

VULNERABILIDAD SOCIAL ANTE EVENTOS GEOMORFOLÓGICOS POR VARIABILIDAD HIDROMETEOROLÓGICA EN MÉXICO CENTRO 2015-2024

Eduardo Teófilo-Salvador^{1*}

RESUMEN

La variabilidad hidrometeorológica genera eventos geomorfológicos, ocasionando problemas ambientales, económicos y sociales. El objetivo fue evaluar las precipitaciones que propician procesos de remoción en masas, y los efectos directos e indirectos de vulnerabilidad social en el Centro de México de 2015 a 2024. Se revisó el proceso de movimiento de suelo, se identificó el rol del flujo de agua en frecuencia, duración, intensidad y distribución, se llevaron a cabo recorridos de reconocimiento, y evaluaron teóricamente los efectos sociales. Se obtuvo que precipitaciones heterogéneas generan eventos puntuales de remoción en masas, debido a la distribución del flujo. La población más vulnerable es la que viven en zonas de montaña, con retardo de atención, propiciando problemas de servicios públicos, salud, seguridad, educación e inmigración forzada. Concluyendo que un fenómeno hidrometeorológico en un sistema geomorfológico puede generar problemas socioambientales, de carácter administrapolíticos, y que esta investigación relaciona desde la ingeniería, hidrología, ambiental, social y políticas públicas. Escasos trabajos muestran el origen, causas y consecuencias como un tren interdisciplinario, y que esta investigación si desarrolla.

PALABRAS CLAVES

Hidrometeorológico; Geomorfológico; Socioambiental; Administro-político; México

SOCIAL VULNERABILITY TO GEOMORPHOLOGICAL EVENTS DUE TO
HYDROMETEOROLOGICAL VARIABILITY IN CENTRAL MEXICO 2015-2024

ABSTRACT

Hydrometeorological variability generates geomorphological events, causing environmental, economic, and social problems. The objective was to evaluate rainfall that causes landslides and the direct and indirect effects on social vulnerability in Central Mexico from 2015 to 2024. The ground movement process was reviewed, the role of water flow in frequency, duration, intensity, and distribution was identified, reconnaissance tours were carried out, and the social effects were theoretically evaluated. It was found that heterogeneous precipitations generate specific mass removal events, due to the distribution of the flow. The most vulnerable population is that which lives in mountainous areas, with delayed access to care, leading to problems with public services, health, security, education and forced immigration. Concluding that a hydrometeorological phenomenon in a geomorphological system can generate socio-environmental problems of an administrative-political nature, and that this research connects engineering, hydrology, environmental, social, and public policy perspectives. Few works show the origin, causes, and consequences as an interdisciplinary train, and that this research does develop.

KEYWORDS

Hydrometeorological; Geomorphological; Socio-environmental; Administrative-political; Mexico

1. División de Ingeniería en Ciencias de la Tierra, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.

*Autor de correspondencia:
teofilo.salvador@ciencias.unam.mx

DOI:

<https://doi.org/10.55467/reder.v10i2.224>

RECIBIDO

30 de mayo de 2025

ACEPTADO

12 de marzo de 2026

PUBLICADO

1 de julio de 2026

Formato cita

Recomendada (APA):

Teófilo-Salvador, E. (2026). Vulnerabilidad Social ante Eventos Geomorfológicos por Variabilidad Hidrometeorológica en México Centro 2015-2024. *Revista de Estudios Latinoamericanos sobre Reducción del Riesgo de Desastres REDER*, 10(2), 182-195. <https://doi.org/10.55467/reder.v10i2.224>



Todos los artículos publicados en REDER siguen una política de Acceso Abierto y se respaldan en una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0 Internacional.

Revista de Estudios Latinoamericanos sobre Reducción del Riesgo de Desastres (REDER)

INTRODUCCIÓN

Los procesos de remoción en masa son un mecanismo de transferencia, eventos muy comunes, como resultado de terremotos, o de intensas precipitaciones causadas principalmente por huracanes, depresiones tropicales y ciclones. La época de lluvias es una de las etapas cíclicas más alarmantes por cambios en los patrones de las precipitaciones, ya que propician inundaciones, movilización de suelos, derrumbes y licuefacción del suelo, lo que genera a su vez damnificados, migración forzada, pérdidas humanas, materiales y económicas. La variación de temperaturas en el mundo ha dado lugar a un creciente desencadenamiento de fenómenos anormales en diversas partes del mundo, como lo es El Niño y La Niña (Pinilla y Pinzón, 2016).

La zona del Cinturón Volcánico Mexicano tiene peculiaridades geomorfológicas y meteorológicas que han desencadenado eventos naturales extremos. Alcántara-Ayala (2004) indica que, en 1997 el huracán Paulina con más de 411 mm de lluvia en 24 horas dejó severos daños en Oaxaca y Guerrero, donde 200,000 habitantes perdieron su vivienda y 228 murieron, además de cientos de heridos. Cerca de 200 municipios de Puebla, Veracruz e Hidalgo fueron afectados por la depresión tropical en octubre de 1999, donde 263 persona murieron y 1,475,654 habitantes fueron afectadas por inundaciones y movilización de suelos, donde los daños excedieron \$ 450 millones de dólares.

En Puebla existen comunidades indígenas de alta y muy alta marginación, con problemas de analfabetismo, ingresos bajos y reducida infraestructura civil, en 1999 se registraron problemas de inestabilidad en zonas de montaña ubicadas al norte y nororiente, con registros de precipitaciones del orden de 750 mm en tres días, más el flujo subterráneo y la meteorización de los materiales. Esto ocasionó eventos rotacionales y traslacionales de laderas, flujos de suelo, derrumbes y erosión, lo que causó pérdidas humanas y económicas afectando a los sectores vivienda, educación, salud, infraestructura, servicios, agua, saneamiento, energía eléctrica, transporte, comunicaciones, agropecuaria y forestal, y los daños se estimaron en 200 millones de dólares (Cuanalo et al., 2006).

Existen registros de más de 419 procesos de remoción en masas superficiales de suelo, y de detritos por el paso del ciclón tropical Juliette en 2001 en la península de Baja California, con una precipitación acumulada de más de 750 mm en tres días, y debido a la geología y vegetación como los principales factores asociados (Antinao y Farfán, 2013). Mora-Ortiz y Rojas-González (2012) estudiaron el evento de San Juan de Grijalva en el municipio de Ostucán, Chiapas, debido a lluvias de 403 mm, 308 mm y 250 mm del 28, 29 y 30 de octubre respectivamente del 2007, el volumen removido fue de más de 5×10^6 m³ de suelo, rocas y árboles, el cual al precipitarse sobre el cauce del río Grijalva provocó una ola de 50 m de altura y 5 km de extensión, inundando, destruyendo viviendas y obstruyendo cauces.

Según Parrot y Ochoa-Tejeda (2013), entre el 2 y 5 de febrero del 2010 en el pueblo de Anganguero en Michoacán, se presentaron lluvias continuas superiores a los 200 mm, y los factores morfológicos y climáticos influyeron en la dirección de flujo de agua, siendo este un patrón para generar zonas vulnerables, lo que desencadenó en un devastador flujo de conglomerados viscoso ocasionando daños y pérdidas (33 muertos, 61 desaparecidos, 5,000 personas movidas de sus hogares y 40 % de la infraestructura destruida o dañada). Alcántara-Ayala et al. (2012) indica que el evento ocurrido en Anganguero afectó 282 km² con cerca de 697,346 m³ de material movilizado, afectó a la reserva de la Biosfera de la Mariposa Monarca, debido a cambios del uso de suelo, como la deforestación asociada. En septiembre del 2013 en la comunidad de la Pintada, en Guerrero las intensas lluvias del huracán Ingrid y la tormenta Manuel, dejaron 70 desaparecidos, 379 damnificados y más de 20 construcciones dañadas.

En la zona centro de México, los municipios de Tlalnepantla, Tultitlan, Ecatepec y Coacalco en el Estado de México y la delegación Gustavo A. Madero en la Ciudad de México han incrementado su población en las últimas décadas, urbanizando las laderas de la Sierra Guadalupe cuyas condiciones geológicas, geomorfológicas y climáticas más los factores humanos como asentamientos, deforestación, tránsito pesado y explotación de minas a cielo abierto han influido en la presencia de movimientos de roca y de suelo (Mungaray et al., 2023; García-Palomo et al., 2006). Eventos especialmente en época de lluvias, los cuales se han zonificado con métodos geográficos como mapas (Concha-Dimas et al., 2007).

En el Municipio de Acambay Estado de México, se movilizaron 0.1 km³ y 0.05 km³ de volumen debido a la tectónica de placas, mecanismos de falla de taludes, y el nivel freático como factores desencadenantes, las lluvias de julio a septiembre del 2007 con más de 800 mm (Norini et al., 2010). También han sido afectados diversos tramos de la autopista México – Toluca y la carretera a Valle de Bravo, sepultando al menos 20 carros y con 10 decesos (Flores, 2020), y en la carretera Toluca – Temascaltepec por intensas lluvias en febrero del 2010 y en el Municipio de Temoaya (Flores y Alcántara, 2012), en Huixquilucan en septiembre del 2005 y 2007 (Garduño, 2013). Al igual, se han identificado zonas de riesgo en los municipios de Temascaltepec, Villa Guerrero, Ecatepec de Morelos, entre otros (DGPC, 2015), y problemas de erosión hídrica en Santa María Jajalpa, Santa María Zolotepec, Temoaya, Jiquipilco y San Lorenzo Malacota, en el Oro de Hidalgo hasta Donato Guerra y en Luvianos, Tejupilco y Sultepec.

Díaz (2021) indica que, de 1905 a 2017 se han registrado 3,007 eventos, especialmente en zonas de montaña como Hidalgo, Estado de México, Puebla y Tlaxcala, con 93 % como factor hidrometeorológico detonante, dejando más de 3,447 decesos, pero afectando a más de 1,379,631 personas, con un 48 % de grado de marginación. La construcción de asentamientos humanos irregulares en áreas no aptas para ello, alteran los ecosistemas del entorno y aumentan la vulnerabilidad ante fenómenos geológicos e hidrometeorológicos (Rojas, 2021). Un problema ambiental genera consecuencias sociales, sobre todo en regiones apartadas de zonas urbanas o en zonas de montaña. Estas sufren los drásticos efectos de las precipitaciones más intensas, humedad constante, rezagos en salud, educación y seguridad, es decir estas regiones presentan mayor vulnerabilidad ante cualquier sistema que perturbe su medio físico, como lo son los procesos de remoción en masas.

En las últimas décadas los patrones de las lluvias han cambiado notablemente, tal que estas han generado mayores daños, incluso se han presentado eventos anormales donde antes no llovía, siendo esto una manifestación del evidente cambio climático. La dinámica del clima ha llevado a un incremento de eventos en los últimos años, y estos fenómenos afectan a todos los sectores sociales directa o indirectamente, y la vulnerabilidad de eventos en México no ha dejado claro las estrategias de prevención. Actualmente, además de los problemas socioeconómicos asociados a la geometría económica, los eventos originan problemas de migración interna, damnificados, desaparecidos, muertos, y millonarias pérdidas económicas (Alcántara-Ayala et al., 2006).

¿Hay una relación directa entre la marginación y poblaciones afectadas, debido a una distribución inequitativa, y con baja capacidad de respuesta ante algún fenómeno hidrometeorológico en un sistema geomorfológico? Si bien, los fenómenos naturales relacionados con las poblaciones humanas que pueden ser afectadas, propician la generación de vulnerabilidad como interacción entre sociedad y fenómenos naturales, cuyo producto es el evento. De esta forma, ¿la probabilidad de ocurrencia de un evento depende de factores hidrológicos como la lluvia, geológicos como el tipo de suelo, ambientales a la degradación o deforestación y sociales como la ubicación demográfica? En este contexto, el objetivo fue evaluar las precipitaciones patrones que propician procesos de remoción en masas, y los efectos directos e indirectos de vulnerabilidad social en México Centro de 2015 a 2024. Siendo que la zona Centro de México alberga a más de 34 millones de habitantes, conocida como Megalópolis de México.

METODOLOGÍA

Interdisciplinariedad en la interacción agua-suelo

Se relacionó como, un fenómeno natural como son las precipitaciones (posible amenaza), propician un proceso superficial como la remoción de masas (flujos de suelo, derrumbes o erosión), y este genera un riesgo sobre poblaciones como vulnerabilidad social (Teófilo-Salvador, 2020).

Se partió de la metodología sugerida por Mora y Vahron, que permitió relacionar el terreno, litología y humedad, y por otro lado la precipitación, sismicidad o uso de suelo (Valdez et al., 2022). Se propuso bajo criterio que, en el proceso de remoción en masas, y la estabilidad dependía de factores, i) los estáticos: los macroporos, el grado de inclinación, la densidad y textura como morfológicos (Castillo et al., 2020), además el sistema de esfuerzos como la parte geomecánica (Teófilo-Salvador et al., 2019c), ii) dinámicos: cobertura vegetal, las raíces, microfauna de tipo ambiental, construcciones civiles como entorno antropogénico y, iii) transitorios: las precipitaciones como la componente hidrometeorológica (Figura 1).

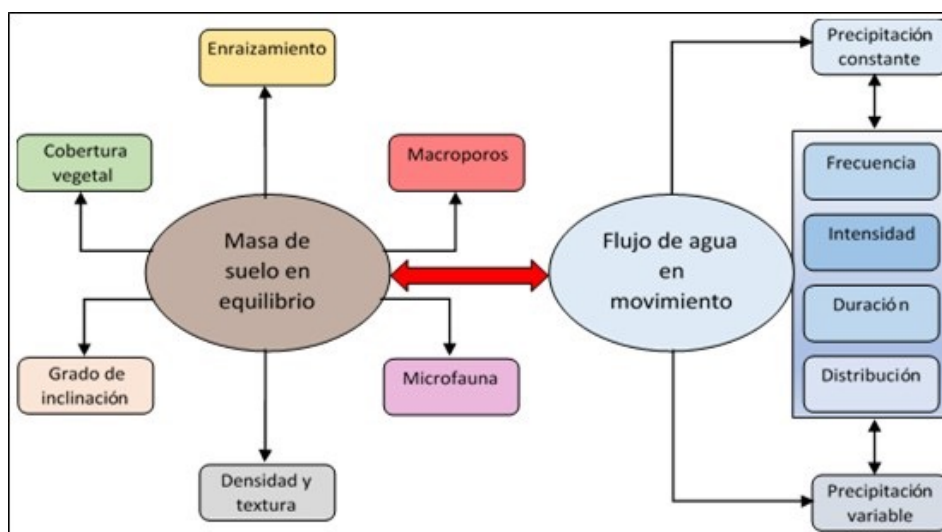


Figura 1. Elementos en la estabilidad del suelo: geomecánicos e hidrometeorológicos en un entorno multifactorial
Fuente: Autor, 2026.

El sistema hidrometeorológico en procesos geomorfológicos

Las precipitaciones son la fuente de flujo de fluido en la masa de suelo, y su permanencia depende de la evapotranspiración o escurrimiento, además de la distribución e incidencia sobre la superficie del suelo. El agua puede ser un agente perturbador, por encima de los beneficios sobre la producción vegetativa o de recarga al agua subterránea (Teófilo-Salvador et al., 2019a). La Figura 1, relacionó cuando el agua y el suelo entran en contacto, esto puede generar procesos como derrumbes, flujos de suelo, erosión o socavación. Cada elemento tiene cierto peso sobre los procesos de remoción de masas. En zonas desérticas o secas de terreno plano es reducida la presencia de movilización de suelos (Teófilo-Salvador et al., 2019b).

Escasas precipitaciones, llevan aún sistema de sequías, la cobertura vegetal es poco densa o no alcanza el desarrollo fenológico adecuado, afectando la distribución de raíces en el subsuelo. En equilibrio agua y suelo se favorece la presencia de grandes extensiones de densa cobertura vegetal. Para excedente de lluvia se asoció la acumulación superficial, como inundaciones si el drenaje no es el adecuado, o bien si existió una inclinación en suelos pueden generarse drenajes superficiales, pero que, al ser modificados, alteran las trayectorias patrón generando escurrimientos no direccionados.

En este contexto, se planteó que el movimiento del flujo de agua en el suelo puede ser relativamente lento, comparado con la incidencia sobre la superficie, dicha variación permite que eventualmente lluvias no uniformes y prolongadas, mantengan saturada la masa de suelo, es decir cambios en el contenido de humedad fueron despreciables. Cuando existieron cambios bruscos en la superficie del suelo la variación de las precipitaciones es importante, esto llevó a plantear la Figura 2, en función de la intensidad, duración, frecuencia y distribución (Teófilo-Salvador y Morales-Reyes, 2018). Las precipitaciones intensas generan cambios de presión de poro, la magnitud y distribución de las lluvias previas influyen en la estabilidad del suelo, esto mantiene a capacidad de campo la zona radicular, generando que el agua fluya en la masa de suelo (Abramson et al., 2002), es decir sobre la superficie, en el límite superior de la zona no saturada y en la zona radicular.

Con esto se relacionaron datos climatológicos de precipitación, para un evento dado, es poco frecuente que se presente una precipitación muy intensa, y si sucede es probable que su duración sea corta, aunque también es posible precipitaciones de baja intensidad en periodos largos, o bien la constante frecuencia de lluvias en un solo punto que genere la presencia de un flujo extraordinario en el suelo, es decir un flujo subsuperficial, el cual puede movilizar partículas de la masa de suelo por efectos gravitatorios, dando lugar cambios dinámicos como inestabilidades.

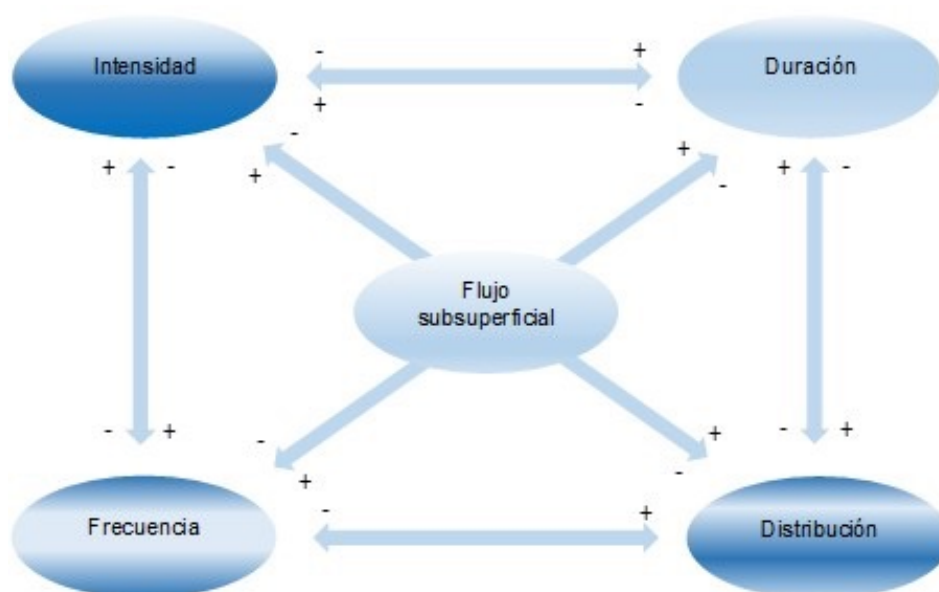


Figura 2. Variación de las precipitaciones para generar excedente de agua en el suelo
Fuente: Autor, 2026.

Con esto se relacionó que las precipitaciones más intensas y de mayor volumen acumulado se concentran en las zonas de montaña, tal como el eje Neovolcánico, la Sierra Nevada, Sierra de las Cruces y regiones de los Volcanes con precipitaciones promedio anual hasta de 1,600 mm de acuerdo con el Plan de Desarrollo Estado de México. Geográficamente se identificaron zonas vulnerables, como montañas, laderas o valles, y que geológicamente son determinantes en el aumento en la probabilidad de remoción en masas, o inundaciones por presencia de precipitaciones o escurrimientos máximos, generando un incremento en el riesgo de eventos por eventos extremos (Castañeda-Ovando et al., 2022).

Reconocimiento socioambiental de sistemas geomorfológicos

Con la revisión de mapas de riesgo ante procesos de remoción en masas, bajo criterio se consideró que, era más probable se presentará un problema de inestabilidad de forma aislada y reciente, que, de la forma global, como lo marcan las cartografías. Con sistemas de información geográfica y planeación de visitas de campo, se regionalizaron sitios para recorridos aleatorios dentro del Estado de México, Hidalgo, Puebla y Ciudad de México desde el 2015 al 2024 en época de lluvias (Figura 3). Se caracterizaron los procesos (flujo de suelos, derrumbes y erosión), con la presencia de estaciones climatológicas cercanas utilizando Google Earth, para generar triangulaciones de precipitaciones recientes.

Adicional, se visitaron las colonias Ampliación Benito Juárez, El Carmen, Lomas de Atzolco, El Bordo y Piedra Grande en la Ciudad de México y Estado de México como posibles afectaciones por movilización de rocas y suelos (Rivera-González y Rodríguez-Van Gort, 2024), además las colonias Arboledas, Niños Héroes y Ejido San Isidro por arrastres de material derivado de lluvias extremas. También se visitaron las colonias Santa María, Tierra Blanca, Santa Clara Ocotitla y Progresivo Santo Tomas de acuerdo con León et al. (2024).

Este análisis fue de importancia, dado que la interacción agua-suelo en el medio natural no es uniforme, además de que estos estudios son requeridos en la implementación o análisis de infraestructura, como lo son asentamientos aislados o en zonas de montaña (Teófilo-Salvador, 2022). La revisión en campo permitió obtener datos reales y actualizados, ya que los métodos predictivos a largo plazo generan incertidumbre por la dinámica del agua en el suelo, además de la degradación, cambios en estratos de suelo, eventos extraordinarios de precipitación, laderas en vialidades urbanas y el intemperismo.

Con esto se reconoció el proceso interno y externo, para integrar mecanismos de ingeniería, geografía, sociología y política, como una concepción multi e interdisciplinaria. Pero las actuales herramientas tecnológicas permiten generalizar regiones muy grandes, sin embargo, estos procesos son de manifestación puntual, irregular y dispersa (Teófilo-Salvador, 2020).



Figura 3. Recorridos en diversas zonas de la región México Centro

Fuente: Autor, 2026.

