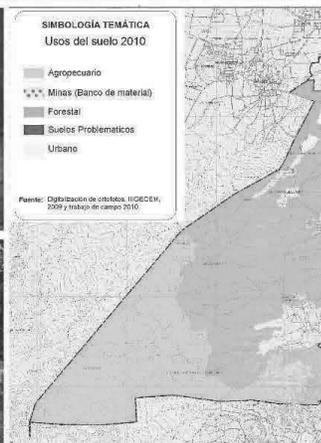


# Herramientas de gestión ambiental y territorial.

**Tomo 1**



## Coordinadores

**José Emilio** Baró Suárez

**Alexis Ordaz** Hernández

**Yered Gybram** Canchola Pantoja

**Tomo 1**

**Colección:** Gestión ambiental y territorial

# Herramientas de gestión ambiental y territorial

## Tomo 1

José Emilio Baró Suárez  
Alexis Ordaz Hernández  
Yered Gybram Canchola Pantoja  
(Coordinadores)

Colección:  
Gestión ambiental y territorial

2023

Sociedad Hijos de Calimaya, A.C.

Registro Federal de las Organizaciones de la Sociedad Civil. Clave Única de Inscripción (CLUNI): HCA1305271501E

CONACYT-Registro Nacional de Instituciones y Empresas Científicas y Tecnológicas: 1900693

José Trinidad Solares Hernández y Armando Arriaga Rivera

*Imagen de portada*

José Trinidad Solares Hernández

*Diseño de portada y contra portada*

Gisela Arriaga Romero

*Corrección de estilo*

Juan Fernando Becerril Hernández y Armando Arriaga Rivera

*Diseño, producción editorial y formación*

DR. © 2023 Sociedad Hijos de Calimaya A. C., Calimaya de Díaz González, Calimaya, Estado de México.

Primera edición: mayo de 2023

ISBN: 978-607-98906-4-3 (Colección digital)

ISBN: 978-607-98906-5-0 (Tomo 1 digital)

Colección. Gestión ambiental y territorial

*Herramientas de gestión ambiental y territorial. Tomo 1*

José Emilio Baró Suárez

Alexis Ordaz Hernández

Yered Gybram Canchola Pantoja

*(Coordinadores)*

Las opiniones y puntos de vista expresados en la presente obra son responsabilidad única y exclusiva de los autores y no necesariamente representan las opiniones o posiciones de la editorial, y las de sus integrantes.

Esta obra ha sido evaluada por pares académicos ciegos. Libro financiado por los autores del libro. Esta publicación no podrá ser reproducida total o parcialmente, incluyendo el diseño de portada; tampoco podrá ser transmitida ni utilizada de ninguna manera por algún medio, ya sea electrónico, mecánico, electromecánico o de otro tipo sin autorización por escrito de los autores o editores.

Impreso y hecho en México.

# Contenido

Introducción	5
Bloque 1. Instrumentos de política ambiental	
Capítulo 1	
<i>Participación social, concertación y conflicto</i>	10
<i>Edel Cadena Vargas</i>	
Capítulo 2	
<i>Instrumentos de política ambiental</i>	25
<i>José Emilio Baró Suárez, Yered Gybram Canchola Pantoja y Armando Arriaga Rivera</i>	
Capítulo 3	
<i>Planeación, ordenamiento territorial y gestión</i>	77
<i>Juan Campos Alanís</i>	
Bloque 2. Activos ambientales, herramientas regulatorias y soluciones	
Capítulo 4	
<i>Principios básicos de gestión municipal del agua</i>	119
<i>Miguel Ángel Martín del Campo, José Luis Expósito Castillo y Juan Carlos Garatachía Ramírez</i>	
Capítulo 5	149
<i>Calidad del aire</i>	
<i>Armando Arriaga Rivera y Juan Carlos Garatachía Ramírez</i>	
Capítulo 6. Recurso suelo	169
<i>Miguel Ángel Balderas Plata</i>	

Capítulo 7. Diversidad biológica	209
<i>Clarita Rodríguez Soto y José Emilio Baró Suárez</i>	
Capítulo 8. Paisaje	241
<i>Julio Cesar Carbajal Monroy</i>	
Capítulo 9. Residuos sólidos	267
<i>Armando Reyes Enríquez</i>	
Bloque 3. Los escenarios de riesgos y sus afectaciones territoriales ambientales	
Capítulo 10. Responsabilidad ambiental. Estrategia para la gestión ambiental municipal. El caso de Calimaya un municipio del Altiplano Mexicano	287
<i>José Isabel Juan Pérez</i>	
Capítulo 11. Riesgos siconaturales	317
<i>José Emilio Baró Suárez, Juan Carlos Garatachía Ramírez y Noel Bonfilio Pineda Jaimes</i>	
Capítulo 12. Riesgos antropogénicos	341
<i>Jesús Salomón Llanes y Juan Carlos Garatachía Ramírez</i>	
Capítulo 13. Los movimientos de laderas. Una mirada desde su impacto socio económico local y metodológico	351
<i>Alexis Ordaz Hernández, José Emilio Baró Suárez y Patricia flores Olvera</i>	
Capítulo 14. Gestión de los riesgos siconaturales. Una mirada desde la realidad contemporánea local mexicana	365
<i>José Emilio Baró Suárez, Alexis Ordaz Hernández y Armando Arriaga Rivera</i>	
Reflexiones finales	377

