura y textura gruesa, contrario en suelos profundos con estructura definida y de textura fina. Finalmente, para el criterio de altitud, fueron consideradas cinco clases de riesgo (1 al 5) en función de la pendiente (0 – 15, 15 – 25, 25 – 35, 35 – 45 y > 45). La relación de estos dos criterios se realizó con apoyo de la metodología realizada por el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED, 2004) con ayuda de los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

B. Criterios desencadenantes

La precipitación pluvial máxima diaria y precipitación pluvial media anual, fueron consideradas en función de lo establecido por la CENAPRED (2016) y Mora Vahrson (1996). En estos criterios, se consideran cinco categorías de 1 a 5 que corresponden al mayor valor para aquellas zonas con presencia de lluvias anuales (> 1000 mm) y lluvias máximas diarias de fuertes e intensas (206 a 536.4 mm) que pueden ser una condicionante para el deslizamiento de tierra. Sumado a ello, los sismos, según Cuanalo *et al.*, (2006, p. 4-5), generan fuerzas inerciales dentro de la ladera, las cuales aumentan el esfuerzo cortante en la superficie, lo que provoca el desprendimiento de bloques y deslizamientos, entre otros. Con base a la metodología utilizada por el Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE, 2013), se elaboraron cinco categorías de 1 a 5, de las que la de mayor valor han sido aquellas zonas con presencia de sismos de alta magnitud (5 a 7.3 grados Richter). Por el contrario, han sido los valores más pequeños 2 a 5 grados (en Richter) para aquellas zonas con presencia de sismos de magnitudes bajas.

3. Riesgo por deslizamiento de tierra.

Se tomó en cuenta el análisis heurístico utilizando los Sistemas de Información Geográfica, de la cual se toman las siguientes acciones:

- Elaboración y clasificación de cada uno de los atributos para los criterios establecidos.
- Generación y combinación de coberturas digitales en formato ráster y definir riesgos.
- Reducción del número de clases a cinco categorías para la zonificación por deslizamiento de tierra a: riesgo muy bajo, bajo, moderado, alta y muy alto.
- Distribución espacial por localidades dentro del municipio para determinar el riesgo a la infraestructura y población mediante la utilización de GPS para el área urbana.

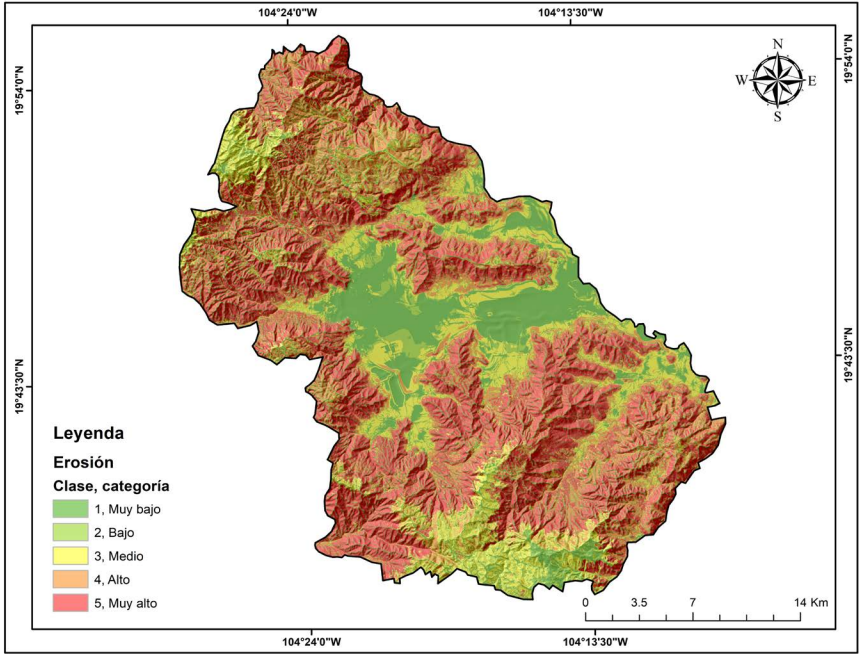
Resultados y discusión

El municipio de Autlán es diverso en cuanto a relieve se refiere, ya que presenta grandes valles y montañas con pendientes suaves, pero también abruptas. Esta última característica, está influenciada por fenómenos climáticos, sísmicos y por actividades antrópicas como la deforestación, la agricultura de temporal, así como la ganadería intensiva.

a) Descripción general por criterio

Los fenómenos mencionados provocan que aumente el proceso de erosión en las zonas de montaña, representan un 35.2% del total del territorio, por lo tanto, las localidades ubicadas en estas superficies pueden presentar riesgo al deslizamiento de tierra (ver la Figura 2).

Figura 2. Modelo ráster de erosión hídrica en el municipio de Autlán.



Fuente: elaboración propia utilizando información de [Figueroa et al., \(1991\)](#).

Del porcentaje anterior, el 20.8% del territorio tiene una pérdida máxima 118.8 t ha⁻¹ año y el resto que representa un 14.4% un total de 34.3 t ha⁻¹ año. El proceso de erosión como lo indica [Chacón \(2012\)](#) puede influenciar el riesgo por deslizamiento, si se toma en cuenta la relación de la erosión alta y muy alta en laderas con pendientes abruptas.

Cuadro 1. Criterios de riesgo para el deslizamiento de tierras.

