

# Análisis de los movimientos de laderas en el municipio de Ecatepec de Morelos

Analysis of hillside movements in the municipality of Ecatepec de Morelos

Brian León González<sup>1</sup>, \*Alexis Ordaz Hernández<sup>1</sup>, José Emilio Baró Suárez<sup>1</sup>, Jesús Gastón Gutiérrez Cedillo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Geografía, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca de Lerdo, México. 50110. Tel. 722 215 0255.  
brian123.1a@hotmail.com, aordazh@uaemex.mx\*, jebaros@uaemex.mx, jggutierrezc@uaemex.mx,

\*Autor de correspondencia

## Resumen

Se presenta el análisis de susceptibilidad a deslizamientos en el municipio Ecatepec de Morelos, México, utilizando la metodología de Mora Vahrson para la generación de la cartografía. El objetivo se centra en identificar las zonas más propensas a sufrir deslizamientos. Se recopiló datos geológicos, geomorfológicos y de cobertura del suelo, los cuales fueron analizados y ponderados según los criterios establecidos por la citada metodología. El mapa resultante mostró bajos, medios y altos niveles de susceptibilidad a deslizamientos. Las zonas de media y alta susceptibilidad se caracterizan por pendientes entre los 10° y 38°, en relieves montañosos fuertemente disecionados, donde se emplazan las colonias Santa María, Tierra Blanca, Santa Clara Ocotitla y el fraccionamiento Social Progresivo Santo Tomas Chiconautla. La información obtenida es relevante considerando el crecimiento urbanístico del municipio y la necesidad de ocupar zonas seguras.

**Palabras clave:** Ecatepec de Morelos; susceptibilidad; deslizamientos; riesgo.

## Abstract

In this work, an analysis of susceptibility to landslides in the municipality of Ecatepec de Morelos, Mexico, using the Mora Vahrson methodology for cartography generation is presented. The objective is to focus on and identify the areas most prone to landslides. Geological, geomorphological, and land cover data were collected, which were analyzed and weighted according to the criteria established by the aforementioned methodology. The resulting map showed low, medium, and high susceptibility levels to landslides. Areas of medium and high susceptibility are characterized by slopes between 10° and 38°, in strongly dissected mountainous terrains, where the neighborhoods Santa María, Tierra Blanca, Santa Clara Ocotitla, and the subdivision Social Progresivo Santo Tomas Chiconautla are located. The information obtained provides high importance considering the urban growth of the municipality and the need to occupy safe areas.

**Keywords:** Ecatepec de Morelos; susceptibility; landslide; risk.

Recibido: 31 de agosto de 2023

Aceptado: 27 de mayo de 2024

Publicado: 24 de julio de 2024

**Cómo citar:** León González, B., Ordaz Hernández, A., Baró Suárez, J. E., & Gutiérrez Cedillo, J. G. (2024). Análisis de los movimientos de laderas en el municipio de Ecatepec de Morelos. *Acta Universitaria* 34, e3997. doi: <http://doi.org/10.15174/au.2024.3997>

## Introducción

Los deslizamientos han ocasionado pérdidas humanas y económicas de consideración, especialmente cuando se combina la ocurrencia del fenómeno con la presencia de asentamientos humanos y la infraestructura. Las consultas de datos oficiales para México indican 26 declaratorias de emergencias y desastres en el año 2022, de las cuales cuatro corresponden a movimientos de remoción en masa (MRM) que se localizaron en Oaxaca, Veracruz y Chiapas (Centro Nacional de Prevención de Desastres [Cenapred], 2024). Un caso reciente (marzo del 2023) se suscitó en el fraccionamiento La Sierra, en la ciudad de Tijuana, donde colapsaron dos edificios. En este ejemplo se combinaron factores antrópicos, especialmente cortes artificiales en las laderas y la saturación de humedad del terreno.

Derivado del potencial de afectaciones que generan los fenómenos geológicos, hidrometeorológicos, accidentes químicos, entre otros, el gobierno mexicano intenta establecer estrategias nacionales que mitiguen sus efectos. Atendiendo a lo anterior, el Programa Nacional de Protección Civil 2022-2024 en su primer objetivo prioritario expone "Prevenir y reducir riesgos de desastres, mejorar su conocimiento y establecer acciones que promuevan la resiliencia en la sociedad con respeto a los derechos humanos, perspectiva de género, enfoque diferenciado, interculturalidad y no discriminación" (Diario Oficial de la Federación [DOF], 2022).

Esta investigación se enfoca en el municipio de Ecatepec de Morelos, Estado de México, donde a través de diferentes fuentes de información se pudo revelar la ocurrencia de 25 eventos de movimientos de remoción en masa (Tabla 8). Resalta la situación de algunas localidades donde las incidencias de los movimientos de remoción en masa las convierten en un peligro latente, por ejemplo, taludes inestables en la colonia Ciudad Cuauhtémoc (Zona Sierra de Chiconautla), así como también erosión en cárcavas en la avenida La Negra y Jardines de Morelos. En el caso de la colonia Ciudad Cuauhtémoc, esta ha enfrentado problemas de deslizamientos como consecuencia de su ubicación en una zona de laderas con inclinaciones entre los 4° y 24°, aunado a la falta de medidas de mitigación acordes a la realidad física (Coordinación Municipal de Protección Civil de Ecatepec de Morelos, 2019). Según el censo realizado en 2020 por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2020), el municipio tiene una población de 1 815 786 habitantes, distribuida en 160 km<sup>2</sup>. Urbanísticamente resalta una amplia red de carreteras, comercios y sectores residenciales (INEGI, 2020).

Los elementos expuestos justifican la generación de una cartografía que refleje los sitios más susceptibles a los deslizamientos en el municipio Ecatepec de Morelos (objeto de este trabajo). El producto generado debe permitir al gobierno local el diseño de un plan de acciones consistentes dirigidas a 1) redireccionar la planeación territorial futura de este espacio geográfico y 2) adoptar medidas de mitigación y/o adaptación ante el fenómeno estudiado.