# Capítulo 13. Los movimientos de laderas. Una mirada desde su impacto socioeconómico local y metodológico

ALEXIS ORDAZ HERNÁNDEZ <sup>1</sup>

JOSÉ EMILIO BARÓ SUÁREZ <sup>2</sup>

PATRICIA FLORES OLVERA <sup>3</sup>

## Introducción

Los procesos de planificación del territorio llevan implícito un riguroso análisis de las condiciones geólogo geomorfológicas del terreno. El aumento paulatino de la mancha urbana ha conducido a la ocupación de territorios con características físicas cada vez más complejas. Esto ha derivado en la ocurrencia de eventos muy catastróficos, especialmente donde se conjugan sectores de muy alta peligrosidad frente a escenarios muy vulnerables en estructura y sociedad (Figura 1).

En la actualidad los procesos gravitacionales constituyen una verdadera amenaza y el conocimiento aproximado de las metodologías para su estudio e inclusión en los planes de ordenamiento territorial, son una prioridad en la gestión de riesgos. Un primer elemento a considerar en la elección de la metodología idónea, es el factor escala. Existe una marcada diferencia en el estudio de un deslizamiento o ladera en particular, un área ocupada por un conjunto de laderas (Figura 2). Precisamente este trabajo abordará ambas perspectivas, elementos que reforzarían desde el aspecto teórico a las autoridades municipales en materia de administración y protección civil.

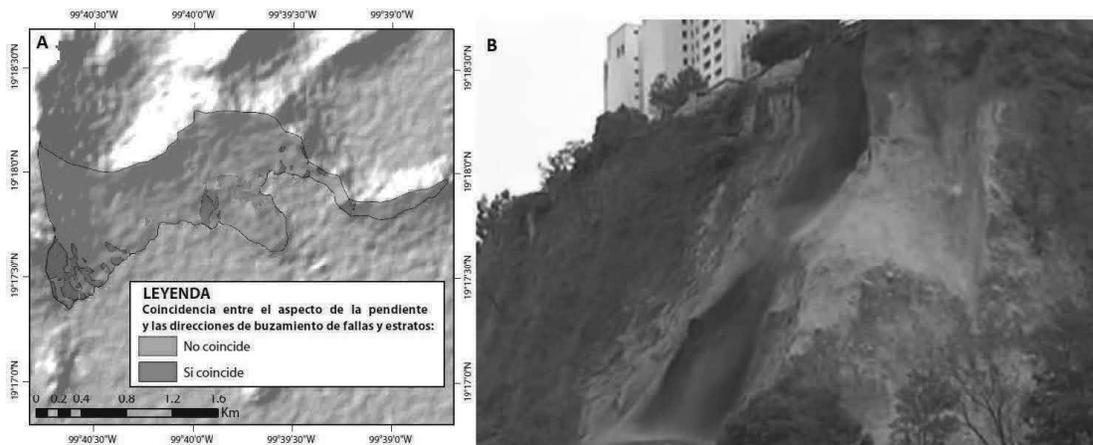
- 
- 1 Doctor en Ciencias Técnicas. Facultad de Geografía, Universidad Autónoma del Estado de México.
  - 2 Doctor en Geografía. Facultad de Geografía, Universidad Autónoma del Estado de México.
  - 3 Doctora en Ciencias de la Tierra. Facultad de Geografía, Universidad Autónoma del Estado de México.

Figura 1. Laderas del Cerro El Agustino en Lima, Perú



Fuente: Robert (2007) tomado de Robert y Sierra (2009).

Figura 2. Laderas en ciudad de Toluca y Santa Fe, ciudad de México



Fuente: Mapa (A) elaborado por Ordaz *et al.*, (2019).

Nota: El mapa A: Estudio enfocado a un conjunto de laderas susceptibles a desprendimientos de rocas en la ciudad de Toluca. La fotografía B: Deslizamiento de Santa Fe, ciudad de México, sitio donde se debe emplear una escala de detalle para el análisis de una ladera en particular.

Un acercamiento al contexto mexiquense con apoyo de datos abiertos ofrecidos por el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED, 2019) favorece a análisis lógico del fenómeno. En este caso, la cartografía publicada permite definir amplias zonas de susceptibilidad alta y muy alta a los deslizamientos (especialmente en la porción suroeste y este del Estado de México). De forma particular, los municipios con mayor superficie de susceptibilidad son: Amatepec, Atlautla, San Simón de Guerrero, Tejupilco y Tlatlaya.

Trabajos recientes han revelado zonas muy susceptibles a los movimientos de laderas, en municipios como Temascaltepec se demostró que el 39.86% de la superficie municipal presenta un peligro medio y el 10.66% peligro alto (Serrano, 2018) (Figura 3).