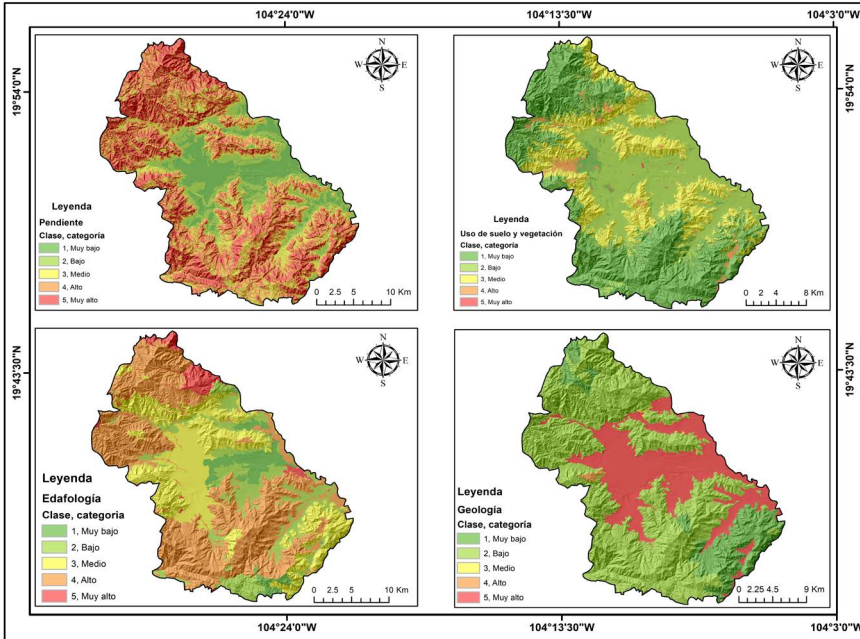
Criterio	Riesgo alto (ha)	Riesgo muy alto (ha)
Erosión	3679.5	18933.0
Geología	8027.64	5526.04
Uso de suelo y vegetación	369.2	4.04
Edafología	5168.24	5882.08
Altitud pendiente en grados	6862.7	4725.8
Precipitación máxima diaria	7260.0	4515.2
Precipitación media anual	7852.2	6572.32
Sismos	5697.3	6893.1

Fuente: elaboración propia. Impacto superficial por criterio en el riesgo alto y muy alto

La superficie con susceptibilidad al deslizamiento alto y muy alto (ver el Cuadro 1) se encuentra compuesta por diferentes tipos de rocas y suelos impactados por las actividades antrópicas. Aquellas rocas que están clasificadas por su alta susceptibilidad son las rocas ígneas (intrusiva acida, extrusiva acida, y suelos residuales) distribuidas en 19%; también la actividad agrícola de temporal, cuerpos de agua y suelo desnudo (ubicados en zonas de ladera), con una superficie de 0.5% del área total de municipio.

Otro aspecto relevante es el de los tipos de suelo, puesto que constituye uno de los factores más importantes en la incidencia de transporte de tierra ladera abajo, suelos Litosol (Cuadro 1 y Figura 3), Fluvisol eútrico y Vertisol pélico los cuales se encuentran en una categoría alta de riesgo y los suelos regosoles (eútrico y districo), a la vez que están clasificados como los más susceptibles o con un riesgo muy alto. Estos tipos de suelo están presentes en el 15.5% del territorio del municipio. Las características anteriores están influenciadas por pendientes medias de 27 grados distribuidas en un 20.8% del área susceptible a riesgo alto y pendientes medias de 32 grados distribuidos en el riesgo muy alto al deslizamiento (14.4%). Las condiciones físicas (ver la Figura 3) como el tipo de roca, vegetación y suelos e impactados por las pendientes puede ser un factor para el deslizamiento de tierra dependiendo del acomodo y estructura del lugar. Copons-Llorens y Tallada-Masquef (2009, p. 286) identifican que los deslizamientos de tierra son frecuentes en laderas inclinadas entre 35 y 100% de pendiente y con formaciones geológicas poco resistente y cohesivas (lutitas, arcillas entre otras); suelos profundos sin estructura llamados regosoles y algunos otros suelos delgados pero arcillosos como los litosoles.

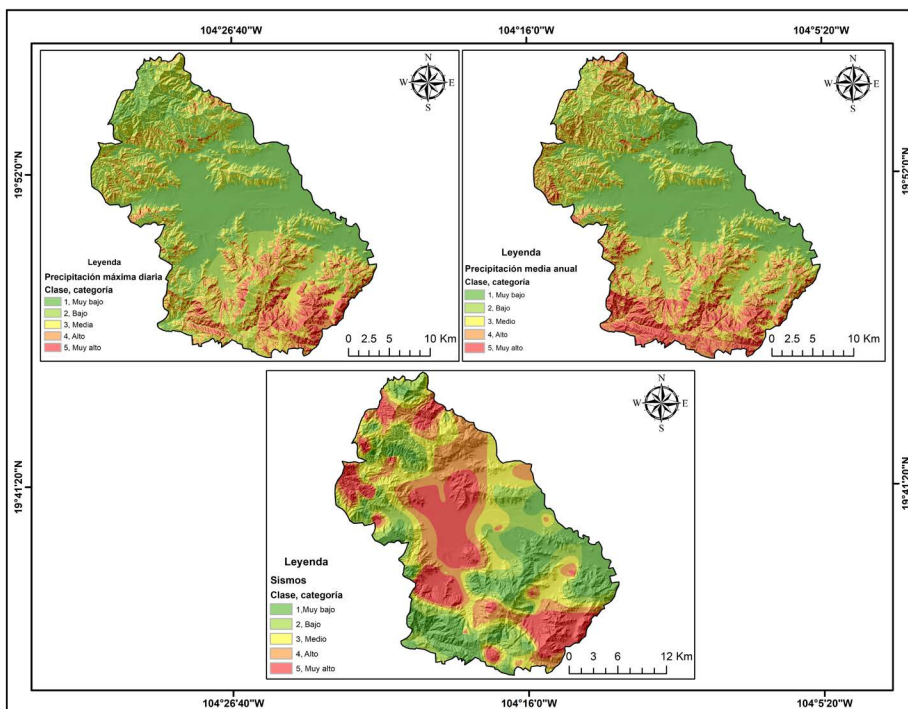
Figura 3. Criterios condicionantes y su relación con el deslizamiento de tierra.