Nota: a) Erosión subsuperficial por manantiales subterráneos, San Felipe del Progreso, b) arrastre por exceso de lluvias en zona de montaña, San Felipe del Progreso, c) derrumbe de tierra carretera Villa Victoria – El Oro, d) movimiento de rocas en el km 153 de la carretera Pachuca-Ciudad Valles, Hidalgo, e) movimiento de rocas en el km 154 de la carretera Pachuca-Ciudad Valles, Hidalgo, f) estabilización de talud en la carretera México – Puebla, km 42.

Impacto administropolítico en eventos socioambientales

La movilización de suelos puede presentarse en cualquier lugar que presente condiciones o características que faciliten su generación, con ello daños como el cierre de vialidades, obstrucción en cauces de ríos o bien daños en comunidades rurales que se encuentren asiladas en regiones de montaña. Fell et al. (2005), indican que a partir de la caracterización de los procesos de remoción en masas es posible: i) analizar, ii) evaluar y iii) controlar el riesgo, y con ello aplicar técnicas de mitigación y planes de control.

Con esto se revisó como la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), el Sistema Nacional de Protección Civil (SINAPROC) e institutos de investigación públicos y privados se han dado a la tarea de estudiar y reducir los riesgos ante estos eventos. Además de modelos preventivos, que establecen parámetros cuantitativos de vulnerabilidad, para alertar y acompañar a poblaciones ante posibles reubicaciones, o de alerta temprana debido a eventos por precipitaciones extraordinarias (Rodríguez y Rivera, 2023).

Se reconocieron las implicaciones sociales y económicas que han dejado los eventos de este tipo, los apoyos para remediar los efectos posteriores al evento, de acuerdo con el documento de las Políticas Públicas para la reducción de la vulnerabilidad frente a los eventos socio-naturales (Vargas, 2002). La implementación de técnicas de monitoreo y revisión, aplicados a poblaciones o sistemas vulnerables a la presencia de agentes perturbadores, los cuales son prioritarios en Protección Civil, con la finalidad de prevenir y mitigar posibles daños, con ello la reducción de costos ante una población preparada.

Se identificó que autoridades de nivel son las encargadas de la gestión, y medidas de prevención, para que su rol permita indagar, trabajar, mejorar, utilizar y perfeccionar modelos preventivos, los cuales pudieran replicarse en cualquier otro sitio ante la exigencia de la población (Rivera, 2023). Información actualizada permite tomar decisiones a nivel municipal, estatal y nacional, a partir de mapas de riesgo reportados por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía, del Centro Nacional de Prevención de Desastres, y de los planes de desarrollo Estatal y Municipal.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Intervalos hidrometeorológicos detonantes

Se coincidió con la limitación y dificultad de acceso a información meteorológica (Garduño, 2013), la búsqueda de información de los registros de precipitación que han generado procesos de remoción en masas en el Centro de México fue escasa e insuficiente, y al relacionar los procesos documentados (sitios) con las estaciones climatológicas más próximas se encontró que:

- » No hubo estación climatológica en el sitio donde ocurrió el evento, por ser locales, y las estaciones registran los datos del punto donde están instaladas, además de la heterogeneidad del medio climático.
- » Los datos reportados por las estaciones no estaban actualizados al día del evento.
- » Las estaciones fueron sensibles a fallas eléctricas, apagones y discontinuidades en lecturas en época de lluvias.
- » Los registros de precipitación fueron valores diarios, esto erradicó la posibilidad de disponer de un hidrograma de lluvias completo para un proceso de remoción en masas.

Al no disponer de datos actualizados, no fueron verificados y estaban incompletos, además la tecnología de estaciones es adquirida en países desarrollados, y al dañarse no pueden ser fácilmente reparadas por los costos y falta de conocimiento (Velasco et al., 2015).

Esto llevó a buscar información a nivel internacional, para deducir valores que han generado procesos de remoción en masas, que sirvieron de referencia a la falta de disponibilidad de datos locales, regionales y nacionales. Consciente de que el grado de afectación de la lluvia depende de la ubicación geográfica, humedad del suelo, inclinación de las laderas, tipo de suelo, temperatura y tipo de vegetación (Vázquez, 2014). Pero, Solorza (2023) indica que las precipitaciones pueden ser similares a las observadas en otras regiones, zonas de montaña, costa y océano, aunque la intensidad varía por la altitud, con un umbral de precipitación de 100 mm d^{-1} como evento anómalo, con valores máximos aproximados a 150 mm d^{-1} y de 300 mm d^{-1} .

En esta investigación, se elaboró la Figura 4, que muestra la relación intensidad-duración-acumulación de precipitación, y no hay una relación lineal al comparar con lo reportado por Rosi et al. (2012). De la Figura 4, en la primera hora las intensidades de lluvia son muy altas hasta de 300 mm/h , y conforme aumenta el tiempo disminuye la intensidad y aumenta la acumulación de agua, existen intervalos constantes hasta de 8 h continuas, y presencia de precipitaciones previas, así las primeras horas de lluvia fueron determinantes para el movimiento de masas de suelo.

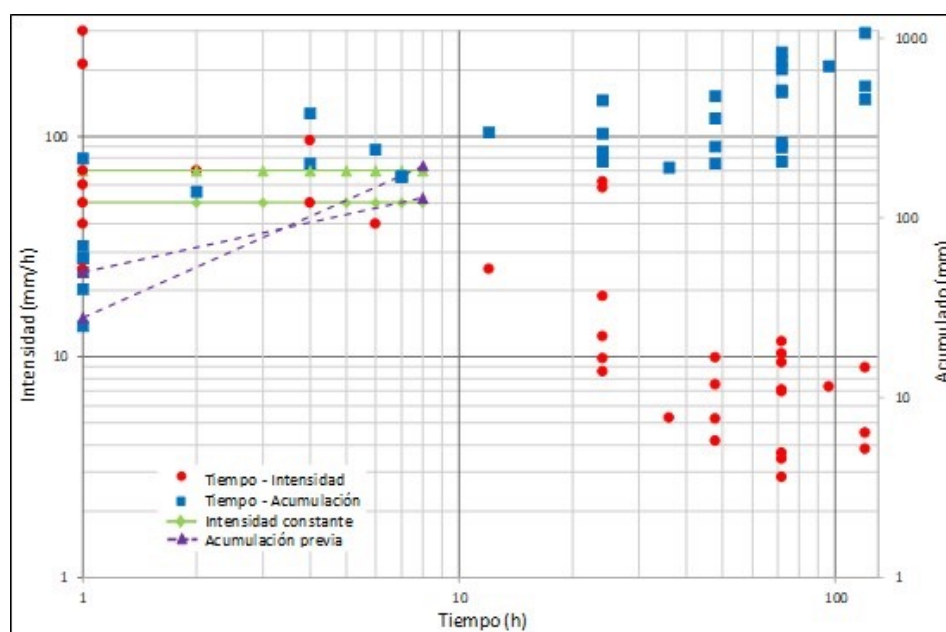


Figura 4. Precipitaciones que han generado inestabilidad del suelo con duración-intensidad, duración-acumulación, intensidad constante y precipitación acumulada previa

Fuente: Autor, 2026, a partir de datos de Crosta (1998); Wiczeorek y Guzzetti (1999); González et al. (2002); Faris y Fawu (2014).

De la Figura 4 se infirió que, eventos de precipitación gran magnitud pueden generar: saturación de suelo, escurrimientos en superficies inclinadas, y con ello posibles inundaciones en zonas planas, con lluvias mayores a 100 h, la acumulación de agua fue un factor que propició inestabilidad de suelos.

Al revisar la ocurrencia de procesos de remoción de masa en la zona centro de México, entre junio y octubre con niveles cercanos a los 1,157 mm de lluvia promedio o a umbral medio de 117.07 mm, alto de 175.61 mm y muy alto de 234.14 mm (Valdés-Fernández et al., 2021), en el caso de precipitación acumulada fue consistente con el rango estándar de la Figura 4, y para los umbrales está dentro de los 3 a 5 días de ocurrencia de un proceso de remoción de masa. La Figura 4 de esta investigación aporta mayor información no solo para México, si no para otras regiones, en comparación con los umbrales críticos de precipitación diaria, y acumulado de tres días de regresión lineal reportada por Valdés-Fernández et al. (2021).

Aunque los valores críticos de umbral máximo para tres días ≥ 150 mm presentados por Valdés-Fernández et al. (2021) son consistentes con la Figura 4, omiten la intensidad, frecuencia, duración y distribución de la lluvia sobre el suelo, dejando solo valores acumulados muy por debajo de los valores presentados en esta investigación. Al revisar los valores reportados por, González et al. (2023) de hasta 536 mm de lluvia máxima diaria en la Figura 4, se observa que obedecen como factor desencadenante de posibles procesos de remoción en masas. Para validar un mayor número de casos, es necesario reconstruir periodos de precipitación y generar series, para derivar extremos procesos hidrometeorológicos (Arroyo, 2022).

Reconocimiento geomorfológico y socioambiental

De la revisión de mapas, en el caso del Estado de México más del 30 % está compuesto por material de tipo regosol y andosol (materiales sueltos y colapsables), y se encontró en zonas de montaña y lomeríos ocupando más del 76 % del territorio estatal (DGPC, 2015), con ello la necesidad de infraestructura, generando cambios en los patrones naturales o de origen antropogénico, debido al crecimiento poblacional, en comparación con otras entidades. Es de reconocer que el paisajismo fue parte influyente de los asentamientos en zonas de montaña, dada la densidad demográfica en zonas planas.

De acuerdo con Zepeda y González (2014), varios de los movimientos del terreno natural se han presentado como inestabilidad de laderas, flujos de lodos y escombros, hundimientos regionales y locales, y agrietamientos, como los de la Sierra Guadalupe, y que han sido de interés multidisciplinario. Siendo una gran amenaza para poblaciones que están asentadas en huellas de eventos antiguos o zonas minadas, sin distinción económica y social.

La degradación ambiental; como la deforestación y expansión de actividades agrícolas, el crecimiento demográfico y las necesidades de infraestructura de obra civil (Fay et al., 2003), fueron los principales factores asociados a la inestabilidad del suelo observados, en los recorridos de campo. Pero, los grandes eventos no son los que producen los mayores daños, sino los pequeños y medianos ya que estos son más frecuentes (Vargas, 2002), tal como se obtuvo en el trabajo de campo.

Esto permitió identificar que, la inclinación de los suelos juega un rol importante, sobre todo los inducidos por actividades humanas, como fueron construcción de infraestructura vial y de vivienda. Los suelos fueron heterogéneos con alta variabilidad de tamaños, y texturas a distancias muy cortas. Esto llevo a diferenciar entre derrumbe, deslizamiento, flujos y erosión de suelos, pero todos partiendo de un estado de equilibrio, que al ser alterados por un factor como el agua produce procesos dinámicos.

Los mayores eventos se localizaron en zona de montaña: Villa Victoria - El Oro, Toluca - Temascalcingo, Toluca - Ixtapan de la Sal, México - Toluca, Toluca - Naucalpan e Hidalgo - Ciudad Valles, contabilizándose 36 superficiales, de los cuales 6 correspondieron a tipo roca, 11 roca-suelo, 18 de suelo y 1 tipo erosión hídrica superficial, de acuerdo con Teófilo-Salvador (2020). Y todos generados por excedente de flujo de agua derivado de precipitaciones previas, y continuas en el intervalo de los 100 mm d⁻¹ a los 160 mm d⁻¹, al generar triangulaciones de estaciones climatológicas operando y con datos históricos, con proyección a años recientes.

Se reconoció un grado de incertidumbre, ya que los procesos de remoción de masa identificados ocurrieron donde no existía estación climatológica cercana, adicional el uso de datos

disponibles no actualizados. Por lo que, contar con una red de monitoreo hidrometeorológica actualizada, y en distancias muy cortas pueden ser muy costosas, pero que a futuro reducen riesgos de eventos.

Los procesos de remoción en masas registrados en las carreteras en época de lluvia, generaron riesgos importantes, como una amenaza latente para la circulación, propiciaron contratiempos y mantenimiento de la infraestructura, pero típicamente son los más frecuentes y esto se debe a los cortes de laderas para la infraestructura vial, modificando las trayectorias de escurrimiento natural sobre la superficie. Esto también permitió identificar lugares donde se ha modificado la configuración de las laderas, en sitios con poblaciones asentadas de forma irregular sobre superficies inclinadas, o sensiblemente planas, donde estas alteran las condiciones de escurrimiento e infiltración del agua al no contar con obras apropiadas de drenaje (CENAPRED, 2001).

La administrópolis para eventos socioambientales

Se ha comprobado que, los procesos de remoción en masas se manifiestan especialmente en la época de lluvias de forma imprevista, dispersa e irregular, por lo que, fue evidente que la ubicación geográfica determinó los riesgos potenciales, y la variación de los impactos entre una población y otra (Martínez-Velasco et al., 2016). Es necesario una planificación adecuada que permita normar, prevenir y disminuir impactos negativos, para ahorrar miles de millones de pesos, pérdida de riqueza y salvar vidas (Vargas, 2002). Los eventos han debilitado las estructuras sociales y económicas afectando a los sectores; agropecuarios, salud, alimentación, educación, vivienda, transporte, energía, ambiente y seguridad.

La dificultad de acceso a comunidades en zonas de montaña, la ayuda humanitaria puede llegar después de las lluvias (Zepeda y González, 2014), tiempo suficiente en el que se pueden perder cosechas de campos agrícolas, en centros urbanos en zonas de ladera problemas con la ruptura de redes de drenaje, de agua potable, distribución eléctrica, calles con hundimientos y edificaciones con grietas. Es necesario una cultura de información sobre la importancia del drenaje natural, o de los escurrimientos que se generan por las precipitaciones, ya que al modificar las trayectorias esto genera cambios en los contenidos de agua en el suelo, vulnerando la estabilidad del suelo.

La resiliencia urbana y solución ante riesgos ocurridos puede ser una acción preventiva de gobierno, en la que se establezca resguardo efectivo y cuidado de los habitantes (Rivera-González, 2024; Rivera, 2022). Se debe prestar mayor atención para la prevención y mitigación, mediante información, capacitación y atención, ya que ello puede reducir los costos que generan los procesos de remoción en masas, así como salvar vidas, quizás es una amplia tarea, pero los beneficios sociales pueden ser mayores a largo plazo.

Una adecuada legislación, planificación e información previa de los riesgos para las poblaciones permite minimizar costos, ya que el incremento de las zonas urbanas no ha sido planeado adecuadamente, generando manchas urbanas sobre zonas no aptas para viviendas como lo es en laderas y cerca de cauces de ríos. Un problema de origen natural ocasiona un problema social, y de esto un problema administrativo, aunque existan modelos de contingencia, la ayuda humanitaria, el acopio, distribución y entrega puede ser ineficiente. Pero con la aplicación de técnicas adecuadas para programas y control de medidas, y con ello la asignación de proyectos para la reducción de riesgos (Baró-Suárez et al., 2007), es posible reducir los daños y costos que representan para la población los eventos, como lo son los procesos de remoción en masas.

Es posible prevenir inicialmente en el Centro de México los daños y pérdidas generadas por fenómenos hidrometeorológicos, los cuales por ejemplo han ascendido hasta 92,375 millones de pesos para el 2010 (García et al., 2016). Además de que, los montos presupuestados para el Fondo de Desastres Naturales (FONDEN) varían año con año, y se ejerce en función de los fenómenos presentados para el año presupuestado (Jiménez et al., 2014). Aunque el fenómeno de proceso de remoción en masas es un proceso complejo, una solución quizás efectiva es el reconocimiento del territorio a escala local o en cuencas hidrográficas (Monteleone y Sabatino, 2014), tal como en microcuencas a pequeña escala. Si cierto porcentaje del recurso se destina a la aplicación de nuevas metodologías, en un futuro las pérdidas podrían ser reducidas, debido a efectivas herramientas de prevención.

El estudio de los procesos de remoción en masas puede ser tan complejos o tan simples, dependiendo del enfoque, para revisar los peligros relacionados a la inestabilidad se requiere de especialistas interdisciplinarios, que analicen no solo el proceso sino los efectos socioeconómicos derivados. Es posible reducir daños, así como difundir el conocimiento y fomentar una cultura sobre el riesgo, y evacuación (CENAPRED, 2001). Es necesario incluir en la agenda de protección civil no solo estrategias y programas para mitigar y reducir riesgos, sino recursos para el estudio e interpretación temprana de puntos vulnerables. En la actualidad existen gran cantidad de mapas geográficos cuyos resultados deben ser interpretados y validados correctamente (CENAPRED, 2016), además de la implementación de nuevas tecnologías como lo es la realidad virtual (Rivera y Rodríguez, 2024). Aunque, aún son insuficientes los estudios sobre lluvias críticas, o umbrales capaces de generar procesos de remoción de masas (Valdés-Fernández et al., 2021).

La revisión de los mapas de riesgo del Centro de México, de los planes de desarrollo estatal y municipales, ha permitido identificar que aún faltan acciones en el proceso de concientización de la población, sobre los riesgos en época de lluvias, ya que aún se continúan ocupando las laderas para construcción de viviendas de baja regulación. La falta de conocimiento sobre las propiedades de los suelos sujetos a flujos como el agua, que altera las características físicas y mecánicas en las épocas de sequías y de lluvias. Es necesario una adecuada planificación, regulación, supervisión y legislación sobre la vulnerabilidad, riesgo y amenaza de fenómenos hidrometeorológicos en poblaciones, y que de ello derive en una adecuada resiliencia. Aunque diversas localidades enfrentan escenarios de riesgo, vulnerabilidad o han sido devastados, la resiliencia comunitaria ha crecido, pero la percepción y marginación siguen latentes determinando las condiciones de desarrollo precarias (Espinosa et al., 2021).

Esta investigación muestra como un fenómeno hidrometeorológico incide sobre un proceso geomorfológico, produciendo problemas socioambientales de interés administropolitico, y que la mayoría de los trabajos revisados reporta de forma particular o unidisciplinaria. Este tipo de eventos son un claro ejemplo de problemas inter y multidisciplinarios, y que debe ocupar a diversos especialistas, pero en colaboración desde la ingeniería, hidrología, ambiental, política, administración y social.

CONCLUSIONES

Los esfuerzos por prevenir riesgos como lo son los eventos geomorfológicos en México han sido notables, sin embargo, la implementación de las nuevas metodologías y tecnologías son costosas, por lo que se sigue haciendo uso de datos históricos en el estudio de estos riesgos geológicos. Por ejemplo, aplicar la campaña en el uso de la terminología de “no hay desastres naturales”, implica el cambio de nombre en dependencias gubernamentales, institutos y centros dedicados a estudiar y atender estos eventos en México y el mundo.

Los sitios más vulnerables a movimientos de suelo se localizan en zonas de montaña, donde existen mayor variación en los patrones de lluvia y su distribución en el suelo. Intensidades de hasta 300 mmh^{-1} , acumulados mayores de 1,000 mm en 100 h o el efecto de precipitaciones antecedentes requieren de especial atención, ante cambios dinámicos del suelo.

La alteración al drenaje natural y la necesidad de infraestructura civil, del inventario de procesos de remoción en masas se localizaron a las orillas de las carreteras, aunque la movilización de masa fue pequeña, los riegos son latentes para los conductores en época de lluvias, además de que generan costos de mantenimiento y obstruyen el paso de drenaje superficial.

Los procesos de remoción en masas en función de la escala afectan a diversos sectores, los cuales van desde pérdidas humanas, desaparecidos, heridos, damnificados, hasta reubicados, lo cual implica costos económicos en el sector vivienda, salud, agropecuario, energético, seguridad, etc., y los fondos destinados para la prevención de eventos son insuficientes debido a la dispersión, eventualidad y temporalidad en la que se presentan.

Los grupos poblacionales que viven en zonas de montaña son los más vulnerables, con mayores carencias y rezagos económicos, por lo que debe brindarse la atención previa, mediante la información y capacitación como medida de prevención y mitigación, y con ello reducir costos ante la presencia de un proceso de remoción en masas en épocas de lluvia.

El campo de investigación es muy amplio, y se requiere de especialistas de diversas disciplinas para su estudio, ya que los procesos de remoción en masas particularmente son tratados en Ingeniería Civil, también es importante los efectos ambientales, sociales y de administración para su atención y estudio, lo que compete a disciplinas como la Economía, Ciencias Sociales y de Administración Pública.

Un fenómeno hidrometeorológico como las precipitaciones extremas, pueden propiciar procesos geomorfológicos de remoción de masas, y estos a su vez generar daños socioambientales, de infraestructura civil, damnificados y decesos, lo que compete a la parte administratopolítica en la atención, mitigación y prevención mediante legislación y normalización de estos sistemas integrales multi e interdisciplinarios.

Finalmente, como reflexión, el desarrollo de esta investigación presentó múltiples limitaciones, como lo fue el financiamiento para traslados y trabajo de campo, dificultad de acceso a zonas aisladas en zonas de montaña, estaciones meteorológicas con registros incompletos y no actualizados. El reconocimiento de comunidades marginadas fue una de las motivaciones para identificar necesidades, con la enorme desigualdad que aun persiste en la actualidad. El trabajo pudo haberse mejorado sustancialmente con el uso de tecnologías de última generación como Drones, Radar, GPS diferencial, entre otros dispositivos y el uso de la Inteligencia Artificial, pero ello generaría mayores costos. Con este estudio se abren nuevas líneas de investigación como es “sistemas complejos no lineales” o “sistemas acoplados”, que parten desde fenómenos, sistemas y/o procesos de las Ciencias de la Tierra, para dar pie a acciones de mitigación y prevención por las Ciencias Sociales y Humanidades.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnologías e Innovación de México por los apoyos brindados para la estancia Posdoctoral 2021-2023 con Número 930457 y 2420881, así como a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México por las facilidades para realizar actual investigación básica y de frontera.

REFERENCIAS

- Abramson, L.W., Lee T.S., Sharma, S., & Boyce G.M. (2002). *Slope stability and stabilization methods*. New York, USA: John Wiley & Sons.
- Alcántara-Ayala, I. (2004). Hazard assessment of rainfall-induced landsliding in Mexico. *Geomorphology*, 64, 19-40. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2003.11.004>
- Alcántara-Ayala, I., Esteban-Chávez, O., & Parrot, J.F. (2006). Landsliding related to land-cover change: a diachronic analysis of hillslope instability distribution in the Sierra Norte, Puebla, Mexico. *Catena*, 65, 152-165. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2005.11.006>
- Alcántara-Ayala, I., López-García, J., & Garnica R.J. (2012). On the landslide event in 2010 in the Monarch Butterfly Biosphere Reserve, Angangueo, Michoacán, Mexico. *Landslide*, 9, 263-273. <https://doi.org/10.1007/s10346-011-0291-7>
- Antinao, J. L., & Farfán, L. M. (2013). Occurrence of landslides during the approach of tropical cyclone Juliette (2001) to Baja California Sur, Mexico. *Atmósfera*, 26(2), 183-208. [https://doi.org/10.1016/S0187-6236\(13\)71071-3](https://doi.org/10.1016/S0187-6236(13)71071-3)
- Arroyo, M. S. (2022). *Respuesta hidroclimática de los Pinos Piñoneros en Miquihuana, Tamaulipas, México*. Tesis de Maestría en Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León, México.
- Baró-Suárez, J. E., Díaz-Delgado, C., Esteller-Alberich, M. V., & Calderon, G. (2007). Curvas de daños económicos provocados por inundaciones en zonas habitacionales y agrícolas de México. Parte II: caso de estudio en la cuenca alta del río Lerma, México. *Ingeniería Hidráulica en México*, 22(3), 71-85.
- Castañeda-Ovando, E. P., Mendoza-Tolentino, Y., Añorve-Morga, J., Nieto-Velázquez, S., & Castañeda-Ovando, A. (2022). Desbordamiento del Río Tula: más allá de las lluvias. *Pädi*, 10(19), 23-29. <https://doi.org/10.29057/icbi.v10i19.8987>
- Castillo, P. P., Vergara, F. L., Chalas, J., & Vicioso, F. (2020). Revisión histórica de los deslizamientos de terreno superficiales causados por lluvias, casos: México y República Dominicana. *Aqua-LAC*, 12(1), 1-10. <https://doi.org/10.29104/phi-aqualac/>
- CENAPRED - Centro Nacional de Prevención de Desastres. (2001). *Inestabilidad de laderas. Serie Fascículos*. México: Secretaría de Gobernación.

- CENAPRED - Centro Nacional de Prevención de Desastres. (2016). *Curso causas que propician deslizamientos y medidas de prevención*. México: Coordinación Nacional de Protección Civil.
- Concha-Dimas, A., Campos-Vargas, M., & López-Miguel, C. (2007). Comparing heuristic and bivariate GIS-based methods for refining landslides susceptibility maps in northern Mexico City. *Environmental & Engineering Geoscience*, 13(4), 277-287. <https://doi.org/10.2113/gseegeosci.13.4.277>
- Crosta, G. (1998). Regionalization of rainfall thresholds: an aid to landslide hazard evaluation. *Environmental Geology*, 35, 131-145. <https://doi.org/10.1007/s002540050300>
- Cuanalo, C., Oscar, A., Quezada, P., Aguilar, M.A., Olivan, R., A.M., & Barona, D.E. (2006). Sismos y lluvias, factores detonantes de deslizamientos de laderas en las regiones montañosas de Puebla, México. *e-Gnosis*, 4, 1-14. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=73000413>
- DGPC - Dirección General de Protección Civil. (2015). *Atlas de Riesgo Estado de México*. Estado de México, México: Gobierno del Estado de México. <http://gaceta.diputados.gob.mx/Gaceta/62/2015/feb/Atlas-20150224.pdf>
- Díaz, S. S. R. (2021). *Deslizamientos en México: factores detonantes e impacto social*. Tesis de Doctorado, Universidad Autónoma del Estado de México, México.
- Espinosa, R. L. M., Garduño, F. G. D., & Hernández, S. J. R. (2021). Deslizamientos y resiliencia comunitaria en Angangueo-Michoacán, México. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 30(1), 257-273. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v30n1.87582>
- Faris, F., & Fawu, W. (2014). Investigation of the initiation mechanism of an earthquake-induced landslide during rainfall: a case study of the Tandikat landslide, west Sumatra, Indonesia. *Geoenvironmental Disasters*, 1, 1-18. <https://doi.org/10.1186/s40677-014-0004-3>
- Fay, M., Ghesquiere, F., & Solo, T. (2003). *Desastres naturales y pobres urbanos*. Banco Mundial Banco Internacional para Reconstrucción e Desarrollo. <https://www.gfdrr.org/sites/default/files/publication/Desastres%20Naturales%20y%20Pobres%20Urbanos.pdf>
- Fell, R., Ho, K. K. S., Lacasse, S., & Leroi, E. (2005). A framework for landslide risk assessment and management. En O. Hungr, R. Fell, R. Couture, & E. Eberhardt (Eds.), *Landslide Risk Management* (pp. 3-25). London: Taylor & Francis <https://www.taylorfrancis.com/books/e/9780429151354/chapters/10.1201/9781439833711-4>
- Flores, M. D. A. (2020). *Identificación de zonas susceptibles a deslizamientos en el municipio de Valle de Bravo, Estado de México*. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de México, México.
- Flores, P., & Alcántara, A., I. (2012). Susceptibility to shallow landslide of soil in the municipality of Temoaya, Mexico: multicriteria analysis. *Investigaciones Geográficas*, 77, 31-47. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=56923353004>
- García, A. N. M., Méndez, E. K. M., Nava, S. S., & Vázquez, B. F. (2016). *Impacto socioeconómico de los desastres en México durante 2015*. México: Secretaría de Gobernación, Centro Nacional de Prevención de Desastres.
- 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*, 2, 195-204.
- Garduño, S. A. E. (2013). *Vulnerabilidad, ante los movimientos de ladera en el pueblo Santa Cruz Ayotuxco, municipio de Huixquilucan, Estado de México*. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma del Estado de México, México. <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/14272/403735.pdf?sequence=1>
- González, B. F., Olguín, L., J. L., Guevara, G. R. D., & Palomera, G. C. (2023). Identificación espacial del riesgo por deslizamiento de tierra en el municipio de Autlán de Navarro, Jalisco, México. *Revista Geográfica de América Central*, 70(1), 349-376. <http://dx.doi.org/10.15359/rgac.70-1.13>
- González, de V. L. I., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C. (2002). *Ingeniería geológica*. Madrid, España: Person Prentice Hall.
- Jiménez, E. M., Eslava, M. H., Salas, S. M. A., Vázquez, C. M. T., Matías, R. L. G., Camacho, Q. K. S., & Acosta, C. L. (2014). *Impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la república Mexicana en el año 2000*. 2 Serie impacto socioeconómico de los desastres en México. México: Secretaría de Gobernación, Centro Nacional de Prevención de Desastres.

- León, G. B., Ordaz, H. A., Baró, S. J. E., & Gastón, G. C. J. (2024). Análisis de los movimientos de laderas en el municipio de Ecatepec de Morelos. *Acta Universitaria*, 1(34), e3997. <http://doi.org/10.15174/au.2024.3997>
- Martínez-Velasco, G., López-Ochoa, M. S., Álvarez-Gordillo, G., & Schmook, B. (2016). Desastres, desplazamiento interno y migración laboral en la Sierra de Chiapas. *Papeles de Población*, 22(87), 201-232. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=11244805009>
- Monteleone, S., & Sabatino, M. (2014). Hydrogeological hazards and weather events: triggering and evolution of shallow landslide. *International Soil and Water Conservation Research*, 2(2), 23-29. [https://doi.org/10.1016/S2095-6339\(15\)30003-4](https://doi.org/10.1016/S2095-6339(15)30003-4)
- Mora-Ortiz, R. S., & Rojas-González, E. (2012). Efecto de la saturación en el deslizamiento de talud en la comunidad San Juan de Grijalva, Chiapas. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 8(1), 55-68. <https://www.redalyc.org/pdf/404/40423210006.pdf>
- Mungaray, L.A., Benavides, R. A., & Marín, C. R. (2023). La construcción social del riesgo en laderas volcánicas. el caso del chiquihuite en la ciudad de México. *Revista de Estudios Latinoamericanos sobre Reducción del Riesgo de Desastres REDER*, 7(2), 57-72. <https://doi.org/10.55467/reder.v7i2.124>
- Norini, G., Capra, L., Borselli, L., Zuniga, F. R., Solari, L., & Sarocchi, D. (2010). Large scale landslide triggered by quaternary tectonics in the Acambay graben, Mexico. *Earth Surface Processes and Landforms*, 35, 1445-1455. <https://doi.org/10.1002/esp.1987>
- Parrot, J-F., & Ochoa-Tejeda, V. (2013). The 2010 Muddy-debris flow of Anganguero (Mexico): modeling and simulation. En C. Margottini, P. Canuti, & K. Sassa (Eds), *Landslide Science and Practice* (pp. 66-61). Springer-Verlag Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-31310-3_9
- Pinilla, H. M. C., & Pinzón, C. C. A. (2016). An assessment of the El Niño and La Niña impacts focused on monthly and seasonal rainfall and extreme dry/precipitation events in mountain regions of Colombia and México. *Advances in Geosciences*, 42, 23-33. <https://doi.org/10.5194/adgeo-42-23-2016>
- Rivera, G. O. D. (2023). Nuevas construcciones arquitectónicas en zonas urbanas vulnerables a deslizamientos de tierra por profundidad de erosión, demarcación Álvaro Obregón, CDMX, México. *Entorno Geográfico*, 25, 1-22. <https://doi.org/10.25100/eg.voi25.12351>
- Rivera, G. O. D., & Rodríguez, V. G. M. F. T. (2024). Realidad virtual y cartografía como estrategias de concientización ante riesgos de deslizamientos de tierra, Ciudad de México. *Revista de la Universidad del Zulia*, 15(42), 447-465. <https://doi.org/10.46925/rdluz.42.25>
- Rivera-González, O. D. (2024). Resiliencia urbana y modelos cartográficos de prevención ante riesgo de deslizamientos de tierra, Ciudad de México. *Revista de Arquitectura (Bogotá)*, 26(2), 123-134. <https://doi.org/10.14718/RevArq.2024.26.5024>
- Rivera-González, O. D., & Rodríguez-Van Gort, M. F. T. (2024). Eliminación de desalojos forzosos por medio de reestructuración urbana y análisis cartográfico ante posibles deslizamientos de tierra, Sierra de Guadalupe, México. *Scientific Research Journal Centro de Investigación y Desarrollo Intelectual CIDI*, 4(7), 41-61. <https://doi.org/10.53942/srjcdi.v4i7.194>
- Rivera, O. D. (2022). Transformación urbana-ambiental y riesgo de deslizamientos de tierra en el patrimonio arquitectónico no permitido, Área Natural Protegida La Loma, Álvaro Obregón, México. *Revista Geográfica Digital*, 19(37), 102-112. <https://doi.org/10.30972/geo.19375865>
- Rodríguez, V. G. M. F. T., & Rivera, G. O. D. (2023). Afectaciones en la vivienda por deslizamientos de tierra y vinculación con la población por medio de modelos preventivos, México. *Revista Vivienda y Ciudad*, 10, 115-132.
- Rojas, G. O. (2021). Riesgos socioambientales derivados de la pérdida de servicios ecosistémicos: el caso de Ecatepec de Morelos, Estado de México. *Revista Digital de Posgrado*, 3, 32-53. <https://doi.org/10.22201/fesa.rdp.2021.3.03>
- Rosi, A., Segoni, S., Catani, F., & Casagli, N. (2012). Statistical and environmental analyses for the definition of a regional rainfall threshold system for landslide triggering in Tuscany (Italy). *Journal of Geographical Sciences*, 22(4), 617-629. <https://doi.org/10.1007/s11442-012-0951-0>
- Solorza, N. K. M. (2023). *Análisis de eventos de precipitación extrema durante 2018 en la región oriental de México*. Tesis de Maestría Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California. Baja California, México.
- Teófilo-Salvador, E. (2020). Didáctica en ingeniería, ciencias básicas y avanzadas (ICBA) para procesos de remoción en masa: el papel de la Geografía. *Revista Geográfica de América Central*, 65(2), 283-307. <http://dx.doi.org/10.15359/rgac.65-2.12>

- Teófilo-Salvador, E. (2022). "ileyana" interdisciplinariedad en la recuperación de una zona natural visualizando un atractivo turístico, San Lorenzo Toxico, México. *El Periplo Sustentable*, 42, 311-339. <https://rperiplo.uaemex.mx/article/view/12781>
- Teófilo-Salvador, E., Morales, R.G.P., Esteller, A.M.V., & Muciño, C.R. (2019a). Parámetros que controlan la percolación profunda en un cultivo de trigo. *Terra Latinoamericana*, 37, 57-68. <https://doi.org/10.28940/tl.v37i1.345>
- Teófilo-Salvador, E., Morales, R.G.P., Muciño, C.R., & Esteller, A.M.V. (2019b). Experimentación reducida-controlada in situ del deslizamiento de suelo por efecto de flujo subsuperficial de agua. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 20(3),1-12. <https://doi.org/10.22201/ii.25940732e.2019.20n3.026>
- Teófilo-Salvador, E., Morales-Reyes, G.P., Muciño-Castañeda, C.R., & Esteller-Alberich, M.V. (2019c). Modelo Hidrogeomecánico: Masa de Suelo+Flujo de Agua. *Conciencia Tecnológica*, 57, 40-45.
- Teófilo-Salvador, E., & Morales-Reyes, G. P. (2018). Propuesta del modelo físico del infiltrómetro de cilindros concéntricos rediseñado multifuncional (ICCRM). *Tecnología y Ciencias del Agua*, 9(5), 103-131. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2018-06-05>
- Valdés-Fernández, C. L., Baró-Suárez, J. E., Flores-Olvera, P., & Franco-Plata, R. (2021). Propuesta de umbrales críticos de precipitaciones detonantes de procesos de remoción en masa, caso de estudio: Estado de México. *Revista Geográfica de América Central*, 69(2), 225-255. <http://dx.doi.org/10.15359/rgac.69-2.8>
- Valdez, V. J. E., Ordaz, H. A., Espinosa, R. L. M., & Baro, S. J. E. (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, 1-23. <https://doi.org/10.14350/ig.60626>
- Vargas, J. E. (2002). *Políticas públicas para la reducción de la vulnerabilidad frente a los desastres naturales y socio-naturales*. Serie Medio Ambiente y Desarrollo 50. Santiago de Chile, Chile. http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/5749/1/S2002612_es.pdf
- Vázquez, C. M. T. (2014). *El clima en la inestabilidad de laderas, la época de lluvias*. México: Secretaría de Gobernación, Centro Nacional de Prevención de Desastres. <http://www.cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/185-ELCLIMAENLAINESTABILIDADDELADERAS.PDF>
- Velasco, M. V. D., Flores, G. F. G., González, C. G., Flores, M. M. J., & Moreno, C. H. A. (2015). Desarrollo y validación de una estación meteorológica automatizada de bajo costo dirigida a agricultura. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(6), 1253-1264. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263140688009>
- Wieczorek, G. F., & Guzzetti, F. (1999). A review of rainfall thresholds for triggering landslides. *Proceedings of the EGS Plinius Conference held at Maratea*, 1-9. <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.483.4152&rep=rep1&type=pdf>
- Zepeda, R. O., & González, M. S. (2014). *Diagnóstico de peligro e identificación de riegos de desastres en México*. México: Secretaría de Gobernación, Centro Nacional de Prevención de Desastres.