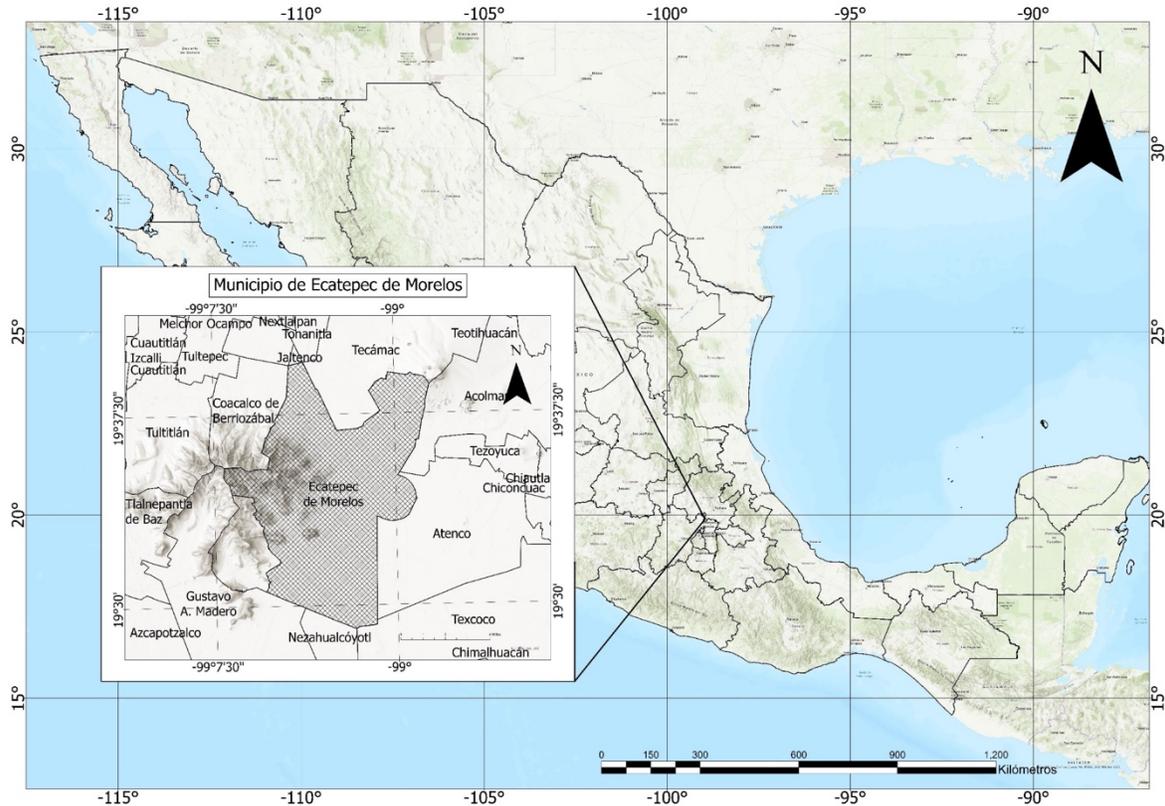


Figura 1. Ubicación del municipio Ecatepec de Morelos.  
Fuente: Elaboración propia con base en datos de Conabio (2020).

## Materiales y métodos

### Área de estudio

Ecatepec de Morelos constituye el objeto de estudio en esta investigación, se ubica en la parte central del país, con coordenadas geográficas aproximadas de  $19.6047^{\circ}$  N y  $-99.0502^{\circ}$  O (Figura 1). Limita al norte con Coacalco de Berriozábal y Tecámac, al sur con la Ciudad de México, al este con Tecámac y al oeste con Tlalnepantla de Baz. El municipio abarca aproximadamente  $160 \text{ km}^2$ , y en su porción norte se extiende la Sierra de Guadalupe, una sierra volcánica que marca el límite con la Ciudad de México. Estas montañas presentan relieves abruptos y pronunciados. En contraste, la parte sur del municipio se caracteriza por colinas y lomeríos suaves. La altitud máxima estimada en Ecatepec de Morelos es de aproximadamente 2900 metros sobre el nivel del mar (m. s. n. m.), mientras que la altitud mínima se sitúa alrededor de 2200 m. s. n. m.

La ubicación geográfica de Ecatepec de Morelos y su clima son factores que contribuyen a la ocurrencia de deslizamientos. La región está influenciada por las condiciones climáticas prevalentes en la zona central de México, incluyendo temporadas de lluvias intensas. Por ejemplo, el deslizamiento ocurrido el 29 de septiembre del 2021, detonado por una granizada con duración aproximada de una hora, provocó un deslizamiento en rocas andesíticas-dacíticas del Terciario-Neógeno (Servicio Geológico Mexicano [SGM], 2014) emplazadas en laderas de  $10^{\circ}$  a  $16^{\circ}$  de inclinación en la colonia la Palma. El evento sepultó dos viviendas y lesionó a una persona (El Financiero, 2021).

## Materiales y métodos

Considerando el objetivo de la investigación, así como las características físicas del municipio y el nivel de información actual, se selecciona el método propuesto por Mora y Vahrson (Mora & Vahrson, 1994). El método considera el análisis de los factores condicionantes y desencadenantes de los deslizamientos. El mismo ha sido validado para espacios geográficos de Centroamérica y México, donde los principales factores detonantes son las precipitaciones y los sismos. Los trabajos más recientes donde se aplicó el citado método en Centroamérica fue en la Microcuenca del Río Macho, en Costa Rica (Quesada & Feoli-Borashchi, 2018), y en la Reserva Biológica Montecillos, en Honduras (Ávila, 2019), mientras que para México se han aplicado a escala municipal en Malinalco y Coatepec Harinas (Arias & Camacho, 2023; Valdez *et al.*, 2022).

De esta forma, y considerando la propuesta de Mora & Vahrson (1994), se estimó la susceptibilidad por deslizamientos de acuerdo con las ecuaciones 1 y 2.

$$\text{Susceptibilidad} = FC * FD \quad (1)$$

$$\text{Susceptibilidad} = (FC_P * FC_{L-E} * FC_H) * (FD_{PR} + FD_S + FD_U) \quad (2)$$

donde FC y FD representan los factores condicionantes y desencadenantes, respectivamente. Para determinar la influencia de los factores condicionantes, se consideran las pendientes del terreno ( $FC_P$ ), litología y elementos estructurales ( $FC_{L-E}$ ) y la humedad del terreno ( $FC_H$ ). Y dentro de los factores desencadenantes se valoran la intensidad de las precipitaciones ( $FD_{PR}$ ), la sismicidad ( $FD_S$ ) y el uso del suelo ( $FD_U$ ). En su forma original, el método de Mora y Vahrson considera seis niveles de susceptibilidad a deslizamiento, los cuales son Muy bajo, Bajo, Moderado, Medio, Alto y Muy Alto. En esta investigación, para Ecatepec de Morelos los niveles Moderado y Medio se unificarán y se reconocerán como Medio, a fin de propiciar una interpretación cartográfica más precisa durante la toma de decisiones en la gestión municipal.

El resultado cartográfico obtenido de la realización del algebra de mapas, de acuerdo con la ecuación 2, se pretende validar mediante un inventario de deslizamientos ocurridos en el municipio y su posterior superposición de los puntos en la cartografía resultante.

### Factor condicionante pendiente del terreno ( $FC_P$ )

Para el análisis del factor pendiente del terreno, se utilizaron curvas de nivel con equidistancia de 20 m, extraídas de las cartas topográficas E14A29, E14B21, E14B31 y E14A39, a escala 1:50 000, de INEGI (2019), que permitió generar el modelo digital de elevación. Las pendientes del terreno se reclasifican en seis categorías y a cada una se le atribuye un factor de pendiente del terreno ( $FC_P$ ) (Tabla 1) (Figura 2).

Tabla 1. Rangos de valores de pendientes, clasificación y factor por pendiente del terreno ( $FC_P$ ).

Valor de Pendiente (m/km <sup>2</sup> )	Equivalente en grados	Clasificación	$FC_P$
0-75	0-4.29	Muy Baja	0
76-175	4.30-9.93	Baja	1
176-300	9.94-16.70	Moderada	2
301-500	16.71-26.57	Media	3
501-800	26.58-38.66	Alta	4
>800	>38.66	Muy alta	5

Fuente: Mora & Vahrson (1994).