Fuente: elaboración propia utilizando información cartográfica del [Instituto Nacional de Estadística y Geografía \(2018\)](#)

Para los criterios desencadenantes (ver la Figura 4) la presencia o ausencia del deslizamiento se presenta una precipitación máxima diaria de 534.27 mm en zonas de riesgo alto (20.8%), y en zonas (14.4%) con riesgo muy alto, lluvias máximas de diarias de hasta 536 mm. Las lluvias anuales se registran en rangos de 754 a 1352 mm para riesgo alto 755 a 1352 en zonas con riesgo muy alto. Según la figura anterior, las lluvias anuales y máxima diaria se distribuyen sobre zonas de montaña, principalmente con valores máximos en la zona sur del municipio, posiblemente afectadas por las condiciones costeras. [Cuanalo et al. \(2006, p. 2\)](#) mencionan que la cantidad de lluvia es producto de factores como la latitud, el relieve y corrientes marinas. Para [Herrera-Castañeda \(2002, p. 9\)](#) los deslizamientos están asociados con mayor frecuencia a clima cálido húmedo y semihúmedo, en segundo término, a zonas templadas y finalmente a las zonas áridas. Cabe destacar que los primeros climas mencionados anteriormente influyen el relieve en el municipio de Autlán según Instituto de Información Estadística y Geografía de Jalisco ([IIEG, 2017](#)).

Figura 4. Criterios desencadenantes y su relación con el deslizamiento de tierra.



Fuente: elaboración propia con información del [SSN \(2021\)](#) y del [IMTA \(2016\)](#).

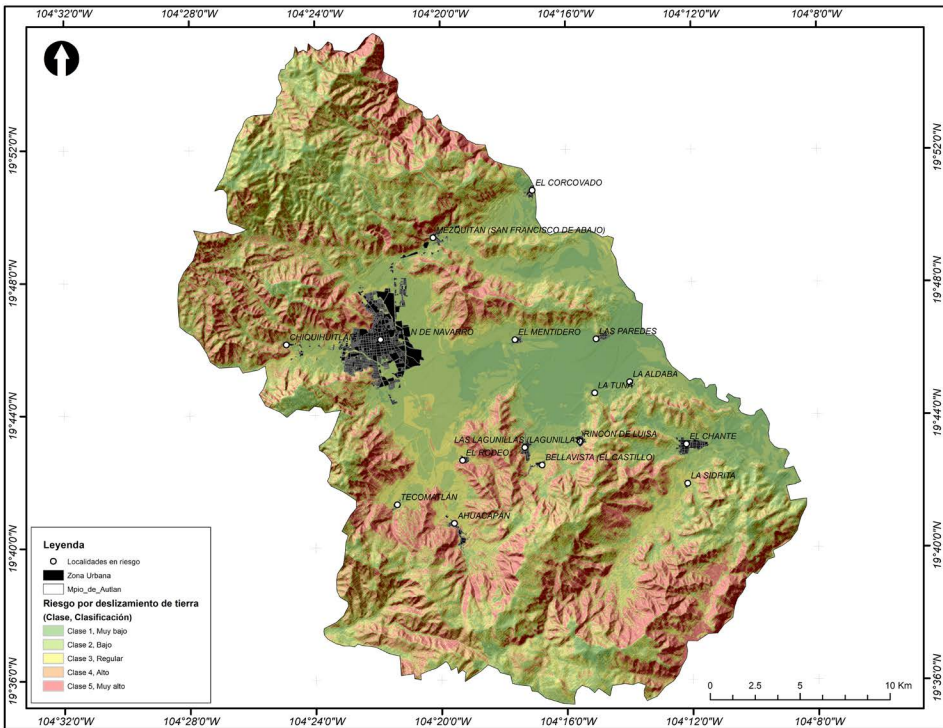
Los sismos más intensos se distribuyen principalmente en el centro y sur del municipio con valores máximos que pueden impactar positivamente sobre el proceso de deslizamiento de tierras, como lo menciona [Kramer \(1996, p. 2\)](#), los sismos pueden provocar deslizamientos dependiendo de las propiedades intrínsecas de la ladera como la topografía, tipo y propiedades de la roca, suelos de cobertura, la magnitud de los sismos y la distancia del epicentro. Dentro del área de interés, los fenómenos sismológicos se presentan con magnitudes de 2.9 a 4.37 grados Richter que posiblemente no ocasionan grandes daños, sin embargo, según el [Servicio Sismológico Nacional \(2021\)](#) el municipio de Autlán de Navarro está influenciado por sismos muy fuertes como el registrado en año 1995 con una magnitud de 7.3, el cual es considerado como un movimiento donde puede fracturar el suelo y construcciones, aunque su ubicación se presente fuera

del municipio o inclusive del estado (ver el Cuadro 1 y la Figura 4). Las condiciones anteriores han sido sustentadas por [Quesada-Román y Feoli-Boraschi \(2018\)](#), quienes explican que el cambio de uso de suelo intensivo, la sismicidad y la variabilidad climática influyen a largo plazo los principales elementos para detonar los movimientos de ladera.

b) Descripción y análisis del riesgo por deslizamiento de tierra.

La distribución espacial del riesgo por deslizamiento de tierra en el municipio de Autlán (ver la Figura 5) fue producto de la relación de los criterios, este proceso permitió la identificación de áreas susceptibles sobre el relieve. También, se detectó la influencia del deslizamiento sobre áreas urbanas (16 localidades).

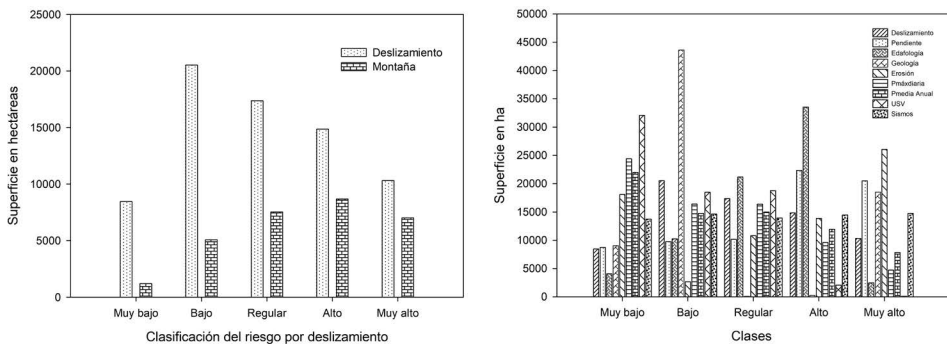
Figura 5. Distribución espacial del riesgo por deslizamiento de tierra.



Fuente: elaboración propia utilizando los Sistemas de Información Geográfica.

En el municipio de Autlán se observa la distribución espacial del deslizamiento dependiendo del relieve que presente, por ejemplo, la clasificación de riesgo baja y muy baja se ubica principalmente en zonas de valle aproximadamente el 64.8% de la superficie total (ver la Figura 5 y 6), no obstante, se distribuye en zonas de montaña donde la pendiente es acentuada. Para las clasificaciones de riesgo al deslizamiento de tierra regular a muy alta se encuentran sobre superficies montañosas con un porcentaje de 35.2% de la superficie total, área influenciada por relieves abruptos. Esta condición se distribuye principalmente sobre las laderas y el pie de cerro; lo anterior es destacable debido a que la mayoría de las localidades presentan áreas sobre este tipo de riesgo. Estas localidades están ubicadas sobre una estructura física (edafología, tipo de roca, vegetación y pendiente) susceptible al movimiento ladera abajo; sin embargo, Quesada y Barrantes (2016, p. 230) mencionan que la vegetación no es un atenuador en la dinámica de los procesos de ladera.

Figura 6. Criterios detonantes y desencadenantes en el deslizamiento de tierra.



Fuente: elaboración propia.

Al tener en cuenta el análisis de Pearson por clasificación (cinco clases), se muestra que no existe una diferencia significativa entre los criterios utilizados y el deslizamiento, la característica edáfica obtuvo un R^2 de 0.44 y el tipo de roca con R^2 0.41 con alfa 0.05, cuyo resultado ha sido una relación positiva que sugiere que, a medida que exista suelos y rocas susceptibles, aumentará la posibilidad al deslizamiento. El análisis ANOVA manifiesta que las diferencias entre los valores medios entre los grupos de tratamiento (ver el Cuadro 2) no son lo suficientemente grandes como

para excluir la posibilidad de que la diferencia se deba a la variabilidad del muestreo aleatorio, de lo que se concluye que no hay una diferencia estadísticamente significativa ($P = 1.00$) y un alfa de 0.05.

Cuadro 2. Análisis ANOVA para los criterios clasificados.

Variación	DF	SS	MS	F	P
Entre sujetos	4	139172423.1	34793106		
Entre tratamientos	8	7.94E-22	9.93E-23	9.21E-31	1
Residual	32	3449316013	107791125		
Total	44	3588488436			

Fuente: elaboración propia.

Por otra parte, cada uno de los criterios utilizados presentan diferentes atributos (tipos de suelo, suelos con o sin vegetación, rocas resistentes, lluvias intensas entre otros) que pueden influir en menor o mayor medida sobre el deslizamiento de tierra. En este caso la correlación de Pearson arroja una relación estadísticamente significativa solo en el criterio de edafología con un valor de $P < 0.05$ y una correlación de $R^2 = 1.0$. Tras haber aplicado el ANOVA (ver el Cuadro 3) se determina que la diferencia en los valores de la mediana entre los grupos de tratamientos es mayor de lo que cabría esperar por casualidad debido a un valor de $H = 29.305$ con 9 grados de libertad y $P < 0.001$, por lo tanto, se concluye que existe una diferencia estadísticamente significativa.

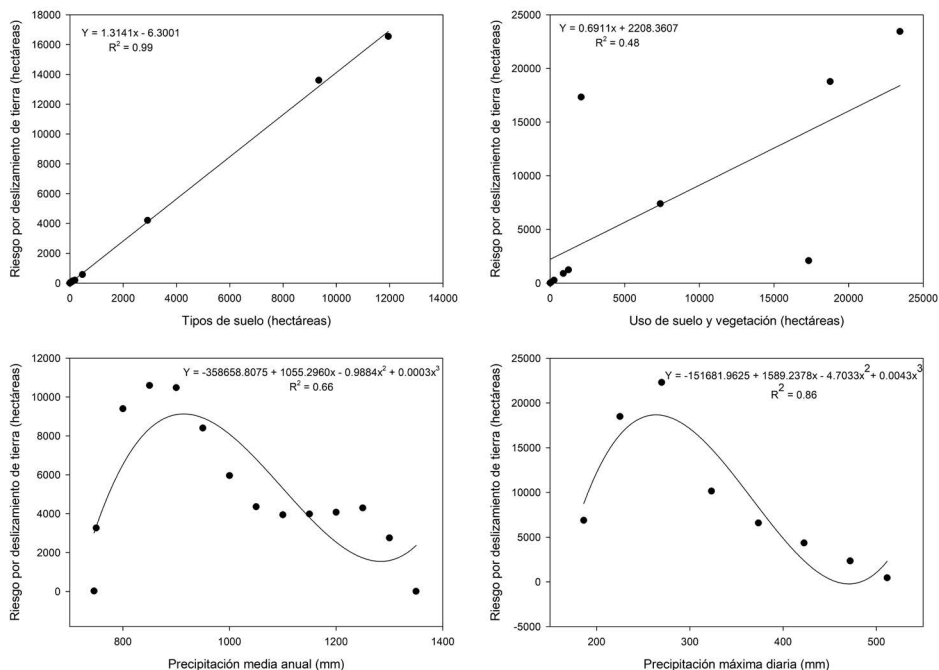
Cuadro 3. Comparación en el deslizamiento de tierra sobre los atributos por criterio.