Figura 3. Escarpes de antiguos deslizamientos en el municipio Temascaltepec

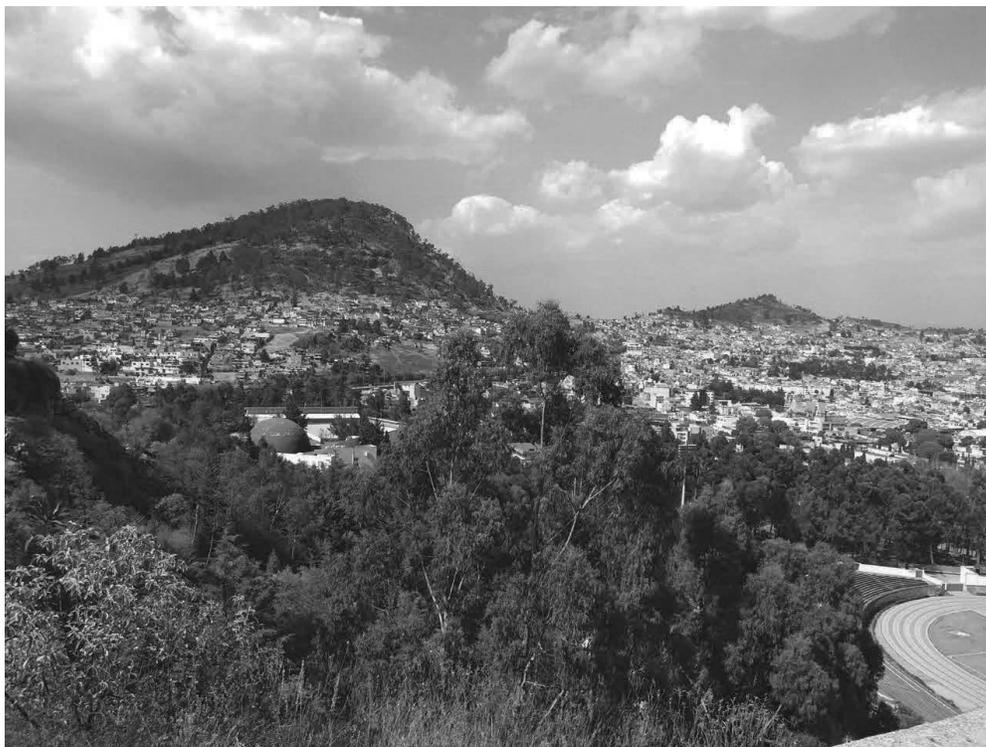


Fuente: Serrano (2018).

Para el municipio de Toluca (capital) resalta el sector de La Teresona – Zopilocalco Norte, donde actualmente residen 21,687 (Figura 4). Un reciente trabajo realizado por Ordaz *et al.*, (2019) escala de detalle, indica que aproximadamente el 22 % de esa población reside en zonas de muy alta y alta susceptibilidad a los desprendimientos de rocas (4,687 personas). Mientras que el 51 % (11,109 personas) habita en zonas de susceptibilidad media. Esta realidad ofrece una dimensión de las circunstancias complejas que afronta una importante parte de la población del centro-norte de la ciudad de Toluca.

Marca pautas para la toma de decisiones, por parte de Protección Civil Municipal especialmente para el establecimiento de sistemas de alerta; en periodos de intensas lluvias, principal factor detonante. El citado estudio ubica, además, a 1,126 viviendas en condiciones de alta y muy alta susceptibilidad a los desprendimientos de rocas, cuyas zonas presentan condiciones muy desfavorables para el desarrollo urbano, por viviendas de infraestructura de gran porte, como hospitales, escuelas, plazas comerciales u otras.

Figura 4. Vista del sector La Teresona – Zopilocalco Norte. Municipio de Toluca. Urbanización emplazada sobre laderas inestables



Fuente: Fotografía tomada por Alexis Ordaz Hernández.

## 1. Reflexiones sobre los estudios deslizamientos en una ladera o talud

Existen múltiples ejemplos de deslizamientos ocurridos en una ladera específica, donde algunos de ellos han resultado verdaderas catástrofes. Un caso particular es el deslizamiento de El Berrinche en Tegucigalpa (Honduras) inducido por las intensas lluvias del Huracán Mitch en octubre de 1998 (Figura 5). Este movimiento de tierra ocasionó una cadena de acontecimiento descrito por Harp *et al.*, (2002:3):

El deslizamiento de tierra El Berrinche, en Tegucigalpa, fue el mayor de los deslizamientos de tierra aislados ocasionados por el huracán Mitch en Honduras. Destruyó una porción del centro de la ciudad conocida como Colonia Soto y represó el Río Choluteca, creando así una laguna de aguas residuales, corriente arriba de la presa formada por el deslizamiento de tierra. Este hundimiento/flujo de tierra complejo tenía un volumen de aproximadamente 6 millones de metros cúbicos. Debido al lento movimiento inicial del deslizamiento de tierra durante las lluvias provocadas por el huracán, fue posible evacuar a los residentes que habitaban en la masa del deslizamiento de tierra

antes que se iniciará el rápido desplazamiento y que culmina en el represamiento del río. El río quedó represado aproximadamente a las 12:30 am del 31 de octubre, aproximadamente una hora después de ocurrir el máximo caudal de inundación del Río Choluteca.