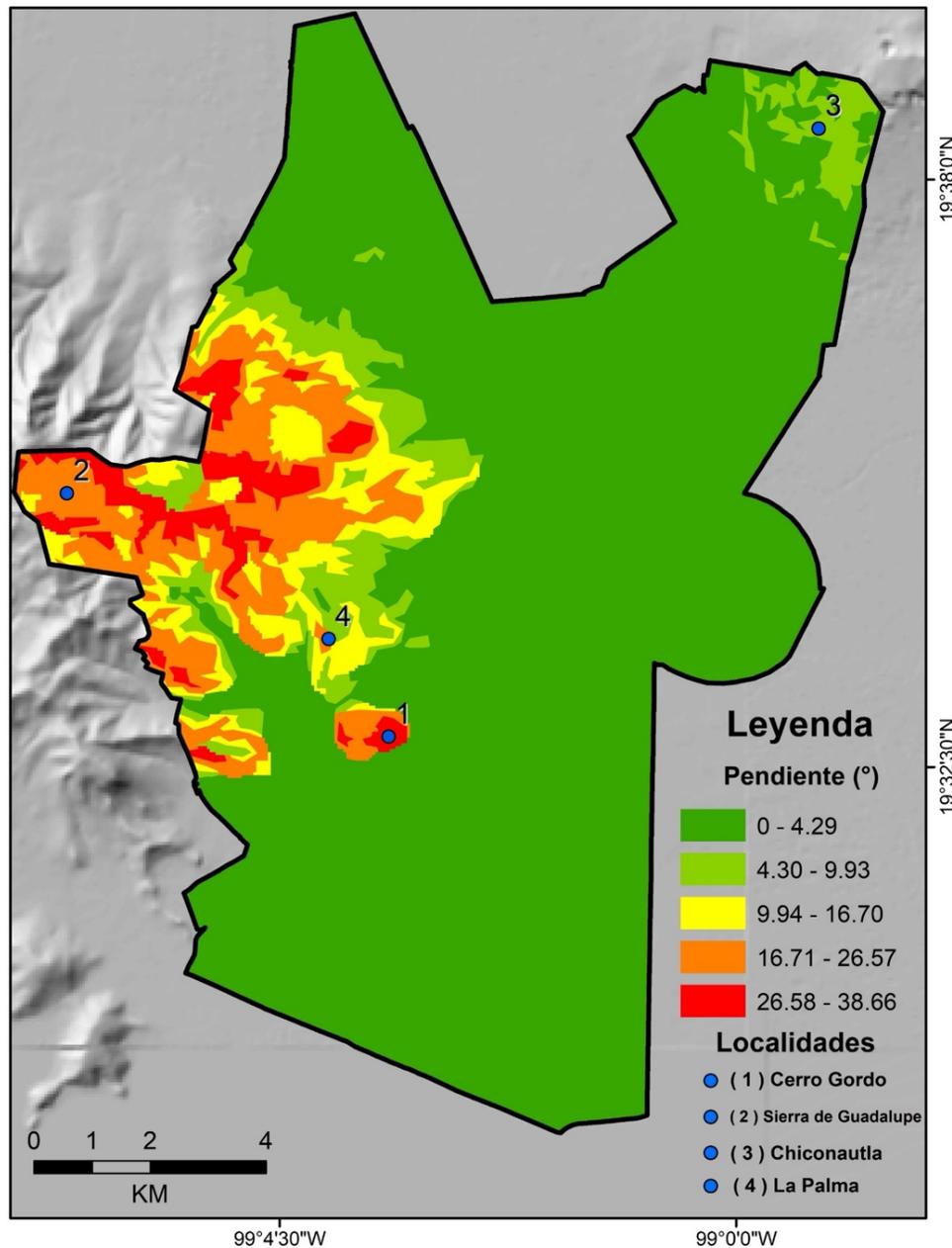
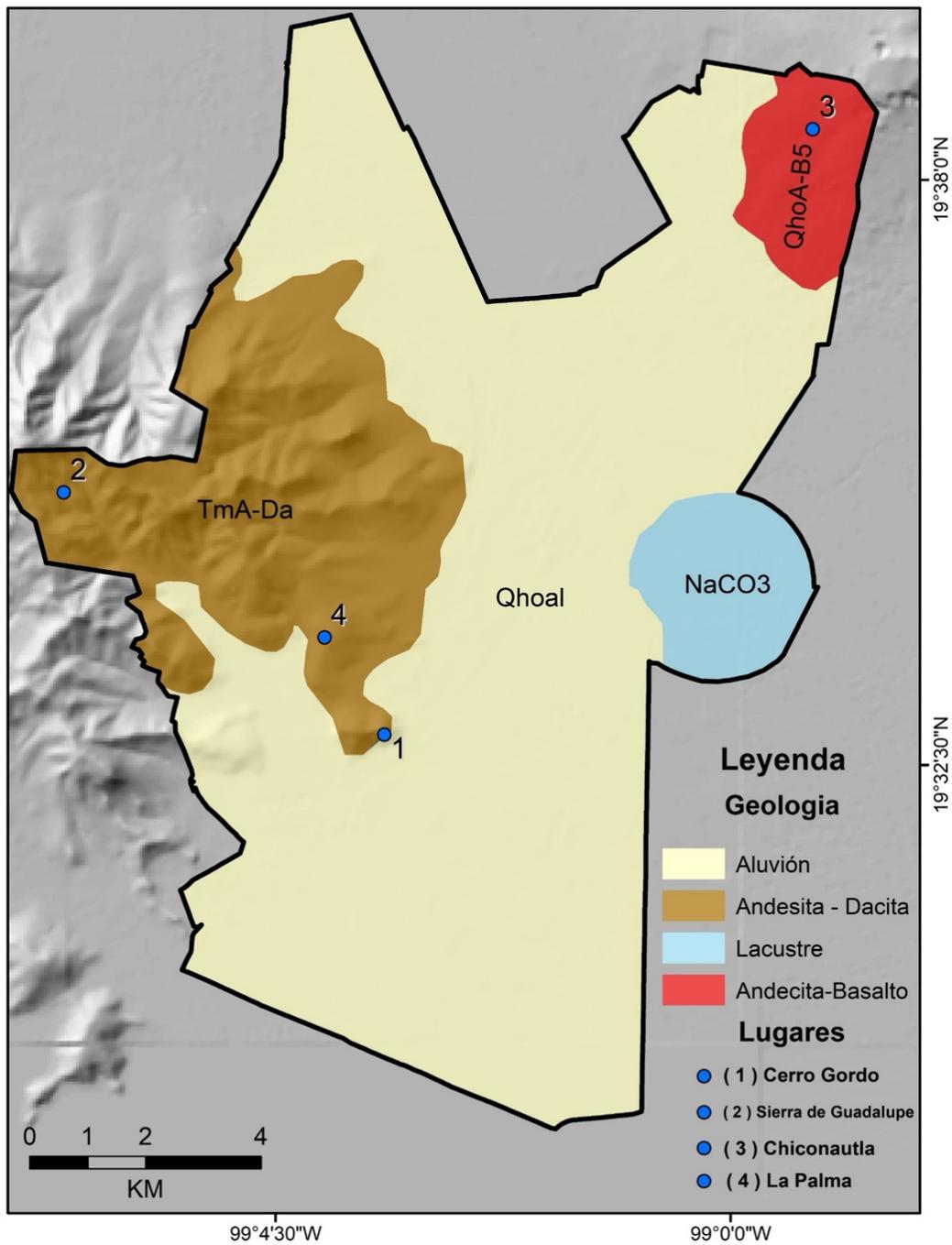


Figura 2. Comportamiento de las pendientes del terreno en el municipio de Ecatepec de Morelos.  
Fuente: Elaboración propia con base en curvas de nivel a 20 m de INEGI (2021).

### Factor condicionante lito-estructural ( $FC_{L-E}$ )

La cartografía de las litologías aflorantes en el municipio se obtuvo mediante la digitalización de la carta geológica del SGM E14-2, a escala 1:250 000, perteneciente a la Ciudad de México, donde se pudieron constatar cuatro tipos litológicos (Figura 3), los cuales fueron clasificados de acuerdo con su predisposición a sufrir deslizamientos y se les asigna un valor de  $FC_{L-E}$  (Tabla 2). Los morfolineamientos se trazaron con la interpretación realizada sobre el modelo de relieve sombreado, mismos que coincidieron parcialmente con el trazado de fallas publicado en la cartografía geológica del SGM (2014).



**Figura 3.** Morfolineamientos y aflorabilidad de las diferentes litologías en el municipio de Ecatepec de Morelos.  
Fuente: Elaboración propia con base en datos del Servicio Geológico Mexicano (SGM, 2014). Escala original 1:250 000.

Tabla 2. Caracterización de las litologías aflorantes en Ecatepec de Morelos.

