



Año 10, Julio-Diciembre 2023
Fecha de recepción: 18 de agosto 2023
Fecha de aceptación: 23 de noviembre 2023

DOI: 10.5377/hcs.v21i21.17665

Zonas susceptibles a remoción en masas en el municipio de Tenango del Valle (México 2023)

Areas susceptible to mass removal in the municipality of Tenango del Valle (Mexico 2023)

Francis Valeska Mercado Rosales 

francismercado196@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0004-2804-6323>

Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua
Managua (UNAN-Managua)

Resumen

El presente artículo expone los resultados de las zonas susceptibles a remoción en masa en el municipio de Tenango del Valle durante el año 2023, localizado en el estado de México, perteneciente a la zona metropolitana del valle de Toluca. Esta investigación es producto de un intercambio académico virtual enmarcado en el proyecto Delfin. El objetivo del estudio fue contribuir a los planes de atención temprana a desastres y de ordenamiento territorial para la toma de decisiones en el sitio. La investigación fue de tipo descriptivo y permitió la adaptación de la metodología Mora y Vahrson (1994). La réplica de esta metodología permitió identificar nuevas zonas de riesgo en lugares como San Bartolomé Atlatlahuca, El Zarcal, San Pedro Tlanixco (costado este de la zona urbana), La Haciendita, Maxtleca de Galeana y Santa María Jajalpa. Estas son zonas urbanas que se están expandiendo hacia áreas donde la orografía es muy accidentada, además se logró identificar al menos 50 localidades rurales asentadas en las orillas de sus máximas elevaciones y que se ubican en tres cuartas partes de su territorio, con alturas que van desde los 3,900 metros sobre el nivel del mar

Palabras clave: *Remoción en masa, susceptibilidad, vulnerabilidad, riesgo, Tenango del Valle.*

Abstract

This article presents the results of the areas susceptible to mass removal in the municipality of Tenango del Valle during the year 2023, located in the state of Mexico, belonging to the metropolitan area of the Toluca Valley. This research is the result of a virtual academic exchange within the framework of the Delfin project. The objective of the study was to contribute to early disaster response and land use planning plans for on-site decision-making. The research was descriptive and allowed the adaptation of the methodology Mora and Vahrson (1994). The replication of this methodology made it possible to identify new risk areas in places such as San Bartolomé Atlatlahuca, El Zarcal, San Pedro Tlanixco (east side of the urban area), La Haciendita, Maxtleca de Galeana and Santa María Jajalpa. These are urban areas that are expanding into areas where the orography is very rugged, in addition it was possible to identify at least 50 rural localities settled on the shores of their maximum elevations and that are located in three quarters of their territory, with heights ranging from 3,900 meters above sea level.

Key words: *Mass removal, susceptibility, vulnerability, risk, Tenango del Valle.*

Introducción

Para el profesor Richard Dikau (2004) un movimiento en masa o desprendimiento de ladera es aquel que se da hacia afuera y por debajo, a partir de la influencia de la gravedad causada por el fallo de cizallamiento de una sección de esa ladera a lo largo de un plano de fractura. Así mismo José Lugo (2011), hace referencia a los factores adicionales que favorecen su desarrollo, tales como: el cambio del ángulo de inclinación de una superficie, la morfología del terreno, el exceso o reducción de carga por obras humanas, la deforestación, los sismos, agua subterránea, la alternancia de humectación-sequedad y congelamiento-deshielo, los movimientos tectónicos, las actividades volcánicas, entre otros.

El objetivo de este artículo es dar a conocer los resultados del estudio de identificación de zonas susceptibles a remoción en masas, siendo esto una contribución a los planes de atención temprana a riesgo y de ordenamiento territorial del municipio de Tenango del Valle, México, para la toma de decisiones. De acuerdo con Gómez Gonzáles y Jiménez Sánchez (2017) el municipio de Tenango del Valle posee cuatro asentamientos irregulares: San Francisco Pútla, San Francisco Tetetla, San Miguel Banderas, San Pedro Zictepec. Estos autores detallan, como la estabilidad de las laderas han permanecido estables por muchos años, pero debido a los procesos de evolución del relieve y las acciones antropogénicas, estas pueden fallar de forma imprevista a consecuencia de cambios en las precipitaciones, meteorización, geología, uso de suelo, topografía o factores de tipo antrópico. Estos resultados se sustentan en datos proporcionados por el Atlas Municipal de Riesgo de Tenango del Valle de 2013.

Según Castro (2022) existen diversas metodologías para la identificación de zonas susceptibles a remoción en masas, entre estas menciona los modelos numéricos, Evaluación Espacial Multicriterio (EEM) y la metodología empírica de naturaleza cualitativa basada en la metodología propuesta por Suárez (1998), Mora y Vahrson (1994). Estas metodologías nos permiten zonificar regiones susceptibles a este tipo de fenómenos, al tomarse en cuenta los procesos gravitacionales y variable orográficas, las cuales varían de acuerdo con las condiciones del territorio y al enfoque del investigador. La propuesta metodológica de Mora y Vahrson (1994) es la más factible y adaptable para la realización de estos estudios.

El Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador en el 2004, realizó un estudio de casos con el nombre de: “Aplicación de un modelo analítico para la identificación de las zonas que presentan mayor susceptibilidad a los deslizamientos de tierra en El Salvador”. Uno de los resultados de este estudio consistió en haber proporcionado, a los planificadores urbanos e ingenieros, una herramienta preliminar que facilitara la toma de decisión, en cuanto a la factibilidad de realizar un proyecto, o en ahondar en el análisis geológico del lugar. Además, les permitió la definición y jerarquización de posibles áreas críticas que con posterioridad pudieran ser sometidas a un análisis detallado y profundo por medio de métodos más específicos, de acuerdo con las condiciones geográficas del país.

El Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER, 2004) en el marco del proyecto “Mitigación de Geo riesgos en Centroamérica”, realizó estudios sobre riesgos en el país, teniendo como resultado, la elaboración del “Mapa nacional de susceptibilidad por deslizamientos” de Nicaragua en la que se implementó la metodología propuesta por Mora y Vahrson (1994). Por otro lado, Chaverri Molina (2016) realizó un estudio sobre la zonificación de la susceptibilidad a deslizamiento en la microcuenca del Río Macho en San José, Costa Rica, haciendo uso de la metodología de Mora y Vahrson (1994), lo que les permitió la realización de zonificaciones de susceptibilidad a deslizamientos de una forma sencilla, acompañados de sistemas de información geográfica con simples factores condicionantes y desencadenantes.

Es importante destacar que esta investigación fue realizada en el marco del programa Delfín “Verano de la Investigación Científica y Tecnológica del Pacífico” (Universidad Autónoma de Nayarit, México), cuyo propósito es el fortalecimiento entre estudiantes y docentes, de una cultura de vinculación y colaboración en temas de investigación y producción científica y tecnológica, entre Instituciones de Educación Superior (IES) y centros de investigación que se suscriben a este programa internacional, entre ellas la UNAN-Managua. En adición, el trabajo se enmarca en la línea de investigación de sistemas de información geográfica, percepción remota, riesgo, vulnerabilidad, resiliencia y sustentabilidad urbanas establecida en la plataforma del programa Delfín. Con esto, se busca hacer una contribución en la identificación de zonas susceptibles a remoción en masa para la réplica de la metodología enseñada, a un contexto nacional.

Estudios como el que se presenta, son esenciales para la gestión territorial y de políticas públicas en materia de población, al proporcionarle a los tomadores de decisiones, la información necesaria para la implementación de planes de riesgos, estrategias de reubicación de la población en áreas seguras. Información que se incorpora a los planes integrales de ordenamiento territorial en cada uno de los países de la región. Desde esta perspectiva, la investigación no solo tiene convergencia con las líneas de investigación antes mencionada, sino que aporta de manera concreta a la toma de decisiones y gestión del riesgo en el ámbito urbano de nuestros países de la región centroamericana.

De igual manera, es pertinente indicar que este estudio responde a los Objetivos de Desarrollo Sostenibles (ODS) establecidos por el programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), en su objetivo 11, “Ciudades y Comunidades Sostenibles”, proponiendo como meta: “lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles”. Siguiendo esta línea, el trabajo contribuye a llenar un vacío del municipio en estudio, ya que no contaba con un mapa susceptible a remoción en masas, dado que, para este tema, únicamente se apoyaba en estudios enfocados a deslizamientos, inundaciones o riesgos de otro tipo.

Pertinente es señalar que, este estudio se puede replicar en Nicaragua para la identificación de poblados ubicados en zonas susceptibles a remoción en masa, permitiéndole a las autoridades municipales, una vez concluido el trabajo, la reubicación de estos pobladores a zonas seguras, reduciendo de esta manera, el riesgo de afectación. Por lo anterior, el estudio responde al Plan Nacional de Lucha Contra la Pobreza y para el Desarrollo Humano 2022-2026 (PNLCPDH), de manera específica, en su capítulo IV que establece como objetivo: “consolidar la gestión integral de riesgo ante desastre y calamidades”. Esta política de prevención y mitigación del Estado nicaragüense está orientada en primer lugar, a la preservación de la vida de las personas, la prevención de daños, pérdidas materiales, económicas, además de brindar ayuda solidaria de emergencia a las familias y comunidades ante situaciones de desastres naturales o provocados.

Materiales y métodos

La investigación que se hizo fue de tipo descriptiva, permitiendo la identificación de zonas susceptibles a remoción en masa en la zona de Tenango del Valle. De igual manera, de corte transversal, pues se desarrolló en un tiempo específico, primer semestre del año 2023. En esta investigación se utilizaron herramientas del Sistema de Información geográfica ArcGIS 10.8. Estas herramientas son fáciles de usar y son de gran ayuda a la hora de recopilar, ordenar y procesar las variables que determinan este tipo de vulnerabilidad.

Como primer paso, se hizo un diagnóstico de la situación ambiental imperante en la zona de estudio y seguidamente, se realizó una selección de los problemas relacionados con la inestabilidad de laderas, como objeto principal de estudio. Una vez identificado el objeto de estudio, se trabajó en el análisis bibliográfico para la identificación de investigaciones similares, observando las metodologías aplicadas, de tal manera que alguna de ellas pudiera

aplicarse a la investigación en curso, determinando la susceptibilidad a deslizamientos en el municipio de Tenango del Valle. Al finalizar esta revisión bibliográfica, se decidió elegir la metodología propuesta por Mora-Vahrson (1994) para la aplicación en el estudio. La razón principal de la elección de esta metodología se sustenta en su pertinencia para este tipo de estudio, siendo también otra razón importante, su fácil manejo a la hora de jerarquizar las zonas de riesgo.

