



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

POSGRADO

Tema: Evaluación de Riesgos Hidrometeorológicos y Deslaves en la Zona Subtropical del Ecuador. Caso de Estudio: Comunidad Las Moras en el Cantón Pujilí, Provincia de Cotopaxi

Trabajo de Titulación, previo a la obtención del Título de Cuarto Nivel de Magister en
Hidráulica con mención en Obras Hidráulicas

Modalidad del Trabajo de Titulación: Artículos Profesionales de Alto Nivel

Autora: Ing. Geovana Nataly Salazar Córdova

Director: Ing. Lenin Rafael Maldonado Narváez, Mg.

Ambato – Ecuador

2025

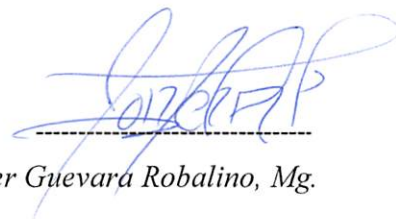
A la Unidad Académica de Titulación de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

El Tribunal receptor del Trabajo de Titulación, presidido por Ing. Santiago Paúl Cabrera Anda Mg., e integrado por los señores: Ph.D. Jorge Javier Guevara Robalino Mg., y José Luis Yunapanta Velastegui M.Sc., designados por la Unidad Académica de Titulación del Centro de Posgrados de la Universidad Técnica de Ambato, para receptor el Trabajo de Titulación con el tema: **“Evaluación de Riesgos Hidrometeorológicos y Deslaves en la Zona Subtropical del Ecuador. Caso de Estudio: Comunidad Las Moras en el Cantón Pujilí, Provincia de Cotopaxi”** elaborado y presentado por la señorita Ing. Geovana Nataly Salazar Córdova, para optar por el Título de cuarto nivel de Magíster en Hidráulica con Mención en Obras Hidráulicas; una vez escuchada la defensa oral del Trabajo de Titulación, el Tribunal aprueba y remite el trabajo para uso y custodia en las bibliotecas de la UTA.



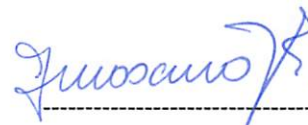
Ing. Santiago Paúl Cabrera Anda, Mg.

Presidente y Miembro del Tribunal



Ph.D. Jorge Javier Guevara Robalino, Mg.

Miembro del Tribunal



Ing. José Luis Yunapanta Velastegui, M. Sc.

Miembro del Tribunal

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

La responsabilidad de las opiniones, comentarios y críticas emitidas en el Trabajo de Titulación presentado con el tema: **“Evaluación de Riesgos Hidrometeorológicos y Deslaves en la Zona Subtropical del Ecuador. Caso de Estudio: Comunidad Las Moras en el Cantón Pujilí, Provincia de Cotopaxi”**, le corresponde exclusivamente a la: Ing. Geovana Nataly Salazar Córdova, Autora bajo la Dirección del Ing. Lenin Rafael Maldonado Narváez, Director del Trabajo de Titulación, y el patrimonio intelectual a la Universidad Técnica de Ambato.

Ing. Geovana Nataly Salazar Córdova

C.C.: 0503351108

AUTORA

Ing. Lenin Rafael Maldonado Narváez, Mg.

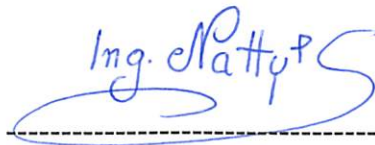
C.C.: 1803132248

DIRECTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que el Trabajo de Titulación, sirva como un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los derechos de mi trabajo, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este, dentro de las regulaciones de la Universidad.



Ing. Geovana Nataly Salazar Córdova

C.C.: 0503351108

AGRADECIMIENTO

Con cariño:

Ing. Geovanna Nataly Salazar Córdova

INGENIERA CIVIL

DEDICATORIA

Con cariño:

Geovana Nataly Salazar Córdova

INGENIERA CIVIL

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Portada.....	i
A la Unidad Académica de Titulación de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.....	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	iii
DERECHOS DE AUTOR.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
DEDICATORIA.....	vi
INDICE DE CONTENIDOS.....	vii
RESUMEN EJECUTIVO.....	x
ABSTRACT.....	xii
INTRODUCCIÓN	1
Tabla 1. Cronología de eventos de remoción en masa en Las Moras (2019–2023).	2
Tabla 2. Cuadro comparativo de estudios relevantes.....	7
Teoría del Riesgo y Gestión del Riesgo de Desastres.....	9
Figura 1. Modelo conceptual de gestión integral del riesgo adaptado de UNDRR (2022).	10
Riesgos Hidrometeorológicos en los Andes Tropicales	10
Susceptibilidad y Modelos Geoespaciales	11
Sistemas de Alerta Temprana y Participación Comunitaria	12
Sistema de Alerta Temprana (SAT) propuesto	13
Umbrales y criterios técnicos.....	13
1. Sensores de humedad (FC-28).....	13
2. Pluviómetros automáticos.....	14
3. Acelerómetros en taludes críticos	14

ÍNDICE DE CONTENIDOS

4. Integración comunitaria	14
Figura 2. Diagrama de Flujo del Sistema de Alerta Temprana (SAT)	15
MÉTODOS MATERIALES	15
Figura 3. Mapa georreferenciado de Las Moras con sectores vulnerables.	16
Figura 4. Diagrama de flujo metodológico aplicado para la evaluación de riesgos en Las Moras.	17
Tabla 3. Comparativo entre documentos revisados y tu propuesta metodológica.....	18
Metodología técnica.....	19
Modelo conceptual de riesgo	19
Determinación de umbrales de lluvia y periodos de retorno	19
Evaluación de susceptibilidad a deslizamientos (LSI).....	19
Valoración de la vulnerabilidad (ICV)	20
Diseño del Sistema de Alerta Temprana (SAT)	20
RESULTADOS.....	21
Análisis Hidrometeorológico: Umbrales de lluvia y retorno.....	23
Tabla 4. Umbrales de precipitación críticos detectados y su frecuencia anual (2019–2023).	23
Figura 5. Frecuencia de lluvias >P95 por año (2019–2023).....	24
Análisis de Precipitación Extrema y su Vinculación con Eventos Históricos.....	24
Evaluación de la Susceptibilidad a Deslizamientos (LSI)	24
Figura 6. Mapa de LSI (Índice de Susceptibilidad a Deslizamientos).....	25
De la vulnerabilidad social.....	25
Figura 7. Índice de Capacidad Vulnerable (ICV)	26

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Diseño de un Sistema de Alerta Temprana Comunitario (SAT)	26
Aplicación a la planificación territorial resiliente.....	27
DISCUSIÓN	28
CONCLUSIONES	29
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	30

RESUMEN EJECUTIVO

El estudio aborda la creciente amenaza de los riesgos hidrometeorológicos y los deslizamientos en la comunidad Las Moras, ubicada en la zona subtropical del cantón Pujilí, provincia de Cotopaxi, una región caracterizada por su topografía irregular y su alta exposición a lluvias extremas. Se parte de la premisa de que el riesgo no es solo producto de la naturaleza, sino también de las condiciones sociales, económicas y territoriales que amplifican la vulnerabilidad de las poblaciones rurales. El objetivo principal fue evaluar de manera integral el riesgo por deslizamientos, considerando factores físicos, climáticos y sociales que influyen en la estabilidad del terreno y en la seguridad de la comunidad. Para ello se aplicó una metodología mixta, articulando análisis hidrometeorológicos (series de precipitación 2019–2023), modelación geoespacial mediante SIG y evaluación social de la vulnerabilidad, sustentada en observaciones de campo y validación comunitaria. Los resultados revelan un umbral crítico de precipitación de 52 mm/24 h (percentil 95) asociado con los principales eventos de remoción en masa registrados en el periodo de estudio. El Índice de Susceptibilidad a Deslizamientos (LSI) identificó que un 28 % del territorio presenta riesgo alto o muy alto, mientras que el Índice de Capacidad Vulnerable (ICV) mostró que las condiciones de fragilidad social y constructiva agravan la exposición. Ambos indicadores, integrados, permitieron definir zonas prioritarias para la intervención. Como propuesta práctica, se diseñó un Sistema de Alerta Temprana (SAT) de bajo costo y carácter participativo, adaptado a la realidad tecnológica y cultural de la comunidad. Se concluye que la reducción del riesgo exige un enfoque interdisciplinario y socialmente justo, que combine la ciencia geoespacial con el conocimiento local, fortaleciendo la resiliencia y la justicia ambiental en territorios rurales expuestos a amenazas naturales recurrentes.

DESCRIPTORES: ALERTA TEMPRANA, DESLIZAMIENTO, RIESGO HIDROMETEOROLÓGICO, SIG, VULNERABILIDAD SOCIAL.

ABSTRACT

This study examines the growing threat of hydrometeorological and landslide risks in Las Moras, a rural community located in the subtropical zone of Pujilí Canton, Cotopaxi Province, Ecuador. The research starts from the premise that risk is not solely a natural phenomenon but the outcome of social, economic, and territorial conditions that amplify the vulnerability of local populations. The main objective was to assess landslide risk comprehensively, integrating physical, climatic, and social factors influencing terrain stability and community safety. A mixed-methods approach was employed, combining hydrometeorological analysis (rainfall series from 2019–2023), geospatial modeling using GIS tools, and a social vulnerability assessment based on field observations and community validation. Results indicate a critical rainfall threshold of 52 mm/24 h (95th percentile), directly correlated with the main landslide events recorded during the study period. The Landslide Susceptibility Index (LSI) identified 28% of the territory as having high or very high risk, while the Vulnerability Capacity Index (VCI) revealed that social fragility and inadequate housing conditions exacerbate exposure. The integration of both indices enabled the delineation of priority intervention zones. As a practical outcome, the research proposes a low-cost, community-based Early Warning System (EWS) tailored to the local context and technological capacities. The study concludes that effective risk reduction requires an interdisciplinary and socially equitable approach that merges geospatial science with local knowledge, strengthening resilience and environmental justice in vulnerable subtropical territories.