Litología	Descripción	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Porosidad (%)	Resistencia a la compresión (MPa)	Clasificación	Factor L
Andesita-dacita (TrnA-Da)	Formación Xochitepec de edad Neógeno	2300-2750	0.2-8.0	80-160	Medio	2
Andesita- Basalto (Qpta-B5)	Andesitas-basaltos del pleistoceno en una serie de rocas producto de emisiones de lava y conos cineríticos que se distribuyen en la porción nororiental, abarcando poblados de Ciudad Sahagún, Tizayuca, Apizaco y los alrededores de Chignahuapan	2750-3000	0.2-1.5	40-320	Medio	2
Suelo Aluvial (Qhoal)	Aluvión, asociados a cauces de ríos y superficies de inundación conformado principalmente por gravas, arenas, cenizas y arcillas, este espesor varía de 30 m a 300 m	2100-2500	40	<25	Muy alto	5
Suelo Lacustre	El tipo de suelo consiste en depósitos lacustres muy blandos y compresibles con altos contenidos de agua, lo que favorece la amplificación de las ondas sísmicas	0-100	no aplica	<25	Muy alto	5

Fuente: Elaboración propia con base en información de González (2002) y Das (2015).

### Factor condicionante humedad (F<sub>CH</sub>)

El tercer factor condicionante analizado, con influencia en la ocurrencia de deslizamientos en el municipio, es el factor humedad (F<sub>CH</sub>). Para su análisis, se consideró información recopilada en 23 estaciones meteorológicas ubicadas dentro y en las proximidades del área municipal (Tabla 3). Se calcularon los promedios mensuales de lluvias correspondientes a estas estaciones desde 1980 hasta 2015, y se les asignó un valor para cada mes en función de dichos promedios con apoyo de la Tabla 4. Siguiendo las recomendaciones de Mora & Vahrson (1994), se sumaron todos los valores asignados a cada estación y se estableció una correlación con el factor humedad (F<sub>CH</sub>). De las 23 estaciones, 17 de ellas arrojaron un valor de factor F<sub>CH</sub> de 2, mismas que se encuentran más cercanas al perímetro municipal. De esta forma se asumió un valor de F<sub>CH</sub> igual a 2 para la aplicación de la ecuación 2 durante el álgebra de mapas.

Tabla 3. Promedio mensual de precipitación desde 1980 a 2010 a partir de los datos de las estaciones meteorológicas dentro y cercanas al municipio de Ecatepec de Morelos.

Id de La Estación	Meses del año												Total	FC <sub>H</sub>
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
15041	31.9	39.9	83.9	91.2	148	219.4	223	201.1	189.8	125.7	113.6	21.6	1489.1	2
Valor Asignado	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	6	
15383	21	21	33.4	79.2	247.4	182.8	247.4	168.7	212.7	106.8	56.5	29	1405.9	2
Valor Asignado	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	5	
15145	43.5	26.2	42	74.3	119.2	226.6	305.9	152.6	244.7	104.8	91.8	54.5	1486.1	2
Valor Asignado	0	0	0	0	0	1	2	1	1	0	0	0	5	
15167	42.5	82.3	48.5	61.4	91.8	191.2	207	150	144.7	76.5	21.2	16.3	1133.4	1
Valor Asignado	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	4	
15170	61.2	90.3	52.2	79	92.3	183	247.3	204.3	213.7	147.8	67.6	49.6	1488.3	2
Valor Asignado	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	5	
15021	11.1	7.3	29	102.2	155.4	48	178.7	131.5	45.5	61	37	4.5	811.2	1
Valor Asignado	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	3	
15125	32.3	69.5	38.8	63.6	84.3	163.8	264.2	202.2	131.3	108.4	41.7	4	1204.1	2
Valor Asignado	0	0	0	0	0	1	2	1	1	0	0	0	5	

Nota. FC<sub>H</sub> representa el valor asignado para el factor condicionante humedad. La tabla muestra los datos de siete estaciones meteorológicas de un total de 23 que fueron consideradas en el presente estudio.

Fuente: Elaboración propia con base en información del Servicio Meteorológico Nacional (SMN, 2023).

Tabla 4. Criterios para el análisis de humedad. A: valores asignados de acuerdo con el promedio mensual de precipitaciones y B: rangos resultantes de la sumatorias de valores asignados, su calificación y valor de FC<sub>H</sub>.

A		B		
Promedio mensual de precipitaciones mm/meses	Valor asignado	Rangos de acuerdo con la sumatoria de valores asignados	Calificación	FC <sub>H</sub>
<125	0	0-4	Muy bajo	1
125-250	1	5-9	Bajo	2
>250	2	10-14	Medio	3
		15-19	Alto	4
		20-24	Muy Alto	5

Fuente: Mora & Vahrson (1994).

## Factor desencadenante precipitaciones ( $FD_{PR}$ )

El primer factor desencadenante considerado, en este caso, fue la intensidad de precipitaciones ( $FD_{PR}$ ), para el cual se empleó la información contenida en la Tabla 3, proveniente de 23 estaciones meteorológicas. Se considera la precipitación máxima diaria anual acumulada en 24 horas, para un periodo de retorno de 100 años, con base en el método de regresión lineal de Gumbel (Mora & Vahrson 1994). El municipio de Ecatepec de Morelos presenta el rango de 100 mm–200 mm, y de acuerdo con la Tabla 5, se le asignó un valor de  $FD_{PR}$  de 2 (Bajo).

Tabla 5. Valoración del factor intensidad de la precipitación propuesta por Mora & Vahrson (1994).

Lluvias máximas $n > 10$ años. $Tr = 100$ años (mm)	Lluvias máximas $n < 10$ años promedio (mm)	Clasificación	Valor del parámetro $FD_{PR}$
<100	<50	Muy bajo	1
100–200	50–90	Bajo	2
201–300	91–130	Medio	3
–400	131–175	Alto	4
>400	>175	Muy alto	5

Fuente: Mora & Vahrson (1994).