Para el trabajo de procesamiento de los datos, se hizo uso del programa ArcGIS, permitiendo con ello, la realización de todos los procesos en un mismo espacio, desde la captura de datos, edición geométrica, análisis de variables, hasta la producción cartográfica. De igual manera, se contó con la aplicación de ArcMap, herramienta utilizada para la visualización de forma conjunta de todas las capas de información del SIG, facilitando el análisis de la información, estableciendo uniones espaciales entre ellas y para el diseño de los mapas, integrando también otras funciones en conjunto como ArcCatalog y ArcToolbox.

La realización de una caracterización del área de estudio tuvo como finalidad la de identificación y conocimiento, de manera concreta, de las condiciones de esta área, realizando con posterioridad, un análisis preciso de los factores que influyen en los deslizamientos. Se trabajó con una escala en los mapas de 1:50,000, teniendo en cuenta que la zona de estudio engloba un municipio (Tenango del Valle), siendo la escala más conveniente para homogeneizar los datos de partida. Así mismo, se implementó un sistema de referencia, eligiéndose el sistema World Geodetic System, 1984 (WGS_84). La proyección cartográfica utilizada es UTM (Universal transversa de Mercator) y la zona 14 N.

En otro aspecto, es importante señalar que existen ciertos factores condicionantes y desencadenantes utilizados en la metodología planteada. Estos factores se encargan de medir la generación de fenómenos de remoción en masa, replicados y adaptados por diferentes investigadores a las condiciones propias de cada territorio. Según Hausser (1995) los factores desencadenantes corresponden a aquéllos que generan una situación potencialmente inestable, tales como las precipitaciones, sismos, entre otros. Mientras que los factores condicionantes corresponden principalmente a la geomorfología, geología, geotecnia y vegetación, que actúan controlando la susceptibilidad de una zona a generar fenómenos de remoción en masa. En este sentido, la susceptibilidad se define como la capacidad o potencialidad de una unidad geológica o geomorfológica de ser afectada por un proceso geológico determinado (Sepúlveda Valenzuela, 1998).

Para el caso particular de este estudio, se identificaron los factores condicionantes y los desencadenantes ante este tipo de riesgos, como aparece en la tabla 1.

Tabla 1.

Factores condicionantes y los desencadenantes ante susceptibilidad a remoción en masas.

Factores condicionantes	Factores desencadenantes
Geología	Precipitación
Edafología	
Uso de Suelo	
Pendientes	

Fuente: Elaboración propia.

Se utilizó el *software ArcMap 10.8* en la herramienta de *ArcToolbox – Spatial Analyst Tools – Map Algebra – Raster Calculator*. En ese apartado se hizo la suma de los mapas para obtención del resultado final del trabajo, buscando con ello, la identificación de las principales zonas susceptibles a deslizamientos. En este sentido, se identificaron las zonas susceptibles a deslizamientos de acuerdo con la siguiente simbología:

Tabla 2.

Simbología a utilizar.

Susceptibilidad Alta
Susceptibilidad Media
Susceptibilidad Baja

Fuente: Elaboración propia.

La susceptibilidad del terreno a sufrir deslizamientos de ladera ha sido obtenida a partir de varios factores, los cuales a su vez han sido obtenidos mediante modificaciones y combinaciones de la información recopilada. En el siguiente esquema, se muestran los mapas finales elaborados y analizados para realización del cálculo de la susceptibilidad del territorio en estudio.

Figura 1.

Factores que intervienen en el cálculo de la susceptibilidad.



Fuente: Elaboración propia.

Para la interpretación de cada uno de los factores, se utilizaron los criterios que se muestran en la tabla 3:

Tabla 3.

Criterios de comparación para determinar el índice de susceptibilidad según factor.

Factor	Parámetro	Indicador de	¿Por qué?
Precipitación mm	0 a 500 mm	Bajo	se consideran con susceptibilidad baja ya que representa poca cantidad de agua.

	500 a 1,000 mm	Medio	Se consideran con una susceptibilidad media ya que conforme aumenta la cantidad de agua, el suelo se satura más y aumenta su probabilidad de deslizamiento.
	1,000 a 1,500 mm	Alto	Se considera con susceptibilidad alta ya que la gran cantidad de agua satura el suelo y tiende a comportarse como un fluido y por ende a deslizarse.
Pendiente	De 0 A 15	Bajo	Son pendientes consideradas con una susceptibilidad baja, ya que tienen muy poca probabilidad de que ocurra una remoción en masas, esto por la poca inclinación que poseen.
	15 a 30	Medio	Son pendientes consideradas con una susceptibilidad media ya que tienen probabilidad a remoción de masas por presentar un cierto grado de inclinación moderada.
	Mayores A 30	Alto	Son pendientes consideradas con una susceptibilidad alta ya que por su grado de inclinación puede ser uno de los factores importante en la ocurrencia de remoción en masas.
Geología	Tipo de roca meta sedimentaria	Baja	Son rocas consolidadas, las cuales cuentan con un alto grado de resistencia a los movimientos, siendo poco susceptibles a remoción en masas

	Basalto, brecha volcánica, ígneas, suelo aluvial, toba, ígneas extrusivas internas Andesita, residual	Media	Su comportamiento va a depender de la zona en que se encuentren y qué tan expuestas están a corte de laderas.
		Alta	su comportamiento tiene un alto grado de susceptibilidad, ya que es material suelto y expuesto a las alteraciones del intemperismo
Suelos	Unidad de pertenencia regosol, cambisol y feozem Andosol, Acrisol, Luvisol	Baja	De acuerdo con sus propiedades es poco probable a remoción en masas. Por ser suelos que son aptos para uso urbano, están presente en superficies planas.
		Media	Susceptibilidad moderada a remoción por sus propiedades que lo componen y las condiciones en las que se encuentran pequeñas elevaciones y suelos casi desnudos.
	Vertisol y litosol	Vertisol y litosol	Por su composición puede haber caída de roca o materiales, la susceptibilidad a remoción en masa es alta en estas unidades. Las encontramos en suelos aptos para la agricultura y algunos suelos desnudos.