Figura 5. Deslizamiento de tierra El Berrinche



Fuente: Harp et al. (2002).

También son abundantes escenarios de deslizamientos locales, en este contexto se puede citar lo ocurrido en Santa Fe (Ciudad de México), octubre 2015. Provocando la evacuación de más de un centenar de habitantes de los edificios cercanos al sitio (Figura 2B). En general, la posible solución a casos similares, está en lograr una aproximación de análisis de estabilidad en las laderas.

En ocasiones los cálculos de estabilidades son coherentes con la realidad física del escenario geográfico, sufriendo el sitio transformaciones antrópicas no previstas en el proyecto original. Estos cambios pueden provocar transformaciones sustanciales en la geometría de laderas en condiciones hidrogeológicas e incluso en el grado de meteorización de rocas.

Para el análisis de estabilidad de una ladera específica se deben contraponer las fuerzas que ponen en movimiento el posible cuerpo deslizante manteniéndolo estable (ecuación 1):

$F = \text{Fuerzas estabilizadoras} / \text{Fuerzas desestabilizadoras} \quad (1)$

La relación anterior ofrece el coeficiente de estabilidad (F), es decir, el valor de coeficiente de estabilidad superior a 1.0 suponiendo una ladera estable, interpretándose físicamente como un predominio de fuerzas estabilizadoras sobre las desestabilizadoras.

Así existen clasificaciones de taludes en función de su uso en el tiempo, por ejemplo “temporales” y “permanentes”. González de Vallejo (2002) sugiere adoptar coeficientes de seguridad superiores a 1.5 para taludes permanentes, incluso 2.0 en función del nivel de seguridad requerido por la obra a construir o presentando el nivel de incertidumbre de los datos geotécnicos empleados en los cálculos de estabilidad. Este mismo autor propone asumir coeficientes de estabilidad o factor de seguridad en el entorno de 1.3 para taludes temporales.

Evidentemente el paso más complejo es definir el valor correspondiente a las “Fuerzas estabilizadoras” y “Fuerzas desestabilizadoras” de la ecuación 1 se han desarrollado diferentes métodos para lograr aproximaciones en ambas magnitudes. Los más aplicados en este sentido, determinísticos y dentro de estos los métodos de equilibrio límite; así como los tenso-deformacionales. González de Vallejo (2002) y Alonso (2005) encuentran una amplia descripción de las diferentes variantes y tendencias metodológicas. En este material solo se hace referencia en la información con la que se sustentan los citados métodos.

En sentido general los métodos de equilibrio límite han sido empleados por su sencillez de procesamiento físico-matemático y debido especialmente a que los resultados son bastantes cercanos a la realidad. La información requerida para emplear cualquiera de las variantes antes mencionadas, se puede agrupar en tres grupos: (1) información geométrica de la ladera o talud, (2) información geotécnica e (3) información geólogo estructural.

La información geométrica requerida por los métodos de cálculo de estabilidad de laderas o taludes, son fundamentales para la inclinación de la ladera (en grados) y la altura (en metros). En laderas conformadas por secuencias estratificadas, es importante determinar la dirección de la inclinación de la pendiente, y compararla con la dirección del buzamiento de los estratos (Figura 6). La coincidencia entre ambas direcciones incrementa la potencia amenazada por el deslizamiento.

Figura 6. Coincidencia entre la dirección de los buzamientos de los estratos y la dirección de la inclinación de la pendiente



Fuente: González de Vallejo (2002).

Mientras que la información geotécnica a emplear agrupa parámetros físicos y mecánicos de los materiales presentes en el talud, los parámetros mecánicos más involucrados como las variantes de Taylor y Hoek y Bray son cohesión y ángulo de rozamiento (fricción interna). Por otra parte, entre los parámetros físicos más importantes está el peso específico de los materiales, la humedad y saturación.

Finalmente, la información geólogo estructural juega un papel decisivo ya que la elección del método de cálculo, inicialmente depende del tipo de material presente ya sea roca o suelo. También es importante definir la posición de la superficie freática y su nivel de influencia en el talud (presión intersticial). Otra información relevante a considerar es la aceleración esperada del terreno, especialmente en zonas de mediana y alta sismicidad histórica; elemento que generalmente se incluye en las ecuaciones de equilibrio límite.

Para completar la información geólogo estructural, es significativo un análisis estructural minucioso de la ladera, donde se determinen la posición de las fallas, elementos de yacencia, buzamiento de los estratos y su dirección del buzamiento como la densidad de ocurrencia las fracturas. Los elementos estructurales y su correcta interpretación en múltiples casos constituyen la clave para identificar la potencia de las superficies deslizantes o para pronosticar el tipo de rotura; por ejemplo, forma de cuña, plana o vuelcos.