KEYWORDS: EARLY WARNING SYSTEM, HYDROMETEOROLOGICAL RISK, GIS, LANDSLIDES, SOCIAL VULNERABILITY.

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, el Ecuador ha enfrentado transformaciones climáticas significativas que se expresan en la recurrencia de lluvias intensas y deslaves, fenómenos que se manifiestan con mayor severidad en áreas de topografía accidentada y suelos volcánicos. En territorios como la zona subtropical de la provincia de Cotopaxi, estas condiciones naturales interactúan con actividades humanas que modifican el paisaje y aumentan la exposición de la población. La parroquia Pilaló, en el cantón Pujilí, concentra de manera clara esta dualidad: un espacio de riqueza agrícola y biodiversidad que al mismo tiempo se convierte en un escenario de vulnerabilidad constante. Dentro de esta parroquia, la comunidad de Las Moras se distingue como un caso crítico, donde las pendientes pronunciadas, los cultivos en terrenos marginales y la falta de infraestructura preventiva configuran un contexto en el que la vida cotidiana está marcada por la amenaza permanente de deslizamientos y erosión.

Los riesgos que enfrenta esta comunidad no se entienden únicamente a partir de variables físicas como la pendiente o la cantidad de lluvia, sino también desde la manera en que los habitantes perciben y enfrentan estas amenazas. La vulnerabilidad se refleja en la fragilidad de las viviendas, en las limitaciones económicas y en la ausencia de redes sólidas de apoyo institucional. Estudios previos en regiones andinas han demostrado que la memoria colectiva, los saberes campesinos y la organización comunitaria resultan tan determinantes como los datos pluviométricos o las clasificaciones de suelos para anticipar desastres y diseñar estrategias de respuesta. De ahí la importancia de que la gestión del riesgo en Las Moras no se reduzca a un ejercicio técnico, sino que integre la experiencia local y fomente la participación de la población en la construcción de soluciones. Bajo esta visión, el presente estudio busca identificar las áreas de mayor susceptibilidad y proponer medidas concretas, combinando análisis geoespacial, climático y geológico (considerando factores como el tipo de suelo, la cobertura y el uso del territorio, además de la litología) con el conocimiento social, para fortalecer la resiliencia de un territorio que convive a diario con la amenaza del deslave.

La Tabla 1 que se presenta a continuación, sintetiza la cronología de eventos de remoción en masa registrados en la comunidad de Las Moras entre 2019 y 2023. Cada registro incorpora la

fecha, el sector o recinto afectado, el tipo de daño ocasionado y su impacto directo sobre viviendas, vialidad o infraestructura. Para garantizar su ubicación espacial precisa, los eventos fueron georreferenciados mediante coordenadas en el sistema WGS84 y transformados a coordenadas UTM (zona 17S, hemisferio sur).

Esta información constituye la base para delimitar el área de estudio, ya que permite construir un polígono que englobe todos los puntos en los que se han presentado deslizamientos, estableciendo así el perímetro real de exposición al riesgo. Además, la sistematización de estos datos posibilita analizar la recurrencia temporal y espacial de los eventos, elemento fundamental para la posterior elaboración de mapas de susceptibilidad, vulnerabilidad y riesgo.

Tabla 1. *Cronología de eventos de remoción en masa en Las Moras (2019–2023).*

Fecha	Sector/Recinto (Pilaló)	UTM 17S (E, N)	Tipo de daño	Impacto	Año
2019-03-18	Comunidad Apahua	E 717,206; N 9,897,992	Viviendas	Colapso de 2 casas	2019
2019-04-09	Sector Corralpungo	E 714,339; N 9,897,282	Vialidad	Bloqueo total de vía principal	2019
2020-01-22	Sector Conucto	E 719,423; N 9,892,553	Infraestructura	Rotura de tubería matriz de agua potable	2020
2020-04-14	Comunidad Apahua	E 717,206; N 9,897,992	Viviendas	Daños en una vivienda por deslizamiento	2020
2020-11-02	Sector Corralpungo	E 714,339; N 9,897,282	Vialidad	Carretera barrial cubierta de lodo y	2020

				escombros	
2021-02-17	Sector Milin (área cercana)	E 723,295; N 9,893,943	Vialidad	Camino secundario intransitable por derrumbe	2021
2021-03-25	Sector Conucto	E 719,423; N 9,892,553	Viviendas	Deslizamiento amenaza 3 viviendas	2021
2021-12-10	Sector Redrovan	E 724,596; N 9,892,364	Infraestructura	Colapso parcial de drenaje pluvial	2021
2022-01-30	Comunidad Apahua	E 717,206; N 9,897,992	Vialidad	Bloqueo de vía de acceso por caída de tierra	2022
2022-03-21	Sector Corralpungo	E 714,339; N 9,897,282	Viviendas	Inundación y depósito de lodo en 4 casas	2022
2022-04-18	Sector Redrovan	E 727,315; N 9,896,753	Infraestructura	Daños en red eléctrica por deslizamiento	2022
2023-03-05	Sector Conucto	E 719,423; N 9,892,553	Viviendas	2 casas con daño estructural	2023
2023-04-11	Sector Milin (área cercana)	E 728,527; N 9,893,327	Vialidad	Camino vecinal cerrado por deslizamiento	2023
2023-12-01	Sector	E 714,339; N	Infraestructura	Rotura de tubería	2023

Corralpungo	9,897,282	principal de agua potable
-------------	-----------	------------------------------

Fuente: Junta Parroquial Pilaló, datos sistematizados por el autor (2024).

Entre los años 2019 y 2023 en la comunidad de Las Moras se registró un total de catorce eventos de remoción en masa. En 2019 se documentaron dos casos, mientras que en 2020 el número ascendió a tres. Durante 2021 se mantuvo la misma tendencia con tres eventos, al igual que en 2022 y 2023, años en los que también se registraron tres casos cada uno. En términos generales, los datos muestran que, tras un incremento inicial, la frecuencia de los deslizamientos se ha mantenido relativamente constante, lo que evidencia la persistencia de las condiciones de susceptibilidad en el territorio.

No obstante, la carencia de una cartografía de riesgos validada y específica para territorios como Las Moras sigue siendo una limitación que restringe la capacidad de respuesta ante emergencias y la planificación preventiva. Esta brecha se refleja en la literatura técnica y académica, ya que, aunque existen múltiples estudios regionales orientados a la macrozonificación del riesgo, son escasos aquellos que abordan la microzonificación territorial desde un enfoque participativo y adaptado a la realidad comunitaria (AMA, s. f.; Muñoz et al., 2010; Proyecto Páramo Andino, 2010).

En los últimos años, sin embargo, la gestión del riesgo ha transitado de una visión puramente reactiva hacia una más preventiva y prospectiva, en la que la identificación detallada del riesgo constituye no solo un ejercicio técnico, sino también un acto de justicia territorial. Este análisis revela desigualdades históricas y territoriales y abre oportunidades para construir resiliencia en comunidades vulnerables (CEPAL, 2014; FLACSO, 2018). Evaluar los riesgos hidrometeorológicos, por tanto, es mucho más que medir precipitaciones o pendientes, ya que implica un ejercicio político y social que puede empoderar a quienes viven cotidianamente expuestos a amenazas naturales (PNUD, 2020; Cornejo-Rodríguez et al., 2022).

En este contexto, el presente estudio propone una evaluación del riesgo por deslizamientos en

la comunidad Las Moras, sustentada en un enfoque mixto que se articula sobre tres dimensiones complementarias. En primer lugar, se aborda la dimensión hidrometeorológica, mediante el análisis de datos de precipitaciones registrados entre 2019 y 2023 en la estación meteorológica Pilaló del INAMHI, con el fin de establecer umbrales críticos de lluvia (mayores al percentil noventa y cinco) relacionados con eventos de remoción en masa. Los registros pluviométricos de este periodo se incluyen como Anexo 1, a fin de transparentar la información utilizada en los cálculos y garantizar la reproducibilidad del análisis. Esta técnica ha demostrado su utilidad en investigaciones desarrolladas en distintas regiones andinas del Ecuador (Muñoz et al., 2010; Yasipán, 2019).

Se incorpora la dimensión social y perceptual mediante la recopilación de información secundaria y observación en campo, considerando factores constructivos, condiciones de vulnerabilidad, redes de apoyo social y capacidades de adaptación de la comunidad. Este componente permite articular las estrategias técnicas con las realidades cotidianas de la población, alineándose con enfoques de gestión del riesgo recomendados por el Proyecto Páramo Andino (2010) y FLACSO (2018).

Bajo este enfoque mixto, se combinarán métodos cuantitativos junto con validación directa en el territorio (medición de pendientes críticas en taludes, verificación de condiciones geológicas y de uso de suelo, registro de daños en viviendas e infraestructura), para generar mapas temáticos georreferenciados que delimiten de manera precisa las zonas de mayor riesgo. Estos mapas se conciben como herramientas prácticas orientadas a fortalecer la planificación territorial a nivel parroquial y a facilitar procesos de toma de decisiones fundamentadas (Banco Mundial, 2021).