Uso de suelo	Bosque, cuerpo de agua, bordos y superficie artificial	Baja	Se consideraron con baja susceptibilidad a los bosques y cuerpos de agua, debido a que ellos generan cohesión de los suelos producto de las raíces que tiene. Además, coadyuvan al proceso de filtración, ayudando de manera significativa, a la sujeción del suelo.
	Minería, ruinas, pastizales	Media	Se le asignó esta categoría a los pastizales, ruinas y minería porque su cubierta es intermitente y la profundidad de sus raíces es escasa en comparación con los árboles de uso forestal. Razón por la cual no ayuda a la sujeción del suelo.
	Agricultura y área sin vegetación alta	Alto	Los suelos considerados con una alta susceptibilidad a remoción en masas son los que tienen fines agrícolas, así como los suelos desnudos. La razón es que carecen de biota que genere cohesión en sus granos y, por lo tanto, resultan vulnerables a los agentes intemperantes.

Fuente: Elaboración propia

Las capas para la generación de los mapas fueron obtenidas de la plataforma del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) y del servicio geológico mexicano, en formato shape. De la misma manera, se implementó un proceso para la elaboración de los mapas que se tomaron en cuenta para la identificación de los factores que influyen en un deslizamiento. (ver figura 2)

Figura 2.

Flujo de procesos para la obtención de mapas resultantes.



Suma de mapas anteriores: Mapa de susceptibilidad o deslizamiento en el municipio de Tenango del Valle

Fuente: Elaboración propia

Resultados y discusión

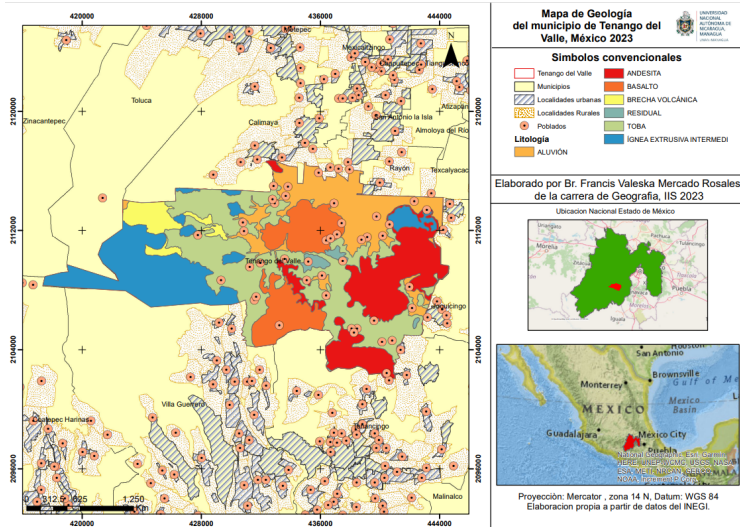
De acuerdo con Lara y Sepúlveda (2008) la geología y la geotecnia influyen en mayor o menor grado en la generación de eventos diversos relacionados con la remoción en masa. Entre los factores de esta categoría, se cuentan el tipo de depósito y el material que lo compone, su densidad, plasticidad, humedad, permeabilidad; la litología de las rocas, su estructura, alteración y meteorización. Según el Atlas de Riesgo del Estado de México, las características estructurales y composición del municipio de Tenango del Valle tiene sus orígenes en los procesos volcánicos de la era cenozoica, evidenciados en la emisión de materiales magnéticos que formaron la provincia del eje volcánico, con grandes sierras como el Nevado de Toluca. (Protección Civil del Estado de México, 2013).

La geología del municipio de Tenango está compuesta por rocas de origen ígnea intrusiva y extrusivas. Al noreste y noroeste de su territorio se encuentran cenizas, arenas y gravas volcánicas compactadas y cementadas que coincide con la geología digitalizadas correspondientes a zonas medias, por ser materiales sueltos y expuestos a su fragmentación, sea esto como consecuencia de la humedad, meteorización o materia orgánica.

En la zona central del municipio, se distribuyen una variedad de rocas ígneas de origen volcánico: basaltos, tobas y andesitas, ubicadas en las partes de mayor grado de inclinación, como es el Nevado de Toluca, tal como se aprecia en la figura 3. En el mapa de geología del municipio se observa que el mayor porcentaje (81 %) del territorio en estudio está compuesto por rocas de tipo basalto, brecha volcánica, ígnea y toba, convirtiéndolo en una zona de susceptibilidad media a sufrir remoción en masa. El 19 % restante está compuesto por rocas de tipo andesita y residual, con una susceptibilidad alta. (ver figura 3)

Figura 3.

Mapa de Geológico del municipio de Tenango del Valle, México.