Método de Dunn's			
Comparación múltiple	Diferencia de rangos	Q	$P < 0.05$
Precipitación máxima diaria - Edafología	50.661	3.583	Yes
Precipitación máxima diaria - Geología	17.958	1.159	No
Precipitación máxima diaria - Uso de suelo y vegetación	32.369	1.185	No
Precipitación máx. diaria - Precipitación anual	10.768	0.762	No
Precipitación anual - Edafología	39.893	3.309	Yes
Precipitación anual - Geología	7.190	0.528	No
Precipitación anual - Uso de suelo y vegetación	7.157	0.542	No
Uso de suelo y vegetación - Edafología	32.736	2.479	No
Uso de suelo y vegetación - Geología	0.0333	0.0022	No
Geología - Edafología	32.702	2.400	No

Fuente: elaboración propia.

La comparación múltiple (ver el Cuadro 3) refleja una diferencia estadística solo entre el comportamiento del riesgo por deslizamiento para los tipos de precipitación y los atributos de la edafología (tipos de suelo). Lo anterior es debido a la variable Q, en donde los valores cercanos a cero las comparaciones no presentan una relación significativa; mientras que en los alejados se presentan las diferencias estadísticas significativas entre comparaciones. Por lo tanto, se concluye que la mayor influencia sobre el riesgo por deslizamiento se debe a las condiciones edafológicas y de precipitación que impactan al municipio de Autlán de Navarro. A continuación, se presentan regresiones lineales y cúbicas donde se observa el grado de correlación entre el riesgo por deslave de tierra y los criterios utilizados.

Figura 7. Relación entre criterios y el riesgo para el deslizamiento de tierra.



Fuente: elaboración propia.

En la Figura 7 se observa que los criterios de edafología y lluvia media anual y diaria influyen sobre el riesgo de deslizamiento, idea corroborada en Alcántara y Murillo (2008), quienes han indicado que la inestabilidad de las

laderas se debe principalmente a factores edafológicos y el cambio de estructura de la roca superficial, aunado a la presencia de una mayor infiltración y saturación del suelo por las lluvias fuertes. Quesada-Román, Falla-López, Hernández-Espinosa, Stoffel y Ballesteros-Castillo (2019) en su estudio sobre deslizamientos por terremotos y huracanes indican que los factores fueron las lluvias, la pendiente y la altitud, además de la cercanía del epicentro del sismo.

c) Descripción y análisis del riesgo por deslizamiento a nivel localidad.

En el municipio de Autlán se encuentran ubicadas 16 localidades distribuidas en las cinco clasificaciones de riesgo para deslizamiento de tierra, de las cuales, 5 de ellas no presentan en su área un riesgo entre alto y muy alto por deslizamiento de tierra. Al considerar solo las áreas urbanas distribuidas en las clases mencionadas anteriormente, se tiene que Ahuacapan presenta un área de 19.11% de la superficie total de la zona urbana, mientras que El Rodeo con el 14.67%, La Sidra 60.2%, Tecomatán de 46.45% y Autlán presenta un área aproximada de 1.79%.

Cuadro 4. Relación del área urbana y el riesgo de deslizamiento de tierra.

Localidad	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4	Clase 5	Total, ha
Tecomatán	0	1.25	1.19	1.16	0.93	4.5
Rincón de Luisa	8.47	13.77	0.96			23.2
Mezquitán	4.35	65.30	15.27	1.30	0.39	86.6
Las Paredes	36.12	0.52				36.6
Lagunillas	14.76	25.36	9.65	2.31	0.26	52.3
La Tuna	1.37	1.25	0.01			2.6
La Sidra		2.20	5.71	0.14		8.1
La Aldaba	4.45	4.21				8.7
El Rodeo		4.74	8.10	2.07	0.13	15.0
El Mentidero	17.73	11.73	0.20			29.7
El Chante	63.40	18.00	0.71			82.1
El Corcovado	11.13	13.29	0.22			24.9
Chiquihuitlán	2.67	16.35	8.86	0.17		15.9
Bella Vista	0	2.99	12.21	0.68	0.0007	15.9
Autlán	252.42	1173.35	145.20	21.01	7.63	1599.6
Ahuacapán	0.06	13.66	24.41	7.96	1.04	47.1

Fuente: elaboración propia.

Por su parte, se aprecian algunas localidades que no presentan áreas en zonas de riesgo regular a muy alto como es el caso de Las paredes y La Tuna

(ver el Cuadro 4). Estas localidades están ubicadas en suelos con características de estructura y de rocas resistentes donde los criterios desencadenantes no presentan un impacto considerable al deslizamiento. Entonces, en las laderas con presencia de áreas urbanas ubicadas en riesgos bajos, los árboles, las cercas, los muros y los postes se encuentran en posición vertical, por lo anterior, el factor inclinación puede aclarar el problema del deslizamiento (Alcántara y Murillo (2008, p. 54). Por otra parte, cabe mencionar que dentro de las localidades diversas manzanas (construcción de viviendas) se encuentran en alguna categoría de riesgo por deslizamiento, por ejemplo, al tomar en cuenta solo las clases de riesgo alto y muy alto, en la cabecera municipal se contabilizaron 153 manzanas y 65 respectivamente (ver el Cuadro 5). Si se toma el total de manzanas con riesgo alto en el municipio se tienen un total de 269 y para la clase de muy alto riesgo 85, lo anterior, sugiere mayor atención a estas zonas con construcciones para viviendas y donde las personas pueden presentar riesgo a su salud.

Cuadro 5. Distribución de las viviendas por riesgo al deslizamiento de tierra.