En definitiva, la experiencia de Las Moras refleja un desafío persistente y urgente que comparten muchas comunidades subtropicales en Ecuador, ya que conviven diariamente con riesgos naturales que, lejos de ser excepcionales, se han vuelto frecuentes y altamente destructivos. Afrontar estos riesgos desde una perspectiva integral, que contemple tanto las condiciones físicas del territorio como las dinámicas sociales, las percepciones de la comunidad y sus capacidades de respuesta, constituye una tarea ineludible para construir

territorios más seguros, resilientes y equitativos (Guevara & Verdesoto, 2015; Banco Mundial, 2021). Esta investigación, por tanto, se proyecta no solo como un ejercicio técnico, sino como un aporte práctico y ético para la planificación territorial y la reducción del riesgo, con la convicción de que solo mediante procesos participativos, evidencia científica y justicia territorial, se podrá avanzar hacia un desarrollo verdaderamente sostenible y humano.

La comprensión del riesgo como construcción social ha ganado terreno en la literatura especializada sobre gestión de desastres, desplazando la visión determinista que centraba el análisis exclusivamente en la peligrosidad de los eventos naturales. En el caso de los riesgos hidrometeorológicos, esta transición epistemológica implica reconocer que la vulnerabilidad de una comunidad no solo está determinada por su ubicación geográfica, sino también por condiciones socioeconómicas, acceso a información, gobernanza local y capacidad de respuesta institucional (Lavell, 2021).

Diversos estudios han abordado los deslizamientos de tierra desde perspectivas multidisciplinarias. Por ejemplo, Cuanalo, O y Gallardo, R (2016) identifican que el principal detonante de deslaves en la sierra centro del Ecuador es la lluvia acumulada sobre suelos previamente saturados, especialmente durante eventos climáticos como El Niño. En este sentido, los umbrales críticos de precipitación diaria y acumulada son una herramienta predictiva clave para sistemas de alerta temprana. Pillajo et al. (2022) destacan que dichos umbrales pueden variar entre regiones, por lo que deben ajustarse a las características climáticas y geológicas locales.

En la última década, se han llevado a cabo varios estudios en contextos similares a los de Las Moras, los cuales han proporcionado metodologías sólidas para evaluar los riesgos hidrometeorológicos en las zonas subtropicales andinas. Estas investigaciones, realizadas en áreas con condiciones climáticas, geológicas y sociales parecidas, no solo ayudan a validar técnicas que se pueden aplicar en este caso de estudio, sino que también ofrecen ejemplos valiosos sobre estrategias participativas, modelado espacial y gestión comunitaria del riesgo. A continuación, se presenta un resumen comparativo de los estudios más relevantes de los últimos cinco años, resaltando sus metodologías, hallazgos más importantes y la posible

aplicabilidad de sus enfoques en la comunidad de Las Moras (ver Tabla 2).

Tabla 2. *Cuadro comparativo de estudios relevantes*

Autor / Año	Metodología	Hallazgos Principales	Aplicabilidad a Las Moras
Cuanalo, O y Gallardo, R (2016)	Análisis de series pluviométricas; modelación de umbrales críticos	Las lluvias acumuladas por encima del percentil 95 son disparadores comunes de deslaves	Útil para definir umbrales locales de alerta temprana
Pillajo et al. (2022)	Estudio de eventos históricos; correlación lluvia/deslaves	Eventos con >50 mm/día desencadenan remociones en suelos saturados	Permite correlacionar eventos pasados y validar tendencias actuales
Alonso-Pandavenes et al. (2024)	SIG + análisis multicriterio AHP; validación con índice Kappa	El modelo SIG logró 85% de precisión en zonas críticas de Loja	Base técnica para construir el LSI en SIG parroquial
Quesada & Medina (2022)	AHP participativo con verificación en campo	El AHP es efectivo en zonas rurales con baja disponibilidad de datos	Metodología adaptable para priorizar zonas de intervención
Zapata et al. (2024)	Desarrollo de SAT comunitarios con sensores y	La integración comunidad-tecnología mejora la eficacia del	Modelo replicable para un SAT culturalmente

participación local	SAT	pertinente
---------------------	-----	------------

Nota: El cuadro representa los estudios recientes sobre riesgos hidrometeorológicos (2019–2024)

Desde la perspectiva técnica, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) han revolucionado la forma de abordar la microzonificación de riesgos. Estudios como los de Alvarado et al. (2023) y Arévalo & González (2024) han aplicado modelos de Machine Learning como Random Forest y Redes Neuronales Artificiales para generar mapas de susceptibilidad a deslizamientos con alta precisión. Estas metodologías, sin embargo, requieren gran cantidad de datos y capacidades técnicas que no siempre están disponibles en comunidades rurales como Las Moras.

En cuanto a la vulnerabilidad, autores como Yáñez et al. (2024) proponen un enfoque holístico que considere no solo aspectos físicos y constructivos, sino también la organización comunitaria, los mecanismos de solidaridad y el acceso a información de emergencia. Esta perspectiva está alineada con la teoría de capacidades de Sen (1999), que plantea que el riesgo no es solo la exposición a un evento, sino la falta de opciones para responder adecuadamente.

A nivel internacional, la UNDRR (2022) y la WMO (2023) han desarrollado guías técnicas para el cálculo de umbrales y la implementación de sistemas comunitarios de alerta temprana. Estas herramientas promueven una transición desde la gestión del desastre hacia la gobernanza del riesgo, donde el protagonismo de la comunidad es clave para la sostenibilidad de las estrategias.

Finalmente, la literatura coincide en que la reducción del riesgo en zonas rurales requiere una articulación efectiva entre conocimiento técnico y saber local. En este sentido, el caso de Las Moras se presenta como una oportunidad para aplicar un modelo de evaluación participativa del riesgo, validado tanto científicamente como por la experiencia de quienes habitan el territorio.

Teoría del Riesgo y Gestión del Riesgo de Desastres

La teoría del riesgo, especialmente en el ámbito de los fenómenos hidrometeorológicos, nos invita a ver el riesgo no solo como un evento natural, sino como una construcción social. Este concepto surge de la interacción entre una amenaza (un evento que puede causar daño), la vulnerabilidad (las condiciones que hacen a una comunidad susceptible) y la exposición (la presencia de personas, bienes y servicios en áreas de riesgo). Organismos internacionales como la UNDRR (2022) y académicos como Lavell (2021) han defendido esta visión, subrayando que los desastres no son meramente naturales, sino el resultado de decisiones sociales y políticas que aumentan la exposición al peligro.

Desde esta perspectiva, la gestión del riesgo de desastres debe ser proactiva y anticipativa, dejando atrás el enfoque reactivo que solo actúa después de que ocurre el daño. Para lograrlo, es esencial identificar, medir y monitorear los riesgos, utilizando tanto herramientas técnicas como procesos sociales que fomenten la participación y la corresponsabilidad. La planificación del territorio, las normativas sobre el uso del suelo y la educación ambiental son fundamentales en esta nueva forma de gestionar.

En el caso de Las Moras, este enfoque teórico nos permite abordar la problemática de manera integral: no solo se examinará la amenaza (como la lluvia o la pendiente), sino también la vulnerabilidad estructural (el tipo de viviendas), organizativa (la existencia de comités) y cognitiva (la percepción del riesgo). Así, la investigación va más allá de simplemente mapear el peligro; busca proponer soluciones para reducirlo, basándose en un conocimiento compartido entre la ciencia, las políticas públicas y el saber comunitario. Este enfoque bien articulado se resume en el modelo integral de gestión del riesgo adaptado de la UNDRR (2022), que tiene en cuenta cuatro dimensiones interconectadas: amenaza, vulnerabilidad, exposición y capacidad de respuesta. Estos elementos no deberían ser analizados de manera aislada, sino como un sistema dinámico que configura el riesgo y, por ende, las acciones necesarias para mitigarlo (ver Figura 1).

Figura 1. Modelo conceptual de gestión integral del riesgo adaptado de UNDRR (2022).



Fuente: Elaboración propia.

Riesgos Hidrometeorológicos en los Andes Tropicales

La región subtropical andina del Ecuador es conocida por su variabilidad climática, influenciada por fenómenos como El Niño costero, que aumentan tanto la intensidad como la frecuencia de lluvias extremas. Estos eventos pueden provocar deslizamientos de tierra, flujos de lodo y colapsos de taludes, especialmente en áreas con pendientes pronunciadas y suelos que retienen agua. Según Cunalata y Gallardo (2016), en los últimos 20 años la magnitud de las lluvias ha crecido un 15 % en provincias como Cotopaxi, lo que incrementa el riesgo geodinámico. Por otro lado, Alvarado et al. (2025), en su estudio sobre el deslizamiento de Alausí, concluyen que las precipitaciones que superan los 50 mm/día son cruciales para desencadenar movimientos en masa. Además, investigaciones hidrológicas de alta resolución han mostrado que los suelos arcillosos en las zonas subtropicales tienen tiempos de saturación muy cortos y una baja capacidad de infiltración, lo que intensifica la escorrentía superficial. Esta problemática se agrava aún más cuando la cobertura vegetal es escasa, ya sea por deforestación o por prácticas agrícolas inadecuadas.

En el caso de la comunidad de Las Moras, resulta fundamental analizar las series de

precipitación del periodo 2019–2023, obtenidas en la estación meteorológica Pilaló del INAMHI, a fin de correlacionar los máximos de lluvia con los eventos de remoción en masa registrados y sistematizados en la Tabla 1. Aunque un periodo de cinco años puede considerarse corto para estudios hidrológicos, se compensa con la validación directa en campo de los eventos observados, lo que fortalece la confiabilidad del análisis. La identificación de los umbrales críticos de lluvia se realizó mediante el cálculo de percentiles (P90 y P95), considerando estos como indicadores de precipitaciones extremas. Dichos percentiles son apropiados en contextos de alta variabilidad climática porque permiten discriminar los eventos excepcionales de la distribución normal de lluvias, incluso cuando el registro histórico es limitado.

Por último, se estimaron los periodos de retorno utilizando las distribuciones de probabilidad de Gumbel y Log-Normal, lo que permitió calcular lluvias proyectadas para 5, 10, 25 y 50 años. Estos valores se contrastaron con los eventos históricos observados en la zona, validando su relación con la ocurrencia de deslizamientos. La justificación de este enfoque se apoya en que estudios previos en regiones andinas han demostrado que el uso de percentiles de precipitación y modelación de retorno pluviométrico son herramientas eficaces para anticipar condiciones críticas de inestabilidad, y para respaldar decisiones de gestión del riesgo que incluyan medidas estructurales (protecciones y muros) y no estructurales (protocolos de alerta temprana).

Susceptibilidad y Modelos Geoespaciales

La susceptibilidad a deslizamientos se refiere a la probabilidad de que ocurran movimientos en masa en una zona específica, dependiendo de características físicas como la inclinación, el tipo de suelo, la geología y la vegetación. En los últimos años, el uso de herramientas geoespaciales, especialmente los Sistemas de Información Geográfica (SIG), se ha consolidado como un recurso esencial para mapear áreas con esta susceptibilidad. Por ejemplo, Alonso-Padovese et al. (2024) aplicaron modelos multicriterio en Loja para identificar zonas críticas con un nivel de precisión del 85 %.

La validación del modelo se realizó mediante comparación con eventos históricos registrados y corroborados en campo, complementada con indicadores estadísticos como el índice Kappa. De esta forma, el LSI validado en territorio se constituye en el producto principal de este estudio y en una base técnica confiable para la toma de decisiones locales en gestión del riesgo y ordenamiento territorial.

Vulnerabilidad Social y Construcción del Riesgo

La vulnerabilidad no se limita a ser solo una cuestión física; también abarca aspectos sociales, económicos y simbólicos. En lugares rurales como Las Moras, factores como la pobreza, la falta de vivienda formal, el escaso acceso a servicios básicos y la débil capacidad institucional incrementan notablemente la exposición al riesgo. Según Fernández et al. (2020), la forma en que se construye el riesgo en las comunidades subtropicales está profundamente relacionada con condiciones estructurales históricas, así como con la percepción local y los lazos comunitarios. Wüsser et al. (2022) sugieren un enfoque multidimensional de la vulnerabilidad, que incluye tres aspectos: exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación. Este enfoque no solo permite evaluar cuán expuesta está una comunidad al peligro, sino también qué tan bien puede enfrentarlo o recuperarse.

En este estudio, la evaluación de la vulnerabilidad se operacionalizó mediante la recopilación y análisis de indicadores organizados en cuatro ejes principales: (i) conocimiento del riesgo, (ii) experiencia previa con eventos hidrometeorológicos, (iii) condiciones de vulnerabilidad y capacidad de respuesta, y (iv) confianza en las autoridades y sistemas de alerta.

Sistemas de Alerta Temprana y Participación Comunitaria

Un Sistema de Alerta Temprana (SAT) no es solo una cuestión de tecnología; es un proceso social que necesita un monitoreo técnico constante, una comunicación clara, una gobernanza local efectiva y la participación de la comunidad. Según Zapata et al. (2024), los SAT que realmente funcionan son aquellos que se han creado con la colaboración de la comunidad,

fusionando conocimientos técnicos con saberes locales. En las zonas subtropicales de Ecuador, la combinación de sensores de humedad económicos y alertas a través de la radio comunitaria ha demostrado ser efectiva, reduciendo los tiempos de respuesta y mejorando la percepción del riesgo. Holcombe et al. (2022) destacan cómo en las áreas periurbanas de Quito se han desarrollado prototipos de SAT que integran drones, estaciones meteorológicas y redes sociales para enviar alertas en tiempo real. Sin embargo, en comunidades rurales como Las Moras, es crucial adaptar las soluciones a la realidad tecnológica y cultural, fomentando el uso de medios locales, reuniones comunitarias y simulacros en el barrio. Este enfoque es fundamental para respaldar una propuesta de gestión comunitaria del riesgo, donde la comunidad no solo reciba información, sino que también participe activamente en su creación, interpretación y acción. Incluir a mujeres, jóvenes y personas mayores en los procesos de alerta puede fortalecer el tejido social y asegurar la sostenibilidad.

Sistema de Alerta Temprana (SAT) propuesto

El SAT propuesto combina **sensores de humedad de suelo (FC-28)**, **pluviómetros automáticos**, **acelerómetros simples de bajo costo** y un **módulo de comunicación GSM/LoRa** para transmitir los datos a un centro de monitoreo comunitario. Su funcionamiento se basa en la integración de variables físicas críticas con parámetros geotécnicos como los **límites de Atterberg**, de manera que las lecturas tengan un correlato ingenieril y no se queden en simples porcentajes de humedad.

Umbrales y criterios técnicos

1. Sensores de humedad (FC-28)

Se calibran en laboratorio con ensayos de límites de Atterberg (ASTM D4318) aplicados a suelos locales.

- El Límite Líquido (LL) en suelos arcillosos-limosos suele ubicarse entre 35–50 % de humedad volumétrica.

- Umbral Amarillo: humedad > 70 % del LL.
- Umbral Naranja: humedad > 90 % del LL.
- Umbral Rojo: humedad $\geq$ LL mantenida durante 3–6 horas, lo que indica pérdida de resistencia al corte.

2. Pluviómetros automáticos

- Umbral Amarillo: lluvia acumulada ≥ 50 mm en 24 h.
- Umbral Rojo: ≥ 80 mm en 24 h o ≥ 120 mm en 72 h.

Estos valores se ajustan con base en series históricas del INAMHI y periodos de retorno calculados en el estudio.

3. Acelerómetros en taludes críticos

- Detectan micro-movimientos diferenciales en suelos o estructuras.
- Umbral Naranja: desplazamiento relativo > 5 mm en 24 h.
- Umbral Rojo: > 10 mm en 24 h o > 20 mm acumulados en una semana.

4. Integración comunitaria

Pre-alerta comunitaria: se activa cuando dos o más variables alcanzan umbral naranja (sirena intermitente + mensajes SMS a líderes). Alerta general: se activa cuando cualquier variable alcanza umbral rojo (sirena continua + notificación inmediata al GAD y ECU-911).

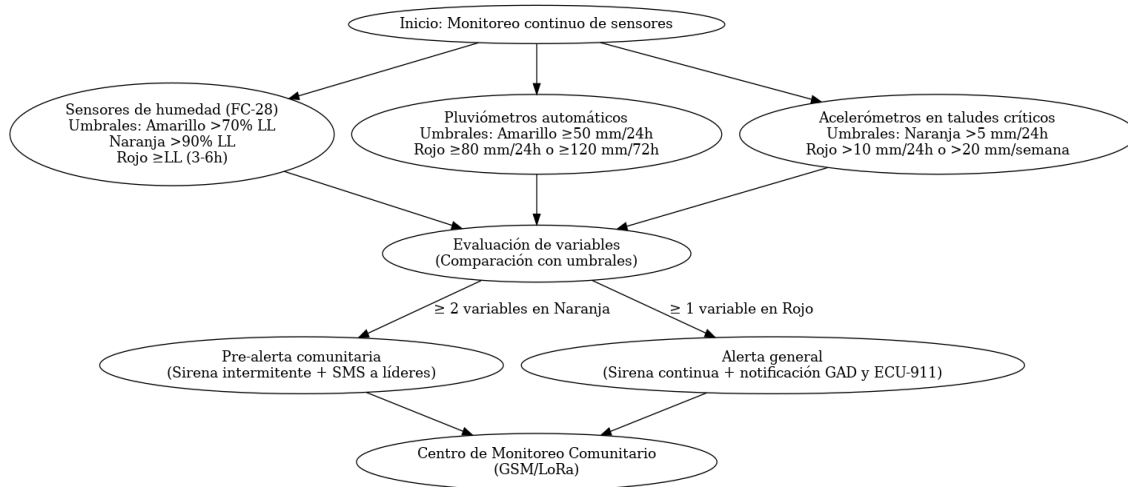
Ubicación de los aparatos

Con base en los **mapas de riesgo y de susceptibilidad LSI**, se definen tres nodos principales:

- **Nodo 1 – Apahua:** monitoreo de viviendas en pendiente.
- **Nodo 2 – Corralpungo y Conucto:** vialidad y tuberías principales.
- **Nodo 3 – Redrovan/Milín:** infraestructura crítica (red eléctrica y drenaje pluvial).

- Nodo 4 – Las Moras: seguimiento de viviendas y vías en zona de alta susceptibilidad. Cada nodo tendrá un sensor de humedad, un pluviómetro y, en los taludes más inestables, un acelerómetro.

Figura 2. Diagrama de Flujo del Sistema de Alerta Temprana (SAT)



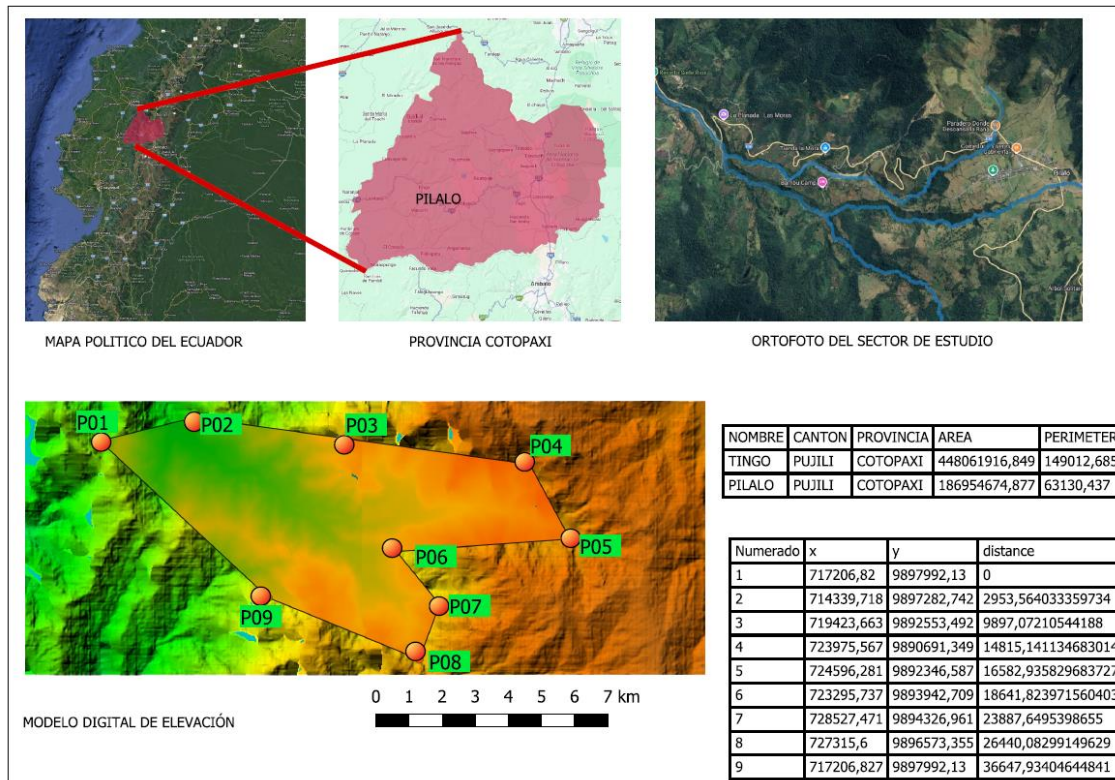
MÉTODOS MATERIALES

Para entender las diversas facetas del riesgo de deslaves en la comunidad de Las Moras, esta investigación utiliza un enfoque metodológico mixto que se complementa de manera fluida con los principios de la investigación aplicada de estudio de caso. En este sentido, se combinan técnicas cuantitativas que permiten medir la magnitud de la amenaza y modelar la susceptibilidad geoespacial, junto con enfoques cualitativos que, a través de las voces de la comunidad, revelan matices de vulnerabilidad y percepción de riesgo que no se pueden captar solo con cifras. Así, el estudio se sitúa en un nivel correlacional-explicativo, buscando establecer cómo las variables físicas (como la precipitación, la pendiente y la geología) se relacionan con factores sociales (como la condición constructiva y el capital social) para

provocar o mitigar este fenómeno.

El trabajo comienza con una revisión documental exhaustiva, apoyada en fichas bibliográficas y normativas que establecen el marco conceptual y legal.

Figura 3. Mapa georreferenciado de Las Moras con sectores vulnerables.



Fuente: Elaboración propia con base en datos DEM (IGM, 2023).

Se abordó mediante un análisis SIG en QGIS 3.34, integrando las capas de pendiente, litología y cobertura vegetal, con el fin de generar el Índice de Susceptibilidad a Deslizamientos (LSI). Cada una de estas variables fue validada en campo, verificando pendientes críticas en taludes, formaciones geológicas predominantes y patrones de cobertura. Este proceso permitió afinar la reclasificación de valores y garantizar la correspondencia con la realidad territorial. La zona

de estudio fue mapeada con datos geospaciales públicos y contrastada con observaciones directas, lo que aseguró una delimitación precisa de las áreas con mayor exposición al riesgo geodinámico.

El componente hidrometeorológico se analizó a partir de las series de precipitación 2019–2023 (INAMHI, estación Pilaló), procesadas en Excel. Se calcularon los percentiles P90 y P95 como umbrales de lluvias extremas vinculadas a eventos de remoción. Adicionalmente, se estimaron los periodos de retorno con las distribuciones de Gumbel y Log-Normal, obteniéndose lluvias proyectadas para 5, 10, 25 y 50 años, que se compararon con los eventos registrados en la comunidad. Este procedimiento permitió correlacionar directamente la estadística pluviométrica con la ocurrencia de deslizamientos, reforzando la validez del análisis.

Toda la evidencia se integró en una triangulación metodológica que combina cartografía temática, validación en campo y análisis estadístico de fiabilidad ($\alpha = 0,604$), asegurando que el estudio tenga una base científica sólida y una conexión significativa con el territorio. De este modo, se articulan las tres dimensiones planteadas inicialmente (hidrometeorológica, físico-espacial y social), garantizando un abordaje integral del riesgo en la comunidad Las Moras.

Figura 4. Diagrama de flujo metodológico aplicado para la evaluación de riesgos en Las Moras.



Fuente: Elaboración propia.

Esta investigación se llevó a cabo con un enfoque mixto, de tipo explicativo-aplicado, con el objetivo de evaluar de manera integral los riesgos hidrometeorológicos y de deslizamientos en la comunidad de Las Moras, que se encuentra en la parroquia de Pilaló en el cantón Pujilí, en

la provincia de Cotopaxi. La decisión de optar por un diseño mixto responde a la necesidad de entender tanto los factores físicos que provocan estos eventos, como las condiciones sociales que aumentan la vulnerabilidad. El estudio se organizó en ocho ejes de análisis, y a continuación se detalla la operativización metodológica.

Tabla 3. Comparativo entre documentos revisados y tu propuesta metodológica

Aspecto	Metodologías revisadas	Propuesta para Las Moras
Enfoque	Enfoques aislados o sectoriales (hidrológico, ecosistémico, territorial).	Enfoque mixto: técnico, social y espacial, adaptado al contexto subtropical y rural.
Ámbito de análisis	Territorial amplio o cuencas específicas.	Territorio comunitario puntual (Las Moras) con detalle local.
Componentes físicos	- Pendiente- Suelo- Lluvias extremas	- Análisis detallado de pendientes (SIG)- Suelos volcánicos y susceptibilidad- Periodos de retorno de lluvias intensas
Componentes sociales	Fuertes en AMA y Páramo Andino, débiles en EPN y Yasipán.	Integración plena de percepción comunitaria, para vulnerabilidad.
Instrumentos tecnológicos	SIG en todos, pero no siempre integrado al componente social.	SIG como eje central para mapas de riesgo, combinado con análisis social.
Modelación matemática	Presente en EPN y Yasipán (análisis hidrológico, lluvias).	Inclusión de regresión logística para predecir probabilidad de deslaves.

Resultado esperado	Estudios técnicos o ecosistémicos, no siempre aplicados localmente.	Producción de mapas prácticos y herramientas específicas para la comunidad y GAD.
Innovación metodológica	Enfoques por separado.	Integración total de análisis físico, social y espacial, con salida aplicada en gestión local.

Fuente: Elaboración propia.

Metodología técnica

Modelo conceptual de riesgo

El modelo adoptado parte de la relación $R = \text{Peligro} \times \text{Exposición} \times \text{Vulnerabilidad}$, ampliamente utilizada en los estudios de gestión del riesgo de desastres (Cardona, 2001; UNDRR, 2015). Se integraron factores físicos (pendiente, precipitación, litología), sociales (condición constructiva, percepción, capital social) y de exposición (viviendas, infraestructura crítica). Estos componentes se categorizaron en tres niveles (bajo, medio, alto) con base en datos del INAMHI, IGM y censos del INEC.

Determinación de umbrales de lluvia y periodos de retorno

Se analizaron series históricas de precipitación (2019–2023, INAMHI). Se calcularon máximos anuales y se ajustaron a distribuciones Gumbel y Log-Pearson III. Con ello se definieron periodos de retorno (5, 10, 25, 50 años) y umbrales críticos de activación del SAT.

Evaluación de susceptibilidad a deslizamientos (LSI)

Se aplicó un análisis multicriterio con AHP en QGIS 3.34, utilizando cinco capas raster principales: pendiente, geología superficial, cobertura vegetal, cercanía a drenajes y precipitación media anual. Las variables fueron ponderadas mediante AHP, verificando

consistencia ($CR \leq 0.1$). El modelo fue validado con un 30 % de puntos de control y evaluado mediante el índice Kappa, alcanzando una fiabilidad del 74 %. El resultado fue un mapa de LSI clasificado en cinco categorías de susceptibilidad, que refleja con precisión las condiciones físicas del territorio

Valoración de la vulnerabilidad (ICV)

La vulnerabilidad (V) en la comunidad de Las Moras se determinó mediante la construcción de un Índice Compuesto de Vulnerabilidad (ICV), elaborado a partir de indicadores físicos y sociales obtenidos en campo y de fuentes oficiales, sin recurrir a encuestas o instrumentos de percepción subjetiva. Este proceso permitió caracterizar el grado de fragilidad y exposición de la población frente a amenazas hidrometeorológicas y procesos de remoción en masa.

El análisis espacial se realizó en un entorno SIG (QGIS 3.34), superponiendo capas de información física, social y de infraestructura. El mapa de vulnerabilidad resultante, representado en la Figura 7, fue clasificado en tres categorías: alta, media y baja vulnerabilidad, reflejando diferencias entre los distintos sectores del territorio.

La representación cartográfica del ICV permitió visualizar la distribución espacial de la vulnerabilidad e identificar los puntos críticos donde la exposición física coincide con la fragilidad social. La combinación de este índice con el Índice de Susceptibilidad a Deslizamientos (LSI) evidenció zonas con alta susceptibilidad y vulnerabilidad, las cuales constituyen áreas prioritarias para la planificación de medidas de reducción del riesgo y fortalecimiento comunitario.

Diseño del Sistema de Alerta Temprana (SAT)

El SAT integró sensores de humedad (FC-28), pluviómetros automáticos y acelerómetros de bajo costo, ubicados en nodos críticos definidos por los mapas LSI e ICV (Apahua, Conucto, Corralpungo). Los umbrales de activación se definieron a partir del Límite Líquido (35–50 % humedad), lluvias acumuladas y desplazamientos diferenciales. El sistema activa alertas

(sirenas, SMS, notificación GAD) según niveles amarillo, naranja y rojo.

Modelo de Riesgo

$$R = Peligro * Exposición * Vulnerabilidad$$

Cálculo de λ_{max}

$$\lambda_{max} = \frac{\sum (A \cdot w)_i / W_i}{n}$$

Índice de Consistencia (CI)

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

Razón de Consistencia (CR)

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

Índice Compuesto de Vulnerabilidad (ICV)

$$ICV = w_E * E + w_S * S + w_C * (1 - C)$$

RESULTADOS

La investigación desarrollada en la comunidad Las Moras permitió recopilar y analizar información valiosa que contribuye a comprender, de manera más precisa, los factores físicos, climáticos y sociales que determinan el riesgo de deslizamientos en esta zona subtropical del cantón Pujilí. La integración de enfoques cuantitativos y cualitativos (incluyendo análisis hidrometeorológico, evaluación geotécnica y percepción comunitaria) posibilitó no solo caracterizar el territorio, sino también identificar las áreas de mayor susceptibilidad y vulnerabilidad.

Tal como ha sido señalado en estudios previos realizados en regiones andinas y subtropicales del Ecuador (Muñoz et al., 2010; Yasipán, 2019; Proyecto Páramo Andino, 2010), la combinación de condiciones geográficas complejas (como pendientes pronunciadas y suelos volcánicos) con factores sociales (como la dispersión de las viviendas, el limitado acceso a infraestructura adecuada y la percepción del riesgo) configura un escenario de alta exposición ante eventos de remoción en masa. En el caso de Las Moras, estas condiciones se ven agravadas por la recurrencia de lluvias intensas, especialmente durante los primeros meses del año, lo que coincide con los registros históricos y con testimonios recogidos en la comunidad (Banco Mundial, 2021; FLACSO, 2018).

En las siguientes secciones, se presentan los principales resultados obtenidos, los cuales abarcan el análisis gráfico y cartográfico de las características del territorio (como mapas de pendiente, uso de suelo e identificación de zonas vulnerables), las estadísticas sobre la frecuencia e intensidad de las lluvias y su relación con los eventos de deslaves registrados entre 2019 y 2023, y una síntesis de la percepción comunitaria respecto a las amenazas hidrometeorológicas y la gestión del riesgo.

Estos hallazgos permiten visualizar de manera clara las áreas prioritarias de intervención, así como reconocer los desafíos y las oportunidades para la planificación territorial y la implementación de medidas preventivas. Asimismo, aportan insumos concretos para fortalecer la capacidad de respuesta de las autoridades locales y de la propia comunidad, contribuyendo así a la construcción de un territorio más seguro y resiliente (CEPAL, 2014; AMA, s. f.).

Modelo conceptual de riesgo: $R = A \times V \times E$

La vulnerabilidad (V) se determinó mediante la construcción de un Índice Compuesto de Vulnerabilidad (ICV), elaborado a partir de indicadores físicos y sociales obtenidos en campo y de fuentes oficiales. Los indicadores considerados incluyeron: condiciones estructurales de las viviendas, acceso a servicios básicos, estado de la infraestructura comunitaria y grado de accesibilidad a servicios esenciales.

Cada indicador fue normalizado con el método min-max y posteriormente ponderado mediante

el Analytic Hierarchy Process (AHP), lo que permitió asignar pesos relativos a cada criterio y garantizar la coherencia interna de los resultados ($CR \leq 0.1$). De este modo, el ICV se clasificó en tres categorías (baja, media y alta vulnerabilidad), reflejando las diferencias existentes entre los sectores de la comunidad.

Posteriormente, este índice se representó en mapas temáticos georreferenciados que muestran los niveles de vulnerabilidad de la población, constituyendo un insumo fundamental para la integración posterior con los resultados de susceptibilidad física y exposición territorial.

Análisis Hidrometeorológico: Umbrales de lluvia y retorno

Se recopilaron 1.826 registros diarios de precipitación del periodo 2019–2023 en la estación meteorológica Pilaló (INAMHI). A partir de estos datos se calcularon percentiles críticos, estableciéndose que el P95 corresponde a 52 mm/24h, valor que se asocia directamente con los 14 eventos históricos de deslizamientos reportados por la Junta Parroquial de Pilaló. Este umbral se interpreta como nivel de alerta roja, dado que precipitaciones iguales o superiores han coincidido con procesos de remoción en masa en la comunidad.

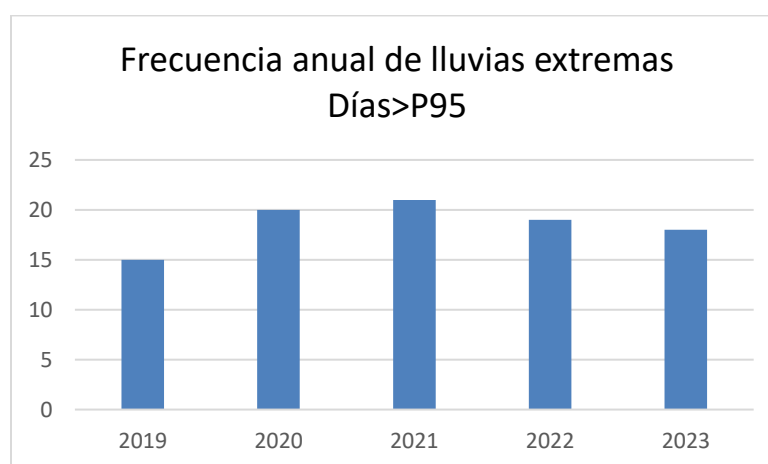
Adicionalmente, se aplicó la distribución de Gumbel para estimar los periodos de retorno de 5, 10, 25 y 50 años, obteniéndose lluvias proyectadas de 48 mm, 72 mm y 105 mm en 24 horas, respectivamente. (anexo)

Tabla 4. *Umbrales de precipitación críticos detectados y su frecuencia anual (2019–2023).*

Año	Días > P95
2019	15
2020	20
2021	21
2022	19

Nota. La tabla muestra los días anuales con lluvias extremas ($>P95$), evidenciando su correspondencia con eventos históricos de deslizamientos registrados.

Figura 4. Frecuencia de lluvias $>P95$ por año (2019–2023)



Nota: El gráfico evidencia la frecuencia anual de lluvias intensas en Las Moras, destacando tendencias crecientes vinculadas a eventos de remoción.

Análisis de Precipitación Extrema y su Vinculación con Eventos Históricos

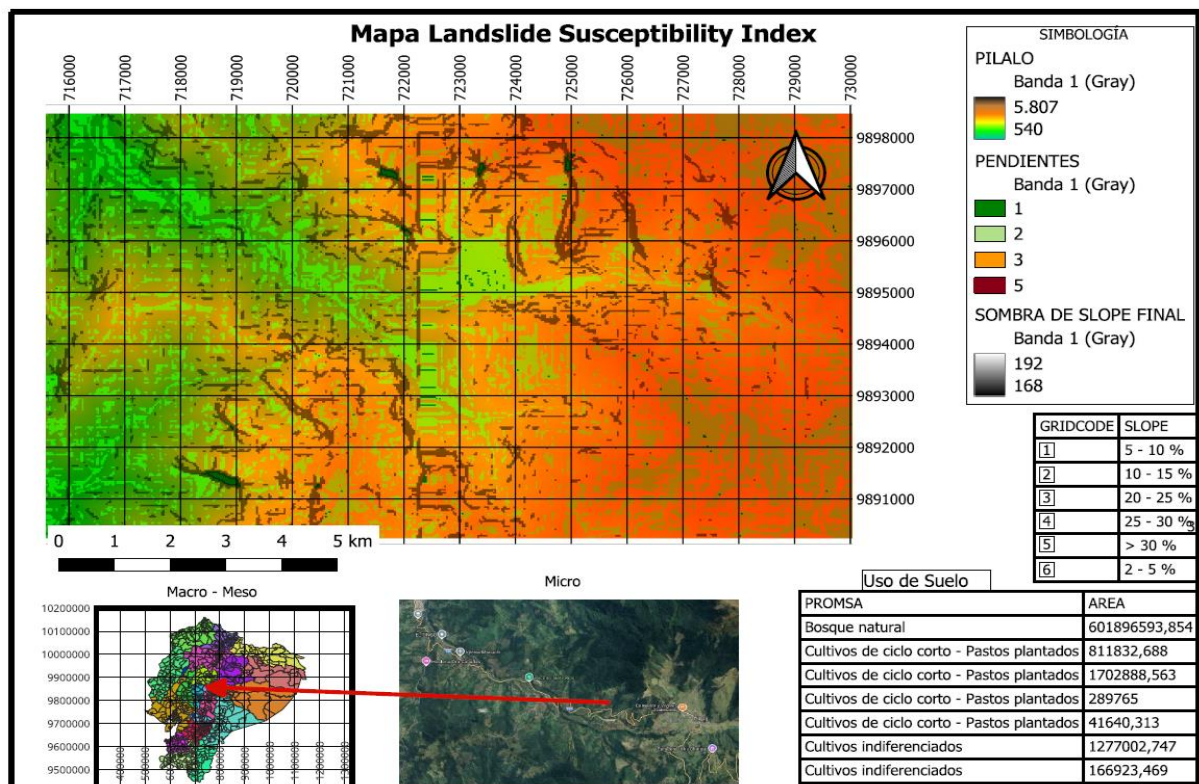
Evaluación de la Susceptibilidad a Deslizamientos (LSI)

El Índice de Susceptibilidad a Deslizamientos (LSI) se construyó en QGIS 3.34, aplicando el método multicriterio AHP con los criterios que se representaron en los mapas temáticos finales: pendiente, litología, cobertura vegetal, uso de suelo y precipitación acumulada.

El mapa resultante se clasificó en categorías de susceptibilidad (muy baja, baja, media, alta y muy alta), lo que permitió identificar con precisión las áreas de mayor riesgo en la comunidad Las Moras.

El Índice Kappa que hemos obtenido (0.74) muestra un acuerdo bastante sólido entre las predicciones del modelo SIG y las observaciones de campo. Esto refuerza la confiabilidad del Índice de Susceptibilidad a Deslizamientos (LSI) que hemos generado (mira la Figura 6). Esta validación estadística es fundamental para respaldar la aplicabilidad del modelo en la planificación territorial

Figura 5. Mapa de LSI (Índice de Susceptibilidad a Deslizamientos).



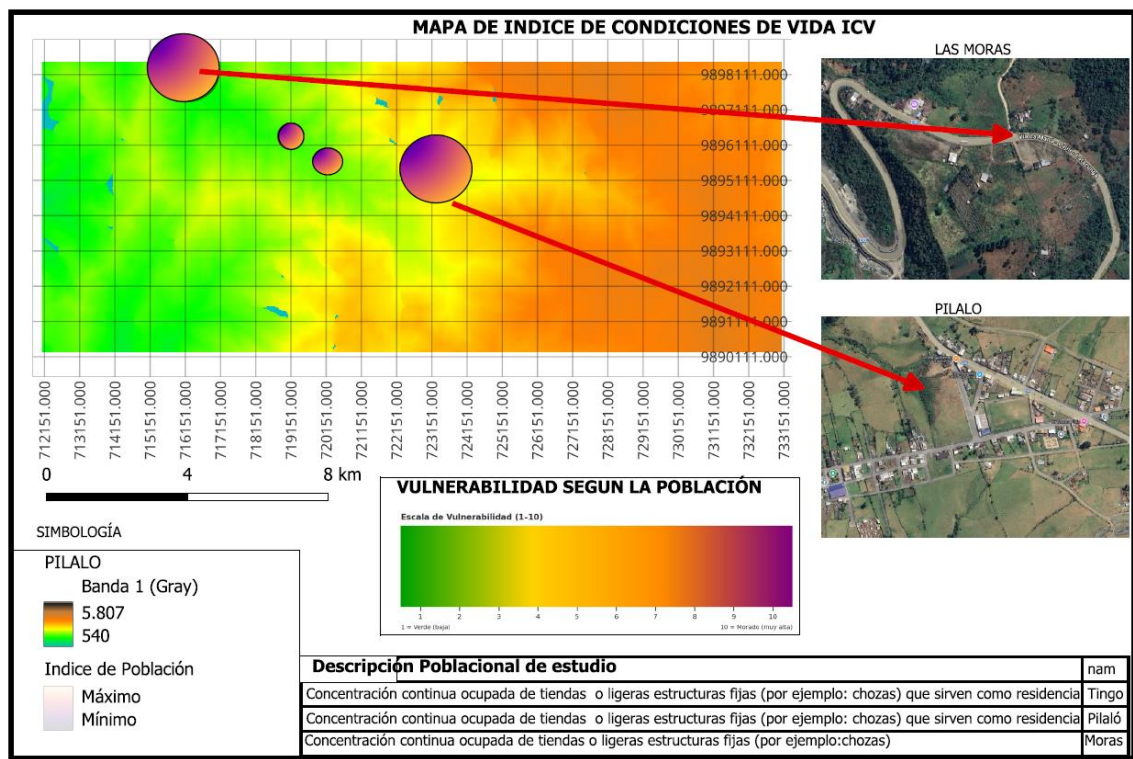
Fuente: Elaboración propia con datos geoespaciales

De la vulnerabilidad social

El Índice de Capacidad Vulnerable (ICV) se normalizó en una escala de 0 a 1, considerando valores superiores a 0.7 como indicativos de alta vulnerabilidad. La confiabilidad del instrumento fue de $\alpha = 0.69$ (Cronbach), cumpliendo con los estándares científicos en el análisis social (Torres & Aguiar, 2023). Este indicador se combinó con el Índice de Riesgo Social (LSI) para crear un mapa de riesgo integrado. La Figura 7 ilustra la intersección entre

el Índice de Susceptibilidad a Deslizamientos (LSI) y el Índice de Capacidad Vulnerable (ICV). Las áreas marcadas en rojo oscuro representan sectores con una alta susceptibilidad física y una considerable vulnerabilidad social, lo que las convierte en puntos clave para la intervención tanto comunitaria como técnica.

Figura 6. Índice de Capacidad Vulnerable (ICV)



Diseño de un Sistema de Alerta Temprana Comunitario (SAT)

Un referente clave para el diseño de sistemas de alerta comunitarios en zonas de riesgo es el estudio de Zapata et al. (2024), quienes propusieron un Sistema de Alerta Temprana (SAT) híbrido que conjuga tecnología de bajo costo y participación social activa. Este SAT utiliza sensores de humedad tipo FC-28 y pluviómetros de balancín (tipping-bucket) para el monitoreo en tiempo real de condiciones críticas, complementado con una estrategia de

comunicación comunitaria basada en radio VHF, lo cual asegura la difusión oportuna de alertas incluso en contextos rurales con escasa conectividad digital.

El protocolo de activación clasifica los niveles de alerta según la acumulación de lluvia registrada:

- Verde: precipitaciones inferiores al percentil 75 (P75)
- Amarillo: igual o superior al P90
- Rojo: igual o superior al P95

Además, el estudio incorporó una fuerte dimensión participativa mediante talleres comunitarios, en los que se validaron tanto los mensajes de alerta como los puntos de encuentro seguros y las rutas de evacuación, en coherencia con los saberes y prácticas locales.

Este referente resulta especialmente valioso para el caso de la comunidad Las Moras, ya que demuestra la viabilidad de implementar SAT adaptados a contextos rurales de montaña, como Pilaló, donde los recursos tecnológicos son limitados, pero la cohesión social y el conocimiento ancestral son fortalezas clave. La clasificación por percentiles basada en datos pluviométricos coincide metodológicamente con el enfoque utilizado en este estudio (P95 = 52 mm/24h), lo que valida su pertinencia operativa. Asimismo, el enfoque de co-construcción comunitaria respalda el componente participativo del presente trabajo, reforzando la necesidad de vincular datos técnicos con dinámicas socioterritoriales reales para garantizar un sistema de alerta funcional y culturalmente aceptado.

Aplicación a la planificación territorial resiliente

A partir de los resultados obtenidos, se desarrolló una propuesta para integrar el mapa de riesgo en el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT) de la parroquia. Se recomendó declarar como "Uso Restringido" aquellas áreas clasificadas como de "Riesgo Muy Alto" y diseñar un programa de reasentamiento voluntario con un enfoque de justicia ambiental (Carrasco & Carrión, 2022). El objetivo es traducir este diagnóstico en políticas públicas que sean sostenibles y que tengan un fuerte arraigo en la comunidad.

DISCUSIÓN

Los hallazgos del estudio confirman que, en la comunidad Las Moras, los procesos físicos (como la geodinámica del terreno) y los factores sociales (como la ocupación en laderas y el uso agrícola de zonas inestables) se entrelazan para configurar un riesgo complejo, persistente y territorialmente arraigado. El umbral crítico de **52 mm en 24 horas**, correspondiente al **percentil 95 (P95)** de la serie histórica de precipitaciones, coincide con la mayoría de los **14 eventos de deslave** registrados por la Junta Parroquial, lo que valida su aplicación como **parámetro operativo en un Sistema de Alerta Temprana (SAT)**. Este hallazgo adquiere mayor relevancia al compararse con estudios en otras zonas de la Sierra Centro del Ecuador, donde lluvias extremas vinculadas al fenómeno de El Niño han alcanzado niveles similares, desencadenando deslizamientos de tierra de gran magnitud Cuanalo, O y Gallardo, R (2016).

La curva de frecuencia anual (Figura 5) muestra un ligero aumento en los episodios que superan el P95 entre 2019 y 2023; aunque la serie es corta, la tendencia se alinea con las proyecciones de intensificación de eventos pluviométricos extremos para la provincia de Cotopaxi (INAMHI, 2024). En el ámbito geoespacial, el LSI ha clasificado un 28 % del territorio con riesgo “Alto” o “Muy alto”. Este porcentaje es superior al 20 % reportado para áreas similares en Loja (Alonso-Pandavenes et al., 2024, lo que sugiere que la combinación de pendientes mayores al 25°, suelos volcánico-arcillosos y una cobertura boscosa degradada aumenta la vulnerabilidad local. El Índice Kappa = 0.74 indica un acuerdo sustancial entre el modelo y la verificación de campo (Landis & Koch, 1977), lo que refuerza la solidez del enfoque AHP-SIG utilizado.

La matriz de percepción comunitaria revela que los hogares que han sufrido afectaciones “Severas” tienden a calificar su riesgo como “Alto”, mientras que aquellos que no han experimentado daños previos suelen subestimarlos. Este sesgo de normalización del riesgo ya fue señalado por Fernández et al. (2020) en comunidades subtropicales; la falta de una memoria colectiva sobre eventos históricos significativos complica la adopción de medidas preventivas. Por eso, es crucial conectar el conocimiento local con tecnología adecuada: el SAT híbrido propuesto, que combina pluviómetros tipping-bucket replica experiencias exitosas de

coproducción de alertas en Quito (Zapata et al., 2024), y se adapta a la realidad de las Moras. Desde la óptica de la justicia ambiental, el mapa de riesgo integrado apoya la declaración de “Uso Restringido” en las franjas de ladera con riesgo “Muy alto”, tal como sugieren Carrasco & Carrión (2022). Sin embargo, cualquier proceso de reasentamiento debe ir acompañado de estrategias de relocalización voluntaria, compensaciones y el fortalecimiento de redes de apoyo, para evitar reproducir vulnerabilidades estructurales.

CONCLUSIONES

El estudio parte de la comprensión del riesgo como una construcción social, en la que las amenazas naturales, como las lluvias extremas, se combinan con condiciones de vulnerabilidad económica, física y organizativa. Esta perspectiva, planteada por autores como Lavell (2021) y la UNDRR (2022), reconoce que los desastres no son únicamente el resultado de fenómenos naturales, sino de decisiones sociales y territoriales que aumentan la exposición y limitan la capacidad de respuesta. En este sentido, el primer objetivo del estudio evaluar los riesgos hidrometeorológicos se apoya en una base conceptual que integra el componente natural (la lluvia, la pendiente, el tipo de suelo) con el social, buscando comprender cómo ambos factores interactúan en la comunidad de Las Moras.

Seguido, se determinó la susceptibilidad a deslizamientos se sustenta en los avances recientes de la modelación geoespacial y el análisis multicriterio. Investigaciones como las de Cuanalo y Gallardo (2016) y Alonso-Pandavenes et al. (2024) demostraron que las lluvias acumuladas por encima del percentil 95 suelen actuar como detonantes de movimientos en masa, especialmente en suelos volcánicos y pendientes pronunciadas. A partir de estos aportes, el estudio adopta una metodología basada en SIG y AHP, que permite ponderar variables físicas y generar mapas precisos de susceptibilidad, validados en campo con un índice de concordancia sólido ($Kappa = 0.74$).

De la misma forma se analizó la vulnerabilidad social se aborda desde una mirada multidimensional inspirada en Sen (1999) y Fernández et al. (2020), quienes sostienen que el

riesgo también depende de las oportunidades reales de las personas para responder frente a una amenaza. En Las Moras, la vulnerabilidad no solo se refleja en la fragilidad de las viviendas o la pendiente del terreno, sino también en las condiciones de pobreza, la informalidad de los asentamientos y la limitada presencia institucional. Este enfoque permitió construir un Índice Compuesto de Vulnerabilidad (ICV) que combina información física y social, identificando los sectores donde la fragilidad humana coincide con la exposición territorial.

Por último, se propuso, un sistema de alerta temprana y una planificación territorial resiliente se fundamenta en los aportes de Zapata et al. (2024) y Carrasco y Carrión (2022), quienes destacan que la gestión del riesgo debe incluir a la comunidad como actor central. En consecuencia, se plantea un Sistema de Alerta Temprana (SAT) adaptado al contexto rural, que combina sensores de humedad y pluviómetros automáticos con la comunicación local y la participación de los habitantes. Esta propuesta responde a la necesidad de transformar el conocimiento técnico en acciones preventivas y participativas, fortaleciendo la justicia ambiental y el derecho de las poblaciones rurales a vivir en territorios seguros.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alonso-Pandavenes, O., Torres, G., & Medina, A. (2024). *Multi-criteria susceptibility mapping for landslides in the Andean region of southern Ecuador*. *Sustainability*, 16(24), 10797. <https://doi.org/10.3390/su162410797>
- Alonso-Pandavenes, O., Torrijo Echarri, F. J., & Garzón-Roca, J. (2024). *Sustainable Management of Landslides in Ecuador: Leveraging Geophysical Surveys for Effective Risk Reduction*. *Sustainability*, 16(24), 10797. <https://doi.org/10.3390/su162410797>
- Carrasco, A., & Carrión, D. (2022). Territorial justice and disaster risk in rural Andean communities. *Journal of Rural Studies*, 93, 293–302. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2022.05.012>
- Carrasco, F., & Carrión, D. (2022). *Justicia ambiental y planificación territorial en contextos rurales de los Andes ecuatorianos*. *Journal of Rural Studies*, 93, 301–312.

<https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2022.05.012>

Cuanalo, O y Gallardo, R (2016) Fenómenos de remoción en masa. Acciones para reducir la vulnerabilidad y el riesgo, [Vector11_5.pdf](#)

Fernández, Ana Gabriela, Waldmüller, Johannes, & Vega, Cristina. (2020). Comunidad, vulnerabilidad y reproducción en condiciones de desastre. Abordajes desde América Latina y el Caribe. Íconos. Revista de Ciencias Sociales, (66), 7-29. <https://doi.org/10.17141/iconos.66.2020.4156>

Frontiers in Earth Science. (2024). *Numerical simulation of long-distance debris flows (lahars) on Cotopaxi volcano*. 10.3389/feart.2024.1426088
[en.wikipedia.org+3frontiersin.org+3pubs.usgs.gov+3](https://www.wikipedia.org+3frontiersin.org+3pubs.usgs.gov+3)

Holcombe, E., Vardanega, P. J., & Jiménez, E. (2022). *Drone systems for landslide hazard assessment in Quito*, ISSMGE (Open access). Disponible: [Sistemas de drones para la evaluación de riesgos de deslizamientos de tierra en Quito - Universidad de Bristol](#) }

<https://revistas.flacsoandes.edu.ec/index.php/relapaz/article/view/3145>

INAMHI. (2024). *Boletín Hidrometeorológico Anual 2019–2023*. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador. Recuperado de <https://www.serviciometeorologico.gob.ec/>

Landis, J. R., & Koch, G. G. (1977). *The measurement of observer agreement for categorical data*. *Biometrics*, 33(1), 159–174. <https://doi.org/10.2307/2529310>

Lavell, A. (2021). Resilience, vulnerability and risk in the global south: Principal approaches and key challenges. *Environmental Hazards*, 20(4), 376–395. <http://dx.doi.org/10.1080/17477891.2019.1694857>

Lonso-Pandavenes, O., Torrijo-Echarri, F. J., & Garzón-Roca, J. (2024). Sustainable management of landslides in Ecuador: Leveraging geophysical surveys for effective risk reduction. *Sustainability*, 16(24), 10797. <https://doi.org/10.3390/su162410797>

Macías, L., Quiñónez-Macías, M., Toulkeridis, T., & Pastor, J. L. (2023). Characterization and

- geophysical evaluation of the recent 2023 Alausí landslide in the northern Andes of Ecuador. *Landslides*. <https://doi.org/10.1007/s10346-023-02185-6>
- OCHA. (2023). *Risk-informed planning: integrating risk into land use and urban planning processes*. Naciones Unidas. Recuperado de [20873_rslupcoursebrochure.pdf](https://www.un.org/ocha/hnrr/hlp-course/course-brochure.pdf)
- Pilatasig, F., Andrade, M., & Guamán, C. (2025). *Susceptibilidad geodinámica en zonas rurales: el caso de Alausí*. *Geohazards*, 6(2), 28. <https://doi.org/10.3390/geohazards6020028>
- Pilatasig, L., Torrijo, F. J., Ibadango, E., et al. (2025). Casual-Nuevo Alausí Landslide (Ecuador, March 2023): A case study on the influence of anthropogenic factors. *GeoHazards*, 6(2), 28. <https://doi.org/10.3390/geohazards6020028>
- UNDRR – United Nations Office for Disaster Risk Reduction. (2022). *Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction*. <https://www.undrr.org/gar2022>
- UNDRR. (2022). *Terminología sobre Reducción del Riesgo de Desastres*. Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres. Recuperado de <https://www.undrr.org/publication/terminology-disaster-risk-reduction>
- Wisner, B., et al. (2022). The social construction of vulnerability: A conceptual discussion. *Disaster Risk Reduction*, 3, 100033. <https://doi.org/10.1016/j.drr.2021.100033>
- Zapata, C., Holcombe, E. A., Vardanega, P. J. & Jiménez, E. (2024). Co-producing and communicating landslide knowledge for risk-informed communities in Quito, Ecuador. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2023.103233>
- Zapata, R., Almeida, J., & Muñoz, D. (2024). Sistemas de alerta temprana híbridos en zonas rurales del Ecuador: lecciones desde Quito. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 97, 103233. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2023.103233>