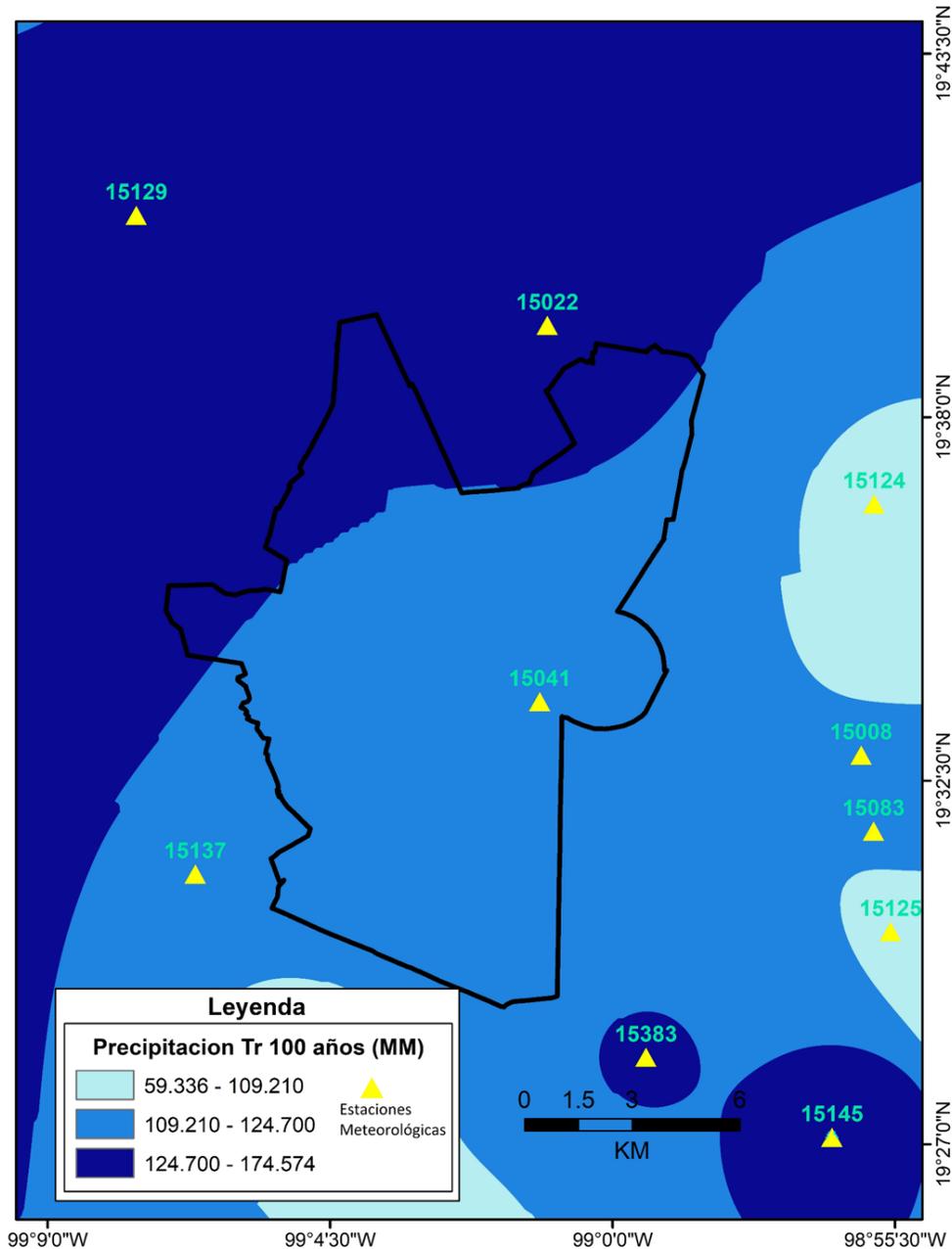


Figura 4. Distribución de los valores interpolados del factor desencadenante intensidad de Precipitaciones.  
Fuente: Elaboración propia en base a datos del SMN (2023).

### Factor desencadenante sismicidad (FD<sub>s</sub>)

Este factor se definió con apoyo del Atlas Nacional de Riesgos de la República Mexicana (Cenapred, 2022). En este caso, y de acuerdo con el atlas citado, en la capa de información Geológicos/Indicadores/Global de Intensidades, al municipio de Ecatepec de Morelos le corresponde una intensidad sísmica histórica con valor de VII, de acuerdo con la escala de Mercalli. Posteriormente, se aplicó la propuesta metodológica de Mora & Mora (1992), donde se correlaciona el valor de intensidad revelado, con un valor de FD<sub>s</sub> correspondiente a 5.

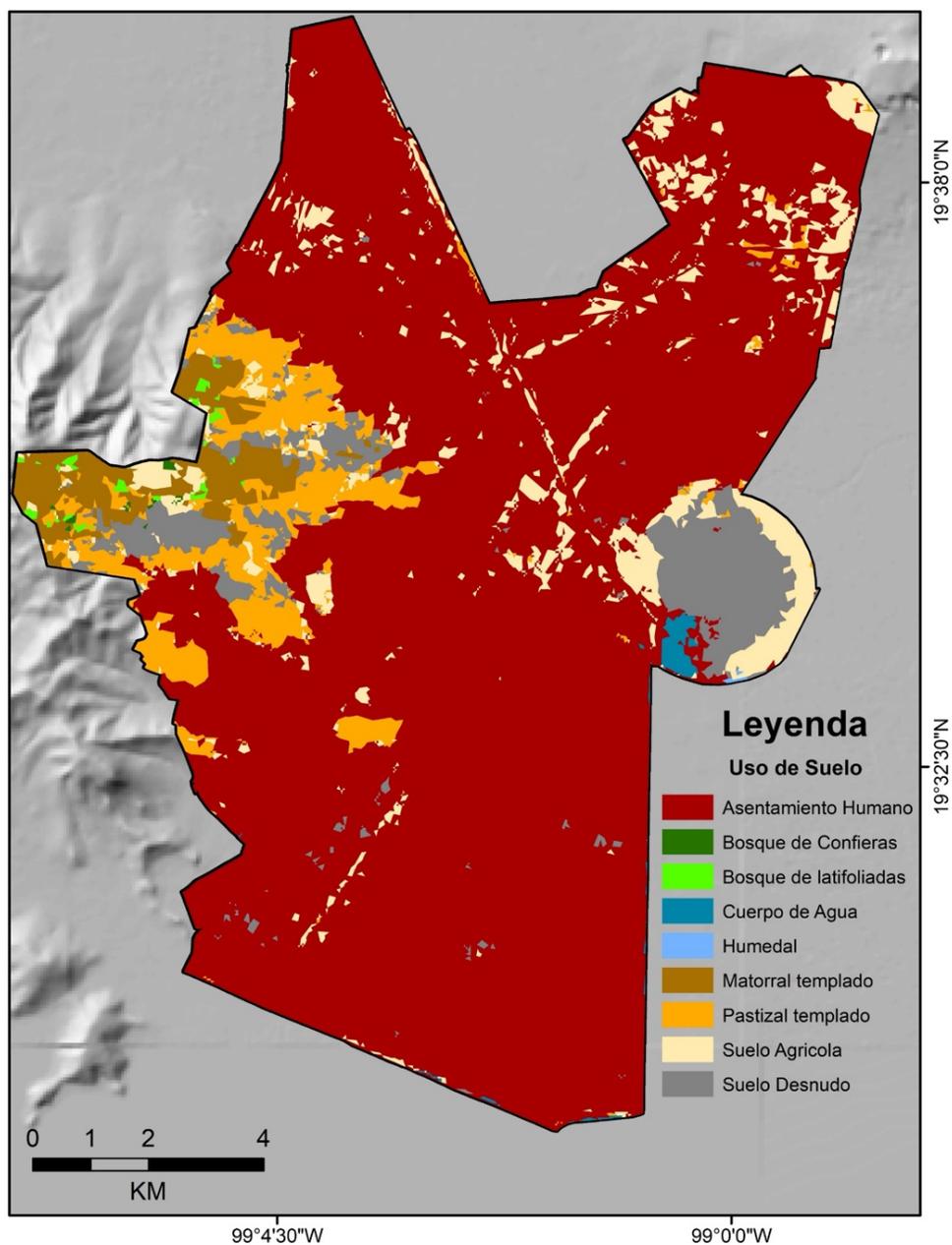
## Factor desencadenante uso del suelo (FD<sub>U</sub>)

Como último factor desencadenante, se incorporó la capa de uso de suelo, la cual fue extraída en formato ráster del geoportal de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio, 2015). Con una resolución de 30 m, se vectorizó en polígonos de acuerdo con la clasificación de usos de suelo propuesta por la Conabio para su geoprocetamiento; posteriormente, se añaden las carreteras a escala 1:50 000, obtenidas del Simulador de Flujos de Agua de Cuencas Hidrográficas del INEGI (2021) (Figura 5). Atendiendo a la relación espacial entre los deslizamientos y las carreteras, derivado especialmente de los taludes asociados a este tipo de infraestructura, específicamente cuando se transita por relieves abruptos, se decidió aplicar un área de influencia (*buffer*) con radio de 100 m a partir del eje de las carreteras; sugerencias similares se proponen en Guardado-Lacaba *et al.* (2019), Valdez *et al.* (2022) y Arias & Camacho (2023). En la Tabla 6 se relaciona el total de categorías de uso de suelo para el municipio, con una breve descripción y el valor de FD<sub>U</sub> asignado.

Tabla 6. Categorías de uso de suelo para el municipio de Ecatepec de Morelos con su clasificación asignada.

