

MODELO DE SUSCEPTIBILIDAD A INESTABILIDAD DE LADERAS PARA LA IDENTIFICACIÓN DE MUNICIPIOS CON DIFÍCIL ACCESO A SERVICIOS DE EMERGENCIA. SUBCUENCA COPALITA, OAXACA, MÉXICO

Rocio Marisol Alanis Anaya

Colegio de Geografía, Facultad de Filosofía y Letras,
Universidad Nacional Autónoma de México

Resumen: En México, los procesos de inestabilidad de laderas ocasionan bloqueos de caminos, pérdidas de infraestructura y de vidas humanas. Además, en muchas comunidades los caminos no son adecuados para que los servicios de emergencia puedan llegar rápidamente a atender las afectaciones. Este estudio se realizó en la subcuenca Copalita en Oaxaca donde viven 260,056 habitantes en un área de 152,240 ha, se evaluó la susceptibilidad a inestabilidad de laderas a través del análisis multicriterio ponderado de factores condicionantes y desencadenantes, y el resultado permitió relacionar la distancia y tiempo de llegada a municipios con difícil acceso en áreas susceptibles a inestabilidad de laderas. Los principales resultados muestran que al interior de la subcuenca Copalita no se cuenta con servicios de emergencia para atender afectaciones y los tiempos de respuesta pueden llegar a ser hasta de seis horas en las comunidades más alejadas.

Palabras clave: Susceptibilidad, Inestabilidad de laderas, Vulnerabilidad social, Análisis multicriterio ponderado, Sistema de información geográfica libre.

Model of susceptibility to instability of slopes for the identification of municipalities with difficult access to emergency services. Copalita subbasin, Oaxaca, Mexico

Abstract: In Mexico, landslides cause road blockages, loss of infrastructure and human lives. In addition, in many communities the roads are not

Recibido: 01-11-2021. Aceptado: 05-12-2022.

DOI: https://doi.org/10.26754/ojs_geoph/geoph.2022746082



adequate for the emergency services to quickly arrive to attend to the damage. This study was carried out in the Copalita sub-basin in Oaxaca, where 260,056 inhabitants live in an area of 152,240 ha. The landslides were evaluated through weighted multicriteria analysis of conditioning and triggering factors, and the result allowed to relate the distance and time of arrival to municipalities with difficult access in areas susceptible to slope instability. The main results show that within the Copalita sub-basin there are no emergency services to attend to damages and response times can be up to six hours in the most remote communities.

Keywords: Susceptibility, Slope instability, Social vulnerability, Multi criteria analysis weighting, Open Geographic Information System.

1. Introducción

En México, es frecuente la inestabilidad de laderas en zonas con pendientes abruptas, depósitos deleznable y cambios de uso de suelo que modifican el paisaje y aceleran los procesos erosivos afectando la estabilidad del terreno (Werner, 1996; Alcántara *et al.*, 2008; Legorreta Paulín *et al.*, 2014; Reichenbach *et al.*, 2014; Alanís Anaya *et al.*, 2017; Domínguez Morales *et al.*, 2020). Asimismo, en sitios alejados de zonas urbanas escasean los servicios de emergencia que pueden atender a la población en caso de que se requiera el rescate de las personas vulnerables, lesionadas por los escombros o que hayan quedado incomunicadas en eventos gravitacionales por inestabilidad de laderas (Diario Marca, 2020).

Un ejemplo de ello ocurrió en el año 2020 en los límites del sur de México y Centroamérica, durante la emergencia por la tormenta tropical ETA que causó múltiples inundaciones y la formación de deslizamientos en las zonas montañosas, entre las consecuencias se observaron daños en viviendas y vías de comunicación en comunidades que no pudieron ser atendidas rápidamente debido a su lejanía de las zonas urbanas (El Heraldo de Chiapas, 2020; El Universal Querétaro, 2020; Marca Claro, 2020; BBC, 2020).

Otro caso ocurrió en la subcuenca Copalita en 2017, la tormenta tropical Beatriz ocasionó varios deslizamientos que derivaron en el sepultamiento de tres casas en la localidad San Marcial Ozolotepec, y durante dos meses permanecieron incomunicadas poblaciones en los municipios de Santo Domingo y San Francisco Ozolotepec (NVI Noticias, 2017; Quadratin, 2017).

Los estudios que evalúan la susceptibilidad por inestabilidad de laderas utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG), parten de la comparación de variables asociadas a la resistencia o alteración del relieve, dichas variables se reclasifican de acuerdo

a su intensidad de aporte en la formación de procesos gravitacionales y se evalúan con un análisis multicriterio por sobreposición y/o sumas ponderadas de variables para identificar zonas con diferentes grados de susceptibilidad (Alanís Anaya *et al.*, 2017; Álvaez, *et al.*, 2020; Narváez, 2021).

El objetivo de este trabajo es evaluar la susceptibilidad a inestabilidad de laderas a partir de un análisis multicriterio que demuestre el aporte de factores condicionantes y desencadenantes asociados a la estabilidad de laderas, y a su vez permita la identificación de municipios susceptibles y con difícil acceso a servicios de emergencia. Lo anterior, para crear una cartografía preventiva que sea utilizada para la elaboración de planes de acción que coadyuven a la atenuación y/o mitigación de la inestabilidad de laderas en comunidades alejadas de las zonas urbanas.

2. Materiales y métodos

2.1. Sitio de estudio

La subcuenca Copalita se ubica en el complejo hidrológico Copalita-Zimatán-Huatulco en la región centro-sur del estado de Oaxaca (Fig. 1) y en ella habitan 260,056 personas. Tiene un área de 152,240 ha, un gradiente altitudinal que va desde el nivel del mar hasta los 3600 m.s.n.m. y por ella desciende el Río Copalita (Rodríguez-Torres, 2012; González-Mora, 2009). La temperatura es templada a mayor altitud y cálida en las regiones cerca del nivel mar, la precipitación oscila entre los 600 y 1800 mm anuales. La vegetación natural está integrada por bosques de oyamel, bosque de pino, bosque de pino-encino, bosque mesófilo de montaña y selva de galería. Y dada su cercanía con la zona de subducción entre la placa tectónica Norteamericana y de Cocos, presenta recurrente actividad sísmica (ARNMSMH, 2012; CONABIO, 2015; INEGI, 2016).

2.2. Metodología

La metodología se basa en técnicas de percepción remota debido a que al momento de realizar este trabajo se está viviendo una pandemia por COVID-19 y por prevención no es posible viajar para realizar trabajos de campo. Aclarado lo anterior, este trabajo se constituye en tres vertientes principales, la primera encaminada a la detección de áreas susceptibles a inestabilidad de laderas, la segunda enfocada a la distancia y tiempo de respuesta de servicios de emergencia que puedan atender a la población susceptible a inestabilidad de laderas, y la tercera encausada a evaluar las características socioeconómicas de los municipios con susceptibilidad a inestabilidad de laderas (Fig. 2).