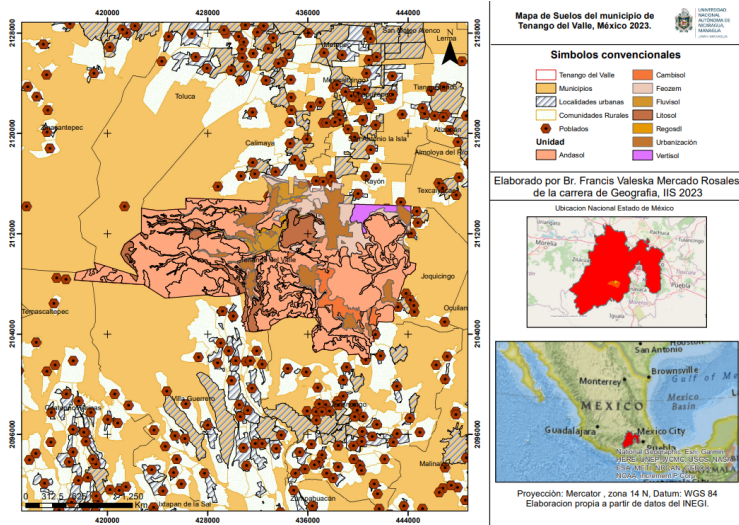


Fuente: Elaboración propia

Para la estandarización de datos de suelos se hizo uso del sistema de clasificación edafológica propuesta por la (UNESCO, 1991), permitiendo la categorización de las unidades edafológicas necesarias en el inventario de cálculo a susceptibilidad, ya que las propiedades físicas y químicas del suelo influyen, siendo un factor de gran relevancia en la ocurrencia de procesos de remoción en masa. Por tanto, los factores condicionantes para las unidades del suelo se midieron con respecto a los criterios de la tabla 3, obteniendo como resultado que las zonas donde existe el tipo de suelo vertisol y litosol son áreas clasificadas como de alto nivel de susceptibilidad de remoción de masas. Zonas que, por su composición, están propensas a caída de rocas o materiales y al ser zonas urbanas en procesos de expansión hacia terrenos más inclinados y algunas zonas destinadas a la agricultura representan un peligro inminente para sus pobladores.

Figura 4.

Mapa de suelos del municipio de Tenango del Valle, México.



Fuente: Elaboración propia

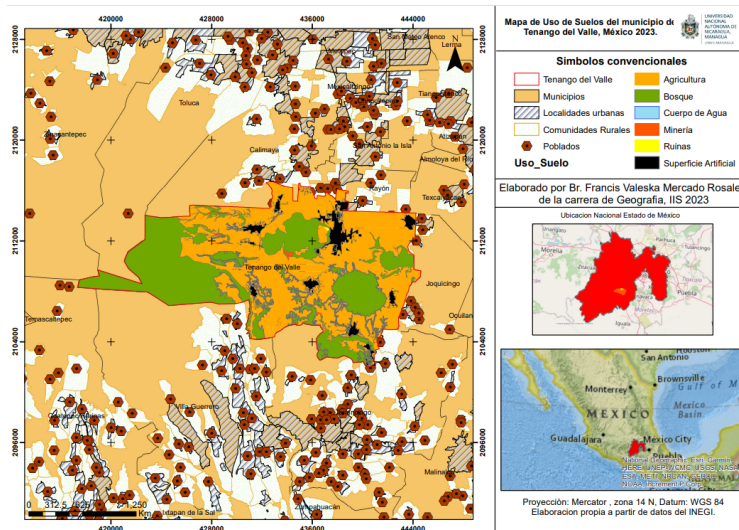
Las zonas destinadas a la agricultura, anteriormente mencionadas, albergan localidades urbanas con pendientes medias de 15 a 30° como es el caso de San Francisco de Tepexozuca, San Francisco Tietletan, Las cruces, San francisco Putlan. Importante es destacar que, esta unidad de suelo, forma parte del uso de suelo destinado a bosques, catalogado este último, como de baja susceptibilidad, permitiendo asociarlo al cambio que este ha venido experimentando gracias a factores de alteración antropogénica, como la extracción de madera, aceites, materia prima proveniente de bosques, actividades que han alterado la unidad de pertenencia de origen del suelo. (ver figura 4)

El uso de suelo es un factor fundamental a la hora de hacer cálculos acerca de los elementos que cumplen una importante función en la estabilidad de laderas, principalmente por el uso que se le da, permitiendo la identificación de la capacidad de cohesión del suelo. Por esta razón, en este apartado se incluyen campos indicativos de la presencia de susceptibilidad, antes y después de la ocurrencia de un proceso de remoción en masa (Alcántara y Murillo, 2007). En la figura 4 se puede ver el mapa de uso del suelo del municipio de Tenango del Valle, apreciándose que más del 54 % del territorio es destinado a la agricultura. La condición de ser suelos desnudos, carentes de biota que genere cohesión en sus granos, lo convierte en una zona con alta susceptibilidad a remoción de masas y, por lo tanto, vulnerables a los agentes intemperantes.

Ahora bien, el 13% del área del municipio de Tenango del Valle posee una susceptibilidad media por tener pastizales, ruinas y minería. La razón es que la cubierta de estos suelos es intermitente y la profundidad de sus raíces es escasa en comparación con los árboles que corresponden al uso forestal, no ayudando a la sujeción del suelo. El restante 33 % de la zona es clasificada con un nivel de susceptibilidad baja, por poseer suelos destinados a la actividad forestal, lo que permite que el suelo se compacte y evite la remoción o desprendimiento de laderas.

Figura 5.

Mapa de uso de suelo del municipio de Tenango del Valle, México.