Uso del Suelo	Descripción	Clasificación	FD <sub>U</sub>
Bosques	Se distribuyen prácticamente en todo México, principalmente en las sierras madres y Eje Neovolcánico, así como en los estados de Oaxaca y Chiapas. Las especies más comunes son encino laurelillo, encino blanco y roble. Es el tipo de vegetación que cuenta con la menor superficie dentro del municipio, se encuentra en las partes más altas de la Sierra de Guadalupe.	Muy bajo	1
Matorral	Muestra predominancia de cactáceas grandes con tallos aplanados o cilíndricos como Nopaleras, Chollales, Cardonales, Tetecheras, etcétera. Se ubica en la zona de laderas del municipio.	Bajo	2
Pastizales	Son los pastos que se desarrollan en suelos con alto contenido de sales. Se localiza principalmente en las cercanías al depósito de evaporación El Caracol.	Medio	3
Uso agrícola y suelo desnudo	Zonas prácticamente desprovistas de vegetación. Se encuentra principalmente dentro de las instalaciones del depósito de evaporación. Se incluyen las áreas agrícolas del Municipio.	Alto	4
Asentamiento humano y carreteras y cuerpos de agua, humedales	Ocupan la mayor parte del municipio.	Muy alto	5

Fuente: Elaborado con base en información de Conabio (2015) y la Coordinación Municipal de Protección Civil de Ecatepec de Morelos (2019).



**Figura 5.** Principales usos del suelo en Ecatepec de Morelos.  
Fuente: Elaborado tomando como base información de Conabio (2015). Escala original 1:50 000.

Al concluir los seis mapas temáticos que expresan los factores condicionantes y desencadenantes, donde en cada uno de ellos se integró un factor de peso en función de su incidencia frente a deslizamientos, se procedió a realizar el álgebra de mapas de acuerdo con la ecuación 2. Finalmente, el valor obtenido se clasificó de acuerdo con la Tabla 7.

Tabla 7. Rangos de valores empleados para la clasificación de la susceptibilidad a deslizamientos en el municipio de Ecatepec de Morelos.

Valores obtenidos en la ecuación 2	Clasificación de la susceptibilidad por deslizamientos
0-80	Muy baja
80-144	Baja
144-220	Moderada
220-330	Media
>330	Alta

*Nota.* Para el caso de estudio de Ecatepec de Morelos, la susceptibilidad moderada y media se unificó en "Media" para valores de la ecuación 2 entre 144 y 330.

**Fuente:** Modificado de Mora & Vahrson (1994).

## Resultados

En atención al objetivo planteado, y de acuerdo con el proceso metodológico descrito, se obtuvo el mapa de susceptibilidad a deslizamientos para el municipio Ecatepec de Morelos (Figura 6). La cartografía revela un área de aproximadamente 4.9 km<sup>2</sup> que, de acuerdo con el análisis realizado en esta investigación, clasifica con "alta susceptibilidad a los deslizamientos"; esta zona se caracteriza por laderas con pendientes superiores a 30° pertenecientes a la Sierra de Guadalupe (Figura 6). El segundo factor que influyó para que la zona alcanzara la categoría de susceptibilidad alta es la coincidencia espacial con los morfolineamientos. Dentro de la zona de alta susceptibilidad no se encuentran emplazados asentamientos humanos. Con el propósito de validar los resultados obtenidos, se realizó un inventario de movimientos de remoción en masa para el municipio Ecatepec de Morelos, mediante el empleo de diferentes fuentes de información, donde ocho de los 25 deslizamientos inventariados coinciden espacialmente con el área de nivel de susceptibilidad alto. La Tabla 8 muestra un resumen de 10 movimientos de remoción en masa inventariados de un total de 25, y en la Figura 6 se muestra la posición espacial del total de MRM.

El nivel de susceptibilidad medio se extiende por un área de 28.0 km<sup>2</sup>; las pendientes oscilan entre los 10° y 30°, litológicamente representado por rocas volcánicas (andesitas y dacitas). Sobre esta zona se emplazan 10.2 km de vialidades. Las colonias Santa María, Tierra Blanca, Santa Clara Ocotitla y el fraccionamiento Social Progresivo Santo Tomás Chiconautla se disponen espacialmente en el nivel de susceptibilidad medio. Los elementos expuestos descritos sugieren la necesidad de atención por parte de las autoridades municipales (Protección Civil y Obras Públicas) para la adopción de medidas que mitiguen los efectos de los movimientos de remoción en masa. Atendiendo a los antecedentes de deslizamientos en la zona (Tabla 8), en este nivel de susceptibilidad ocurrió un flujo de detritos desencadenado por lluvias que aproximadamente alcanzaron los 75 mm en 24 h, lo que afectó al municipio del 30 de agosto al 30 de septiembre del 2021, provocando varios deslizamientos. Uno de estos eventos ocurrió en una cantera del Cerro Gordo (Figura 6) en la Colonia Santa Clara Ocotitla, donde se reportó interrupción en las vías de comunicación e inundaciones (DesInventar, 2010).

El nivel de baja susceptibilidad a los deslizamientos se caracteriza por un uso del suelo principalmente urbano, aproximadamente el 90% de la infraestructura del municipio está dispuesta en este nivel de susceptibilidad. El nivel de susceptibilidad bajo se caracteriza por pendientes inferiores a los 10°. Es importante indicar que dentro de esta categoría han ocurrido siete deslizamientos y tres flujos de suelos (Tabla 8), asociados especialmente a taludes o cortes en el terreno, que localmente han provocado serios daños. Un ejemplo de lo recién expuesto (taludes inestables) ocurrió en la comunidad Texalpa, donde al menos 140 viviendas se ubicaron en las cercanías de una mina de tepetate abandonada; y en el año 2003, Protección Civil dictaminó la reubicación de las viviendas derivada de la amenaza latente (La Jornada, 2006). En este último caso, la inestabilidad del sitio resultó a partir de taludes de 90°, producto de la extracción de materiales sin un proyecto minero coherente.