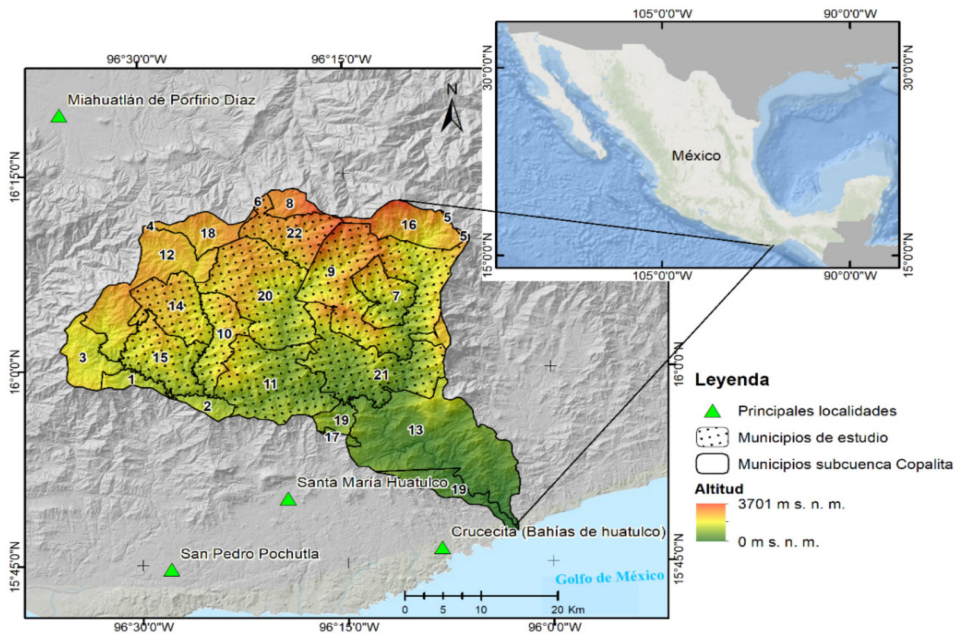


Figura 1. Localización de la subcuenca Copalita. 1. Candelaria Loxicha 2. Pluma Hidalgo 3. San Agustín Loxicha 4. San Andrés Paxtlán 5. San Carlos Yautepec 6. San Cristóbal Amatlán 7. San Francisco Ozolotepec 8. San Juan Mixtepec 9. San Juan Ozolotepec 10. San Marcial Ozolotepec 11. San Mateo Piñas 12. San Mateo Río Hondo 13. San Miguel del Puerto 14. San Miguel Suchixtepec 15. San Pedro el Alto 16. San Pedro Mixtepec 17. San Pedro Pochutla 18. San Sebastian Río Hondo 19. Santa María Huatulco 20. Santa María Ozolotepec 21. Santiago Xanica 22. Santo Domingo Ozolotepec.

Fuente: INEGI, 2021. Elaboración propia.

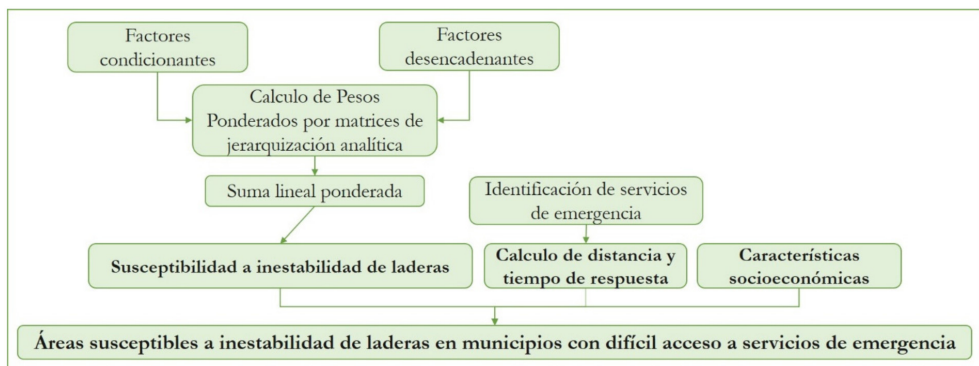


Figura 2. Modelo teórico

Fuente: Elaboración propia.

2.2.1. Susceptibilidad de laderas

Para conocer la susceptibilidad de laderas en la subcuenca Copalita fue necesario realizar un análisis multicriterio apoyado en una suma lineal ponderada (Saaty, 2008; Álvarez, *et al.*, 2020), tomando como referencia algunos elementos teóricos de la actualización del Mapa Nacional de Susceptibilidad a la Inestabilidad de Laderas (MNSIL) integrado en el Atlas Nacional de Riesgos para México (Domínguez Morales *et al.*, 2020), el cual puede ser consultado en <http://www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx/archivo/inesabilidad-laderas.html>.

Dado que el MNSIL tiene un enfoque metodológico a un nivel regional, se tuvieron que hacer adecuaciones para recabar información desde un confinamiento y aplicar técnicas de análisis del terreno y percepción remota que permitieran conocer la distribución geográfica de factores condicionantes y desencadenantes asociados a inestabilidad de laderas a una escala local.

Siendo así, este estudio retoma y reproduce algunos factores del MNSIL (pendiente, disección vertical, geología, textura del suelo y áreas sin vegetación aparente), y además integra y evalúa otros factores físicos y antrópicos (cercanía a cauces, erosividad de lluvias y presencia de caminos) que no se consideraran en el MNSIL y que también intervienen en la formación de procesos de inestabilidad de laderas (Alanís Anaya, *et al.*, 2017).

Dado lo anterior, los factores condicionantes se agruparon en factores topográficos (pendientes, disección vertical y cercanía a cauces) y factores geoedafológicos (geología y textura del suelo), en tanto que los factores desencadenantes se agruparon en factor hidrometeorológico (erosividad de lluvias) y factores antrópicos (áreas sin vegetación aparente y presencia de caminos). Cabe mencionar que toda la información fue procesada utilizando QGIS 3.16.10.

A continuación, se describe el procedimiento que se realizó para la obtención y análisis de cada factor condicionante y desencadenante que permite identificar los sitios susceptibles a inestabilidad de laderas:

a) Factores condicionantes

La obtención de los factores topográficos inicio con la elaboración de la capa de pendientes a partir de un modelo digital de elevación (MDE) con resolución de 15 m (INEGI, 2021a), para ello se usa la herramienta Pendiente que genera una capa con el ángulo de inclinación del terreno expresado en grados.

En la disección vertical se usa una gradilla de 1 km² para ejecutar la herramienta Estadísticas Zonales que crea una tabla de forma automatizada con el rango de altitud por km² (diferencia entre la altitud máxima y mínima), esta tabla se vincula a la tabla de atributos de la gradilla y posteriormente se convierte a capa de puntos para generar una

interpolación de *Kriging*, cuyo resultado permite la identificación espacial de los sitios abruptos con mayor profundidad de disección en el relieve (Priego, *et al.* 2005).

Por su parte, la cercanía a cauces se crea digitalizando los ríos y escorrentías sobre un mapa de relieve (a partir del MDE) y curvas de nivel con equidistancia de 10 m (extraídas del MDE). A la capa resultante se le aplica un buffer de 50 m (dividido cada 10 m) para identificar no solo la distribución de los cauces sino también su posible influencia lateral en la inestabilidad de laderas (Van Den Eeckhaut *et al.*, 2005; Alanis Anaya, *et al.*, 2017).

Para obtener los factores geoedafológicos, las unidades geológicas se digitalizan a partir de las cartas Geológico-Minera Zaachila E14-12 Oaxaca y Puerto Escondido D14-3 Oaxaca, ambas a escala 1:250,000 (SGM, 2000: SGM, 2002). Y para aumentar la resolución espacial se utiliza el MDE, curvas de nivel y ortofotos a escala 1:20,000 (INEGI, 2021b), lo anterior para identificar zonas de contacto geológico con los cambios en el relieve y con ello aumentar la escala de digitalización en los bordes de los depósitos de roca (metamórfico, ígneo y sedimentario). En el caso de la textura del suelo, se recuperó información a partir de la carta edafológica a escala 1:250,000 (INEGI, 2014), comparándola con las unidades geológicas para mejorar la delimitación de las texturas de suelos en función de su origen geológico y los cambios en el relieve.

b) Factores desencadenantes

El factor hidrometeorológico erosividad de lluvias considera evaluar un periodo de treinta años de datos diarios de lluvia para identificar patrones de precipitación que pudieran acelerar la erosión del relieve y desencadenar procesos de inestabilidad de laderas. Para su elaboración se descargan y evalúan datos de precipitación del 1 de enero de 1988 al 31 de diciembre de 2018 (SMN-CONAGUA, 2021) para las estaciones climatológicas más cercanas a la subcuenca Copalita (Cozoaltepec, Mihuatlan, San Mateo Río Hondo, San Miguel Suchitepec, Santa María Ecatepec, Tapanala, y Tonameca). No obstante, debido a la identificación de datos faltantes (15% del total de días para el periodo evaluado) se recurre a una reconstrucción de datos de precipitación con el método de razones promedio (Pizarro *et al.*, 2003).

$$PX = \frac{\overline{Px}}{N} * \frac{PA}{PA} + \frac{PB}{PB} + \dots + \frac{PN}{PN}$$

Donde:

Px = Razón promedio

$\frac{\overline{Px}}{N}$ = Promedio de precipitaciones en la estación de interés entre N estaciones de validación

$\frac{PA}{PA} + \frac{PB}{PB} + \dots + \frac{PN}{PN}$ = Precipitación en estación de validación entre el promedio total de la misma

Y a los valores de precipitación completos se les aplicó el Índice de Fournier Modificado (IFM) que relaciona la sumatoria de lluvia mensual con respecto a la lluvia anual (Arnoldus, 1980; Lobo *et al.*, 2005).

$$IFM = \sum_{i=1}^{12} \left(\frac{p^2}{P} \right)$$

Donde

p = Lluvia mensual.