Localidad	No. De manzanas			No. De viviendas			Habitantes	
	Regular	Alto	Muy alto	Regular	Alto	Muy alto	media	Total
Bella Vista	40	10		86	12		3.3	325.4
Ahuacapán	67	59	9	214	116	24	3.2	1139.9
Chiquihuitlán	31	7		30	7		3.9	143.9
Corcovado	1			1			4.7	4.7
El Chante	1			4			3.5	13.8
El Mentidero	1			1			4.4	4.4
El Rodeo	18	5	1	31	11	1	3.5	149.6
La Aldaba	1			1			3.1	3.1
La Sidra	6	2		29	2		3.0	94.2
La Tuna				1	0		3.3	3.3
Lagunillas	40	20	6	66	21	8	3.2	307.8
Las Paredes				1			3.4	3.4
Mezquitán	34	8	2	102	7	3	3.5	396.5
R. Luisa	15	2		19	1		2.7	54.6
Tecomatlán	13	3	2	12	3	3	3.6	64.9
Autlán	240	153	65	873	415	383	3.4	5664.7

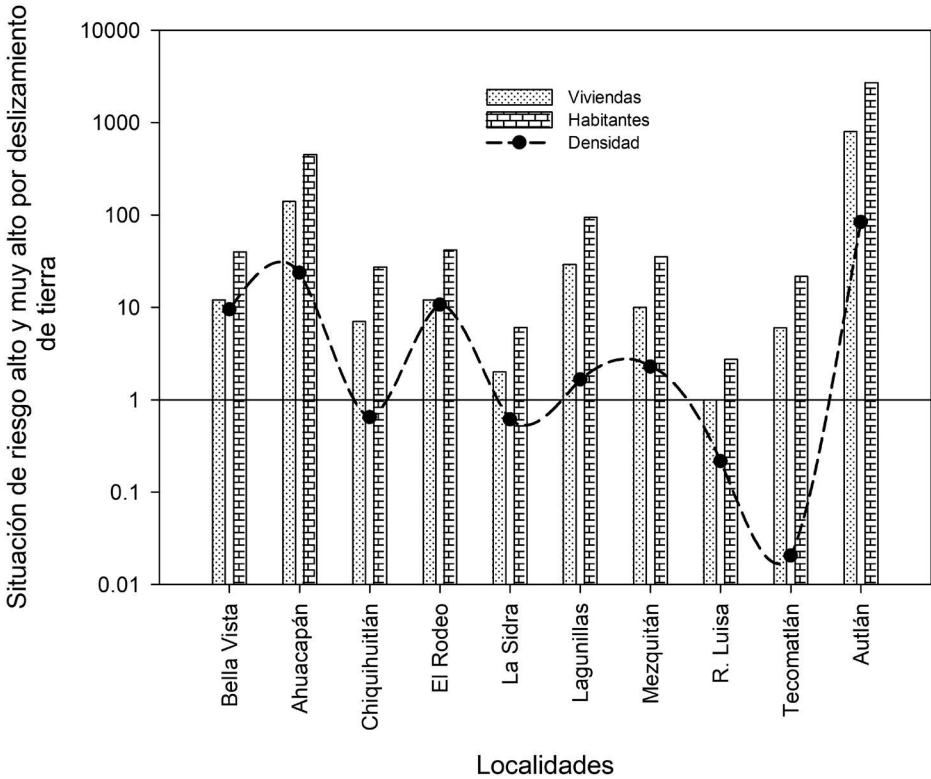
Fuente: elaboración propia.

Según el promedio de habitantes por vivienda (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2020), las localidades con mayor población

bajo riesgo regular a muy alto son Ahuacapán y Autlán. Tampoco se puede dejar de lado que solo las clasificaciones de riesgo alto y muy alto se obtiene la distribución de viviendas y habitantes por localidad, así como su densidad de población (ver la Figura 8) En algunas localidades, el número de viviendas y habitantes es semejante, pero el número de personas por unidad de área (hectáreas) se comporta de manera diferente.

Lo anterior, se da principalmente debido a la falta de superficie para construcción urbana en condiciones que limiten el proceso de deslizamiento de tierra, lo que obliga a construir viviendas cercanas a las zonas de laderas.

Figura 8. Distribución de viviendas, habitantes y densidad.



Fuente: elaboración propia.

Siguientemente, se presenta el tipo de riesgo en las viviendas y salud de los habitantes con base a una jerarquización y ponderación del número de habitantes por unidad área (Salgado 2005, p. 93-102). Las viviendas en 6 localidades se ubican en riesgo alto y muy alto, donde los valores

mayores son para Ahuacapán y Autlán; las cuales son las más representativas en el contexto de deslizamiento de tierra (ver el Cuadro 6) y en su caso al riesgo a la salud.

Con base a lo anterior, se considera que se deben aplicar estrategias de planificación como lo manifiesta Suárez-Díaz (1998) quien considera que esta estrategia es uno de los métodos más efectivos para reducir la susceptibilidad al proceso de deslizamiento en estas áreas zonas verdes o de baja intensidad de uso.

Cuadro 6. Clases de riesgo en el municipio de Autlán (Salgado,2005).

Localidades	Viviendas	Clases	Habitantes	Densidad (ha)	Clases
Bella Vista	12	Muy alto	39.84	9.49	Bajo
Ahuacapán	140	Muy alto	450.80	23.58	Alto
Chiquihuitlán	7	Alto	27.23	0.64	Regular
El Rodeo	12	Muy alto	41.76	10.65	Bajo
La Sidra	2	Muy bajo	6.08	0.61	Muy bajo
Lagunillas	29	Muy alto	93.96	1.65	Bajo
Mezquitán	10	Muy alto	35.40	2.27	Muy bajo
R. Luisa	1	Muy bajo	2.73	0.22	Muy bajo
Tecomatán	6	Medio	21.66	0.02	Muy bajo
Autlán	798	Muy alto	2705.22	83.29	Muy alto

Fuente: elaboración propia a partir de Salgado (2005).

Con base al Cuadro 6 y al método estadístico Kruskal Wallis, se determina que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre los grupos establecidos (clases de riesgo) y la densidad de población (Cuadro 7), debido a que la diferencia entre los valores de las medianas no es tan grande como se esperaría y a valores de $P=0.138$, $H=6.964$ con 4 grados de libertad. Lo anterior sugiere que la densidad de población en las zonas de riesgo alto y muy alto de deslizamiento de tierra no es determinante en el riesgo a la salud de los habitantes. Por otro lado, en la comparación múltiple se observa una diferencia significativa entre los riesgos regular a muy alto y por el contrario en los riesgos bajos. Lo anterior, determina que a medida que aumenta la población en zonas de deslizamiento de tierra aumentará el riesgo a la salud de los habitantes de la zona.

Cuadro 7. Comparación estadística de clases de riesgo a la población.