## 2. Reflexiones sobre los estudios deslizamientos en áreas compuestas por laderas inestables con el uso de las geotecnologías

El análisis de los deslizamientos requiere de un gran número de parámetros de entrada, así como el apoyo de técnicas de análisis que pueden ser costosas y consumir tiempo. Por ello, el desarrollo de las geotecnologías como los Sistemas de Información Geográfica (SIG), Percepción Remota y sistemas de geoposicionamiento global (GPS) cuyo uso ha incrementado en las últimas décadas, creando oportunidades para detallar y analizar rápidamente el peligro por deslizamiento (Carrara *et al.*, 1999).

El uso de imágenes de satélite en estudios de deslizamientos de tierra, se inició a mediados de los años setenta, pero sólo a nivel científico de forma restringida debido a causas de disponibilidad de fondos e imágenes por la falta de conocimiento sobre la aplicación de los diferentes tipos de sensores remotos y cooperación limitada entre los diversos grupos de investigación (Mantovani *et al.*, 1996).

En la actualidad las imágenes de satélite disponibles (SPOT, LANSAT TM, JERS-1, entre otros) son en su mayoría útiles como método indirecto, esta tecnología puede usarse en la elaboración de inventarios para el movimiento de remoción en masa y mapeo de factores que los controlan (Temesgen *et al.*, 2001) o bien solo monitoreo.

Hervás y Barredo (2001) utilizan esta herramienta para elaborar el mapa de cambio de uso del suelo como un factor condicionante en la generación de deslizamientos De La Ville *et al.*, (2002) lleva a cabo un estudio en zonas montañosas de Venezuela con uso de imágenes IKONOS que permiten recabar datos con un nivel de detalle alto en zonas poco accesibles.

Alcántara *et al.*, (2006) destacan su importancia como una herramienta útil en los estudios de deslizamientos a escala local y regional, principalmente para analizar la relación entre la fragmentación de la vegetación con incidencia espacial de los deslizamientos en la región de la Sierra Norte, Puebla, México; también Borja-Baeza *et al.*, (2006) estudia lo anterior en Zacapoaxtla, Puebla utilizando imágenes IKONOS como Ochoa y Parrot en 2007.

Por otra parte, las primeras aplicaciones de un prototipo de sistema de información geográfica, en el análisis de la zonificación del peligro por deslizamiento, data a finales de los años setenta con los trabajos elaborados por Carrara *et al.* (1978) Huma y Radulescu (1978), Radbruch-Hall *et al.*, (1979). Durante los ochenta, el mapeo de la inestabilidad de laderas, se incrementó debido al desarrollo comercial pareciendo plataformas como ARC/INFO, Intergraph, SPANS, ILWIS e IDRISI y el incremento de computadoras personales. Algunos ejemplos son los trabajos elaborados por Kienholz *et al.*, (1988) que usaron sistemas de información geográfica para realizar un análisis de

peligro montañoso, cuya base fue la interpretación detallada de fotografías aéreas y los datos geomorfológicos (Van Westen, 1994).

Actualmente, el uso de estas técnicas es fundamental para el análisis de peligro por deslizamientos debido a las ventajas que brindan: capacidad de almacenar numerosa información y examinar cada factor o combinación de aquéllos reduciendo tiempos y costos; si la información es confiable y los resultados ayudar a elaborar modelos o escenarios útiles en la reducción del riesgo y desastre (Aceves-Quesada et al., 2006; Castellanos y Van Westen., 2008; Cevik y Topal, 2003; Champati, 2004; Komac, 2006; Liu et al., 2004; Ranjan et al., 2008).

En el caso de México, el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) propone una Guía básica para la elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos, la cual contempla la estimación de probabilidad en ocurrencia, niveles de amenaza, atributos geotécnicos, topográficos y ambientales en áreas afectadas con la percepción comunitaria.

Diversos estudios sobre zonificación de procesos de remoción en masa se han llevado a cabo en la Sierra Norte de Puebla, tales como Cuanalo-Campos y Melgarejo-Palafox (2002) quienes elaboran un mapa preliminar de riesgo por deslizamientos. Borja-Baeza y Alcántara-Ayala (2004) realizan un estudio de análisis de inestabilidad en laderas de Zacapoaxtla, Puebla a partir de la interacción del relieve, la concentración de la humedad y las propiedades de los materiales utilizándose el índice de estabilidad SINMAP (Stability Index Mapping) a través de un Modelo Digital del Terreno (MDT) con el uso de un SIG (Arc View). Zaragoza-Zúñiga (2006) elabora también un mapa de susceptibilidad en procesos de laderas, Cuetzalan que incluye los estados de Puebla y Veracruz con un enfoque geomorfológico considerando la información geológica, genética, morfológica, dinámica y edad relativa del relieve más características morfométricas.