P = Lluvia anual.

Los datos anuales del IFM se promedian para los treinta años de evaluación en cada estación climatológica (Anexo 1), se vinculan a una capa vectorial con la ubicación geográfica de cada estación y se procede a realizar una interpolación de Kriging, para conocer la distribución de la erosividad derivada de la precipitación en la subcuenca Copalita.

Para la obtención de los factores antrópicos, la determinación de las áreas sin vegetación aparente se usa una imagen Sentinel 2A con resolución espacial de 10 m capturada el 31 de diciembre de 2020, se genera un índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI por sus siglas en inglés) que permite identificar áreas con bajos valores de verdor (-0.2 a 0.6) que coinciden en el terreno con ausencia de vegetación, presencia de infraestructura y campos de cultivo. Dicho índice se calcula con las bandas del rojo e infrarrojo cercano en la calculadora raster del SIG, utilizando la siguiente fórmula (Rouse *et al.*, 1974):

$$NDVI = (NIR-Red) / (NIR + Red)$$

Donde:

NIR = banda con longitud de onda infrarroja cercana

Red = banda con longitud de onda roja visible.

En la presencia de caminos se extrae de la Red Nacional de Caminos publicada en octubre de 2020 a escala 1:50,000 (INEGI, 2020a), los datos se exportan a un formato .kml para visualizarse en *Google Earth* y poder actualizar la información hasta diciembre de 2020 (fecha de la imagen de *Google Earth*). Posteriormente, a los caminos se le aplica un *buffer* de 100 m para evaluar su influencia en la inestabilidad de laderas, lo anterior debido a que la afectación que generan los caminos en el paisaje puede derivar en un efecto de borde por deforestación, pérdida de suelo y posible formación de cárcavas que desencadenen procesos de inestabilidad de las laderas (Arroyave, *et al.*, 2006; Alanís-Anaya, *et al.*, 2017).

Una vez obtenidas todas las capas de factores condicionantes y desencadenantes, en cada una se elabora una matriz de jerarquización analítica (Roa, 2007; Álvaez, *et al.*, 2020), en la cual se asignan valoraciones considerando los criterios teóricos de aporte de cada factor a la inestabilidad de laderas que se sugieren en la metodología del MNSIL (Dominguez Morales *et al.*, 2020), y la experiencia propia derivada de otros trabajos de campo (Anexo 2). Posteriormente, cada una de las capas se reclasifica de acuerdo al peso ponderado de sus respectivas clases internas. Y para homogeneizar la resolución espacial del mapa final, a cada capa se le asigna un tamaño de pixel de 15 m para el ráster de salida.

Dado que la influencia tanto de los factores condicionantes como de los desencadenantes no posee la misma intensidad en la formación de procesos de inestabilidad de laderas, es necesario ponderar el aporte de cada grupo de factores para identificar en cual se deben realizar acciones preventivas más inmediatas para reducir la incidencia de procesos de inestabilidad de laderas. Siendo así, se procede al calculo del peso relativo de cada grupo de factores considerando la sumatoria de los pesos relativos para todas las clases que integran el grupo de factores. Y una vez establecidos los pesos relativos por grupo de factores, se realiza una suma lineal ponderada para determinar la susceptibilidad a inestabilidad de laderas en la subcuenca, y la ecuación se construye de la siguiente forma:

$$\text{Susceptibilidad} = [\text{Top}*\text{PRG}\%] + [\text{GeoEdaf}*\text{PRG}\%] + [\text{Hidrom}*\text{PRG}\%] + [\text{Antrop}*\text{PRG}\%]$$

Donde:

Top = Grupo de factores topográficos

GeoEdaf = Grupo de factores geoedafológicos

Hidrom = Grupo de factores hidrometeorológicos

Antrop = Grupo de factores antrópicos

PRG% =Peso relativo de grupo (%)

2.2.2. Identificación de servicios de emergencia

Inicialmente se consideró tomar todos los municipios que constituyen la subcuenca (22 municipios), pero al comparar el mapa de ubicación de laderas susceptibles de deslizamiento en México para 2012 (CENAPRED, 2012), se observó que solo los municipios que se ubican en la región norte de la subcuenca tienen antecedentes puntuales de inestabilidad de laderas; es por ello que para evaluar la susceptibilidad a inestabilidad de ladera y su influencia actual en la accesibilidad de servicios de emergencia se decidió considerar solo los municipios de San Francisco Ozolotepec, San Juan Ozolotepec, San Marcial Ozolotepec, San Mateo Piñas, San Miguel Suchixtepec, San Pedro el Alto, Santa María Ozolotepec y Santo Domingo Ozolotepec.

Siendo así, en un radio de 50 km a partir de la zona central de la subcuenca se identifican los servicios de emergencia registrados para la zona (Protección civil, Bomberos, Cruz Roja, Hospitales y Policía) (DENUE, 2021). Posteriormente, se utiliza Google Maps para evaluar la cercanía en tiempo y distancia de dichos servicios de emergencia a las cabeceras municipales con antecedentes de afectaciones por inestabilidad de laderas. Asimismo, resulta pertinente considerar la existencia de refugios temporales para que la población que lo requiera conozca los lugares a los que posiblemente pueda acudir en caso de desastre (Protección Civil Oaxaca, 2017).

2.2.3. Identificación de características socioeconómicas

Dado que una de las consecuencias de la inestabilidad de laderas es que las comunidades queden incomunicadas (Marca Claro, 2020; BBC, 2020); se deben considerar las características socioeconómicas de la población vulnerable que habita en los municipios con mayor susceptibilidad a inestabilidad de laderas y que pudiera resultar más afectada por la falta de medicamentos, alimentos o servicios. Dado lo anterior, se extrae a tablas la información del Censo de Población y Vivienda 2020 (INEGI, 2020b) sobre el número de personas menores de 14 años, población de 65 años y más, número de personas que se consideran afrodescendientes, número de personas indígenas, población con discapacidad, población con limitación, total de viviendas, viviendas que no cuentan con luz eléctrica, agua entubada y drenaje, y viviendas que no disponen de ningún bien (refrigerador, lavadora, vehículo de transporte, radio, tv, computadora, celular, etcétera).

Asimismo, para recabar más evidencia de las afectaciones en los municipios con antecedentes de inestabilidad de laderas, es útil recurrir a la búsqueda de información sobre “deslaves” en periódicos, páginas web de noticias y perfiles comunitarios de Facebook, destacando estos últimos por tener información narrada por los afectados la cual se acompaña de fotografías con los daños ocasionados.

3. Resultados y discusión

Los resultados de los factores condicionantes muestran que para el grupo de factores topográficos las pendientes van de 0 a 78°, diferencias de altitud relativa mínima de 10 m/km² y máxima de 1060 m², y densidad de drenaje con longitudes de 1 a 15 km/km². En tanto que en el grupo de factores geoedafológicos se observaron unidades geológicas con rocas sedimentarias, ígneas y metamórficas, destacando estas últimas por abarcar un 76% del área total de la subcuenca (115,954 ha) y datar del Periodo del Precámbrico (SGM, 2000; SGM, 2002); mientras que la textura muestra una predominancia de texturas medias (limos) que abarcan un 66.92% (101,889 ha) de la subcuenca, le siguen las texturas finas (arcillas) con 28.52% (43,424 ha) y las texturas gruesas (arenas) con 4.56% (6,923 ha).

Respecto a los factores desencadenantes, en el factor hidrometeorológico los valores de erosividad de lluvias del Índice de Fournier Modificado van de 179 a 198, los cuales se consideran muy altos al rebasar el valor de 160 propuesto como valor máximo en la escala de Lobo *et al.*, 2005. En el grupo de factores antrópicos, se observó que las áreas sin vegetación aparente ocupan un 9.7 % de la subcuenca, el resto de la vegetación se puede asociar a vegetación bien conservada; no obstante, no se pudo estimar qué porcentaje de esa vegetación corresponde a reforestaciones, las cuales se ha visto también pueden influir en la inestabilidad de laderas cuando son monocultivos que no están diseñados ecológicamente (Alanís-Anaya, 2017), por lo que los resultados en este factor podrían cambiar en el momento de realizar salidas a campo. Finalmente, en las áreas con presencia de caminos se identificó que existen 1,125.61 km de longitud de caminos, de los cuales solo 116.86 km están pavimentados y el resto corresponden a terracerías, lo anterior se traduce en que solo el 10.38% de los caminos son adecuados para llegar rápidamente a atender una emergencia.

En cuanto a los resultados de la asignación de pesos ponderados (Tabla 1 y Anexo 1) indican que el peso relativo por grupo fue mayor en los factores condicionantes topográficos (40%), seguidos de los factores condicionantes geoedafológicos (25.2%), los factores desencadenantes antrópicos (22.48%) y en último lugar se ubicaron los factores desencadenantes hidrometeorológicos (12.78%). Estos resultados sugieren que las condiciones topográficas y geoedafológicas pueden mantenerse con cierta estabilidad del terreno a pesar de la presión que se pueda ejercer con actividades de deforestación y apertura de caminos; sin embargo, cuando se suma la presencia de precipitaciones intensas es cuando el terreno tiende a desplazarse generando inestabilidad de laderas.

Respecto a los resultados de la suma lineal ponderada, estos muestran que los municipios que se ubican en la región norte de la subcuenca Copalita (San Francisco Ozolotepec, San Juan Ozolotepec, San Marcial Ozolotepec, San Mateo Piñas, San Miguel Suchixtepec, San Pedro el Alto, Santa María Ozolotepec y Santo Domingo Ozolotepec) tienen moderada, alta y muy alta susceptibilidad a inestabilidad de laderas, y corresponden a sitios donde es mínima la presencia de caminos pavimentados situación que interviene directamente con los tiempos de respuesta por parte de los servicios de emergencia para atender afectaciones derivadas de inestabilidad de laderas (Fig. 3).

Respecto a los servicios de emergencia, al interior de la subcuenca Copalita solo se encontró una estación de policía ubicada en la región sur de la subcuenca (Barra de Copalita), que en caso de ser requerida su ayuda tendría que atravesar una distancia mínima de 74.7 km (a San Mateo Piñas) y máxima de 213 km (a San Francisco Ozolotepec) para llegar a alguno de los municipios susceptibles a inestabilidad de laderas, lo que en tiempo se traduce a un periodo de entre 2:39 y 6 horas para atender a alguno de los municipios que pudiera estar afectado. También fue ubicado un Centro de Salud en el municipio de Santiago Xanica, sin embargo, la atención está enfocada a la medicina preventiva y vacunación, por lo que no se atienden emergencias graves (Fig. 4).

Tabla 1. Pesos ponderados para factores condicionantes y desencadenantes

<i>Factores condicionantes</i>							
Grupo	Factores	Clases	Intensidad	Peso ponderado	Peso relativo (%)	Peso relativo de grupo (%)	
Topográficos	Pendiente	<15°	Muy baja	0.48	0.96	40	
		15° a 25°	Baja	0.83	1.66		
		25° a 35°	Moderada	1.4	2.8		
		35° a 45°	Alta	2	4		
		> 45°	Muy alta	2.2	4.4		
	Disección vertical	0 a 212 m	Muy baja	0.5	1		
		213 a 424 m	Baja	0.85	1.7		
		425 a 636 m	Moderada	1.4	2.8		
		637 a 848 m	Alta	1.8	3.6		
	Cercanía a cauces	849 a 1060 m	Muy alta	2	4		
		50 m	Muy baja	0.51	1.02		40
		40 m	Baja	0.9	1.8		
		30 m	Moderada	1.3	2.6		
		20 m	Alta	1.6	3.2		
10 m	Muy alta	2	4				
Geodafológicos	Geología y textura del suelo	Granodiorita (ígne)	Baja	0.73	1.46	25.2	
		Granodiorita-Granito (ígne)	Baja	0.7	1.4		
		Toba andesítica (ígne)	Baja	0.61	1.22		
		Caliza-Dolomia (sedimentaria)	Moderada	1.65	3.3		
		Travertino (sedimentaria)	Moderada	1.55	3.1		
		Complejo metamórfico Oaxaqueño (metamórfica)	Alta	1.8	3.6		
		Complejo metamórfico Xolapa (metamórfica)	Alta	1.8	3.6		
		Textura arenosa	Moderada	0.61	1.22		
		Textura arcillosa	Alta	1.05	2.1		
		Textura limosa	Muy alta	2.1	4.2		

Tabla 1. Pesos ponderados para factores condicionantes y desencadenantes (continuación)

<i>Factores desencadenantes</i>						
Grupo	Factores	Clases	Intensidad	Peso ponderado	Peso relativo (%)	Peso relativo de grupo (%)
Hidrometeo-rológicos	Erosividad de lluvias (IFM)	179 – 183	Muy baja	0.53	1.06	12.78
		184 – 186	Baja	0.96	1.92	
		187 – 190	Moderada	1.2	2.4	
		190 – 193	Alta	1.7	3.4	
		194 -198	Muy alta	2	4	
Antrópicos	Áreas sin vegetación aparente (NDVI)	0.3 – 0.6	Moderada	0.57	1.14	22.48
		0.2 – 0.29	Alta	0.95	1.9	
		0 – 0.19	Muy alta	1.5	3	
		-0.2 – 0	Muy alta	2	4	
Antrópicos (continuación)	Áreas con presencia de caminos	100	Muy baja	0.56	1.12	
		80	Baja	0.86	1.72	
		60	Moderada	1.2	2.4	
		40	Alta	1.6	3.2	
		20	Muy alta	2	4	
Sumatoria				46	100	100

Fuente: Elaboración propia.

No obstante, en regiones aledañas a la subcuenca se cuenta con 14 servicios de emergencia diferenciados en 2 oficinas de Protección Civil, 2 estaciones de bomberos, 2 estaciones de Cruz Roja, 5 hospitales y 3 estaciones de Policía (Tabla 2 y Fig. 3).

Dado lo anterior, para dimensionar las consecuencias que la inestabilidad de laderas tiene en la población, es necesario mencionar que en los municipios con moderada a muy alta susceptibilidad a inestabilidad de laderas habitan 25,429 personas de las cuales 8,583 son menores de 14 años, 2,259 son mayores de 65 años, 18,635 se consideran indígenas, 217 son afrodescendientes, 1,625 viven con algún tipo de discapacidad y 3051 viven con alguna limitación para ver, oír, hablar o desplazarse; siendo San Pedro el Alto, Santa María Ozolotepec y Santiago Xanica los municipios con mayor población vulnerable (Tabla 3).

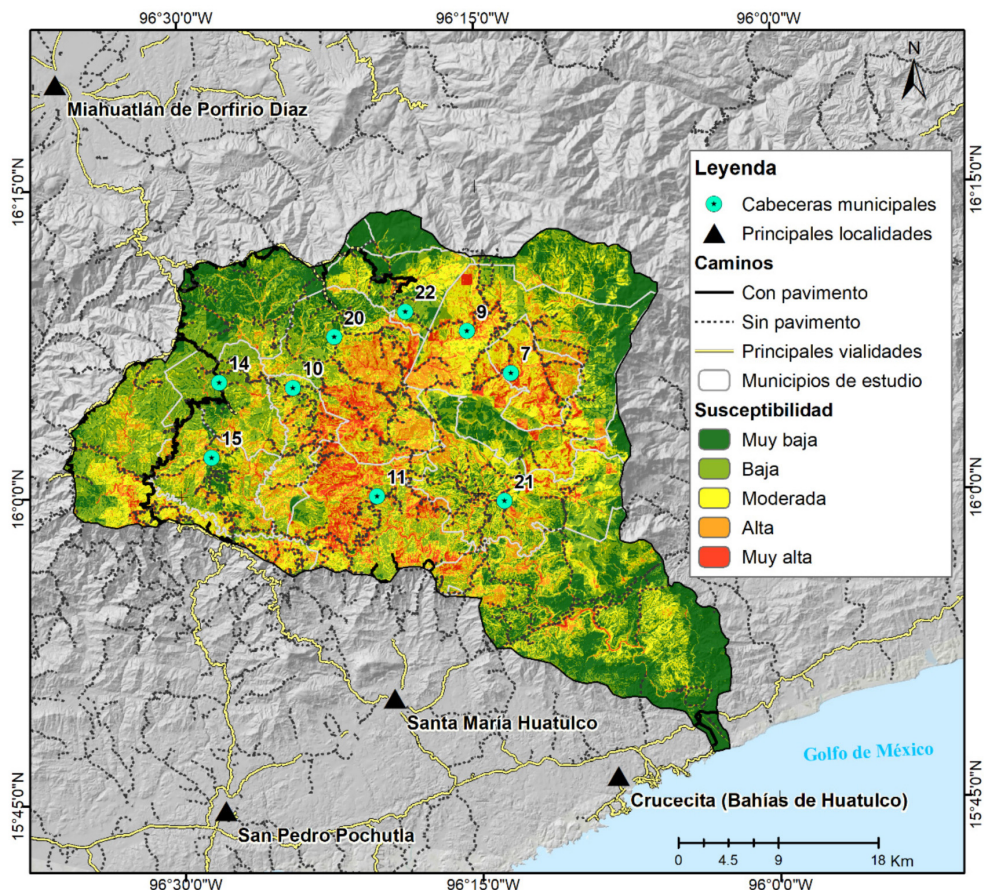


Figura 3. Mapa de susceptibilidad a inestabilidad de laderas para la subcuenca Copalita. 7. San Francisco Ozolotepec 9. San Juan Ozolotepec 10. San Marcial Ozolotepec 11. San Mateo Piñas 14. San Miguel Suchixtepec 15. San Pedro el Alto 20. Santa María Ozolotepec 21. Santiago Xanica 22. Santo Domingo Ozolotepec.

Fuente: INEGI, 2021. Elaboración propia.

Asimismo, para los municipios con moderada a muy alta susceptibilidad a inestabilidad de laderas se tiene el registro de 9,291 viviendas, entre las que se encuentran 382 sin energía eléctrica, 276 sin agua entubada, 3,399 sin drenaje y 1,259 sin ningún bien material; por lo que los municipios con mayor incidencia de viviendas que no cuentan con servicios básicos son San Juan Ozolotepec, San Mateo Piñas, San Pedro el Alto y Santa María Ozolotepec (Tabla 4).

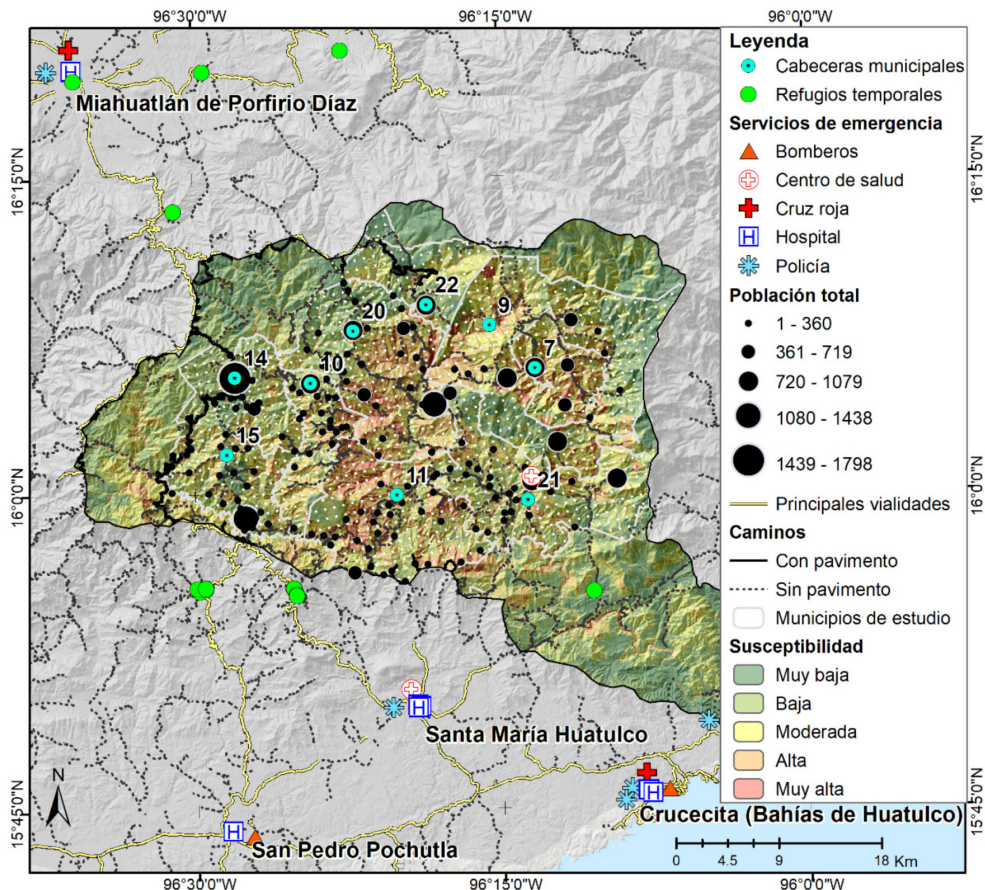


Figura 4. Mapa de servicios de emergencia y susceptibilidad a inestabilidad de laderas para la subcuenca Copalita. 7. San Francisco Ozolotepec 9. San Juan Ozolotepec 10. San Marcial Ozolotepec 11. San Mateo Piñas 14. San Miguel Suchixtepec 15. San Pedro el Alto 20. Santa María Ozolotepec 21. Santiago Xanica 22. Santo Domingo Ozolotepec.

Fuente: INEGI, 2021. Elaboración propia.

Considerando este panorama social, se puede deducir que la población que habita en los municipios con mayor susceptibilidad a inestabilidad de laderas, tiene carencias considerables que pueden agravarse en caso de quedar incomunicadas al no tener la posibilidad de obtener alimentos y/o medicamentos provenientes de las principales localidades (Crucecita, Miahuatlán de Porfirio Díaz, Santa María Huatulco y San Pedro Pochutla).

Tabla 2. Servicios de emergencia cerca de la subcuenca Copalita (DENUE, 2021)

<i>Principales localidades</i>	<i>Servicio</i>	<i>Descripción</i>	<i>Distancias mínimas y máximas recorridas (km)*</i>	<i>Tiempos de traslado mínimo y máximo (horas)*</i>
Crucecita	Bomberos	– Estación de Bomberos Huatulco	64.7 a 203	2:28 a 5:47
	Cruz Roja	– Cruz Roja Mexicana Huatulco		
	Hospitales	– IMSS Hospital General de Subzona 4		
		– Hospital Materno Infantil		
		– Hospital Naval		
	Policía	– Policía Federal Estación Huatulco		
Miahuatlán de Porfirio Díaz	Protección Civil	– Protección Civil Municipal	49.8 a 134	1:15 a 4:11
	Cruz Roja	– Cruz Roja Mexicana Miahuatlán		
	Hospitales	– Hospital Rural Solidaridad		
	Policía	– Policía Estatal de Miahuatlán de Porfirio Díaz		
Santa María Huatulco	Protección Civil	– Protección Civil Santa María Huatulco	37.1 a 176	1:59 a 5:20
	Policía	– H. Ayuntamiento Policía Municipal		
San Pedro Pochutla	Bomberos	– Heroico cuerpo de Bomberos el Pochutleco	55.1 a 182	1:38 a 5:30
	Hospitales	– Hospital General San Pedro Pochutla		

Fuente: Elaboración propia.

* Las distancias y tiempos se estimaron considerando la distancia mínima y máxima, partiendo desde cada una de las principales localidades hacia cada una de las cabeceras municipales de los municipios con mayor susceptibilidad a inestabilidad de laderas.

Tabla 3. Características de la población que vive en los municipios con mayor susceptibilidad a inestabilidad de ladera en la subcuenca Copalita (INEGI, 2020b)

<i>Municipio</i>	<i>Población</i>						
	<i>Total</i>	<i>Menor a 14 años</i>	<i>Mayor a 65 años</i>	<i>Indígena</i>	<i>Afrodendiente</i>	<i>Con discapacidad</i>	<i>Con limitación*</i>
San Francisco Ozolotepec	2182	800	169	2099	2	159	224
San Juan Ozolotepec	3411	1344	239	2698	14	165	258
San Marcial Ozolotepec	1372	497	112	1338	3	99	250
San Mateo Piñas	1775	452	285	341	9	217	338
San Miguel Suchixtepec	2932	782	291	2660	2	187	334
San Pedro el Alto	4654	1692	309	4378	21	237	368
San Pedro Pochutla	1180	393	120	774	2	55	173
Santa María Ozolotepec	3793	1222	356	1396	8	179	618
Santiago Xanica	3029	1036	257	2137	146	251	347
Santo Domingo Ozolotepec	1101	365	121	814	10	76	141
<i>Total</i>	25429	8583	2259	18635	217	1625	3051

Fuente: Elaboración propia.

* Para ver, oír, hablar o desplazarse.

Y aunque las autoridades tienen contemplado la instalación de 14 refugios temporales en caso de requerirse (Fig. 3), solo uno de ellos se ubica al interior de la subcuenca, situación que evidencia que la población que vive en los municipios de alta susceptibilidad tendría que desplazarse varios kilómetros para llegar ahí, pero como una de las afectaciones más frecuentes es el bloqueo de caminos, entonces el desplazarse a un refugio no es una opción que subsane las posibles consecuencias de quedar incomunicados.

Además, si en estos municipios ocurre nuevamente un evento de inestabilidad de laderas, en el mejor de los casos el tiempo mínimo de respuesta para atender heridos podría ser de 1 hora con 15 minutos partiendo de Miahuatlán de Porfirio Díaz hacia San Miguel Suchixtepec, en tanto que el tiempo de respuesta máximo sería de 5 ho-

Tabla 4. Características de las viviendas en los municipios con mayor susceptibilidad a inestabilidad de ladera en la subcuenca Copalita (INEGI, 2020b)

<i>Municipio</i>	<i>Viviendas</i>				
	<i>Total</i>	<i>Sin electricidad</i>	<i>Sin agua entubada</i>	<i>Sin drenaje</i>	<i>Sin bienes materiales*</i>
San Francisco Ozolotepec	692	30	27	263	126
San Juan Ozolotepec	1106	43	12	283	271
San Marcial Ozolotepec	642	45	5	317	83
San Mateo Piñas	930	96	87	419	138
San Miguel Suchixtepec	862	9	21	510	38
San Pedro el Alto	1516	55	29	265	129
San Pedro Pochutla	429	7	17	18	20
Santa María Ozolotepec	1476	28	18	653	205
Santiago Xanica	1231	64	60	613	212
Santo Domingo Ozolotepec	407	5	0	58	37
<i>Total</i>	9291	382	276	3399	1259

Fuente: Elaboración propia.

* Refrigerador, lavadora, vehículo de transporte, radio, tv, computadora, celular, etc.

ras con 47 minutos partiendo de Crucecita a San Francisco Ozolotepec; sin embargo, dependiendo la magnitud del proceso gravitacional, los trabajos de rescate y apertura de caminos pueden ampliarse en función de la obtención de maquinaria y/o herramienta necesaria para laborar en la zona afectada.

Y en este punto cabe mencionar, que entre las afectaciones observadas en los últimos dos años se encuentran derrumbes de rocas y escombros, bloqueos parciales de caminos, el colapso de muro y parte de una vivienda, bloqueos totales en caminos y el fallecimiento de 2 personas (Anexo 3) (El Piñero, 2020; El Sol de México, 2020; El Universal Querétaro, 2020; Gobierno de Oaxaca, 2021; Oro Radio, 2021; Quadratin, 2021).

Es por ello que se necesita hacer un trabajo preventivo encaminado a un ordenamiento territorial que inhiba y/o de alternativas para la construcción de viviendas en zonas de pendientes abruptas, y además se debe considerar la capacitación formal de personas que habitan en estos municipios para que puedan reconocer evidencias de inestabilidad de laderas (árboles o postes inclinados, curvaturas en la base de troncos de árboles, presencia de grietas o hundimientos en viviendas y caminos, caída de ro-

cas, formación de cárcavas, etc.), y hagan un alertamiento para que las autoridades correspondientes actúen en consecuencia atenuando o mitigando los posibles efectos de la inestabilidad de laderas.

4. Conclusiones y recomendaciones

En la subcuenca Copalita se observan pendientes abruptas, profunda disección vertical de laderas, unidades geológicas metamórficas, texturas limosas, valores de erosividad por lluvias muy altos y áreas sin vegetación aparente, características que intensifican la susceptibilidad a inestabilidad de laderas en los municipios de San Francisco Ozolotepec, San Juan Ozolotepec, San Marcial Ozolotepec, San Mateo Piñas, San Miguel Suchixtepec, San Pedro el Alto, Santa María Ozolotepec y Santo Domingo Ozolotepec.

Los resultados mostraron que el factor hidrometeorológico desencadenante (erosividad de lluvia (IFM)) tuvo el menor peso relativo por grupo de factores, por lo que su contribución es acelerar los procesos gravitacionales en sitios que ya contaban con características topográficas, geoedafológicas y antrópicas asociadas a inestabilidad de laderas; no obstante, en este punto se recomienda que en estudios futuros también se consideren los eventos sísmicos, ya que durante la revisión de información sobre daños previos por inestabilidad de inestabilidad para la zona, se encontró que los daños se potencian cuando hay eventos sísmicos durante la temporada de lluvias.

Además, las condiciones sociales de los municipios susceptibles a inestabilidad de laderas no son favorables en caso de quedar incomunicadas nuevamente, ya que se observa una alta incidencia población total vulnerable que habita en esta zona (menores de 14 años, personas mayores de 65 años, personas que viven con discapacidad o limitación para ver, oír, hablar o desplazarse), la cual estaría aún más vulnerable si se ven privados de alimentos y/o medicamentos provenientes de las principales localidades (Crucecita, Miahuatlán de Porfirio Díaz, Santa María Huatulco y San Pedro Pochutla).

Respecto a los resultados sobre los servicios de emergencia que pudieran auxiliar a la población, es importante mencionar que en la zona resulta complicado pavimentar los caminos existentes para que se pueda atender más rápido las situaciones derivadas de la inestabilidad de laderas, sin embargo, sí se podría aumentar la distribución e incidencia geográfica de instancias capacitadas para enfrentar estas situaciones. Ya que, al no tener servicios de emergencia dentro de la región norte de la subcuenca, se crean condiciones en las que los habitantes deben decidir entre esperar a los expertos, a quienes les puede tomar hasta seis horas en llegar (en las comunidades más alejadas), o comenzar ellos con el desbloqueo de caminos o en casos más graves el rescate de personas.

Dado lo anterior, este trabajo muestra que la accesibilidad para atender emergencias en sitios susceptibles a inestabilidad de laderas que no poseen vialidades pavimentadas es muy difícil, y por ello es necesario realizar planes de trabajo preventivo encaminados a un ordenamiento territorial para limitar la construcción de nuevas viviendas o la reubicación de las ya construidas en áreas con pendientes abruptas. También se requiere considerar la instalación de más servicios de emergencia en áreas alejadas de las zonas urbanas, e incluso plantearse la posibilidad de capacitar formalmente a personas que viven en sitios como el planteado en este estudio, lo anterior con la finalidad de que puedan reconocer evidencias de inestabilidad de laderas (árboles o postes inclinados, curvaturas en la base de troncos de árboles, presencia de grietas o hundimientos en viviendas y caminos, caída de rocas, formación de cárcavas, etc.) y vinculen un trabajo en conjunto con las autoridades para atenuar los daños que ocasiona la inestabilidad de laderas.

Asimismo, el modelo presentado en este trabajo no solamente se apoya la recopilación de materiales cartográficos, sino que también hace uso de técnicas de percepción remota para integrar y generar cartografía sobre factores asociados a inestabilidad de laderas, que no se consideran en otros modelos oficiales (como por ejemplo la erosividad de lluvias), y que es decisiva para la evaluación, prevención y atención en áreas de difícil acceso y sin servicios de emergencia cercanos. No obstante, el modelo puede ser mejorado al utilizar datos de campo y/o validación con matrices de confusión para robustecer la resolución espacial y la confiabilidad de la cartografía final, e incluso se puedan añadir factores más específicos como son la resistencia al corte directo de un suelo, tipos de manejo forestal y necesidades específicas de la población vulnerable en los sitios susceptibles a inestabilidad de laderas.

Si bien las técnicas multicriterio con lógica difusa dan buenos resultados en la elaboración de mapas de susceptibilidad (Alanís-Anaya, *et al.*, 2017; Narváez, 2021), el modelo propuesto en este estudio muestra una evaluación multicriterio a través de la suma lineal ponderada de grupos de factores condicionantes y desencadenantes, por lo que es posible identificar el aporte de cada factor y con ello diseñar estrategias que coadyuven en la toma de decisiones para la prevención, atenuación y/o mitigación de los factores involucrados en la inestabilidad de laderas.

Finalmente, dadas las condiciones sanitarias en las que se realizó este trabajo es importante mencionar que las problemáticas derivadas de los aspectos físico-ambientales que ponen en peligro a las comunidades no se detienen a pesar de una pandemia, es por ello que como investigadores debemos continuar con la generación de conocimiento haciendo uso de los datos e información oficial y pública (redes sociales) que nos acerque a los sitios susceptibles a un peligro y que con ellos se pueda contribuir con las autoridades correspondientes en pro de las personas que lo requieran.

Agradecimientos

Dado que este trabajo se realizó desde un confinamiento sanitario, se hace un reconocimiento a las instituciones que publican datos cartográficos que contribuyen a la realización de análisis a distancia como los presentados en este trabajo (CONABIO, CONAGUA, INEGI y SGM). Asimismo, es invaluable el esfuerzo que hacen las personas para informar afectaciones derivadas de inestabilidad de laderas, por lo que se agradece la labor de periodistas, y particularmente de los pobladores que han encontrado en las redes sociales un medio de alertamiento e información sobre los daños derivados de la inestabilidad de laderas en su región (Facebook: Acierta Oaxaca, Cruz Roja Mexicana Estatal Oaxaca, Movimiento Antorchista de Oaxaca, San Mateo Piñas, Oaxaca, Sofia Valdivia "TU VOZ" Oaxaca y Xhatis).

Bibliografía

- Acierta Oaxaca (2021). Reportan que esta mañana se registró un derrumbe sobre la carretera federal, 175. (13/09/21). [Publicación de Facebook]. Recuperado de <https://www.facebook.com/photo/?fbid=367242515076973&set=pcb.367242601743631>
- Alanís, A.R.M., Legorreta, P.G., Mas, J.F. and Granados, R.G.R. (2017). Susceptibility to gravitational processes due to land cover change in the río chiquito-barranca del muerto subbasin (Pico de Orizaba volcano, México). *Journal of Mountain Science*, 14(12), pp. 2511-2526. <https://doi.org/10.1007/s11629-016-4268-9>
- Alcántara, I., Echavarría, A., Gutiérrez, C., Domínguez, L. y Noriega, I. (2008). Inestabilidad de laderas. Serie Fascículos. CENAPRED. <http://www.cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/7-FASCICULOINESTABILIDADDELADERAS.PDF>
- Álvarez, M., Oñate-Valdivieso, F., Esparza, C. y Oñate-Paladines, A. (2020). Evaluación multicriterio aplicada al análisis de movimientos en masa en carreteras de montaña: un caso de estudio en los Andes del sur del Ecuador. *Avances: Investigación en Ingeniería*. <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.2.6633>
- ARNMSMH. (2012). Atlas de Riesgos Naturales del Municipio de Santa María Huatulco, Oaxaca 2012. <http://www.proteccioncivil.oaxaca.gob.mx/wp-content/uploads/2019/03/Santamaria-huatulco AR.pdf>
- Arnoldus, H.M. (1980). An approximation of the rainfall factor in the Universal Soil Loss Equation. In *Assessments of Erosion*, de Boodts M, Gabriels D (eds). John Wiley and Sons Ltd, Chichester, pp. 127-132.
- Arroyave, M.P., Gómez, C., Gutiérrez, M.E., Múnera, D.P., Zapata, P.A., Vergara, I.C., Andrade, L.M. y Ramos, K.C. (2006). Impactos de las carreteras sobre la fauna silvestre y sus principales medidas de manejo. *Revista EIA. Colombia*. Núm. 5, pp. 45-57.
- BBC (2020). Tormenta Eta: la inusual trayectoria del fenómeno meteorológico que podría golpear a Florida dos veces. Recuperado del 9 de noviembre de 2020. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-internacional-54875698>

- CENAPRED (2012). Ubicación de laderas susceptibles a deslizamiento en México. Escala 1:200,000. Centro Nacional de Prevención de Desastres. México. <http://geoportall.conabio.gob.mx/descargas/mapas/imagen/96/ladsdeslgw>
- CONABIO (2015). Precipitación anual en México (1910-2009). Escala 1;1,000,000. Modificado de Cuervo-Robayo, A.P., Téllez-Valdés, O., Gómez-Albores, M.A., Venegas-Barrera, C.S., Manjarez, J., Martínez-Meyer, E. 2014. México. <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/layouts/preanu13gw.png>
- Cruz Roja Mexicana Estatal Oaxaca (2020). Operativo de Auxilio en la Sierra Sur por Sismo de 7.4. (23/06/20). [Publicación de Facebook]. Recuperado de <https://www.facebook.com/media/set/?vanity=CruzRojaOax&set=a.3243642912324528>
- DENUE (2021). Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas 2021. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México. <https://www.inegi.org.mx/rnm/index.php/catalog/668>
- Diario Marca (2020). Inundaciones y deslaves por lluvias en Oaxaca. Recuperado del 27 de agosto de 2020. <https://www.diariomarca.com.mx/2020/08/inundaciones-y-deslaves-por-lluvias-en-oaxaca/>
- Domínguez Morales, L., González Huesca, A. E., Munive García, M. y Zaragoza Álvarez, A. (2020). Actualización del mapa nacional de susceptibilidad de laderas como instrumento preventivo en el marco de la GIRD. Sistema Nacional de Protección Civil, Coordinación Nacional de Protección Civil y Centro Nacional de Prevención de Desastres. https://www1.cenapred.unam.mx/DIR_INVESTIGACION/2020/1er_Trimestre/FRACCION_XLI/DSyPG/2019_Actualizacion_del_Mapa_Nacional_de_Susceptibilidad_a_la_Inestabilidad.pdf
- El Heraldo de Chiapas (2020). Alertan por deslizamiento de tierra en Tenejapa, Chiapas. El Heraldo de Chiapas, Municipios. Recuperado del 9 de noviembre. <https://www.elheraldodechiapas.com.mx/local/municipios/alertan-por-deslizamiento-de-tierra-en-tenejapa-chiapas-5995640.html>
- El Piñero (2020). Ejército Mexicano retira deslave en carretera a San Mateo Piñas, Oaxaca. Recuperado del 15 de agosto de 2020. <https://www.elpinero.mx/ejercito-mexicano-retira-deslave-en-carretera-a-san-mateo-pinas-oaxaca/>
- El Sol de México (2020). Al menos 15 personas no han sido rescatadas tras sismo en San Juan Ozolotepec, Oaxaca. Recuperado del 24 de junio de 2020. <https://www.elsoldemexico.com.mx/republica/sociedad/al-menos-15-personas-no-han-sido-rescatadas-tras-sismo-en-san-juan-ozolotepec-oaxaca-5407747.html>
- El Universal Querétaro (2020). Suman 7 muertos por sismo en Oaxaca calculan hasta 2 mil viviendas afectadas. Recuperado del 24 de junio de 2020. <https://www.eluniversalqueretaro.mx/nacion/suman-7-muertos-por-sismo-en-oaxaca-calculan-hasta-2-mil-viviendas-afectadas>
- Gobierno de Oaxaca (2021). Atiende CAO tramos carreteros afectados por lluvias. Recuperado del 17 de junio de 2021. <https://www.oaxaca.gob.mx/cao/2021/06/17/atiende-cao-tramos-carreteros-afectados-por-lluvias/>
- González-Mora, I.D. (2009). Memoria del Taller: Propuesta de caudal ecológico en la cuenca Copalita-Zimatán-Huatulco, 2009. Fundación Río Arronte, I.A.P. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.1.2173.9041>

- INEGI (2014). Conjunto de datos vectoriales edafológico, escala 1:250000 Serie II. (Continuo Nacional). <https://www.inegi.org.mx/temas/edafologia/#Documentacion>
- INEGI (2016). Uso de suelo y vegetación, escala 1:250,000. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México. <http://geoportal.conabio.gob.mx/descargas/mapas/imagen/96/usv250s6gw>
- INEGI (2020a). Red Nacional de Caminos RNC, escala 1:50,000. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463807452>
- INEGI (2020b). Censo de Población y Vivienda de 2020. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/default.html>
- INEGI (2021a). Continuo Mexicano de Elevaciones (CME). Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México. <https://www.inegi.org.mx/app/geo2/elevacionesmex/>
- INEGI (2021b). Ortoimágenes. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México. <https://www.inegi.org.mx/temas/imagenes/ortoimagenes/>
- INEGI (2021c). División política estatal 1:250,000, 2020. Escala 1:250,000. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México. <http://geoportal.conabio.gob.mx/descargas/mapas/imagen/96/dest20gw>
- Legorreta-Paulín, G. y Lugo-Hubp, J. (2014). Zonación de peligros por procesos gravitacionales en el flanco suroccidental del Volcán Pico de Orizaba, México. *Investigaciones Geográficas*. Num. 84: 20-31 p. <https://doi.org/10.14350/rig.37004>
- Lobo, D., Lozano, Z. and Delgado, F. (2005). Water erosion risk assessment and impact on productivity of a Venezuelan soil. *Catena*, 64: 297 p.
- Marca Claro (2020). Eta: Alerta por fuertes lluvias en Chiapas, Tabasco, Quintana Roo, Oaxaca y Veracruz tras el paso del huracán. Recuperado del 7 de noviembre de 2020. <https://www.marca.com/claro-mx/trending/2020/11/07/5fa70644e2704ec4558b461e.html>
- Movimiento Antorchista de Oaxaca (2021). San José Ozolotepec en el olvido. (23/09/21). [Publicación de Facebook]. Recuperado de https://www.facebook.com/AntorchaEnOaxaca/?_tn__=-UC*F
- Narváez, L.M. (2021). Análisis espacial de evaluación multicriterio con la lógica fuzzy y sistemas de información geográfica aplicado a la vulnerabilidad global en el departamento Pocito (San Juan-Argentina). *Revista del Instituto de Geografía de la UNNE*. Vol. 18. Núm. 36. <http://dx.doi.org/10.30972/geo.18364889>
- NVI Noticias (2017). Sierra sur de Oaxaca, incomunicada y a la deriva. Recuperado del 6 de julio de 2017. <https://www.nvinoticias.com/prevencion/oaxaca/sierra-sur-de-oaxaca-incomunicada-y-la-deriva/13617>
- Oro Radio (2021). Deslaves afectan paso a unas 33 localidades de Oaxaca. Recuperado del 14 de septiembre de 2021. <https://www.ororadio.com.mx/2021/09/deslaves-afectan-paso-a-unas-33-localida.des-de-oaxaca/>
- Pizarro, R., Ausensi, P., Aravena, D. y Sangüesa, C. (2003). Evaluación de métodos hidrológicos para la completación de datos faltantes de precipitación en estaciones pluviométricas de la VII Región del Maule, Chile. Centro Tecnológico de hidrología ambiental. Universidad de Talca, Chile.

- Priego, Á., Bocco, G., Mendoza, M., y Garrido, A. (2008). Propuesta para generalización semiautomatizada de unidades de paisaje. Fundamentos y métodos. México: SEMARNAT, INE, UNAM, CIGA.
- Protección Civil Oaxaca. (2017). Catálogo de refugios temporales. Coordinación Estatal de Protección Civil Oaxaca. Gobierno de Oaxaca, México. http://www.proteccioncivil.oaxaca.gob.mx/wp-content/uploads/2017/04/cat%C3%A1logo_de_refugios_temporales2017.pdf
- Quadratin (2017). Lluvias dejan incomunicadas a poblaciones de Oaxaca. Recuperado del 3 de junio de 2017. <https://oaxaca.quadratin.com.mx/lluvias-dejan-incomunicadas-poblaciones-oaxaca/>
- Quiadratin (2021). Deslave deja incomunicado al municipio de San Miguel Suchixtepec. Recuperado del 13 de septiembre de 2021. <https://oaxaca.quadratin.com.mx/deslave-deja-incomunicado-al-municipio-de-san-miguel-suchixtepec/>
- Reichenbach, P., Busca, C., Mondini, A.C. and Rossi, M. (2014). The Influence of Land Use Change on Landslide Susceptibility Zonation: The Briga Catchment Test Site (Messina, Italy). *Environ Manage*. Vol. 56 (6): pp. 1372-1384. <http://dx.doi.org/10.1007/s00267-014-0357-0>
- Roa, J. (2007). Estimación de áreas susceptibles a deslizamientos mediante datos e imágenes satelitales: cuenca del río Mocotíes, estado de Mérida-Venezuela. *Revista geográfica venezolana*, Vol. 48 (2): pp. 183-219.
- Rodríguez Torres, D. (2012). Disponibilidad del agua y riesgo hidrológico en los escurrimientos de la cuenca del Río Copalita, con un modelo estocástico. Tesis de Maestría en Ingeniería Civil. Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura. Instituto Politécnico Nacional (IPN). México. <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/11205/130.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rouse, J.W. Jr., R.H. Haas, D.W. Deering, Schell, J.A., y J.C. Harlan. (1974). Monitoring the Vernal Advancement and Retrogradation (Green Wave Effect) of Natural Vegetation, NASA/GSFC Type III Final Report, Greenbelt, MD., 371 p.
- Saaty, T.L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal Services Sciences UK*, Volume 1. No. 1. pp. 83-98. <https://www.rafikulislam.com/uploads/resources/197245512559a37aadea6d.pdf>
- San Mateo Piñas, Oaxaca. (2021). Sin descripción. (16/06/21). [Publicación de Facebook]. Recuperado de <https://www.facebook.com/elchutapay/photos/4605779566103417>
- SGM (2000). Carta Geológica-Minera Zaachila E14-12 Oaxaca. Escala 1:250,000. Servicio Geológico Mexicano. México. <https://www.gob.mx/sgm>
- SGM (2002). Carta Geológica-Minera Puerto Escondido D14-3 Oaxaca. Escala 1:250,000. Servicio Geológico Mexicano. México. <https://www.gob.mx/sgm>
- SMN-CONAGUA (2021). Información de estaciones climatológicas. Comisión Nacional del Agua. <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/informacion-estadistica-climatologica>
- Sofia Valdivia "TU VOZ" Oaxaca (2021). Reportan que está cerrado el paso en San Miguel Suchixtepec. (13/09/21). [Publicación de Facebook]. Recuperado de <https://www.facebook.com/Sofia-Valdivia-TU-VOZ-Oaxaca-113468446702470/photos/pcb.623764725672837/623764502339526>

- Xhatis (2021). Sin descripción, en Santo Domingo Ozolotepec. (7/10/21). [Publicación de Facebook]. Recuperado de <https://www.facebook.com/Xhat%C3%ADs-103672504730346/photos/378887897208804>
- Van Den Eeckhaut, M., Poesen, J., Verstraeten, G., Vanacker, V., Moeyerson, J., Nyssen, J., Van Beek, L. (2005). The effectiveness of hillshade maps and expert knowledge in mapping old depp-seated landslides. *Geomorphology*, 67: pp. 351-363. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2004.11.001>
- Werner, G. (1996). La Vegetación destruida en el altiplano mexicano. *Elementos*, 2: pp. 9-25.