Kruskal Wallis				
Grupos	N	Mediana	25%	75%
Bajo	3	9.486	3.609	10.361
Alto	1	23.577	23.577	23.577
Regular	1	0.644	0.644	0.644
Muy bajo	4	0.413	0.118	1.440
Muy alta	1	83.289	83.289	83.289
Comparación múltiple				
Comparación	Dif. de medias	t	Nivel crítico	
Muy alto vs. Muy bajo	2688.752	106.120	0.005	Yes
Muy alto vs. Bajo	2646.700	101.143	0.006	Yes
Muy alto vs. Regular	2677.990	83.559	0.006	Yes
Muy alto vs. Alto	2254.420	70.343	0.007	Yes
Alto vs. Muy bajo	434.332	17.142	0.010	Yes
Alto vs. Bajo	392.280	14.991	0.010	Yes
Alto vs. Regular	423.570	13.216	0.013	Yes
Bajo vs. Muy bajo	42.053	2.430	0.017	No
Bajo vs. Regular	31.290	1.196	0.025	No
Regular vs. Muy bajo	10.762	0.425	0.050	No

Fuente: elaboración propia.

Conclusiones

Se determinó que las zonas urbanas de Autlán, Ahuacapán presentan las mayores superficies dentro de los riesgos alto y muy alto al deslizamiento; lo anterior, indica que se le debe poner atención prioritaria debido a que las superficies urbanas están ubicadas sobre material susceptible, aunado a la influencia de los factores climáticos. Según el análisis estadístico, se concluye que los suelos y la precipitación son los criterios que más influyen sobre el deslizamiento, por consiguiente, el cambio de uso de suelo en zonas de ladera puede ser un factor determinante para disminuir la problemática, sumado a una planeación en la distribución espacial de las zonas urbanas y la probable pérdida de infraestructura y vidas humanas.

Referencias

Alcántara, A. (2000). Landslides: ¿deslizamientos o movimientos del terreno? Definición, clasificaciones y terminología. *Investigaciones geográficas*, (41), 7-25.

- Alcántara, A. y Murillo, G. (2008). Procesos de remoción en masa en México: hacia una propuesta de elaboración de un inventario nacional. *Investigaciones geográficas*, (66), 47-64.
- Aceves-Quesada, J. F., Legorreta-Paulín, G., Hubp, J. L., Umaña-Romero, J., y Legorreta-Cuevas, H. A. (2016). Sistemas de Información Geográfica y cartográfica geomorfológica. *Investigaciones Geográficas*, (91), pp. 43-55.
- Andrade, A. (2020). Formulación de un concepto de gestión del riesgo del cambio climático ajustado a las condiciones naturales de Colombia. https://repository.udca.edu.co/bitstream/11158/3654/1/MONOGRAF%C3%8DA_Lindy_Andrade.pdf.
- Ayala-Carcedo, F. (2002). *Riesgos Naturales*. Editorial Ariel.
- Becerra, M. (1999). Escorrentía, erosión y conservación de suelos. Universidad Autónoma Chapingo.
- Borja, B. y Alcántara A. (2004). Procesos de remoción en masa y riesgos asociados en Zacapoaxtla, Puebla. *Investigaciones Geográficas*, (53), 7-26.
- El Centro Nacional de Prevención de Desastres [CENAPRED]. (2004). *Guía básica para la elaboración de atlas estatales y municipales de peligro y riesgos*. Secretaría de Gobernación.
- El Centro Nacional de Prevención de Desastres [CENAPRED]. (2016). Análisis de umbrales de lluvia que detonan deslizamientos y sus posibles aplicaciones en un sistema de alerta temprana por inestabilidad de laderas. Subdirección de Dinámica de Suelos y Procesos Gravitaciones. https://www1.cenapred.unam.mx/COORDINACION_ADMINISTRATIVA/SRM/FRACCION_XLI_A/23.pdf.
- El Centro Nacional de Prevención de Desastres [CENAPRED]. (2018). Inestabilidad de laderas: ¿cómo influyen las lluvias en este fenómeno? Centro Nacional de Prevención de Desastres. <https://www.gob.mx/cenapred/articulos/inestabilidad-de-laderas-como-repercuten-las-lluvias>.
- Centro de Levantamientos Integrados de Recursos Naturales por Sensores Remotos. [CLIRSEN]. (2011). Metodología para la elaboración de categoría planimétrica, generación de geoinformación del territorio y valoración de tierras rurales del río a nivel nacional. http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PDOT/ZONA5/NIVEL_DEL_PDOT_CANTONAL/GUAYAS/MILAGRO/IEE/BASE/METODOLOG%C3%8DA/METODOLOG%C3%8DA_CARTOGRAF%C3%8DA_FINAL.doc.

- Chacón, J. (2012). Movimientos de ladera: clasificación, descripción y evolución espacial y temporal. *Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente*, (28), 73– 89.
- Copons–Llorens, R. y Tallada–Masquef, A. (2009). Movimientos de ladera. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 17 (3), 284 – 294.
- Corporación Autónoma Regional Rionegro-Nare [CORNARE]. (2012). Zonificación de riesgo por movimientos en masa inundación y avenidas torrenciales. Atención de áreas afectadas por eventos desastrosos. *Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible*.
- Cortés, T. (1991). *Caracterización de la erosividad de la lluvia en México utilizando métodos multivariados*. [Tesis de maestría]. Colegio de Postgraduados, Montecillos, México.
- Cuanalo, C., Quezada P, Aguilar M., Oliván R. y Barona d. E. (2006). Sismos y lluvias, factores detonantes de deslizamientos de ladera en las regiones montañosas de Puebla, México. *e-Gnosis*, (4), 1–15.
- Dumas, S. (2012). *Riesgo de erosión hídrica en la cuenca hidrográfica del río mundo*. [Tesis de maestría]. Universidad Complutense de Madrid.
- Figuroa, S., Amante, O., Cortes T., Pimentel L., Osuna C., Rodríguez, O. y Morales F. (1991). Manual de predicción de pérdidas de suelo por erosión. SARH-CP.
- Fraustro, M. (1999). Derrumbes, deslizamientos y expansión lateral del suelo provocados por la sismicidad en el graben de Cuauhtepc: región sur de la Sierra de Guadalupe, en la Ciudad de México. *Investigaciones geográficas*, (38), 15-29.
- Herrera–Castañeda, S. (2002). Regionalización de los deslizamientos en México. Academia de Ingeniería. http://www.ai.org.mx/revista/numero_tres/regionalizacion_de_los_deslizamientos_en_mexico.html.
- Instituto de Información Estadística y Geográfica de Jalisco [IIEG] (2017). Autlán de Navarro; Diagnostico del municipio. <http://iieg.gob.mx/contenido/Municipios/AutlandeNavarro>.
- Instituto de Información Estadística y Geográfica de Jalisco [IIEG, 2019]. (2019). Diagnóstico del municipio de Autlán de Navarro. <https://iieg.gob.mx/ns/wp-content/uploads/2019/06/Autl%C3%A1n-de-Navarro.pdf>.