Fuente: Elaboración propia

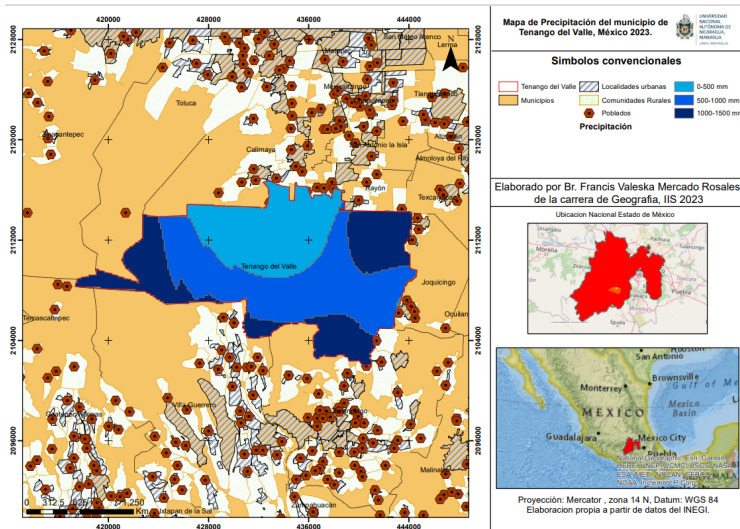
Con relación a las precipitaciones en la zona en estudio (ver figura 6) se observa que el centro norte tiene los valores con menos regímenes de precipitación (mm) debido a que es un área con un nivel homogéneo, con pocos vientos y sistemas montañosos. En esta área (centro norte) no son comunes las lluvias orográficas, entendidas estas, como la que se produce por el ascenso del aire húmedo. En este sentido, al encontrarse con un obstáculo orográfico, como una montaña, no logra alcanzar altura y no se produce la precipitación. En las zonas noreste, noroeste y suroeste se registran los mayores acumulados de lluvia de 1000 a 1500 mm registrada en los últimos años, esto debido a que es un área donde convergen los frentes fríos producto de las principales elevaciones con pendientes mayores a los 30°.

Según el comportamiento de la precipitación en el municipio de Tenango del Valle, los territorios localizados al norte, donde el grado de inclinación de las pendientes es media y el uso actual de suelo, en su mayor parte, es de bosques, se clasifica como un área de bajo

nivel de susceptibilidad, debido al poco nivel de precipitación que reciben (0 a 500 mm). Mientras que las zonas del centro tienen una media susceptibilidad a remoción en masa y las áreas del suroeste, sureste y noroeste son consideradas con una susceptibilidad alta, debido a que la gran cantidad de agua satura el suelo y tiende a comportarse como un fluido y por ese motivo a deslizarse hacia las partes bajas.

Figura 6.

Mapa de suelos del municipio de Tenango del Valle, México.



Fuente: Elaboración propia

Bajo los criterios mostrados en la tabla 3, se observa en el mapa de pendientes (ver figura 7) zonas en color rojo que representan las de mayor índice de inclinación, siendo pendientes superiores a 30°. Estas zonas se ubican cerca del nevado de Toluca, cerro Xiuxtépetl, cerro Tetépetl, cerro Tetépetl. Las de color amarillo representan zonas medias con inclinación de 15°- 30|° máximo, mientras que las zonas en color verde, la inclinación es casi nula o muy escasa correspondiendo a zonas aptas para el uso urbano y bosques.

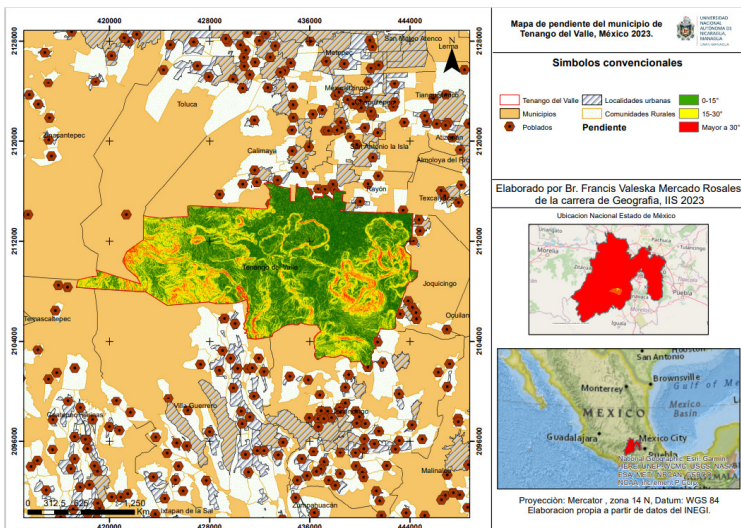
Según el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) de México, las pendientes del municipio de Tenango del Valle la conforman Sierra volcánica con estrato volcanes o estrato volcanes aislados (29.08%), Escudo volcanes con mesetas (25.6%), Vaso lacustre de piso rocoso o cementado (19.17%), Lomerío de basalto (18.4%), Llanura aluvial (7.7%) y Lomerío de basalto con cañadas (0.05%). A pesar de que el Atlas Municipal de Riesgos de Tenango del Valle trabaja con una terminología diferente a las unidades de suelo, su clasificación viene siendo muy parecida a la realidad encontrada, de acuerdo con los datos obtenidos en esta investigación.

Una vez evidenciado y compartido el análisis y clasificación de los factores desencadenantes para los procesos de remoción en masa, se presenta el mapa resultante que indica el nivel de susceptibilidad del municipio de Tenango del Valle. Como se aprecia en el mapa de susceptibilidad (ver figura 8), las zonas de baja susceptibilidad representadas en color verde oscuro corresponden a un 25 % del total de territorio, siendo sectores estables debido a la poca inclinación del terreno con materiales consolidados. Pero a su vez algunas localidades urbanas se están expandiendo a zonas de susceptibilidad alta.