Hernández Mena (2008) realiza un mapa de susceptibilidad de procesos para remoción de masas bajo un análisis discriminante entre dos grupos: estable-inestable y factores generadores en la región de Zapotitlán de Méndez, Puebla. Ochoa-Tejeda (2004 y 2009) también realiza un mapa de susceptibilidad en procesos de remoción en masa en la Sierra Norte de Puebla y en la zona de La Soledad a partir de modelos digitales del terreno e imágenes de satélite.

En la Sierra de Guadalupe, Ciudad de México, se realizó un trabajo de investigación sobre procesos de remoción de masa con un enfoque geomorfológico asociado a la sismicidad de la zona (Fraustro, 1999); además García-Palomo, et al., (2006) elabora un mapa de inventario en procesos de remoción en masa.

### 3. Técnicas del análisis multicriterio en la zonificación del peligro

El método de Evaluación Multicriterio es considerado semicuantitativo y definido como un conjunto de técnicas orientadas a los procesos en la toma de decisiones. Consiste en el manejo y procesamiento de datos que comprende desde la sobreposición simple de mapas temáticos hasta la identificación de áreas en condiciones específicas para la utilización de operadores matemáticos o modelos numéricos integrados en la predicción de una dinámica de eventos naturales (López-Blanco, 2005). Para ello se utiliza el proceso de análisis jerárquico desarrollado por Saaty (1980) que basa una escala de medida establecida para asignar los juicios de valor en tipo continuo (ratios o razón); va desde un mínimo de 1/9 (extremadamente menos importante) hasta 9 (extremadamente más importante), definido por Saaty (1977, 1980) (Escala 1).

#### Escala1. Proceso de análisis jerárquico

1/9      1/7      1/5      1/3      1      3      5      7      9

Donde:

1/9 = extremadamente menos importante

1 = igualmente importante

9 = extremadamente más importante

Fuente: Saaty (1977, 1980).

En el ámbito de la geografía se aplica la evaluación de cambios de uso de suelo y cobertura del mismo, conservación de recursos naturales, evaluación de peligros naturales y prevención de desastres (Chen *et al.*, 2001; Aceves-Quesada *et al.*, 2006, Komac 2006; Castellanos y Van Westen, 2008). En el caso de la inestabilidad de laderas, sirve para cuantificar los juicios u opiniones de los especialistas involucrados en la importancia de cada uno de los criterios usados para determinar las zonas de susceptibilidad a deslizamientos.

### Conclusiones

La ocupación segura del territorio lleva implícito un riguroso análisis de las condiciones geológico geomorfológicas del terreno. Esta necesidad se hace cada vez más latente, debido al aumento paulatino de la mancha urbana y el emplazamiento de comunidades vulnerables económicamente sobre escenarios físicos muy complejos topográficamente.

Un recorrido por el análisis de los procesos de ladera en el municipio de Toluca, revela el caso del sector La Teresona - Zopilocalco Norte, donde hoy

día residen 21,687. De esta población, el 22 % vive en zonas de muy alta y alta susceptibilidad a los desprendimientos de rocas (4.687 personas). Mientras el 51 % (11,109 personas) habita en zonas de susceptibilidad media; esta realidad ofrece una dimensión de las circunstancias complejas que afronta una importante parte de la población del centro-norte en la ciudad de Toluca. Además, marca pauta para la toma de decisiones, por parte de Protección Civil Municipal, especialmente para el establecimiento de sistema de alerta, en periodos de intensas lluvias (factor detonante).

Desde el punto de vista metodológico, el trabajo repasa las principales técnicas y métodos para revelar diferentes niveles de susceptibilidad a los movimientos de laderas; en este caso, hace énfasis en la marcada diferencia existente entre el estudio de un deslizamiento o ladera en particular y el de un área ocupada por un conjunto de laderas. Para cada caso se deben emplear técnicas diferentes, es el caso del estudio de un talud o ladera específico que debe conducir al cálculo del coeficiente de estabilidad; mientras que para un estudio a escala municipal o estatal puede aplicarse otros métodos como el análisis multicriterio con apoyo de los sistemas de información geográfica.