- Instituto Espacial Ecuatoriano [IEE]. (2013). Análisis de amenaza por tipo de movimiento en masa Cantón Tosagua. Memoria técnica.
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua [IMTA]. (2016). Extractor rápido de información climática Eric III 3.2.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2018). Cartografía topográfica escala 1:50,000. <https://www.inegi.org.mx/datos/?t=0150>.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2020). Censo de población y vivienda. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>.
- Kramer, S. (1996). *Geotechnical Earthquake Engineering*. Editorial Prentice Hall.
- Mardones, M. y Vidal, C. (2001). La zonificación y evaluación de los riesgos naturales de tipo geomorfológico: un instrumento para la planificación urbana en la ciudad de Concepción. *EURE* 27 (81) 97-122.
- Mergili, M., Marchant, S. y Moreiras, S. (2014). Causas, características e impactos de los procesos de remoción en masa, en áreas contrastantes de la región Andina. *Revista Colombiana de Geografía*, 24 (2), 114–131.
- Montes, L., Uribe, A. y García, C. (2011). Mapa nacional de erosión potencial. *Tecnología y Ciencia del Agua*, 2 (1), 5–7.
- Moore, I. y Burch, G. (1986). Modelling Erosion and Deposition: Topographic Effects. *Trans. ASAE* 29,1624-1630.
- Mora, S. y Vahrson, W. (1994). Macrozonation methodology for landslide hazard determination. *Bulleting of the Association of Engineering and Geologist*, 31 (1), 49-58.
- Mora, S. y Vahrson, W. (1996). Determinación a priori de la Amenaza de Deslizamientos sobre grandes áreas, utilizando Indicadores Morfo-dinámicos. In Alzate, J.B. (ed) *Memoria sobre el primer simposio internacional sobre sensores remotos, sistemas de información Geográfica (SIG), para estudios de Riesgos naturales*. IGAC. 259 – 273.
- Moreno-Jiménez, A. (2006). *Sistemas y Análisis de la información Geográfica*. Alfaomega. México.
- Olguín-López, J., Guevara-Gutiérrez, L., Ramírez-Romero, J. y Álvarez-Rodríguez, M. (2012). Los efectos de “Jova” en el municipio de Autlán de Navarro, Jalisco, México: un caso histórico. *Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 4 (2), 1–19.

- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (1980). Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos. Roma.
- Quesada-Román, A. y Barrantes-Castillo, G. (2016). Procesos de ladera cosísmicos del terremoto de Cinchona (Costa Rica) del 8 de enero de 2009 ($M_s = 6.2$). Cuadernos de Geografía: *Revista Colombiana de Geografía*, 25 (1), 217–232.
- Quesada-Román, A. y Barrantes-Castillo, G. (2017). Modelo Morfométrico para determinar áreas susceptibles a procesos de ladera. *Investigaciones Geográficas*, 94, 1–12.
- Quesada-Román, A., Falla-López, B., Hernández-Espinoza, K., Stoffel, M. y Ballesteros-Cánovas, J. (2019). Relaciones entre terremotos, huracanes y deslizamientos en Costa Rica. *Deslizamientos de Tierra*, 16, 1539–1550.
- Quesada-Román, A., y Feoli-Boraschi, S. (2018). Comparación de la metodología Mora-Vashrson y el método morfométrico para determinar áreas susceptibles a deslizamientos en la microcuenca del río Macho, Costa Rica. *Revista Geográfica de América Central*, (61), 17–45.
- Quesada-Román, A. y Zamorano-Orozco, J. (2019). Zonificación de procesos de ladera e inundaciones a partir de un análisis morfométrico en la cuenca alta del río General, Costa Rica. *Investigaciones Geográficas*, 99, 1–9.
- Renard, K. Foster, G., Weesies, G., Mccool, D. y Yoder, D. (1997). *Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning With the Revised Universal Soil Loss Equation*, US Department of Agriculture, Agricultural Research Services. Agricultural Handbook 703.
- Salgado, M. (2005). Análisis integral del riesgo a deslizamiento e inundación en la microcuenca del río Gila, Copán, Honduras. [Tesis de maestría]. CATIE.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT]. (2013). Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave y de Desempeño Ambiental. Edición 2012.

Fátima González Bolaños, José Luis Olguin López, Rubén Darío Guevara Gutiérrez,
Carlos Palomera García, José Manuel Ramírez Romero, Víctor Manuel Villalvazo López
Landslide risk spatial identification in the municipality of Aatlan of Navarro, Jalisco, Mexico

Servicio Sismológico Nacional [SSN]. (2021). Catálogo de sismos <http://www2.ssn.unam.mx:8080/catalogo/>.

Suárez-Díaz, J. (1998). Caracterización de los movimientos. En: Suárez, J. (ed.). *Deslizamiento y estabilidad de taludes en zonas tropicales*. Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos pp. 1-30. Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos.

Trujillo P., Ospina L., y Parra, L. (2010). Los terremotos: una amenaza natural latente. *Scientia Et Technica*, 16 (45), 303–308.