Dando continuidad a los resultados del mapa, las zonas de color amarillo corresponden a sectores con una media susceptibilidad, existiendo la posibilidad de un fenómeno de remoción en masas, debido a la existencia de pendientes semi inclinadas, aunque cuenta con suelos y rocas consolidadas que abarcan un 40% de todo el territorio. En estas áreas no se debe permitir la construcción de infraestructura si no se realizan previamente estudios geotécnicos y se mejora la condición del sitio. Las mejoras pueden incluir: movimientos de tierra, estructuras de retención, manejo de aguas superficiales y subterráneas, bioestabilización de terrenos, entre otras. Por último, las zonas de color rojo representan a un 35 % del total de territorio que contiene sectores poco estables, con inclinación, materiales poco consolidados y escasa vegetación.

Figura 7.

Mapa de suelos del municipio de Tenango del Valle, México.



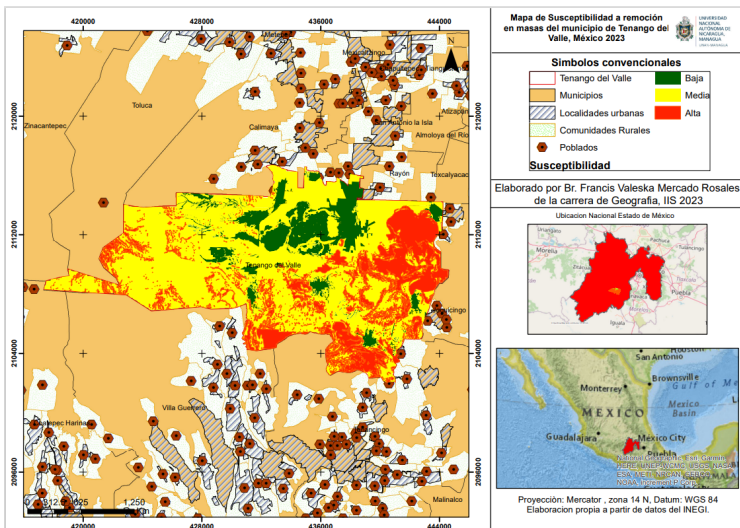
Fuente: Elaboración propia

Para finalizar la discusión, en caso de sismos de magnitud importante y lluvias de intensidad alta, las probabilidades de remoción son muy altas en gran parte del territorio que comprende el municipio. Para la utilización de estos suelos, se deben realizar estudios de estabilidad a detalle y la implementación de medidas correctivas que aseguren la estabilidad del sector. En caso contrario prohibir su uso con fines urbanos, debiendo mantenerse como áreas de protección.

Es bueno recalcar que la parte de las zonas de riesgo a remoción en masas se encuentra al noreste del municipio, afectando las zonas urbanas de Santa María Jajalpa, San Francisco Tepexoxuca, San Bartolomé Atlatlahuca, San Pedro Zictepec y El Zarzal. No obstante, estas áreas son afectadas mayormente en los alrededores. En este caso, si la expansión de la zona urbana sigue en aumento, la población se enfrentaría a una vulnerabilidad mayor en los próximos años, significando así un riesgo latente para sus habitantes. Por ello, el resultado de esta investigación sería de mucha utilidad para las autoridades municipales, al permitirles la elaboración de nuevos planes de ordenamiento territorial que vayan en consonancia con las necesidades del territorio y la prevención de los riesgos existentes en ellas.

Figura 8.

Mapa de susceptibilidad a remoción en masas del municipio de Tenango del Valle, México.



Fuente: Elaboración propia

Conclusiones

El municipio de Tenango del Valle se asienta sobre una superficie de relieve de diferentes variaciones, cuya susceptibilidad ante procesos de remoción en masa es mayormente media y alta. El grado de susceptibilidad identificado fue producto de los factores plateados por los componentes geológicos del lugar, representados en gran medida, por una extensa rampa de piroclastos y por montañas en bloque, con pendientes medias y disectadas. Son unidades morfológicas donde se concentra la mayor parte de las áreas propensas a estos procesos gravitacionales. Durante el trabajo de investigación, se pudo actualizar la información básica fundamental para la toma de decisiones en planes de ordenamiento territorial,

La zonificación de áreas en riesgo está estrechamente ligada al grado de vulnerabilidad de la población, a las propiedades de los materiales y al relieve actual. Esta perspectiva organizativa, permitió por un lado, la delimitación de zonas susceptibles a remoción en masa en el municipio de Tenango del valle, facilitando información valiosa a las autoridades correspondientes, de manera tal que, les permita atender de manera específica los casos que así lo requieran; la elaboración de planes de ordenamiento territorial, gestión de riesgo y la entrega con exactitud, de información actualizada de zonas de alta peligrosidad, no aptas para la modificación, corte o remoción del terreno para construcción. Por otro, los resultados plasmados en el mapa de zonas susceptibles a remoción en masas podrán ser empleados para la elaboración de planes de prevención de desastres y mitigación del riesgo por inestabilidad de laderas. Así mismo, para la planeación de manejo de estrategias relacionadas con el crecimiento de las poblaciones.