## Bibliografía

- Aceves-Quesada, F., López-Blanco, J y Martin del Pozzo, A. (2006). Determinación de peligros volcánicos aplicando técnicas de evaluación multicriterio y SIG en el área del Nevado de Toluca, centro de México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, vol. 23, núm. 2, pp. 113-124.
- Alcántara-Ayala, I., Esteban-Chávez, O., and Parrot J. F. (2006). Landsliding related to land-cover change: A diachronic analysis of hillslope instability distribution in the Sierra Norte, Puebla, and Mexico. *Catena*, vol. 65, issue 2, pp. 152-165.
- Alonso E. (2005). *Estabilidad de Taludes*. Libro editado por el Departament d' Enginyeria del Terreny, Cartogràfica, Geofísica E.T.S. d'Enginyeria de Camins, Canals, Ports Universitat Politècnica de Catalunya, 61 p.
- Borja-Baeza, R y Alcántara-Ayala, I. (2004). Procesos de remoción en masa y riesgos asociados en Zacapoaxtla Puebla. *Investigaciones Geográficas*, Boletín, núm. 53, Instituto de Geografía, UNAM, México, pp. 7-26.
- Borja-Baeza, R, Esteban-Chávez, O, Marcos-López, J., Peña-Garnica, R.J., y Alcántara-Ayala, I. (2006). Slope Instability on Pyroclastic Deposits: Landslide Distribution and Risk Mapping in Zacapoaxtla, Sierra Norte De Puebla, Mexico. *Journal of Mountain Science*, vol. 3, no. 1, pp.1-19.
- Carrara, A., Catalano, E., Sorriso-Valvo, M., Reali, C., and Osso, I. (1978). Digital terrain analysis for land evaluation. *Geologia Applicata e Idrologia*, 13, pp. 69-127.
- Carrara, A., Guzzetti, F., Cardinali, M and Reichenbach, P. (1999). Use Gis Technology in the Prediction and Monitoring of Landslide Hazard. *Natural Hazard*, vol. 20, no. 2-3, pp. 117-135.
- Castellanos-Abella, E. A y Van Westen, C. J. (2008). Qualitative landslide susceptibility as-

- assessment by multicriteria analysis: A case study from San Antonio del Sur, Guantánamo, Cuba. *Geomorphology*, vol. 94, issues 3-4, pp. 453-466.
- CENAPRED (2019). Datos abiertos consultado en <https://datos.gob.mx/busca/dataset/centro-nacional-de-prevencion-de-desastres/resource/3781d5be-8bbb-4e8c-944f-7359ee97bccc>
- Cevik, E and Topal, T. (2003). GIS-based landslide susceptibility mapping for a problematic segment of natural gas pipeline, Hendek (Turkey). *Environmental Geology*, vol. 44, no. 8, pp. 949-962.
- Champati, R. (2004). Landslide Hazard Zonation Using Spatial Models in GIS, in Nagarajan R (ed.). *Landslide Disaster Assessment and Monitoring*, Anmol Publications, New Delhi, pp. 81-90.
- Chen, K., Blong, R and Jacobson, C. (2001). MCE-RISK: integrating multicriteria evaluation and GIS for risk decision-making in natural hazards. *Environmental modeling and software*, vol. 16, no. 4, pp 387-397.
- Cuanalo-Campos, O. A y Melgarejo-Palafox, G. (2002). Inestabilidad de laderas Sierra Norte y Nororiental del estado de Puebla. *Elementos: Ciencia y Cultura*, vol.9, núm. 47, pp.51-55.
- De La Ville, N., Chumaceiro-Díaz A and Ramírez, D. (2002). Remote sensing and GIS technologies as tools to support sustainable management of areas devastated by landslides. *Environment, Development and Sustainability*, vol. 4, núm. 2, pp. 221–229.
- Fraustro, M. O. (1999). Derrumbes, deslizamientos y expansión lateral del suelo provocados por la sismicidad en el graben de Cuatepec: Región sur de la Sierra de Guadalupe, en la Ciudad de México. *Investigaciones Geográficas*, Boletín, núm. 30, Instituto de Geografía, UNAM, México, pp.15-29.
- Galindo S., J. A. e I. Alcántara-Ayala (2015). Inestabilidad de laderas e infraestructura vial: análisis de susceptibilidad en la Sierra Nororiental de Puebla, México, *Investigaciones Geográficas*, Boletín, núm. 88, Instituto de Geografía, UNAM, México, pp. 122-145.
- García-Palomo, A., Carlos-Valerio, V., López-Miguel, C., Galván-García, A., and Concha-Dimas, A. (2006). Landslide inventory map of Guadalupe Range, north of the Mexico basin. *Boletín de la Sociedad Mexicana*, Número Especial de Geología Urbana, tomo LVIII, núm., 2, pp. 195-204.
- González de Vallejo L.I. (2002). *Ingeniería Geológica*. Pearson Educación, 744 p.
- Harp E.L., Castañeda M. y Held M.D. (2002). Deslizamientos de tierra provocados por el huracán Mitch en Tegucigalpa, Honduras. *Reporte de archivo abierto 02-33*. Departamento del Interior de los Estados Unidos U.S. Geological Survey, 12 p.
- Hernández-Mena, Z. (2008). *Mapa de susceptibilidad a procesos de remoción en masa con base en análisis Multivariado: la región de Zapotitlán de Méndez*, Puebla, tesis de Maestría, Centro de Geociencias. UNAM.
- Hervás, D. D y Barredo, C. (2001). Evaluación de la susceptibilidad de deslizamientos mediante el uso conjunto de SIG, teledetección y métodos de evaluación multicriterio. Aplicación al barranco de Tirajana (Gran Canaria). V *Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables*, [[eusoils.jrc.ec.europa.eu/library/themes/.../Hervas\\_Barredo\\_2001\\_Madrid.pdf](https://eusoils.jrc.ec.europa.eu/library/themes/.../Hervas_Barredo_2001_Madrid.pdf)].
- Hoek, E. and Bray, J.W. (1981). Rock slope engineering. Institution of Mining and Metallurgy,