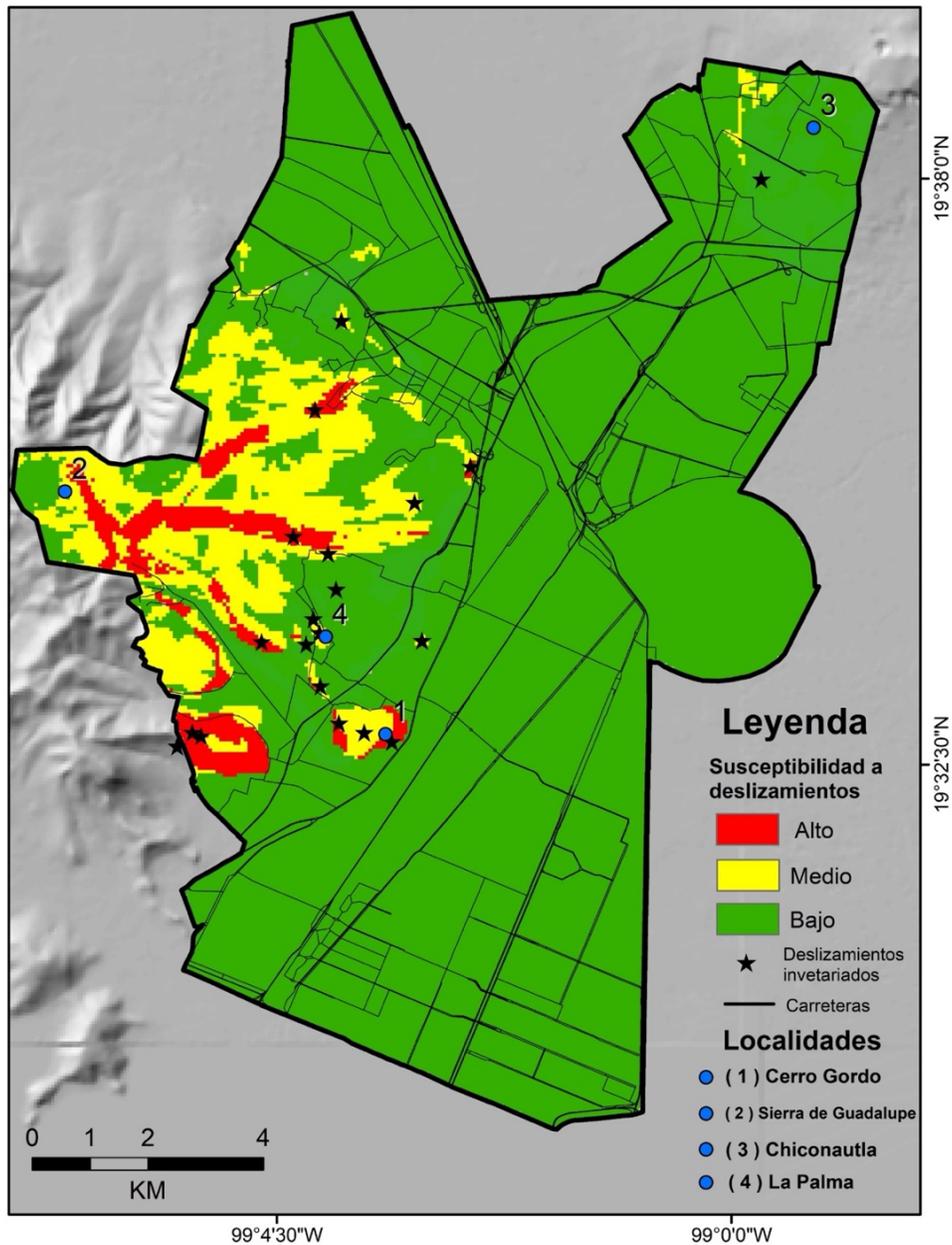


Figura 6. Susceptibilidad a deslizamientos para el municipio Ecatepec de Morelos.  
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8. Inventarios de movimientos de remoción en masa para el municipio Ecatepec de Morelos.

Fecha	Localidad	Tipo de MRM	Descripción de los daños	Fuente
6/6/2022	Guadalupana	Desprendimiento de rocas	Fragmentos de roca de gran tamaño con poca o nula estabilidad en la zona del talud.	Elaboración propia con ayuda del programa Google Earth del año 2022
1/21/2022	Carpio	Deslizamiento	Zona con antecedentes de deslizamientos dada su falta de cobertura vegetal, se puede apreciar algunos flujos en la zona más alta.	Elaboración propia con ayuda del programa Google Earth del año 2022
8/30/2021	La Palma	Flujos	Granizo generó el reblandecimiento de la tierra y se presentó un desgajamiento de la ladera de un cerro, lo que provocó daños en dos viviendas y que una persona de 67 años de edad resultara lesionada.	Nota de prensa en El Universal Publicado el 30/08/2021
6/10/2021	Totonacas	Desprendimiento de rocas	Dada la pendiente del talud, se aprecian restos de caídas de rocas y algunas casas en riesgo.	Elaboración propia con ayuda del programa Google Earth.
10/7/2020	Colonia Tulpetlac	Flujos	Tres casas fueron afectadas por un deslave.	Redes sociales (Facebook) de Azteca Noticias
6/1/2010	Colonia Benito Juárez, Primera Sección	Deslizamiento	Deslizamiento destruye una vivienda y deja a otras 20 dañadas y en riesgo por el constante desprendimiento.	Base de datos DesInventar (2010)
2/5/2006	Comunidad Tepalcapa	Deslizamiento	Desde el año 2002 las viviendas fueron declaradas inhabitables y se decidió reubicar a esas familias, lo que no ha sucedido. Setenta viviendas se encuentran en la parte alta del cerro que ya ha sufrido deslizamientos y otras 70 se encuentran en la parte baja. Las 140 viviendas se encuentran amenazadas por los procesos de remoción en masa.	Base de datos DesInventar (2010)
2/5/2006	Basurero clandestino	Deslizamiento	Muere una persona producto al deslizamiento.	Base de datos DesInventar (2010).
1/08/2005	La Palma	Desprendimiento de rocas	Una roca impacta sobre una vivienda, detonado por intensas lluvias.	Nota de prensa en El Universal Publicado el 01/08/2005
21/8/2005	La Palma	Desprendimiento de rocas	Una roca impacta sobre una vivienda, detonado por intensas lluvias.	Base de datos Desinventar (2010).

*Nota.* La tabla muestra un resumen de 10 movimientos de remoción en masa inventariados de un total de 25 que pudieron documentarse durante la investigación.

**Fuente:** Elaboración Propia.

## Discusión

La metodología empleada en este estudio considera una amplia gama de factores, incluyendo características geológicas, geomorfológicas, uso del suelo y factores detonantes, permitiendo una evaluación integral. Sin embargo, es importante reconocer que siempre existirá cierto grado de incertidumbre especialmente asociada a la escala de los mapas temáticos y a la actualización de la información. Este es un tema reconocido en algunos de los trabajos que intentan profundizar sobre la validación de los mapas de peligros por deslizamientos (Cardona, 2016; Remondo, 2001; Soto, 2018). Sin embargo, la cartografía obtenida corresponde al nivel de información de acceso público para el municipio, y se sugiere que en una fase de investigación posterior se retroalimenten los datos, en especial el inventario, con la experiencia de los funcionarios de protección civil del municipio.

La cartografía obtenida, en particular el mapa de susceptibilidad a la ocurrencia de deslizamientos (Figura 6), constituye un paso robusto en dos direcciones. En primer lugar, marca prioridades a escala municipal para definir sitios donde se implementarían medidas de mitigación frente a los deslizamientos, las cuales pueden transitar desde medidas estructurales (obras civiles), pasando por medidas educativas dirigidas a aumentar la percepción del riesgo, hasta evitar la deforestación o reducir la presencia de asentamientos irregulares, entre otras medidas. Cenapred (2008) y Suárez (2021) realizan una descripción detallada de las medidas aplicables. En segundo lugar, la cartografía resultante en este trabajo, en combinación con los elementos sociales y económicos, constituye una variable a considerar en la planeación territorial inmediata del municipio Ecatepec.

Aunque el estudio se enfocó en analizar la susceptibilidad del terreno a la ocurrencia de deslizamientos, el inventario realizado demostró la presencia de otros tipos de movimientos de remoción en masa, especialmente desprendimientos de rocas y flujos de detritos. En este sentido, García-Palomo *et al.* (2006) trabajaron de forma particular en la Sierra de Guadalupe (parte de esta sierra corresponde administrativamente al municipio de Ecatepec). García-Palomo *et al.* (2006) demostraron la ocurrencia de diferentes tipos de movimientos de remoción en masa (deslizamientos, desprendimientos) y de forma similar también se confirma este tipo de movimientos en este estudio. Además, mencionaban que "los municipios en orden de afectación por este tipo de fenómenos (refiriéndose a los MRM) son Tlanepantla, Ecatepec, Coacalco y Tuttitlan y la Delegación Gustavo A. Madero". Lo anterior refuerza la importancia del actual estudio, ofreciendo una cartografía detallada como primer paso en la gestión local del riesgo por deslizamientos.

## Conclusiones

El mapa de susceptibilidad a deslizamientos elaborado en este trabajo, mediante la metodología de Mora Vahrson, proporciona una herramienta valiosa para la gestión del riesgo a escala municipal. La evaluación integral de factores geológicos, geomorfológicos, de cobertura del suelo y factores desencadenantes ha permitido identificar las áreas con mayor susceptibilidad y brindar información precisa para la planificación urbana y la toma de decisiones.

El procedimiento metodológico explicado en este trabajo reveló para Ecatepec de Morelos tres niveles de susceptibilidad a los deslizamientos: Bajo, Medio y Alto. El nivel de baja susceptibilidad no implica una amenaza para el municipio, son zonas con pendientes inferiores a los 10°, y solo en caso de intervenciones humanas (por ejemplo, la construcción de taludes para la minería a cielo abierto) generarían un peligro latente. La zona de susceptibilidad media se desarrolla en laderas de pendientes entre los 10° y 30°, con inestabilidad comprobada y donde se emplazan parte de las colonias Santa María, Tierra Blanca, Santa Clara Ocotitla y el fraccionamiento Social Progresivo Santo Tomas Chiconautla. La zona de alta susceptibilidad se caracteriza por pendientes entre los 30° y 38°, y su potencial amenaza se acentúa por la presencia de tres fracturas de 4.4 km, 6.7 km y 7.1 km de longitud, identificadas en este trabajo como morfoalineamientos.

El estudio contribuye a la comprensión de la susceptibilidad a deslizamientos en el municipio objeto de estudio, y destaca la importancia de adoptar medidas de prevención y mitigación en estas zonas. Además, sienta las bases para futuras investigaciones y para la mejora continua de las estrategias de gestión del riesgo. Se espera que el resultado cartográfico obtenido sea una referencia para los profesionales y las autoridades encargadas de la seguridad y el bienestar de la comunidad de Ecatepec de Morelos, fomentando la implementación efectiva de medidas de protección y la reducción del riesgo en áreas propensas a deslizamientos.

## Agradecimientos

Se agradece a las autoridades y claustro de profesores de la Facultad de Geografía de la Universidad Autónoma del Estado de México.

## Conflicto de interés

Los autores declaran que no existen conflictos de interés.

## Referencias

- Arias, Z. X., & Camacho, M. L. (2023). *Análisis de susceptibilidad a deslizamiento en el Municipio Coatepec Harinas, Estado de México* [Tesis de Licenciatura. Licenciatura]. Facultad de Geografía, Universidad Autónoma de del Estado de México.
- Ávila, D. I. (2019). Estimación de la susceptibilidad a deslizamientos en la región sur este de la Reserva Biológica Montecillos a través del método Mora Vahrson [Tesis de Grado]. Universidad Nacional de Agricultura. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.25131.67362>
- Cardona, I. K. (2016). *Validación de modelos de predicción de deslizamientos mediante el uso de inventarios en escalas sub-regionales* [Tesis de Maestría]. Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/59628/1017193962.2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Centro Nacional de Prevención de Desastres (Cenapred). (2008). *Informe de actividades 2008*. [http://www.proteccioncivil.gob.mx/work/models/ProteccionCivil/Resource/7/1/images/informe\\_cenapred\\_2008.pdf](http://www.proteccioncivil.gob.mx/work/models/ProteccionCivil/Resource/7/1/images/informe_cenapred_2008.pdf)
- Centro Nacional de Prevención de Desastres (Cenapred). (2022). *Sistema nacional de información sobre riesgos*. <http://www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx/archivo/visor-capas.html>
- Centro Nacional de Prevención de Desastres (Cenapred). (2024). *Impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en México en 2022*. [https://www.cenapred.unam.mx/es/Publicaciones/archivos/501-IMPACTO\\_SOCIOECONOMICO\\_2022.pdf](https://www.cenapred.unam.mx/es/Publicaciones/archivos/501-IMPACTO_SOCIOECONOMICO_2022.pdf)
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio). (2015). [*Cobertura del Suelo de México a 30 metros, 2015*]. <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio). (2020). [*División política municipal, 1:250000*]. <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>
- Coordinación Municipal de Protección Civil de Ecatepec de Morelos. (2019). [*Atlas de riesgos del municipio Ecatepec de Morelos, Estado de México, 2019*]. [http://www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx/AtlasEstatales/?&NOM\\_ENT=México&CVE\\_ENT=15](http://www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx/AtlasEstatales/?&NOM_ENT=México&CVE_ENT=15)
- Das, B. M. (2015). *Fundamentos de ingeniería geotécnica* (4a ed.). Cengage Learning Editores S.A.
- DesInventar. (2010). [*DesInventar Database*]. <https://www.desinventar.net/DesInventar/profiletab.jsp?countrycode=mex&continue=y>
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (5 de diciembre de 2022). *Programa Nacional de Protección Civil 2022-2024*. [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5673256&fecha=05/12/2022#gsc.tab=0](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5673256&fecha=05/12/2022#gsc.tab=0)
- El Financiero. (2021). *Lluvias en Ecatepec: derrumbe en calle Salinas de Gortari sepulta casas y lesiona a adulto mayor* [Nota de prensa]. ElFinanciero.com. <https://www.elfinanciero.com.mx/estados/2021/09/29/lluvias-en-ecatepec-derrumbe-en-calle-salinas-de-gortari-sepulta-casas-y-lesiona-a-adulto-mayor/>
- García-Palomo, A., Carlos-Valerio, V., López-Miguel, C., Galván-García, A., & Concha-Dimas, A. (2006). Landslide inventory map of Guadalupe Range, north of the Mexico Basin. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 58(2), 195-204. <https://doi.org/10.18268/bsgm2006v58n2a2>
- González, L. I. (2002). *Ingeniería Geológica*. Pearson Educación.

- Guardado-Lacaba, R., Viltres-Milán, &, Alfonso-Olivera, L. D. (2019). Cartografía de la peligrosidad por deslizamientos en el municipio de Mayari. *Minería y Geología*, 35(2), 126-146. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223558779001>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2019). *Geografía y Medio Ambiente. Curvas de nivel con equidistancia de 20 m*. <https://www.inegi.org.mx/temas/topografia/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2020). *Subsistema de Información Demográfica y Social. Censo de Población y Vivienda 2020*. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2021). [Red Nacional de Carreteras 2021]. [https://antares.inegi.org.mx/analisis/red\\_hidro/siat/](https://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/siat/)
- La Jornada. (2006). *A punto del colapso, cientos de casas en Ecatepec; tienen daños severos* [Nota de prensa]. Jornada.com. <https://www.jornada.com.mx/2006/01/03/index.php?section=estados&article=027n1est>
- Mora, S., & Vahrson, W. (1994). Macrozonation methodology for landslide hazard determination. *Environmental & Engineering Geoscience*, 31(1), 49-58. <https://doi.org/10.2113/gsegeosci.xxi.1.49>
- Mora, S., & Mora, R. (1992). Landslides triggered by the Limón-Telire, Costa Rica earthquake (April 22, 1991, M1 = 7.5) and comparison with other events in Costa Rica: U.S. *Geological Survey* [Professional Paper in press].
- Quesada, A., & Feoli-Boraschi, S. (2018). Comparación de la metodología Mora-Vahrson y el método morfométrico para determinar áreas susceptibles a deslizamientos en la microcuenca del Río Macho, Costa Rica. *Revista Geográfica de América Central*, 2(61), 17-45. <https://doi.org/10.15359/rgac.61-2.1>
- Remondo, J. (2001). *Elaboración y validación de mapas de susceptibilidad de deslizamientos mediante técnicas de análisis espacial* [Tesis Doctoral]. Universidad de Oviedo. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=81688>
- Servicio Geológico Mexicano (SGM). (2014). *Carta Geológica-Minera Ciudad de México E14-2*. <https://www.gob.mx/sgm>
- Servicio Meteorológico Nacional (SMN). (2023). *Normales Climatológica por Estado. Datos de precipitaciones por estaciones meteorológicas*. <https://smn.conagua.gob.mx/es/informacion-climatologica-por-estado?estado=mex>
- Soto, J. E. (2018). *Análisis de la peligrosidad frente a los movimientos de ladera en la Cuenca de Loja (Ecuador)* [Tesis Doctoral]. Universidad de Granada. <https://digibug.ugr.es/handle/10481/51128>
- Suárez, J. (2021). *Deslizamientos: técnicas de remediación*. <https://www.geologiaviva.info/wp-content/uploads/2021/05/Remediacion-de-deslizamientos.pdf>
- Valdez, J., Ordaz, A., Espinosa, L., & Baro, J. (2022). Susceptibilidad a deslizamientos en Malinalco, Estado de México, México. Un aporte a la reducción de riesgos de desastres a escala municipal. *Investigaciones Geográficas*, (109). <https://doi.org/10.14350/rig.60626>