Si bien, los mapas elaborados no pueden indicar la ocurrencia de dichos procesos, visto desde el punto de vista temporal (no pueden indicar cuándo ocurrirán) sí muestran de manera espacial los sitios potencialmente inestables. De igual manera, es importante mencionar que el trabajo aquí presentado, es el resultado de la integración de los aspectos teóricos de los procesos de remoción en masa y del manejo de modelos, del análisis de las condiciones físicas del relieve y de los materiales que lo componen (véase tabla 1) vinculados con los aspectos sociales de la población, resultando fundamental este entramado, para la evaluación del riesgo por remoción en masas.

Por otro lado, se identificó la importancia del mejoramiento y ampliación del conocimiento de este tema, así como la información científico-técnica necesaria para la toma de decisiones, como es el caso de temas enfocados a la gestión de riesgo, al tomarse como instrumentos claves que aportan una significativa utilidad en las poblaciones. Esta perspectiva, permite la anticipación y una mejor preparación ante las amenazas expuestas en esta investigación. Con este estudio y sus resultados, se contribuye sobremanera a la mitigación, reforzamiento y prevención de ocurrencia de desastres y calamidades en cualquier territorio, salvaguardando las vidas de sus habitantes.

Listado de referencias

- Alcántara Ayala, I., Murillo García, F. G. (2009). Procesos de remoción en masa en México: hacia una propuesta de elaboración de un inventario nacional. *Investigaciones Geográficas*, (66). <https://doi.org/10.14350/rig.17981>
- Andrew, S. (Ed) (2004). *Encyclopedia of Geomorphology*. Routledge, A.S. Goudie. Vol. 1. https://courses.ess.washington.edu/ess306/links/Goudie_Encyclopedia_of_Geomorphology.pdf
- Ayuntamiento de Tenango del Valle (2022) Plan de Desarrollo Municipal 2022-2024. *Ayuntamiento de Tenango del Valle* https://copladem.edomex.gob.mx/sites/copladem.edomex.gob.mx/files/files/pdf/Planes%20y%20programas/Mpales-20222024/Tenango_del_Valle_PDM_2022_2024.pdf
- Chaverri Molina, I. F. (2016). *Zonificación de la susceptibilidad a deslizamiento, por medio de la metodología Mora Vahrson, en la microcuenca del Río Macho, San José, Costa Rica*. [Tesis para optar al título de Licenciatura en Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica]. Archivo digital https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/7054/Zonificacion_susceptibilidad_deslizamiento_metodologia_mora_vahrson.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Correa, C. C. (2022). Diseño e implementación de la guía metodológica para la gestión del riesgo a los fenómenos de remoción en masa en el municipio de Guayabetal, Cundinamarca. Universidad Militar Nueva Granada. <http://hdl.handle.net/10654/44365>.
- Gómez Gonzáles, P. I., y Jiménez Sánchez, P. L. (2017) *Asentamientos humanos irregulares en zonas de riesgo: caso de Tenango del Valle, Estado de México*. [Tesis para optar al título de Licenciado en planificación territorial, Universidad Autónoma del Estado de México]. Rep. <http://hdl.handle.net/20.500.11799/66669>
- Hausser, A. (1995). Flujos de barro en la zona preandina de la región metropolitana: Características, causas, efectos, riesgos y medidas preventivas. *Revista geológica de Chile*, No.24, pp. 75-92 <http://www.andeangeology.cl/index.php/revista1/article/view/V12n1-a06>
- Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales. (2004). *Mapa de susceptibilidad a deslizamientos de Nicaragua. Managua, Nicaragua*. [presentación de PowerPoint] https://webserver2.ineter.gob.ni/desliza/estudios/Mora_Vahrson.pdf
- Lugo. J. (2011). *Diccionario Geomorfológico*. I Edición. Instituto de Geografía, UNAM. <http://www.publicaciones.igg.unam.mx/index.php/ig/catalog/book/32>

- Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. (2004). *Memoria técnica para el mapa de susceptibilidad de deslizamientos de tierra en El Salvador*. Servicio Nacional de Estudios Territoriales. <https://app.ingemmet.gob.pe/biblioteca/pdf/Amb-21.pdf>
- Mora, S., y Vahrson, W. (1994). *Mapa de amenaza de deslizamiento, Valle Central Costa Rica*. Centro de coordinación para la prevención de desastres naturales en América Central. CEPREDENAC.
- Mora, S., y Vahrson, W., (1994): Macrozonation methodology for landslide hazard determination. *Researchgate Association of Engineering and Geologist Vol XXI N°1* . <https://doi.org/10.2113/gseegeosci.xxxi.1.49>
- FAO (2023). *Base de datos mundial armonizada de suelos v2.0*. Portal de suelos de la FAO <https://www.fao.org/soils-portal/data-hub/soil-maps-and-databases/harmonized-world-soil-database-v20/en/>
- Coordinación General de Protección Civil del Estado de México. (2019). Atlas Municipal de Riesgos de Tenango del Valle. Ayuntamiento de Tenango del Valle.
- https://www.tenangodelvalle.gob.mx/transparencia/areas/protecc_civil/Art_94/i_j/Atlas_Riesgos_Formato_2020.pdf
- Sepúlveda Valenzuela, S., Rebolledo Lemus, S., Verdugo Alvarado, R., y Elgueta Dedes, S. (1998). *Metodología para evaluar el peligro de flujos de detritos en ambientes montañosos: aplicación en la quebrada Lo Cañas, Región Metropolitana*. [Tesis para optar al título de Licenciado en Geología]. Universidad de Chile https://portalgeo.sernageomin.cl/Informes_PDF/RMET-147.pdf