*CAPÍTULO 13. LOS MOVIMIENTOS DE LADERAS. UNA MIRADA DESDE SU IMPACTO  
SOCIOECONÓMICO LOCAL Y METODOLÓGICO*

Londo

- Huma, I., and Radulescu (1978). Automatic production of thematic maps of slope instability, *Bulletin of the International Association of Engineering Geologists*, 17, pp.95-99.
- Kienholz, H., Mani, P., and Kly, M. 1988. Rigi Nordlene. Beurteilung der Naturgefahren und Waldbauliche Prioritätenfestlegung, in *Proceedings Interpreavent 1988*, Graz, Austria, 1, pp.161-174.
- Komac, M. (2006). A landslide susceptibility model using the Analytical Hierarchy Process method and multivariate statistics in *perialpine Slovenia*. *Geomorphology*, vol. 74, issue 1-4, pp 17–28.
- Liu, J. G., Mason, P. J., Clerici, N., Chen, S., Davis, A., Miao, F., Deng H and Liang L. (2004), “Landslide hazard assessment in the Three Gorges area of the Yangtze river using ASTER imagery: Zigui–Badong”. *Geomorphology*, vol, 61, issues 1-2, pp. 171–187.
- López-Blanco, J. (2005). *Sistemas de información geográfica en estudios de geomorfología ambiental y recursos naturales*. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Filosofía y Letras, Serie Seminarios.
- Mantovani, F., Soeters, R., Van Westen, C. J. (1996). Remote sensing techniques for landslides studies and hazard zonation in Europe. *Geomorphology*, vol. 15, issues 3-4, pp. 213-225.
- Ochoa-Tejeda, V y Parrot, J. F. 2007. Extracción automática de trazas de deslizamientos utilizando un modelo digital de terreno e imágenes de satélite de alta resolución IKONOS. Ejemplo en la Sierra Norte de Puebla, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, vol. 24, núm. 3, pp. 354-367.
- Ochoa-Tejeda, V. 2004. *Propuesta metodológica para el estudio de la inestabilidad de laderas a partir de los MDT y la Percepción Remota*, Sierra Norte de Puebla, México, Facultad de Filosofía y Letras, Tesis Maestría, UNAM.
- Ochoa-Tejeda, V. (2009). *Control estructural de la inestabilidad de laderas: modelo tridimensional de los rasgos geológicos*, tesis Doctoral. Instituto de Geofísica. UNAM.
- Ordaz Hernández, A., Esquivel Arzate, R., Hernández Santana, J., y Cabadas Báez, H. (2019). *Análisis de susceptibilidad a desprendimientos de rocas en el sector centro-norte de la ciudad de Toluca, Estado de México*. Trabajo Inédito. Facultad de Geografía, UAEMex.
- Radbruch-Hall, D.H.; Edwards, K. and Batson, R.M. (1979). Experimental engineering geological maps of the conterminous United States prepared using computer techniques. *Bulletin International Association of Engineering Geologist*, 19, pp. 358-363.
- Ranjan, K. D., Shuichi, H., Atsuk, N., Santosh, Y and Pradeep, P. (2008). Predictive modeling of rainfall-induced landslide hazard in the Lesser Himalaya of Nepal based on weights-of-evidence. *Geomorphology*, vol. 102, issues 3-4, pp. 496-506.
- Robert, J. and Sierra, A. (2009). Construcción y refuerzo de la vulnerabilidad en dos espacios marginales de Lima. *Bulletin de l’Institut français d’études andines*, vol.38, no. 3, pp. 595-621.
- Saaty, T.L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill, New York.
- Serrano, D. (2018). *Análisis del peligro de deslizamientos en el Municipio de Temascaltepec, Estado de México*. Tesis para obtener el título de Licenciado en Geología ambiental y recursos hídricos. Facultad de Geografía, UAEMex.

- Taylor, D.W. (1948). *Fundamentals of Soil Mechanics*. Wiley. Taylor, D.W., 1961. *Principios fundamentales de mecánica de suelos*. CECSA, Mexico, D.F.
- Temesgen, B., Mohammed, M. U., and Korme T. (2001). Natural Hazard Assessment Using GIS and Remote Sensing Methods, with Particular Reference to the Landslides in the Wondogenet Area, Ethiopia. *Physics and Chemistry of the Earth*, Part C, vol. 26, no. 9, pp. 665-615.
- Van Westen, C. J. (1994). GIS in landslide hazard zonation: a review, with examples from the Andes of Colombia, in Price, M and Heywood, I. (eds.), *Mountain Environments and Geographical Information*. Taylor and Francis, London, pp. 135-165.
- Zaragoza-Zúñiga, N. (2006). *Procesos de ladera en la región de Cuetzalan: un enfoque geomorfológico*, tesis de licenciatura, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM.