

Análisis de susceptibilidad por deslizamiento en el sector “Lomas del Calvario”.

Landslide susceptibility analysis in the ‘Lomas del Calvario’ sector.

Para citar este trabajo:

Escobar, K., Perero, G., y Almeida, E., (2024) Análisis de susceptibilidad por deslizamiento en el sector “Lomas del Calvario”. *Reincisol*, 3(6), pp. 2793-2812. [https://doi.org/10.59282/reincisol.V3\(6\)2793-2812](https://doi.org/10.59282/reincisol.V3(6)2793-2812)

Autores:

Kelly Verónica Escobar Cobeña

Universidad Técnica de Manabí
Ciudad: Portoviejo, Ecuador
Correo Institucional: kvescobar23@gmail.com
Orcid <https://orcid.org/0009-0006-0488-2698>

Galo Arturo Perero Espinoza

Universidad Técnica de Manabí
Ciudad: Portoviejo, Ecuador
Correo Institucional: galo.perero@utm.edu.ec
Orcid <https://orcid.org/0000-0001-6792-4142>

Eduardo Luis Almeida García

Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos
Ciudad: Portoviejo, Ecuador
Correo Institucional: luis_almeida_dc@hotmail.com
Orcid <http://orcid.org/0000-0002-3852-0891>

RECIBIDO: 23 julio 2024

ACEPTADO: 28 agosto 2024

PUBLICADO: 26 septiembre 2024

Resumen

La investigación analizó factores importantes que influyen en la evaluación de la susceptibilidad por deslizamiento en el sector Lomas del Calvario de Portoviejo, Ecuador, una zona en la que, la mayor parte de su territorio es considerada de susceptibilidad alta de deslizamiento. En la investigación se empleó el método de Mora-Vahrson para evaluar la susceptibilidad, implicando así la recopilación de datos de sus factores condicionantes como la geología, pendiente y cobertura vegetal y sus factores desencadenantes como la precipitación y los sismos. Se examinaron la composición geológica presente en la zona, que son principalmente de origen fluvial, incluyendo depósitos coluviales y aluviales, lutitas y limolitas. Las pendientes en el área varían desde planas hasta fuertemente inclinadas. En cuanto a la cobertura vegetal, se distinguen principalmente áreas urbanizadas, con algunas zonas eriales y de vegetación arbustiva. El estudio también considera los patrones de precipitación, incluyendo los efectos de eventos climáticos extremos como El Niño. Además, se toma en cuenta la microzonificación sísmica del área. El objetivo principal fue analizar la susceptibilidad por deslizamiento en Lomas del Calvario de la parroquia Picoazá de Portoviejo, concluyendo así, que gran parte del área de análisis es altamente susceptible a deslizamiento.

Palabras clave: Deslizamientos; factores condicionantes; factores desencadenantes; susceptibilidad.

Abstract

The research analysed important factors that influence the assessment of landslide susceptibility in the Lomas del Calvario sector of Portoviejo, Ecuador, an area in which most of its territory is considered highly susceptible to landslides. The research used the Mora-Vahrson method to assess susceptibility, involving the collection of data on its conditioning factors such as geology, slope and vegetation cover, and its triggering factors such as precipitation and earthquakes. The geological composition present in the area was examined, which are mainly of fluvial origin, including colluvial and alluvial deposits, shales and siltstones. Slopes in the area vary from flat to steeply inclined. In terms of vegetation cover, mainly urbanised areas are distinguished, with some areas of wasteland and shrub vegetation. The study also considers precipitation patterns, including the effects of extreme weather events such as El Niño. In addition, the seismic microzonation of the area is taken into account. The main objective was to analyse the landslide susceptibility in Lomas del Calvario in the parish of Picoazá in Portoviejo, concluding that a large part of the analysis area is highly susceptible to landslides.

Keywords: Conditioning factors; landslides; triggering factors; susceptibility.

Introducción

El rápido crecimiento poblacional en áreas urbanas y rurales, particularmente en las regiones que son propensas a eventos naturales, ha provocado un notable aumento en pérdidas de vidas humanas y materiales. Por ende, la evaluación y la zonificación de estas amenazas se ha convertido en instrumentos fundamentales para la planificación territorial, facilitando la prevención y reducción de condiciones de riesgo presentes y futuros (Changnon et al., 2000).

De acuerdo con la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgo (SNGR) (2014), el riesgo de desastre se manifiesta debido a la ocurrencia de un evento natural o provocado por la actividad humana, no se determina únicamente por la probabilidad de que ocurran fenómenos naturales extremos. También depende de los factores de vulnerabilidad de la población y de su capacidad para responder a un evento adverso (p. 17). Ahora bien, la complejidad geológica, geomorfológica, atmosféricas y uso de suelo de la provincia de Manabí, condiciona la existencia de escenarios multiamenazas, naturales y antrópicos (degradación ambiental) (Gil, 2018).

La ciudad de Portoviejo de la provincia de Manabí también está expuesto a eventos naturales, condicionando así, que las amenazas para su población sean muy similares a los que enfrenta el resto de la provincia. Entre las principales amenazas que enfrenta la ciudad, destacan las inundaciones y los deslizamientos.

Se debe considerar que en el cantón, los deslizamientos son muy frecuentes en la época invernal, afectando principalmente a los sectores ubicados en las laderas de la zona urbana, Crucita y partes montañosas de las parroquias rurales; por ejemplo, se han presentado hundimientos en la parroquia Andrés de Vera, deslizamientos en Río Chico, derrumbes en San Pablo, aluviones en la cabecera parroquial de Alhajuela y flujos de lodo en varios barrios de Portoviejo (GAD Portoviejo, 2019).

Un ejemplo en concreto de susceptibilidad ante estos eventos es la parroquia urbana de Picoazá, que se extiende por 9531,81 hectáreas, está expuesta a diversos niveles de amenaza a deslizamientos (bajo, medio y alto). De acuerdo con Salas et al., (2010), durante el 2010, la parroquia contaba con aproximadamente 10,000 habitantes. A pesar de los problemas de salubridad y hacinamiento que enfrenta, la principal preocupación es el riesgo en el que se encuentran alrededor de cien familias en la zona llamada El Calvario.

En el sector Lomas del Calvario, existe un antecedente histórico de deslizamiento durante el período del 2006 al 2008, en el cual existió un proceso de reubicación de aproximadamente de 88 familias, involucrándose la organización CESAL, Gobierno Provincial de Manabí y el GAD de Portoviejo.

Es sumamente importante identificar que los deslizamientos, son un fenómeno particularmente notable en el sector Lomas del Calvario de la parroquia Picoazá. Por esta razón, se realizó el presente estudio en el sector mencionado, siendo considerado una zona de susceptibilidad alta y media a deslizamiento y la relación existente con sus factores condicionantes como la geología, la cobertura vegetal y la pendiente del lugar y sus desencadenantes como son la presencia de lluvias y la sismicidad. El objetivo del estudio es analizar la susceptibilidad por deslizamiento en Lomas del Calvario de la parroquia Picoazá de Portoviejo.

Material y métodos

Material

Se utilizó la metodología de investigación cualitativa y cuantitativa, recopilando, analizando e integrando las técnicas y métodos de dicha investigación; con este enfoque se logró una mejor comprensión y alcance del objetivo de estudio. Se integró información tipo vectorial (shapefiles) que contiene datos geológicos, uso de suelo, microzonificación y precipitación y en formato ráster, se utilizó el Modelo de Elevación Digital (DEM) para la evaluación de la pendiente, así, generar posteriormente los distintos mapas según los criterios requeridos en la metodología y evaluarlos en base a los indicadores establecidos en el método a emplearse.

Diseño de investigación

Diseño transversal: Se recolectaron los datos en un momento específico con el objetivo de obtener la información requerida en los factores condicionantes y desencadenante, para poder analizar la susceptibilidad en el sector seleccionado.

Diseño no experimental: Se obtuvo información de fuentes de primera mano, lo que permitió tener datos concisos para realizar el análisis de susceptibilidad. Además, este enfoque resultó ser más viable y económico, permitiendo una exploración preliminar de la susceptibilidad del territorio sin la necesidad de intervenir de forma directa.

Diseño bibliográfico: Se examinaron textos, documentos, fuentes en internet y bases de datos de revistas para obtener información relevante y actual sobre la susceptibilidad de deslizamiento.

Método de Mora-Vahrson

Este modelo se describe como un sistema creado para clasificar la susceptibilidad a deslizamientos en regiones tropicales con alta actividad sísmica (Román & Feoli-Boraschi, 2018). Se establecieron los siguientes parámetros para evaluar los distintos criterios según la metodología de Mora – Vahrson como se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1

Criterios (Condicionantes y Desencadenantes)	Indicadores de clases	Valor
Geológicos (40%)	Aluvión grueso, permeable, compacto, nivel freático bajo. Calizas duras permeables. Rocas intrusivas, poco fisuradas, bajo nivel freático. Basaltos, andesitas, ignimbritas. Características físicas mecánicas: materiales sanos con poca o ninguna meteorización, resistencia al corte elevado, fisuras sanas, sin relleno.	1
	Aluvión grueso, permeable, compacto, nivel freático bajo. Calizas duras permeables. Rocas intrusivas, poco fisuradas, bajo nivel freático. Basaltos, andesitas, ignimbritas. Características físicas mecánicas: materiales sanos con poca o ninguna meteorización, resistencia al corte elevado, fisuras sanas, sin relleno.	2
	Rocas sedimentarias, intrusivas, lavas, ignimbritas, tobas poco soldadas, rocas metamórficas mediana a fuertemente alteradas, niveles freáticos relativamente altos.	3
	Aluviones fluvio lacustres, suelos piroclásticos poco compactados, rocas fuertemente alteradas.	4
	Materiales aluviales, coluviales de muy baja calidad mecánica, rocas con estado de alteración avanzado, drenaje pobre. Se incluyen los casos 3 y 4 con los niveles freáticos muy someros, sometidos a gradientes hidrodinámicos altos.	5
Pendiente (20%)	0 - 5 % (Plano o casi plano).	1
	6 - 12 % (Ligeramente ondulado a ligeramente inclinado).	2
	13 - 25 % (Moderado a fuertemente inclinado).	3

	26 - 40 % (Empinado).	4
	>40 % (Escarpado o muy escarpado).	5
Cobertura Vegetal (15%)	Bosques en conservación y protección.	1
	Cobertura arbustiva con muy poca actividad antropogénica.	2
	Bosques fragmentados.	3
	Zonas agropecuarias y erial, poca cobertura arbórea, arbustiva, herbáceas y pastizales.	4
	Zona urbanizada y suelo desnudo.	5
Precipitación mm/año (20%)	<400	1
	400-500	2
	500-600	3
	600-900	4
	>1000	5
Sismos (Lineamiento de Fallamientos) (5%)	Densidad lineal de las fallas.	5

Elaborado por: Los Autores.

Fuente Metodología: Ortiz Maestre et al., (2023).

Fuente Criterio Geológico: León, (2014).

Fuente Criterio Pendiente: Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos, (2022).

Determinados los factores condicionantes y desencadenantes, se procede a aplicar la siguiente fórmula, integrada en una base de datos ráster y aplicada mediante el Sistema de Información Geográfica (SIG) ArcGIS 10.5. Para su implementación, se utiliza la herramienta "Álgebra de mapa - Calculadora ráster" dentro de la caja de herramientas del software:

$$= FC + FD = Geo*0.40+P*0.20+CV*0.15 + Sis*0.05+Prec*0.20.$$

Resultados

Factores Condicionantes

Geología: Los depósitos presentes en la zona son de origen fluvial, con una predominancia de depósitos coluviales y aluviales. Se destacan los depósitos característicos de conos de deyección y flujos de lodo, compuestos lutitas y limolitas de color café con ventillas de yeso moderadamente meteorizado, bloques y clastos subangulosos en una matriz limo arcillosa medianamente consolidada. En la desembocadura de la quebrada se observan materiales aluviales, como arcillas, limos y arenas finas, propios de los depósitos coluviales. En las zonas más bajas, los depósitos aluviales están constituidos por gravas y arenas finas

provenientes de lechos de ríos. Con base en estas características, se asignan las clases 4 y 5 de la Tabla 2 para los depósitos encontrados en el área.

Tabla 2

Geológicos (40%)	Aluvión grueso, permeable, compacto, nivel freático bajo.	1
	Calizas duras permeables. Rocas intrusivas, poco fisuradas, bajo nivel freático.	
	Basaltos, andesitas, ignimbritas.	
	Características físicas mecánicas: materiales sanos con poca o ninguna meteorización, resistencia al corte elevado, fisuras sanas, sin relleno.	
	Aluvión grueso, permeable, compacto, nivel freático bajo. Calizas duras permeables.	
	Rocas intrusivas, poco fisuradas, bajo nivel freático. Basaltos, andesitas, ignimbritas.	2
	Características físicas mecánicas: materiales sanos con poca o ninguna meteorización, resistencia al corte elevado, fisuras sanas, sin relleno.	
	Rocas sedimentarias, intrusivas, lavas, ignimbritas, tobas poco soldadas, rocas metamórficas mediana a fuertemente alteradas, niveles freáticos relativamente altos.	3
	Aluviones fluvio lacustres, suelos piroclásticos poco compactados, rocas fuertemente alteradas.	4
	<ul style="list-style-type: none"> • Depósitos Aluviales (gravas y arenas finas de lechos de río y otros materiales aluviales). • Depósitos Coluviales: Depósitos torrenciales de materiales aluviales, arcilla, limo y arenas finas. 	
	Materiales aluviales, coluviales de muy baja calidad mecánica, rocas con estado de alteración avanzado, drenaje pobre. Se incluyen los casos 3 y 4 con los niveles freáticos muy someros, sometidos a gradientes hidrodinámicos altos.	5
	<ul style="list-style-type: none"> • Conos de Deyección y Flujos de Lodo (Grava fina cementada por arcillas y limos de color blanco). 	

Elaborado por: Los Autores.

Fuente: León, (2014).

Ilustración 1: Mapa de geología de Lomas del Calvario.



Elaborado por: Los Autores.

Fuente: Instituto Geográfico Militar, (2022).

Se debe considerar que las lutitas son susceptibles a la meteorización y pueden volverse blandas y perder su resistencia cuando se exponen al agua, y, aunque las limolitas son más resistentes que las lutitas, también son fácilmente degradable bajo las condiciones de humedad y meteorización, provocando así problemas de estabilidad, especialmente si la roca está fracturada o contiene capas débiles.

Pendiente: En Lomas del Calvario, se reconocen las cinco categorías de pendientes en el área, que abarcan desde pendientes planas y ligeramente inclinadas hasta pendientes muy escarpadas según los criterios utilizados de la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos (2022). Estas categorías se valoran según lo establecido en la Tabla 3.

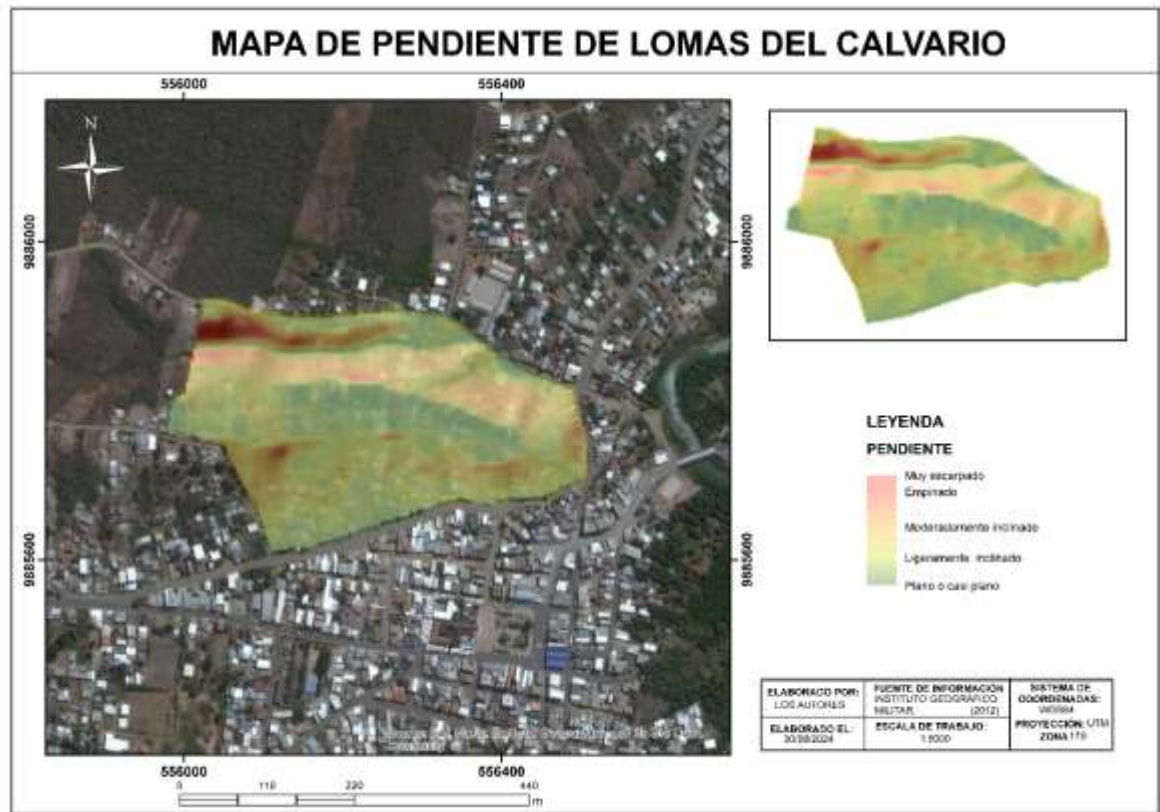
Tabla 3

Pendiente (20%)	0 - 5 % (Plano o casi plano).	1
	6 - 12 % (Ligeramente ondulado a ligeramente inclinado).	2
	13 - 25 % (Moderado a fuertemente inclinado).	3
	26 - 40 % (Empinado).	4
	>40 % (Escarpado o muy escarpado).	5

Elaborado por: Los Autores.

Fuente: Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos, (2022).

Ilustración 2: Mapa de pendiente de Lomas del Calvario.



Elaborado por: Los Autores.

Fuente: Instituto Geográfico Militar, (2012).

Del lugar de estudio, 1.11 ha que representa el 9.71% total del área análisis, se encuentra en pendientes con rangos de 0 a 5%, pendientes planas o casi planas, 3.99 ha, 34.91% se encuentran en rangos de pendientes que van desde 6 a 12%, siendo pendientes ligeramente inclinadas. Encontramos que 5.18 ha, 45.32%, están en rangos de 13 a 25%, clasificándose como pendientes que van de moderadas a fuertemente inclinadas, en menores cantidades encontramos pendientes que van en los rangos de 26 a 40%, siendo la cantidad de 0.68 ha, 5.95% del territorio que se encuentra dentro de ese rango y, finalmente, encontramos pendientes que son mayores a 40% con un total del territorio de 0.05 ha correspondiente al 0.44%.

Cobertura Vegetal: Se distingue dos categorías de cobertura establecida en la Tabla 4. La mayor parte de esta cobertura se asocia a áreas urbanizadas, suelo

descubierto o antrópicas (como suelos eriales). El resto de la superficie se encuentra con poca vegetación arbustiva y herbáceas.

Tabla 4

Cobertura Vegetal (15%)	Bosques en conservación y protección.	1
	Cobertura arbustiva con muy poca actividad antropogénica.	2
	Bosques fragmentados.	3
	Zonas agropecuarias y erial, poca cobertura arbórea, arbustiva, herbáceas y pastizales.	4
	Zona urbanizada y suelo desnudo.	5

Elaborado por: Los Autores.

Ilustración 3: Mapa de cobertura vegetal de Lomas del Calvario.



Elaborado por: Los Autores.

Fuente: Información levantada por los autores, (2024).

Se puede visualizar pequeñas áreas de vegetación dispersa, 2.68 ha siendo este un 23,45% del territorio, donde la vegetación es de tipo arbustiva, herbácea y pastizal, la otra parte del área, 8.69 ha, correspondiente a un 76.02% del territorio total de análisis está compuesta por suelos descubiertos y eriales por las actividades y usos del suelo antrópicas al ser una zona altamente urbanizada, el suelo se encuentra

principalmente descubierto. Los eriales, al estar abandonados o sin vegetación significativa, presentan una susceptibilidad elevada de erosión y deslizamientos, especialmente en áreas con pendiente.

La presencia y tipo de vegetación juegan un importante papel en la estabilidad de los suelos y la prevención de deslizamientos. La vegetación arbustiva y herbácea ofrece protección natural, debido a que las raíces, dependiendo de la especie, ayudan a mantener la cohesión del suelo, en el caso de las arbustivas y de las herbáceas ayuda a disminuir la erosión del suelo. En pendientes moderadas, son una defensa importante contra deslizamientos, mientras que los pastizales proporcionan protección en suelos menos inclinados, pero deben manejarse adecuadamente para evitar la erosión.

Factores Desencadenantes

Precipitación: Se realizó un modelo de isoyeta con las precipitaciones media anual durante un período de 10 años, basado en datos de estaciones proporcionados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. Se observa que el cantón enfrenta precipitaciones hasta un máximo de 1300 mm/año, sin embargo, en el sector de Lomas del Calvario, se establece una precipitación media anual de 400 a 500 mm/año. Se debe considerar adicionalmente que, también existe la presencia de ENOS, donde la precipitación media anual tiende a aumentar como se evidencia en la Tabla 5, estableciendo, en los años 1983, 1997 y 1998, la precipitación media anual estuvo entre 1796.2, 1350.9 y 1699.0 mm/año respectivamente.

Tabla 5

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA
1963	18.3	21.6	184.6	1.7	11.6	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.8	250.8
1964	59.6	46.5	205.9	68.8	5.7	8.3	0.3	0.5	0.0	4.4	0.6	1.4	402.0
1965	29.2	62.7	144.1	67.6	46.0	47.4	15.2	2.7	0.2	0.4	1.2	3.9	420.6
1966	77.1	94.1	112.7	68.0	18.9	7.0	3.1	8.8	8.2	1.7	1.8	10.5	411.9
1967	184.6	162.7	28.2	6.4	11.6	0.3	2.8	0.0	1.0	0.1	0.0	0.9	398.6
1968	56.8	64.0	22.0	34.0	0.5	1.7	0.0	1.0	0.9	0.0	1.0	1.0	182.9
1969	146.6	17.4	97.6	33.0	83.2	50.4	17.0	0.0	0.1	0.3	4.0	7.1	456.7
1970	43.6	48.8	112.1	64.8	65.5	3.0	0.3	0.2	2.0	0.1	1.3	7.3	349.0
1971	30.8	134.4	219.4	8.1	0.0	6.6	0.1	0.1	3.3	1.3	2.8	1.2	408.1
1972	75.8	197.9	242.2	81.1	2.6	84.1	20.5	6.3	3.6	1.5	0.7	18.3	734.6
1973	183.1	177.1	55.1	68.8	29.8	4.6	1.8	1.8	2.9	0.0	0.8	4.1	529.9
1974	24.0	114.7	54.7	50.1	13.3	5.4	0.6	0.1	1.8	4.4	5.8	24.2	299.1
1975	213.9	247.4	165.2	63.1	3.2	3.8	0.4	0.7	14.7	18.7	0.7	24.0	755.8
1976	192.3	121.2	124.5	64.5	44.8	19.1	7.6	0.0	3.2	0.2	2.0	8.8	588.2
1977	36.2	126.2	160.8	108.0	0.0	6.9	0.0	0.1	8.9	0.3	0.0	14.6	462.0
1978	54.6	96.8	66.4	12.2	11.3	0.0	1.1	0.0	0.4	0.0	0.0	0.9	243.7
1979	37.5	151.0	20.0	20.6	9.7	3.3	0.9	1.0	0.7	0.0	0.0	0.0	244.7
1980	39.1	33.1	90.5	53.1	13.4	2.3	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	1.0	232.8
1981	49.8	95.6	39.0	17.9	0.0	0.0	0.0	0.2	0.1	2.3	0.2	8.4	213.5
1982	20.0	7.3	28.9	6.5	9.7	2.6	0.0	0.0	1.1	35.2	98.3	116.7	326.3

1983	271.3	125.0	205.0	254.7	271.5	338.9	231.6	23.4	46.8	1.7	0.7	25.6	1796.2
1984	1.7	202.6	106.0	31.6	0.4	2.9	0.6	0.0	0.0	0.1	8.5	115.1	469.5
1985	40.3	78.0	95.9	35.1	42.6	1.6	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	34.0	327.8
1986	277.6	44.2	75.7	79.6	0.6	0.0	0.7	0.0	0.0	3.5	0.0	3.8	485.7
1987	70.6	333.3	138.3	95.7	23.3	0.0	0.8	16.5	1.5	0.1	2.4	2.8	685.3
1988	0.0	96.9	30.0	44.2	23.8	0.0	1.0	0.2	12.2	0.0	0.6	5.0	213.9
1989	232.3	164.0	189.1	60.5	1.4	1.0	0.1	0.0	6.1	0.9	0.0	0.5	655.9
1990	32.2	76.3	59.3	37.8	1.2	1.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	8.8	217.4
1991	57.2	95.9	28.4	36.2	17.0	0.1	0.0	0.2	1.9	0.0	3.2	18.8	258.9
1992	106.6	139.3	300.0	234.8	145.8	9.4	0.5	0.0	0.0	0.0	0.2	8.8	945.4
1993	30.6	181.9	93.9	57.0	0.1	6.0	0.0	0.0	0.1	0.4	1.8	1.7	373.5
1994	72.6	56.8	183.2	27.5	73.6	0.7	0.0	0.0	0.4	2.5	0.4	75.0	492.7
1995	139.5	153.2	34.5	57.3	7.9	8.6	1.2	3.0	0.0	0.1	0.1	8.8	414.2
1996	46.8	91.2	197.7	62.0	0.1	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.6	0.3	399.5
1997	71.9	128.4	217.9	79.1	54.8	110.7	50.0	65.0	68.5	55.1	157.4	292.1	1350.9
1998	298.9	357.6	460.2	245.1	216.9	81.9	20.6	0.2	0.2	0.0	17.4	0.0	1699.0
1999	29.6	322.7	122.1	135.7	19.0	1.8	0.2	2.3	0.1	0.5	1.5	11.9	647.4
2000	89.7	76.3	38.8	62.1	54.2	5.4	0.1	0.2	0.5	0.0	1.8	18.3	347.4
2001	242.9	122.0	301.9	84.4	10.0	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	2.1	2.5	766.2
2002	60.9	233.7	230.1	132.3	18.4	0.9	0.0	0.2	0.0	1.5	0.7	31.7	710.4
2003	59.3	181.5	25.4	24.5	9.1	0.2	0.1	0.0	0.0	0.1	1.3	26.1	327.6
2004	24.1	131.6	153.4	23.3	14.6	7.3	0.0	0.0	1.7	1.4	0.0	0.4	357.8
2005	64.1	153.7	118.0	269.0	0.0	0.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	22.3	627.7
2006	60.7	157.9	161.9	16.9	0.3	1.1	0.0	1.2	0.0	0.0	2.9	5.6	408.5
2007	99.3	26.6	121.8	108.7	6.9	2.7	2.8	0.0	0.0	1.5	0.2	21.3	391.8
2008	222.9	236.4	151.7	49.1	5.5	2.2	4.6	0.5	0.6	1.4	0.8	0.2	675.9
2009	98.1	92.5	80.7	22.5	28.2	0.7	0.0	11.6	0.0	0.0	0.0	3.2	337.5
2010	115.3	126.5	185.9	79.9	78.2	3.3	3.9	0.1	0.6	0.0	3.1	149.1	745.9
2011	63.1	122.4	20.3	69.4	0.3	42.5	4.5	0.0	0.1	1.3	0.0	31.3	355.2
2012	212.4	295.7	235.4	41.6	58.0	11.1	0.0	0.0	0.0	0.0	2.3	22.4	878.9
2013	131.5	102.5	245.7	158.3	13.3	0.4	0.0	0.3	0.3	10.0	0.0	1.3	663.6
2014	62.2	76.2	47.7	28.6	50.3	10.4	0.3	0.0	1.5	0.0	0.1	7.4	284.7
2015	28.9	115.9	195.1	96.1	29.5	21.6	7.3	0.2	0.5	5.1	8.3	19.8	528.3
2016	124.9	131.4	81.6	94.9	6.5	4.5	0.8	0.0	0.9	0.1	0.0	2.5	448.1
2017	96.3	296.1	172.2	137.6	87.9	7.4	0.2	1.8	0.0	8.5	0.4	20.1	828.5

Elaborado por: Los Autores.

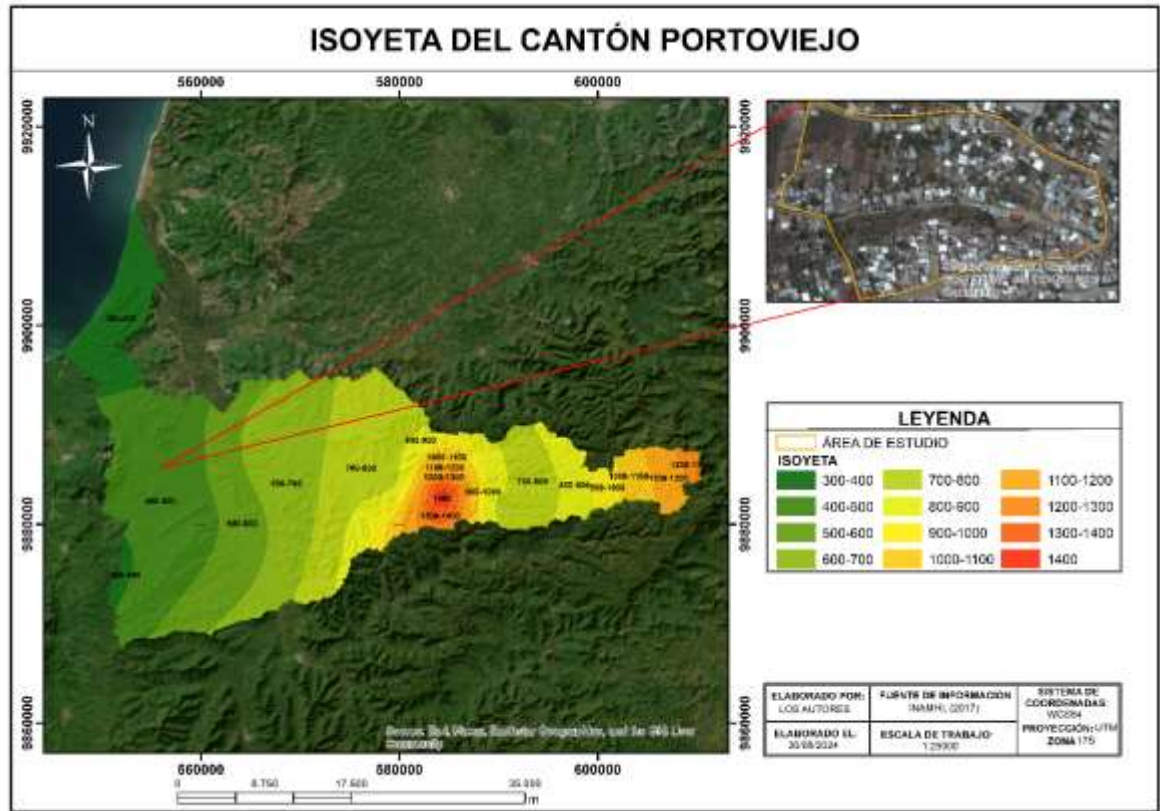
Fuente: Cevallos Castro & Solórzano Zambrano, (2019).

Tabla 6

	<400	1
Precipitación	400-500	2
mm/año (20%)	500-600	3
	600-900	4
	>1000	5

Elaborado por: Los Autores.

Ilustración 4: Mapa de isoyetas del cantón Portoviejo.



Elaborado por: Los Autores.

Fuente: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, (2017).

El promedio de precipitación que se presenta en el área de estudio es de 400 a 500 mm/año. Esta cantidad de precipitación es moderada, suficiente para influir en la humedad del suelo, pero no tan alta como para generar saturación frecuente. Sin embargo, en suelos con baja capacidad de retención, incluso esta cantidad puede causar problemas de deslizamiento. La meteorización ya presente en las lutitas y limolitas sugiere que el suelo está algo debilitado. La precipitación puede acelerar la disolución de las ventillas de yeso, haciendo que el suelo sea más susceptible a la erosión y a la inestabilidad. Considerando las pendientes existentes, en las más bajas, es menos probable la susceptibilidad a deslizamiento, sin embargo, puede provocar erosión, sobre todo en las áreas con poca cobertura vegetal.

En las pendientes más pronunciadas, las cuales también se evidencian en el área de estudio, aumenta la susceptibilidad a deslizamiento, aún más considerando el factor geológico, reduciendo la cohesión y resistencia.

Sismos: En lo que respecta a la sismicidad del área, no se han detectado fallas geológicas en el sector; sin embargo, este criterio se ajustó en base a la

microzonificación sísmica (usando las capas de microzonificación del GADM Portoviejo). En Lomas del Calvario se identifican dos categorías: M1 o Suelo Rígido y Roca, y M4 o Suelo Blando. Estas categorías se evaluaron según la Tabla 7.

Tabla 7

Microzonificación (5%)	M1, suelo rígido y roca.	1
	M2, suelo semi rígido.	2
	M3, suelo intermedio.	3
	M4, suelo blando.	4
	M5 y M6, suelo muy blando, alto potencial de licuación.	5

Elaborado por: Los Autores.

Fuente: GAD Portoviejo, (2017).

Ilustración 5: Mapa de microzonificación de Lomas del Calvario.



Elaborado por: Los Autores.

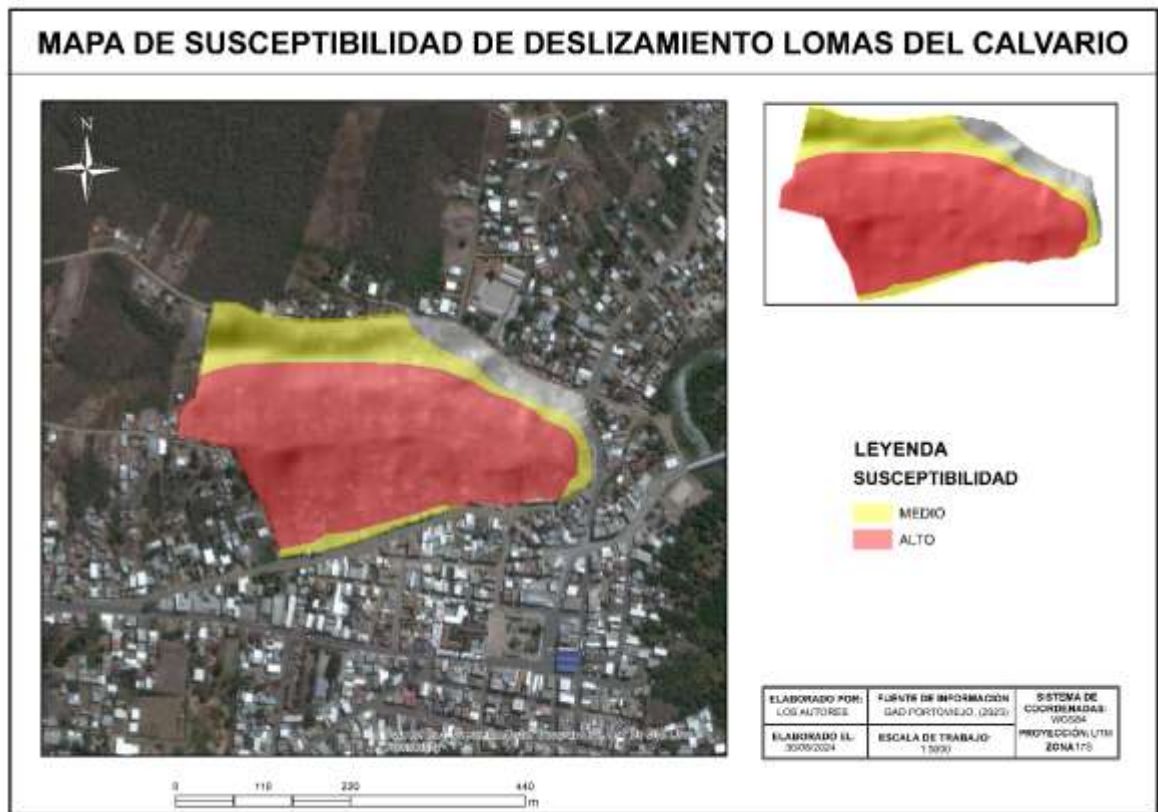
Fuente: Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Portoviejo, (2017).

Del polígono de estudio, se encuentra que 10.83 ha, un total del 94.74% está en una microzonificación M1 y 0.6 ha, que representa un 5.23% del territorio, en M4. Los suelos con microzonificación M1, suelen estar ubicado en áreas rocosas o muy firmes, presentando, generalmente, una baja amplificación de ondas sísmicas

debido a la alta rigidez del suelo. El suelo firme puede transmitir rápidamente las ondas sísmicas sin que éstas se amplifiquen significativamente. La microzona M4, suele ubicarse en áreas con suelos más blandos o sedimentarios, que pueden incluir arcillas, limos o suelos aluviales, presentando así una alta amplificación de las ondas sísmicas, debido a la menor rigidez del suelo. Estos suelos tienden a amplificar las ondas sísmicas, lo que puede causar deslizamiento del terreno más intensos y prolongados.

Análisis de Susceptibilidad ante Deslizamiento en Lomas del Calvario

Ilustración 6: Mapa de susceptibilidad de deslizamiento de Lomas del Calvario.



Elaborado por: Los Autores.

Fuente: Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Portoviejo actualización, (2023).

El polígono de estudio de Lomas del Calvario abarca un área total de 11.431 hectáreas. De esta extensión, 7.914 hectáreas, correspondiente al 69.23% del área de análisis, están clasificadas como de alta susceptibilidad a deslizamiento, mientras que, 2.49 hectáreas, 21.78%, presentan una susceptibilidad media. Los resultados indican una alta susceptibilidad de deslizamiento en gran parte del

polígono, que incluye una variedad de pendientes, desde planas o ligeramente inclinadas hasta aquellas con una fuerte inclinación.

La presencia de diferentes tipos de pendientes revela que, en las zonas más escarpadas o muy empinadas, no son consideradas aptas para la construcción o uso agrícola, se ha catastrado como suelo residencial. Estas áreas presentan varias edificaciones, a pesar de que, durante el 2006 al 2008 se llevaron a cabo procesos de reubicación debido a los deslizamientos ocurridos en el sector.

Desde el punto de vista sísmico, gran parte del territorio se encuentra en una microzona M1, caracterizada por suelo rígido y roca, con una velocidad de ondas sísmicas V_{s30} de 360 m/s, mientras que otra parte está en la microzona M4 con una velocidad de ondas sísmicas de $225 > V_{s30} > 180$ m/s. En términos geológicos, el área presenta lutitas y limolitas con vetas de yeso moderadamente meteorizado. Estos materiales, al perder resistencia y estabilidad en presencia de humedad, contribuyen a la alta susceptibilidad de deslizamiento. Por ello, la zona ha sido declarada no apta para la construcción, sin embargo, gran parte del territorio se encuentra en la microzona M1.

Discusión

Lomas del Calvario, presenta una alta susceptibilidad de deslizamiento debido a distintos factores (geología, pendiente, cobertura vegetal, precipitación y sismicidad) y la falta de obras de mitigación en el sector, son los que ahonda la problemática. Esta situación pone en riesgo inminente a la población que habita en la zona. Por lo tanto, es crucial plantear soluciones de mitigación y prevención, contribuyendo a la reducción del riesgo presente y futuro.

Es importante realizar estudios especializados a nivel geológico-geomorfológicos, levantamiento fotogramétrico, modelo digital de terreno (DMT) y tomografía eléctrica in situ que permita corroborar la información levantada o bien sea el caso, realizar una nueva valoración del análisis para determinar el nivel de amenaza frente a deslizamiento e implementar a nivel macro dentro de las comunidades y consigo proponer medidas estructurales y no estructurales que eviten los asentamientos irregulares en zonas declaradas como potenciales amenazas, como es el caso de Lomas del Calvario.

Conclusiones

El sector Lomas del Calvario del cantón Portoviejo presenta un nivel alto y medio de susceptibilidad a deslizamientos, debido a una combinación de factores geológicos, geomorfológicos, climáticos y antrópicos (degradación ambiental). Se analizaron los factores geológicos, la pendiente, cobertura vegetal, precipitación y sismicidad, presentándose así condiciones desfavorables dentro del área de estudio que puede conllevar a futuros movimientos de masa (deslizamientos).

Con esto, se evidencia la necesaria ejecución de estudios especializados que permitan obtener un mayor análisis a profundidad de las condiciones antes mencionadas, para determinar así el nivel de amenaza por deslizamiento y consiga la actualización de la cartografía local e implementar, a corto o mediano plazo, sistemas de alerta temprana (SAT) y proponer intervenciones para reducir los riesgos, incluyendo la realización de obras de mitigación y prevención. Además, se debe fomentar la educación y concienciación comunitaria sobre la susceptibilidad a deslizamientos.

La planificación urbana y el plan de uso y gestión de suelo, debe integrar los resultados de estos estudios para evitar los asentamientos irregulares de zonas donde la amenaza es alta. La gestión de riesgos debe ser prioritaria, involucrando tanto a las autoridades locales como a la comunidad en la prevención y mitigación de desastres, evitando los asentamientos irregulares en zonas donde se evidencian alto índice de susceptibilidad a deslizamiento.

Referencias bibliográficas

- Cevallos Castro, C., & Solórzano Zambrano, M. (2019). Incidencia del fenómeno el niño en los cambios climáticos de la demarcación hidrográfica de Manabí. Universidad Técnica de Manabí.
- Changnon, S., Pielke, R., Changnon, D., Sylves, R., & Pulwarty, R. (2000). Human factors explain the increased losses from weather and climate extreme. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 437.
- Diley, M., Chen, R., Deichmann, U., Lerner, A., & Arnold, M. (2005). *Natural disaster hotspots*. Washington: World Bank. doi: [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0477\(2000\)081%3C0437:HFETIL%3E2.3.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0477(2000)081%3C0437:HFETIL%3E2.3.CO;2)

- GAD Portoviejo. (2019). Agenda de Reducción de Riesgo del cantón Portoviejo · Biblioteca Virtual SNGRE. Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos. <https://biblioteca.gestionderiesgos.gob.ec:8443/items/show/126>
- GAD Portoviejo. (2023). Análisis del nivel de riesgo en el sector Lomas del Calvario de la parroquia Picoazá. (Análisis de Riesgo 094; pp. 1-15). Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Portoviejo.
- Gil, H. A. P. (2018). Propuesta de Plan de Gestión Integral de Riesgos de Desastres en la pro- vincia de Manabí, Ecuador. 11(21), 35-55.
- Instituto Geográfico Militar. (2022). Determinación de la capacidad de acogida del territorio con fines de desarrollo urbano mediante la generación de geoinformación temática a escala 1: 5 000.
- León, O. (2014, agosto 8). Metodología inundaciones. SlideShare. <https://es.slideshare.net/slideshow/metodologa-inundaciones/37806877>
- Ortiz-Maestre V, Polo-Mendoza C, Giraes-Puerta D, Manco-Jaraba D. Análisis de susceptibilidad por movimientos en masa implementando el método Mora-Vahrson mo dificado para el corregimiento de Chemesquemena (Cesar, Colombia). *Tecnura*, 27(77), 49-69. <https://doi.org/10.14483/22487638.19951>
- Petley, D. (2012). Global patterns of loss of life from landslides. *Geology*, 927. doi: 10.1130/G33217.1
- Román, A. Q., & Feoli-Boraschi, S. (2018). Comparación de la Metodología Mora-Vahrson y el Método Morfométrico para Determinar Áreas Susceptibles a Deslizamientos en la Microcuenca del Río Macho, Costa Rica. *Revista Geográfica de América Central*, 2(61), 17-45.
- Salas, J., Gesto, B., & Osteiza, I. (2010). INFORME FINAL DE LA EVALUACIÓN INTERMEDIA DEL CONVENIO 07-CO1-042 (ECUADOR – PERÚ), CESAL - AECID ‘Mejora de las condiciones de vida de poblaciones en zonas vulnerables, mediante el fortalecimiento de instrumentos de reordenación territorial y planificación urbana, especialmente en habitabilidad básica, agua y saneamiento, y la construcción y mejora de las infraestructuras existentes’.
- Secretaria Nacional de Gestión de Riesgo. (2010). Gestión de Riesgos. Quito.

Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos. (2022). Metodología Susceptibilidad /
Susceptibilidad ante Movimientos en Masa.

Conflicto de intereses

Los autores indican que esta investigación no tiene conflicto de intereses y, por tanto, acepta las normativas de la publicación en esta revista.

Con certificación de:

