

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



Identificación y mapeo de zonas vulnerables a desastres naturales a lo largo
de una sección crítica de la cuenca del río Motagua en Guatemala,
mediante sistemas de información geográfica

Trabajo de graduación presentado por Fabiana Isabel Escobar Castro para
optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería Civil

Guatemala,

2025

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



Identificación y mapeo de zonas vulnerables a desastres naturales a lo largo
de una sección crítica de la cuenca del río Motagua en Guatemala,
mediante sistemas de información geográfica

Trabajo de graduación presentado por Fabiana Isabel Escobar Castro para
optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería Civil

Guatemala,

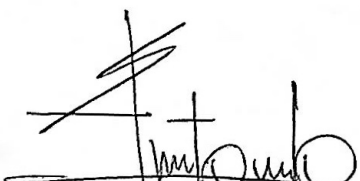
2025

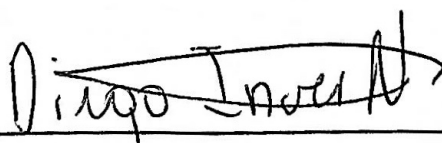
Vo.Bo.:

(f) 
Arq. Julio Estrada Monterroso

Tribunal Examinador:

(f) 
Arq. Julio Estrada Monterroso

(f) 
MSc. Ing. Danilo Rodríguez

(f) 
MSc. Ing. Diego Incer

Fecha de aprobación: Guatemala, 09 de enero de 2025

PREFACIO

Dedicada a mi sistema de apoyo. Jamás se habría logrado sin ustedes.

CONTENIDO

PREFACIO	IV
RESUMEN	XII
ABSTRACT	XIII
I. INTRODUCCIÓN	1
II. ANTECEDENTES	2
III. JUSTIFICACIÓN	4
IV. OBJETIVOS	7
A. Objetivo general	7
B. Objetivos específicos	7
V. MARCO TEÓRICO	8
A. Evaluación de riesgos	8
1. Amenaza	8
2. Vulnerabilidad	8
B. Análisis de riesgo	9
1. Metodologías de análisis de riesgos	10
C. Importancia de la gestión de desastres	10
D. Tecnología SIG y recopilación de datos geoespaciales	10
1. Fuentes de datos geoespaciales	11
2. Representación de datos geoespaciales	11
E. Aplicaciones de SIG en Ingeniería Civil	12
1. Gestión integral del riesgo ante desastres	12
2. Monitoreo de cambios en el uso del suelo	13
3. Evaluación de la estabilidad del suelo	13
4. Mapeo y monitoreo de inundaciones	14
5. Desarrollo de cartografía de riesgos y análisis de vulnerabilidad.	15
F. Características de la cuenca relacionadas con deslizamientos e inundaciones	16
1. Morfometría de la cuenca	16
2. Geología y geomorfología	16
3. Hidrología	17
4. Cobertura y uso del suelo	17
5. Hidrografía	17
6. Topografía	17
7. Vegetación y ecosistemas	18
G. Mitigación y planificación del riesgo ante desastres	18
H. Estrategias de mitigación	18

1.	Pasivas	18
2.	Activas	18
I.	Estrategias de mitigación de inundaciones	19
J.	Estrategias de manejo de cuencas	20
K.	Caso de estudio: cuenca del Motagua, Guatemala	22
1.	Amenazas geológicas y geotécnicas en Guatemala	22
2.	Amenazas climáticas en Guatemala	23
3.	Vulnerabilidad regional	23
L.	Historial de desastres en Guatemala	24
1.	El río Motagua	24
2.	Inundaciones en la cuenca del río Motagua	25
3.	Deslizamientos de tierra en la cuenca del río Motagua	27
4.	Consecuencias	27
5.	Listado de desastres en Guatemala	28
M.	Vulnerabilidad regional	29
1.	Factores que influyen en la vulnerabilidad	30
N.	Comparación entre regiones	30
Ñ.	Implementación de soluciones en Guatemala	31
1.	La Política Nacional para la Reducción del Riesgo de Desastres (PNRRD) 2024-2034	31
2.	El modelo INFORM en la evaluación de riesgos de inundaciones y deslizamientos	32
3.	Programas de seguro contra desastres	33
VI.	METODOLOGÍA	35
VII.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	37
A.	Descripción geográfica de la zona analizada	37
B.	Descripción topográfica general de la zona analizada	37
C.	Capacidad y uso de suelo	39
D.	Análisis de vulnerabilidad a inundaciones basado en la distancia respecto al cauce principal del río Motagua	42
1.	Izabal	43
2.	Zacapa	44
3.	El Progreso	46
4.	Guatemala	48
5.	Baja Verapaz	49
6.	Chimaltenango	51
7.	Quiché	52
E.	Infraestructura crítica en zonas vulnerables a desastres	53
1.	Izabal	54
2.	Zacapa	54
3.	El Progreso	54

4.	Guatemala	54
5.	Chimaltenango	54
6.	Quiché	55
7.	Baja Verapaz	55
F.	Análisis del mapa de municipios críticos según el modelo INFORM	56
G.	Situación de los municipios de la cuenca en relación con los demás municipios, a nivel nacional	58
VIII. DISCUSIÓN DE RESULTADOS		60
A.	Vulnerabilidad y capacidad de respuesta en los municipios de la cuenca	60
B.	Implicaciones del INFORM en la planificación territorial	60
C.	Infraestructura crítica y vulnerabilidad integral	61
D.	Comparación entre regiones y factores que influyen en la vulnerabilidad	61
E.	Prioridades para la mitigación y adaptación al cambio climático	62
IX. CONCLUSIONES		63
X. RECOMENDACIONES		64
XI. BIBLIOGRAFÍA		65
XII. APÉNDICES		70
A.	Infografía. <i>How disasters undermine development without disaster risk management (DRM)</i>	70
B.	Mapas temáticos. <i>Mapas generados con propósito de análisis</i>	70
1.	Mapa 1: ubicación geográfica de la cuenca del río Motagua	71
2.	Mapa 2: topografía de la cuenca del río Motagua	72
3.	Mapa 3: capacidad de uso de suelo a lo largo de la cuenca del río Motagua - metodología USDA	73
4.	Mapa 4: comunidades vulnerables de la cuenca del río Motagua - Izabal	74
5.	Mapa 5: comunidades vulnerables de la cuenca del río Motagua - Zacapa	75
6.	Mapa 6: comunidades vulnerables de la cuenca del río Motagua - El Progreso	76
7.	Mapa 7: comunidades vulnerables de la cuenca del río Motagua - Guatemala	77
8.	Mapa 8: comunidades vulnerables de la cuenca del río Motagua - Baja Verapaz	78
9.	Mapa 9: comunidades vulnerables de la cuenca del río Motagua - Chimaltenango	79
10.	Mapa 10: comunidades vulnerables de la cuenca del río Motagua - Quiché	80
11.	Mapa 11: caminos en zona de inundación a lo largo de la cuenca del río Motagua	81
12.	Mapa 12: caminos en zona de deslizamiento a lo largo de la cuenca del río Motagua	82
13.	Mapa 13: índice de riesgo integral - metodología INFORM	83

14.	Mapa 14: mapa general de comunidades en zona de inundación a lo largo de la cuenca del río Motagua	84
15.	Mapa 15: mapa general de comunidades en zona de deslizamientos a lo largo de la cuenca del río Motagua	85

LISTA DE CUADROS

Cuadro		Página
1.	Factores de riesgo para el análisis de ocurrencia de deslizamientos de tierra	16
2.	Distribución de recursos del seguro paramétrico	34
3.	Clasificación de la capacidad de uso del suelo en agricultura	40

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1.	Formas geométricas en un modelo vectorial	11
2.	Aplicaciones de los modelos ráster	12
3.	Delimitación y obtención de parámetros de microcuenca	22
4.	Hidrografía de la cuenca del río Motagua	25
5.	Boletín hidrológico de niveles de ríos y caudales no. 165-2024: vertiente del mar Caribe	26
6.	Boletín hidrológico especial no. 773-2023: río Motagua	26
7.	INFORM subnational model of Guatemala	33
8.	Mapa 1: ubicación geográfica de la cuenca del río Motagua	37
9.	Mapa 2: topografía de la cuenca del río Motagua	38
10.	Mapa 3: capacidad de uso de suelo a lo largo de la cuenca del río Motagua, metodología USDA	39
11.	Mapa 4: comunidades vulnerables en la cuenca del río Motagua, Izabal	44
12.	Mapa 5: comunidades vulnerables en la cuenca del río Motagua, Zacapa	46
13.	Mapa 6: comunidades vulnerables en la cuenca del río Motagua, El Progreso	48
14.	Mapa 7: comunidades vulnerables en la cuenca del río Motagua, Guatemala	49
15.	Mapa 8: comunidades vulnerables en la cuenca del río Motagua, Baja Verapaz	51
16.	Mapa 9: comunidades vulnerables en la cuenca del río Motagua, Chimaltenango	52
17.	Mapa 10: comunidades vulnerables en la cuenca del río Motagua, Quiché	53
18.	Mapa 11: caminos en zona de inundación a lo largo de la cuenca del río Motagua	55
19.	Mapa 12: caminos en zona de deslizamiento a lo largo de la cuenca del río Motagua	56
20.	Mapa 13: índice de riesgo integral, metodología INFORM	57
21.	Mapa 14: comunidades en zona de inundación a lo largo de la cuenca del río Motagua	59

LISTA DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS

Acrónimo	Español	Inglés
SIG	Sistemas de información geográfica	Geographic Information System
INFORM	Índice para la gestión del riesgo	Index for Risk Management
INSIVUMEH	Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología	
SEGEPLAN	Secretaría de Planificación y de Programación de la Presidencia	
ONU	Organización de las Naciones Unidas	
MARN	Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales	
MAGA	Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación	
IGN	Instituto Geográfico Nacional	
GIRH	Gestión integrada de recursos hídricos	
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe	
IDEG	Infraestructura de Datos Espaciales de Guatemala	
OEA	Organización de los Estados Americanos	
USDA	Departamento de Agricultura de los Estados Unidos	U.S. Department of Agriculture
POT	Plan de ordenamiento territorial	
PNRRD	Política nacional para la reducción del riesgo de desastres	
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo	

RESUMEN

El presente trabajo de tesis describe el proceso y los resultados de la identificación, localización y mapeo de las zonas más vulnerables a desastres naturales en secciones críticas de la cuenca principal del río Motagua en Guatemala, utilizando los sistemas de información geográfica (SIG) como herramienta principal. El objetivo de esta investigación fue la identificación de las áreas más propensas a ser impactadas por eventos naturales adversos, como inundaciones y deslizamientos de tierra, con el fin de generar una guía de sugerencias para la planificación de la reducción de riesgos en las comunidades aledañas.

La investigación se centró en la recopilación y análisis de datos geoespaciales que influyen en la clasificación de las áreas de la cuenca como "vulnerables" o "no vulnerables". Se consideraron datos topográficos detallados, tipos y usos del suelo (principalmente para poder analizar el impacto económico-social), así como registros históricos de desastres. Este enfoque buscó combinar el conocimiento científico con experiencias previas para identificar las amenazas naturales más relevantes y su impacto en cada región de la cuenca.

El análisis implicó la creación de mapas temáticos individuales por departamento, los cuales permitieron identificar la distribución de comunidades vulnerables. Entre las herramientas empleadas se incluyen un mapa de infraestructura crítica, que destaca caminos en zonas susceptibles a inundaciones o deslizamientos de tierra, y un mapa basado en el índice para la gestión de riesgos (INFORM) para evaluar la vulnerabilidad regional. Estos mapas facilitaron una visión integral de los riesgos presentes en la cuenca del río Motagua.

Los mapas temáticos no solo ofrecieron una representación visual efectiva de las zonas de mayor riesgo y la infraestructura crítica en peligro, sino que también se emplearon para evaluar la capacidad de respuesta y la resistencia de la infraestructura existente. Este enfoque busca proporcionar insumos clave para la toma de decisiones informadas por parte de las autoridades, sentando las bases para la planificación, mitigación de riesgos y propuestas futuras en la gestión de desastres en la región.

ABSTRACT

This thesis describes the process and results of identifying, locating, and mapping the most vulnerable areas to natural disasters in critical sections of the main basin of the Motagua River in Guatemala, using Geographic Information Systems (GIS) as the primary tool. The objective of this research was to identify the areas most prone to being impacted by adverse natural events, such as floods and landslides, with the aim of generating a guide of suggestions for planning risk reduction in nearby communities.

The research focused on the collection and analysis of geospatial data that influence the classification of areas within the basin as "vulnerable" or "non-vulnerable". Detailed topographic data, land types, and land use patterns (primarily to analyze socio-economic impacts), as well as historical disaster records, were considered. This approach aimed to combine scientific knowledge with prior experiences to identify the most relevant natural hazards and their impacts in each region of the basin.

The analysis involved the creation of thematic maps for each department, which allowed for the identification of the distribution of vulnerable communities. The tools used included a critical infrastructure map that highlights roads in areas susceptible to floods or landslides, and a map based on the Index for Risk Management (INFORM) to assess regional vulnerability. These maps provided a comprehensive view of the risks present in the Motagua River basin.

The thematic maps not only offered an effective visual representation of high-risk areas and critical infrastructure at risk, but they were also used to assess the response capacity and resilience of existing infrastructure. This approach seeks to provide key inputs for informed decision-making by authorities, laying the groundwork for planning, risk mitigation, and future proposals for disaster management in the region.

I. INTRODUCCIÓN

La belleza de Guatemala está en la diversidad, pues además de ser culturalmente variado, también se pueden encontrar distintos tipos de ecosistemas naturales a lo largo de toda su extensión. Clímicamente, también tiene una ventaja al mantener, históricamente, un clima templado a lo largo de todo el año. Esto hace de Guatemala un destino turístico famoso y atractivo para personas en los países de alrededor.

Sin embargo, al combinar todos estos aspectos (usualmente positivos) con su compleja geografía, se obtiene un escenario de vida y desarrollo que se enfrenta también a desafíos constantes. Los desastres representan una amenaza persistente que puede afectar a comunidades, infraestructuras y ecosistemas en todo el territorio guatemalteco.

El caso del río Motagua es de especial interés e importancia al ser el cauce de agua más extenso del país. Con nacimiento en Quiché, pasando por Totonicapán, Sololá, Chimaltenango, Sacatepéquez, Guatemala, Jalapa, Chiquimula, Zacapa, El Progreso, Jutiapa, Alta y Baja Verapaz; recorriendo una extensa región incluyente de áreas urbanas y rurales sobre 200 kilómetros hasta desembocar en el océano Atlántico en Puerto Barrios, Izabal.

A pesar de su biodiversidad y belleza escénica, esta cuenca es muy susceptible a una gran variedad de desastres como inundaciones y derrumbes, entre otros fenómenos que también podrían llegar a ser devastadores. Puesto que algunas secciones de los terrenos adyacentes a la cuenca están destinados a la plantación de cultivos permanentes, además de albergar comunidades asentadas y desarrolladas en su cercanía, la exposición constante a eventos naturales ha generado una creciente preocupación sobre la vulnerabilidad de las comunidades y los recursos en esta región.

Con el objetivo de comprender y apoyar en la mitigación de estos riesgos, se ha llevado a cabo un trabajo de investigación enfocado en la identificación y mapeo de las zonas más vulnerables a desastres a lo largo de un sector crítico de esta cuenca. La metodología principal empleada para este propósito es la utilización de sistemas de información geográfica, una herramienta versátil que permite analizar y visualizar de manera efectiva los patrones de riesgo en la región.

El presente trabajo de tesis aborda este desafío crucial, centrándose en la identificación y mapeo de las áreas más propensas a ser afectadas por desastres en la cuenca del río Motagua. A través de la aplicación de los sistemas de información, se busca proporcionar una guía que sirva de base para la planificación de la reducción de riesgos en las zonas circundantes. Este enfoque aprovecha la tecnología para comprender y gestionar los riesgos de manera más efectiva.

En conclusión, este trabajo de investigación tiene como objetivo brindar una comprensión más profunda de la vulnerabilidad a desastres en la cuenca del río Motagua y proporcionar una guía para la planificación de la reducción de riesgos en estas áreas. A través de la aplicación de tecnologías de SIG y un enfoque multidisciplinario, se espera que esta investigación contribuya a la protección de vidas, bienes y ecosistemas en esta región de gran importancia para Guatemala.

II. ANTECEDENTES

El uso de SIG para la identificación y mapeo de zonas vulnerables a desastres es una metodología ampliamente empleada en estudios de gestión de riesgos. Es por esto que se ha considerado la aplicación de este enfoque para la realización de este trabajo de tesis. Con este objetivo, se han considerado algunos estudios e investigaciones existentes que han sido realizadas durante los últimos cinco años y que comparten similitudes metodológicas o contextuales con el presente trabajo.

El estudio titulado *Multi-Hazard Risk Assessment of Kathmandu Valley, Nepal* se tomó como referencia al tener objetivos específicos relacionados a los del presente trabajo. Estos incluyen la evaluación de riesgos multiamenaza mediante la integración de SIG y procesos de jerarquía analíticos (AHP) (Khatakho et al., 2021). Al incluir el análisis de distintos tipos de amenaza aplicados a una zona altamente vulnerable, se proporciona un enfoque integral que puede ser adaptado a la evaluación de vulnerabilidad en la cuenca del río Motagua.

Otro estudio referenciado por su similitud entre objetivos y metodología fue *Flood vulnerable zones mapping using geospatial techniques: Case study of Osogbo Metropolis, Nigeria*. Este se centró en el mapeo de las áreas vulnerables a inundaciones dentro de la ciudad estudiada por medio del procesamiento y análisis de datos satelitales en SIG para la elaboración de un mapa de zonas vulnerables a inundaciones, con el fin de facilitar una planificación adecuada y proponer soluciones (Alimi et al., 2022). Su enfoque fue de mucha ayuda para la organización de datos y el planteamiento de qué tipo de mapas se generarían con los datos locales obtenidos.

Assessing human vulnerability to urban flood hazard using the analytic hierarchy process and geographic information system se enfoca más en la parte de la vulnerabilidad de una región de la India al reconocer que el proceso de zonificación de riesgos no toma en cuenta las causas específicas de la vulnerabilidad en las regiones que clasifica. La elaboración de los mapas de vulnerabilidad no sólo se basó en índices de riesgo a desastres y agrupación de amenazas, sino que se incluyeron índices de desarrollo humano de las comunidades que habitan en los distintos sectores analizados (Sarmah et al., 2021). Este enfoque es muy valioso para el presente trabajo, pues toma en cuenta el factor social que también debe considerarse para un análisis profundo de vulnerabilidad en distintas zonas aledañas al río Motagua.

Finalmente, los siguientes artículos fueron seleccionados al contar con el contexto local necesario para utilizarlos de referencia en esta tesis.

Mapping Flood Vulnerable Areas in Quetzaltenango, Guatemala using GIS, realizado por Korah y López, se referencia al ser un trabajo de naturaleza similar, utilizando la misma metodología planteada más adelante, y también llevado a cabo en Guatemala. Este se desarrolló en Quetzaltenango, con el objetivo de mapear las áreas vulnerables a inundaciones en la región utilizando herramientas de SIG. La población de estudio abarca las áreas urbanas y periurbanas de Quetzaltenango, una región geográficamente cercana a la cuenca del río Motagua (Korah y Juárez, 2015).

Identificación, mapeo, priorización de áreas, tipos de intervenciones para la restauración del paisaje forestal, utilizando la metodología ROAM, en las microcuencas ubicadas en el territorio III Motagua del área de cobertura del proyecto altiplano resiliente, de la Fundación para la Conservación de los Recursos Naturales y Ambiente en Guatemala (FCG), se centra en la cuenca del río

Motagua, Guatemala. El objetivo principal es evaluar la vulnerabilidad de la región a diferentes tipos de desastres mediante el uso de datos obtenidos desde Internet y herramientas SIG. La población de estudio incluye las comunidades y áreas urbanas a lo largo de su cuenca (Korah y Juárez, [2015](#)).

La metodología emplea una combinación de análisis de riesgos y SIG para identificar áreas críticas. Este estudio es particularmente relevante para esta investigación, ya que aborda directamente la región de interés y utiliza métodos de SIG para la evaluación de vulnerabilidades. La inclusión de estos antecedentes fortalece el marco teórico y metodológico de la tesis, demostrando la aplicabilidad y relevancia de los sistemas de información geográfica en la gestión de riesgos y desastres. Integrar estas metodologías y enfoques en el proyecto de tesis permitirá desarrollar una evaluación detallada y precisa de las zonas vulnerables a desastres en la cuenca del río Motagua, proporcionando información crucial para la planificación y mitigación de riesgos en la región.

III. JUSTIFICACIÓN

Tradicionalmente, se entiende que los "desastres naturales" son eventos inevitables que ocurren debido a condiciones naturales, como terremotos, huracanes e inundaciones. Sin embargo, esta concepción ha sido objeto de crítica en la literatura académica y en los discursos de organizaciones internacionales durante los últimos años.

Según Burón, (2020), de la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres, es fundamental reconocer que los desastres no son meramente fenómenos naturales; son el resultado de la interacción entre eventos naturales y la capacidad de la sociedad para enfrentarlos. Esta perspectiva sugiere que las decisiones humanas, las políticas y las condiciones socioeconómicas juegan un papel crucial en la vulnerabilidad y exposición de las comunidades a estos eventos adversos.

Del mismo modo, Banco Mundial (2020), destaca que los desastres son en gran medida el resultado de factores socioeconómicos y políticos que afectan la capacidad de las comunidades para hacer frente a las adversidades. Este enfoque refuerza la noción de que los desastres no son simplemente "naturales", sino que están profundamente influenciados por el contexto humano y las decisiones que se toman a nivel social y gubernamental.

También puede definirse un desastre como "una situación que se produce cuando un fenómeno natural afecta a una comunidad vulnerable" (Federación Internacional de Sociedades de la Cruz Roja y de la Media Luna Roja, s. f.). Esta definición subraya la importancia de la vulnerabilidad y la capacidad de respuesta de las comunidades frente a los eventos naturales, enfatizando que el impacto de un desastre no depende solo del fenómeno en sí, sino de la preparación y resiliencia de la población afectada.

A pesar de la creciente crítica a la terminología de "desastres naturales", su uso en el título de esta tesis se justifica por su reconocimiento en la literatura y las políticas de gestión de riesgos. Utilizar este término facilita la comunicación y comprensión del tema entre diversos actores, incluidos los responsables de la toma de decisiones y las comunidades afectadas.

En este estudio, que se centra en la identificación y mapeo de zonas vulnerables a lo largo de la cuenca del río Motagua, se destaca la importancia de considerar cómo los fenómenos naturales interactúan con la vulnerabilidad social, económica y ambiental de las comunidades. Aunque el término "desastres naturales" pueda ser considerado inadecuado por algunos, es esencial reconocer su relevancia en el contexto de la investigación para crear conciencia sobre los riesgos y vulnerabilidades que enfrentan estas comunidades.

En conclusión, aunque la terminología de "desastres naturales" puede ser discutible, es un concepto arraigado en el discurso sobre gestión del riesgo. Este estudio busca no solo identificar las áreas vulnerables, sino también entender las dinámicas entre los fenómenos naturales y las condiciones sociales que determinan el impacto de estos eventos en las comunidades aledañas al río Motagua.

Este enfoque es especialmente relevante en el contexto de América Latina y el Caribe, que constituyen una de las regiones más altamente expuestas a fenómenos naturales con potencial destructivo.

La alta exposición de esta región, combinada con características de vulnerabilidad—tanto ambientales como sociales y económicas—genera una notable tendencia e incidencia de sufrir a causa de cualquier tipo de desastre natural (Zapata et al., 2000).

Solamente en el 2010, se reportaron 85 desastres a lo largo de toda la zona de América Latina y el Caribe. Eventos meteorológicos extremos (tormentas, huracanes, sequías), inundaciones y eventos geofísicos (terremotos, erupciones volcánicas, entre otros) dejaron a más de 13 millones de afectados, 224,473 muertos y alrededor de USD48,000 millones en pérdidas materiales y de infraestructura, según datos preliminares publicados por CEPAL (2010).

Recientemente, se ha prestado atención a temas de prevención, reducción y mitigación de catástrofes naturales mediante la creación de un Comité Científico y Técnico (CCT) del Decenio Internacional para la Reducción de los Desastres, que se encarga de analizar este tipo de casos a manera de que en todo el mundo se emprendan esfuerzos activos a través de esta entidad internacional. Sin embargo, dado que las catástrofes naturales siguen devastando los países en desarrollo (un ejemplo es el huracán Mitch, que afectó a Centroamérica en 1998), debe ser una prioridad crear estrategias de prevención de catástrofes naturales (Alcántara-Ayala, 2002).

Guatemala, al ser un país en vías de desarrollo que casualmente se localiza en una de las zonas más vulnerables del planeta (a tormentas tropicales, por tener fronteras con los océanos Pacífico y Atlántico; y a sismos/terremotos, al estar localizado sobre la colindancia de tres placas tectónicas: Cocos, Norteamérica y Caribe), es propensa a sufrir consecuencias devastadoras para la población y para la infraestructura del país. Por esto, la evaluación y análisis de la incidencia de riesgos es muy importante para la mejora de planes de acción y contingencia al momento de que un desastre de esta naturaleza azote el territorio nacional (Alcántara-Ayala, 2002).

Debido al avance del calentamiento global durante los últimos años, localmente se ha vuelto cada vez más difícil definir patrones marcados respecto de la temporada lluviosa dada la gran variabilidad climática registrada en la región. Según meteorólogos del INSIVUMEH, el aumento de temperatura causado en el océano Pacífico por el fenómeno "El Niño" es uno de los factores causantes de lluvias irregulares a lo largo del territorio del país. Otros factores incluyen la oscilación decadal del Pacífico, que influye en la elevación de temperatura en la región, y la oscilación del Atlántico, que afecta el comportamiento de la atmósfera sobre esa parte del planeta (Morales, 2023).

Tomando en cuenta lo anterior, y considerando la cantidad de fenómenos hidrometeorológicos a los que Guatemala podría ser vulnerable dada su ubicación, es común escuchar noticias sobre la evacuación de familias que viven a los alrededores de la cuenca del río Motagua debido a inundaciones o derrumbes en el área inundable. Al ser esta una de las cuencas más extensas, y con más microcuencas de la región, y puesto que esta es vital para la vida de numerosas comunidades en América Central (ya que atraviesa tanto Guatemala como Honduras), un análisis en profundidad de sus áreas vulnerables es esencial para comprender y mitigar los riesgos asociados con los desastres, al localizarse en una región propensa a fenómenos climáticos extremos como huracanes y lluvias torrenciales.

Igualmente, un estudio detallado de las áreas vulnerables en la cuenca del río Motagua permitirá identificar patrones y factores de riesgo que son cruciales para la planificación y la toma de decisiones en términos de desarrollo urbano y gestión territorial. Este conocimiento puede utilizarse para desarrollar estrategias de adaptación y resiliencia que protejan a las comunidades locales y sus recursos naturales, minimizando así los impactos adversos de futuras inundaciones y deslizamientos

de tierra.

Un método que se ha aplicado más recientemente para la creación de mapas de vulnerabilidad es la utilización de sistemas de información geográfica (SIG). Estos implican la importación de datos geolocalizados que representan los desastres ocurridos en zonas específicas identificadas. Lo que se busca es la superposición de capas (todas formadas por distintos conjuntos de datos) para la identificación de las zonas más recurrentes (García L., 2015).

Es por esto que se propone la utilización de SIG para la localización e identificación de tendencias, enfocándose en identificar las regiones de la cuenca del río que sean más susceptibles a sufrir este tipo de percances. Al comprender la distribución espacial y la magnitud de los riesgos, se pueden tomar decisiones informadas para reducir la vulnerabilidad, prevenir desastres y mejorar la capacidad de respuesta ante futuros eventos.

IV. OBJETIVOS

A. Objetivo general

Localizar las áreas vulnerables a desastres en la región de la cuenca del río Motagua de Guatemala mediante el uso de sistemas de información geográfica.

B. Objetivos específicos

1. Clasificar las amenazas naturales más relevantes y que afectan directamente la cuenca del río, a partir de datos históricos y tendencias ya disponibles obtenidas a través de la recopilación de datos geográficos relevantes a desastres pasados.
2. Evaluar la distribución espacial de los principales riesgos, inundaciones y deslizamientos, en la región de la cuenca del río Motagua de Guatemala, utilizando datos geodésicos y modelos de análisis con SIG a fin de identificar los sectores de la cuenca que presentan una concentración más alta y una mayor regularidad a sufrir gracias a fenómenos naturales.
3. Identificar las áreas más vulnerables y la infraestructura expuesta a estos riesgos, analizando la interacción entre los eventos naturales y dicha infraestructura.

V. MARCO TEÓRICO

A. Evaluación de riesgos

El Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo, [2010](#), define "riesgo" como la probabilidad de ocurrencia de consecuencias negativas perjudiciales como resultado de la interacción de amenazas naturales y condiciones de vulnerabilidad. Una manera interesante de verlo es la aplicación de la ecuación $R = A \times V$, en donde se expresa el riesgo como un producto de amenazas "naturales" y vulnerabilidad.

1. Amenaza

Combinación entre la ocurrencia de eventos causados propiamente por la naturaleza, eventos creados en la intersección naturaleza-sociedad vueltos amenazas por prácticas humanas, eventos tecnológicos y contaminantes, y eventos de índole social (usualmente tomando la forma de violencia social o conflictos).

Muchas veces, la palabra *amenaza* es utilizada intercambiamente con *desastre*, implicando que ambos términos comparten la cualidad de ser inesperados e incontrolables, características por las que los eventos naturales son usualmente reconocidos (Gellert y Gamarra, [2003](#)).

Estas amenazas naturales se clasifican normalmente en cuatro tipos:

- a. **Geotécnicas:** sismos, actividad volcánica, tsunamis o maremotos. En general, eventualidades causadas por movimientos verticales/horizontales de porciones de tierra.
- b. **Geodinámicas:** deslizamientos y avalanchas, hundimientos, erosión terrestre y costera.
- c. **Meteorológicas:** huracanes, tormentas tropicales, sequías, tornados.
- d. **Hidrológicas:** inundaciones, desbordamientos, agotamiento de acuíferos, sequías.

(Lavell, 1996 como se cita en Gellert y Gamarra, [2003](#)).

Esta general definición de *amenazas* no incluye aquellas originadas a partir de actividades humanas, de modo que esta división entre ambos tipos refleja lo comúnmente conocido como desastres y desastres producidos por el hombre.

A pesar de existir tantas subcategorías distintas, en la vida real es mucho más difícil clasificar una ocurrencia dentro de una clase determinada, pues tienden a manifestarse en cadena o de manera consecuente a otra eventualidad. Estas se conocen como amenazas múltiples.

2. Vulnerabilidad

Considerada como la variable social en la ecuación del riesgo, comprende la incapacidad de el/los sujetos afectados de absorber y ajustarse a algún cambio generado directamente en su medio ambiente. Esta puede verse como una condición derivada del acceso diferenciado a recursos;

expresándose en términos del nivel económico, organización, educación, cultural e incluso de su localización geográfica.

Gellert y Gamarra, [2003](#), también sugieren una clasificación de los distintos tipos de vulnerabilidad de acuerdo con su causalidad. De este modo, se mencionan las siguientes categorías relevantes.

a. **Localizacional:** ubicación de grandes secciones de la población analizada en zonas de alto riesgo físico. Causado en gran parte por la pobreza y falta de acceso a un lugar menos riesgoso.

b. **Económica:** representada por la relación inversamente proporcional entre ingresos *per cápita* y el impacto de los fenómenos naturales.

c. **Social:** desorganización interna de comunidades que limita la capacidad de prevención/mitigación de desastres.

d. **Política:** falta de autonomía de gobiernos locales/regionales para la toma de decisiones y/o adecuación de acciones.

e. **Técnica:** construcción inadecuada de infraestructura localizada en la zona de riesgo.

f. **Educativa:** falta de programas de conscientización y preparación en la población.

Definidos los conceptos anteriores, puede decirse que la evaluación de riesgos es un proceso que ayuda a determinar la naturaleza y el alcance de un riesgo específico mediante el análisis de riesgo y la evaluación de las condiciones de vulnerabilidad existentes, que podrían resultar en daños a las personas expuestas y a los bienes materiales, servicios y/o al ecosistema que los rodea.

Esta evaluación no solo evalúa la magnitud y la probabilidad de pérdidas potenciales, sino que también explora las causas y el impacto creado a raíz de esas pérdidas. De este modo, la evaluación de riesgos y vulnerabilidad se convierte en una parte integral de los procesos de toma de decisiones y la adopción de políticas para la mejora del ordenamiento y planificación territorial (Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo, [2010](#)).

B. Análisis de riesgo

El análisis de riesgo, según Martínez-Ponce, [2001](#), se define como un proceso de calidad total y mejora continua. Su objetivo primordial es estimar las probabilidades de que se materialicen eventos no deseados, lo que a su vez facilita la medición de la magnitud de los impactos negativos a lo largo de intervalos específicos de tiempo. Este enfoque se convierte en una herramienta fundamental para la toma de decisiones informadas en una amplia variedad de contextos, desde la gestión empresarial hasta la planificación de proyectos de construcción o la evaluación de riesgos medioambientales.

Sin embargo, el análisis de riesgos no se limita a la mera identificación de problemas. Va más allá al proponer una serie de enfoques metodológicos diseñados para abordar el riesgo de manera efectiva. Estos enfoques no solo describen el posible riesgo y sus causas, sino que también examinan las consecuencias potenciales a corto y largo plazo. Asimismo, evalúan la probabilidad de que dicho riesgo se materialice. Al integrar estos elementos, el análisis de riesgos se convierte en una herramienta valiosa para la anticipación y mitigación de situaciones adversas, permitiendo a las organizaciones y profesionales tomar medidas preventivas o correctivas que reduzcan la probabilidad y el impacto de los eventos no deseados.

1. Metodologías de análisis de riesgos

Martínez-Ponce (2001, p. 23) brinda la siguiente lista de los instrumentos, técnicas y métodos de análisis más comunes en el campo de la investigación. Sin embargo, al seleccionar una debe tomarse en cuenta la normativa aplicable en cada región, así como las directrices de las instituciones que las promuevan.

a. **Matrices de relación (histogramas, correlación, distorsión):** es una tabla con coeficientes establecidos de correlación de distintas variables. La matriz muestra que tan relacionadas están estas entre sí, de modo que se pueden analizar todas las posibles combinaciones. Es utilizada para resumir información y encontrar patrones más fácilmente (Doerr y Levasseur, 2022).

b. **Sistemas y diagramas (árbol de eventos, diagrama de Ishikawa):** herramienta que clasifica variables en causas y consecuencias derivadas de cada causa. Es una manera de organizar la información a modo de identificar eventos, ya sean controlables o no, y sus posibles consecuencias e impactos (IONOS, 2023).

c. **Estadístico – Probabilístico:** técnica de recopilación de datos basada en la selección de una muestra de elementos de una población de manera aleatoria y controlada, de modo que cada elemento de la población tenga una probabilidad conocida y no nula de ser seleccionado en la muestra (Escobar, 2023).

d. **Mallas y superposición de mapas:** técnica utilizada en el análisis de riesgos y vulnerabilidades, especialmente en el ámbito de la gestión de desastres, planificación urbana y evaluación de impacto ambiental. Esta metodología se basa en la combinación de información geoespacial y cartográfica para evaluar y visualizar de manera efectiva los riesgos presentes en una determinada área (Fernández et al., 2010). Este es el enfoque aplicado a lo largo de la realización de este trabajo de graduación.

C. Importancia de la gestión de desastres

La gestión del riesgo de desastres busca reducir la vulnerabilidad de las personas, sus hogares y en general la sociedad como conjunto de muchas comunidades, reforzando las capacidades de estas mismas para responder a los peligros, de modo que, en caso acontezca un evento extremo, no se convierta en una catástrofe (Global Initiative on Disaster Risk Management, 2020). [Ver: Apéndice A.]

D. Tecnología SIG y recopilación de datos geoespaciales

Los sistemas de información geográfica forman parte de la familia de sistemas de información que permiten recopilar, organizar y clasificar grandes volúmenes de datos en un mismo lugar. Más específicamente, los SIG permiten la gestión de datos espaciales georreferenciados mediante el sistema de coordenadas Universal Transversal de Mercator (UTM) o referenciadas con longitud y latitud (Capdevila y Mínguez, 2016).

1. Fuentes de datos geospaciales

Entre las principales fuentes de datos geolocalizados se encuentran los servicios cartográficos nacionales, como el Instituto Geográfico Nacional (IGN) que ofrece mapas topográficos y datos de relieve y facilita la conformación de infraestructura de datos espaciales de Guatemala (IDEG). Además, la US Geological Survey (USGS), que proporciona una amplia colección de mapas y datos satelitales en EE.UU. Las agencias espaciales como la NASA y la Agencia Espacial Europea (ESA) también proporcionan datos a través de programas como EOSDIS y Copernicus. Organizaciones internacionales como el Global Biodiversity Information Facility (GBIF) y el UNEP World Conservation Monitoring Centre (UNEP-WCMC) también ofrecen datos de biodiversidad y conservación a nivel global.

Existen bases de datos públicas como OpenStreetMap, que es una base de datos libre y colaborativa; y Natural Earth, que ofrece datos vectoriales y rasterizados de alta calidad. Además, las plataformas comerciales como Google Earth Engine y ArcGIS Online de Esri proporcionan acceso a grandes volúmenes de datos geospaciales y herramientas de análisis. Proyectos de investigación y universidades también contribuyen con datos valiosos, como los sistemas de información geográfica de la Universidad de Harvard y el Global Land Cover Facility (GLCF).

Los tipos de datos geospaciales disponibles incluyen imágenes satelitales, mapas topográficos, datos de GPS, modelos digitales del terreno, datos climáticos y datos de uso y cobertura del suelo. Repositorios y plataformas en línea como Google Earth Engine, NASA Earthdata, Copernicus Open Access Hub, USGS Earth Explorer y OpenStreetMap son recursos accesibles para obtener estos datos. Al trabajar con datos geospaciales, es crucial considerar la resolución espacial y temporal, la precisión y las licencias asociadas con cada fuente para asegurar su adecuación al propósito previsto.

2. Representación de datos geospaciales

Para representar los datos ingresados al sistema, los SIG utilizan dos tipos de modelos, que permiten crear capas simples o representaciones con relaciones entre datos más complejas (Capdevila y Mínguez, 2016).

a. **Modelo vectorial:** se basa en la relación entre una forma geométrica y una tabla de datos alfanumérica. La geometría plasmada se representa mediante nodos, líneas y polígonos (formados de nodos y líneas). Este se utiliza para representar variables/datos discretos con límites perfectamente definidos. Por ejemplo, se utiliza al representar yacimientos, estructuras, terrenos delimitados o entidades arqueológicas (Capdevila y Mínguez, 2016).

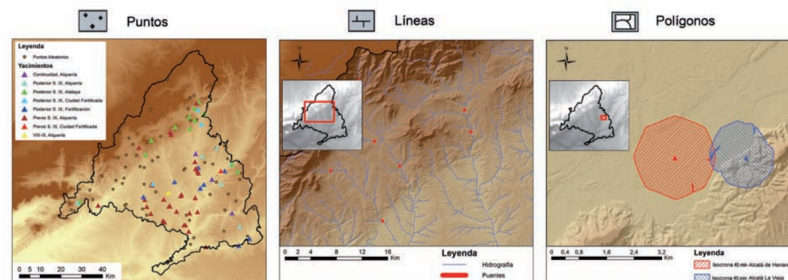


Figura 1. Formas geométricas en un modelo vectorial (Capdevila y Mínguez, 2016)

b. **Modelos ráster:** se crean en base a la superposición de una capa (de igual tamaño y forma que la zona de estudio) que contiene los datos. Cada una de estas unidades mínimas de información toma un valor que hace referencia a la variable que se está representando en la capa. Este modelo es habitualmente utilizado para representar variables continuas cualitativas y cuantitativas (Capdevila y Mínguez, 2016).

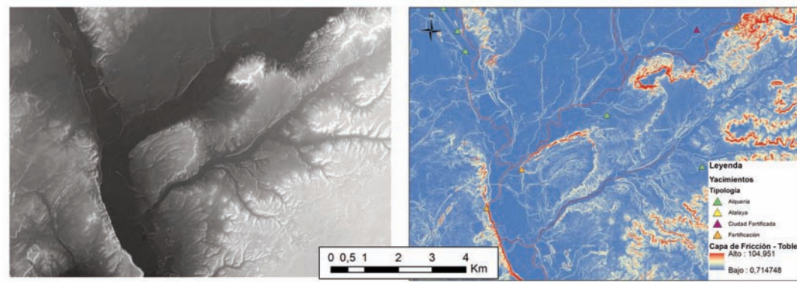


Figura 2. Aplicaciones de los modelos ráster (Capdevila y Mínguez, 2016)

E. Aplicaciones de SIG en Ingeniería Civil

Los sistemas de información geográfica facilitan en gran manera muchas de las tareas realizadas en distintas ramas de la ingeniería civil, como lo son la geotecnia, hidrología y la planificación territorial (Capdevila y Mínguez, 2016).

Dada la gran variedad y complejidad del estudio de todos los fenómenos naturales a los que Guatemala podría ser susceptible, el presente trabajo se concentrará en la aplicación de SIG para la gestión de desastres, incluyendo la localización de zonas vulnerables a deslizamientos e inundaciones a lo largo de la cuenca del río Motagua.

1. Gestión integral del riesgo ante desastres

Una de las características que hace que los SIG sean tan apropiados para la gestión de desastres es su capacidad de almacenar, interpretar y visualizar datos geoespaciales en tiempo real (Capdevila y Mínguez, 2016). Esto es de vital importancia para el rastreo o monitoreo de como transcurre cada situación.

Por ejemplo, estos permiten identificar áreas de alto riesgo de todo tipo de desastres. Al mapear e identificar las regiones más propensas a cada tipo de riesgo, las autoridades relevantes tiene más recursos para tomar decisiones informadas y planificar apropiadamente una respuesta en caso de ocurrencia de dicho desastre natural.

Actualmente ya existen estudios de vulnerabilidad alrededor del mundo, en los que se presenta algún programa SIG como la herramienta principal de mapeo y creación de mapas temáticos. Una de las ventajas que su utilización presenta es la capacidad de estos de generar material visual fácil de comprender, a manera de que la información recopilada y planteada sea interpretada de manera correcta (Rojas et al., 2019).

2. Monitoreo de cambios en el uso del suelo

Cambios en la cobertura y el uso del suelo son una consecuencia directa de la interacción entre humanos y ecosistemas. La evaluación constante de los patrones de cambios nos brinda un conocimiento sobre el impacto de las actividades económicas y de desarrollo sobre el territorio y sus recursos naturales (Berberoglu y Akin, 2009 como se cita en Rojas et al., 2019).

Por lo tanto, surge una necesidad de monitorear activamente dichos cambios al entender que estas variaciones tienen un impacto directo en factores climáticos como el calentamiento global, la degradación del suelo o cambios en la hidrología de cuencas (Rojas et al., 2019).

Entonces, para una utilización eficiente de SIG se necesita también la integración de métodos de teledetección (adquisición de datos de manera remota). El estudio y la aplicación de estos datos ha permitido analizar los cambios en la cobertura y uso del suelo en menos tiempo, a un menor costo y con mayor precisión. Según Rojas et al., 2019, se han realizado diversos estudios sobre la dinámica de pérdidas de bosques y de carbono en todo el mundo.

a. **Mapeo y monitoreo de áreas propensas a deslizamientos:** la utilización de SIG para el mapeo y monitoreo de áreas propensas a deslizamientos es relevante en la gestión de riesgos y la planificación de un plan de contingencia adecuado y eficiente. Estos sistemas permiten la recopilación y el análisis de datos geospaciales cruciales relacionados con los factores de riesgo ya mencionados. Al combinar esta información, se evalúa la susceptibilidad a los deslizamientos y se generan mapas de riesgo detallados (Organización de Estados Americanos, 1993).

Para poder monitorear continuamente estas áreas identificadas como vulnerables se instalan sensores geotécnicos para medir la estabilidad del suelo, sensores meteorológicos que ofrecen datos climáticos relevantes y se utilizan imágenes satelitales para detectar cambios en el terreno. Los datos recopilados se integran en tiempo real en un SIG, lo que facilita la detección de condiciones críticas que podrían aumentar el riesgo de deslizamientos en cualquier momento, como podría ser la falta de estabilidad en el suelo analizado.

La evaluación del riesgo de deslizamientos de tierra se convierte en una parte importante de un proceso de planificación territorial en un área ya identificada como vulnerable (de acuerdo con la cantidad de factores de riesgo que estén presentes al momento del estudio inicial). Puesto que los deslizamientos pueden afectar negativamente a las actividades humanas y restringir el uso de la tierra, es esencial identificar los niveles de riesgo desde las etapas iniciales. (Organización de Estados Americanos, 1993).

3. Evaluación de la estabilidad del suelo

Para una evaluación más completa de las condiciones en las que se encuentra el suelo pueden aplicarse los siguientes pasos:

a. **Caracterización del suelo:** se inicia con la recolección de muestras de suelo y su posterior análisis en un laboratorio para determinar sus propiedades físicas y mecánicas (textura, densidad, compresibilidad, cohesión, ángulo de fricción interna, entre otros). Esto sirve para comprender la naturaleza del comportamiento del suelo (Montejo et al., 2018).

b. **Identificación de las condiciones de carga:** se deben identificar las fuerzas que actúan sobre el suelo. Estas van a depender del uso del suelo, por lo que pueden variar (Montejo et al., 2018).

c. **Modelado del terreno** Se crea un modelo geotécnico que representa el terreno y las estructuras construidas en el área analizada (Montejo et al., 2018).

d. **Análisis de estabilidad:** se aplican métodos de análisis geotécnico para evaluar la estabilidad del suelo ante las condiciones de carga previstas. Esto implica calcular factores de seguridad para determinar si el suelo es estable o si se requieren medidas adicionales (Montejo et al., 2018).

e. **Diseño de medidas adicionales de estabilización:** en caso de que el análisis de estabilidad muestre que el suelo no es lo suficientemente estable, se deben diseñar medidas de estabilización. Esto puede incluir la mejora del suelo mediante técnicas de compactación, el uso de refuerzos geotécnicos, la construcción de sistemas de drenaje, la modificación de las cargas o la redistribución de esfuerzos (Montejo et al., 2018).

4. Mapeo y monitoreo de inundaciones

En los últimos tiempos se han empleado enfoques de auto-aprendizaje (tanto descriptivos-teóricos o predictivos) al analizar el ámbito de la gestión de desastres. Por un lado, los métodos descriptivos se centran en las etapas de respuesta y recuperación, mientras que los predictivos se enfocan en pronosticar el impacto de los desastres, mejorando los procesos de preparación y mitigación (Yu et al., 2018 como se cita en Bedoya Posada, 2022).

En la actualidad, los entes encargados de la planificación de respuesta y mitigación de riesgos buscan soluciones para las inundaciones a través de estudios de planificación de desarrollo. Sin embargo, dada la gran cantidad de información que se necesita en tiempo real para que dichos sistemas de prevención funcionen, se ha optado por facilitar el proceso de recolección, organización y procesamiento de datos aplicando SIG.

Los SIG se han convertido en una herramienta esencial en la gestión del riesgo a inundaciones en zonas críticas, ya que a través del análisis geoespacial que facilitan se evalúa el peligro a exposición real. Esto es especialmente útil al analizar sectores ya poblados en los que se registran ocurrencias de inundaciones con anterioridad. La rápida urbanización favorece particularmente la ocupación de áreas de riesgo, lo que aumenta el peligro. Además, dependiendo de la magnitud del evento, algunas áreas pueden volverse inaccesibles. En estos casos, las imágenes satelitales y aéreas son fundamentales para evaluar la magnitud y los impactos de las inundaciones (Syifa et al., 2019 como se cita en Bedoya Posada, 2022).

Estas imágenes se someten a diversas técnicas de procesamiento que permiten realizar predicciones sobre la posibilidad de futuras inundaciones en regiones específicas.

a. **Creación de mapas de zonas inundables:** a raíz de los datos geolocalizados, se pueden crear mapas de riesgo de inundación. Incluso, muchas veces estas técnicas de análisis geoespacial se complementan con tecnologías de identificación de patrones, para automatizar el mapeo del riesgo de inundación (Syifa et al., 2019; Makker, Ramanathan y Dinesh, 2019 como se cita en Bedoya Posada, 2022).

El mapeo de inundaciones es un proceso que involucra la creación de mapas que evalúan los aspectos de amenaza, vulnerabilidad y riesgo relacionados con inundaciones. Cada uno de los factores de riesgo reconocidos se mapea en una capa distinta, a manera de utilizar el método de la superposición de capas para identificar las áreas más vulnerables. Estos mapas proporcionan una base esencial para analizar las tendencias históricas de inundaciones.

5. Desarrollo de cartografía de riesgos y análisis de vulnerabilidad.

La cartografía de riesgos tiene como objetivo principal identificar las áreas geográficas y poblaciones susceptibles a sufrir daños en caso de producirse la amenaza (Lowry et al., 1995). Así como la aplicación de los SIG, esta es una herramienta de gran interés en el ámbito de la planificación territorial y la ejecución de análisis de vulnerabilidad, pues permite valorar de manera visual el potencial de riesgo que una región específica posee.

Las investigaciones entorno a riesgos se han centrado principalmente en examinar los elementos del entorno físico que influyen en su ocurrencia o agravación. Esto para delimitar la región susceptible a ser afectada y evaluar las posibles consecuencias (Bosque et al., 2003).

a. **Análisis de factores de riesgo:** para determinar el riesgo existente, se necesita obtener toda la información posible sobre aspectos topográficos, geológicos, geotécnicos y ambientales. Esto con el propósito de realizar un diagnóstico más preciso y poder diseñar una solución que abarque la mayor cantidad de factores posible.

A continuación, se mencionan algunos de los aspectos más importantes a tomar en cuenta. Es importante recordar que, puesto que este estudio está enfocado en la cuenca del río Motagua, los aspectos mencionados a continuación son más que todo causalidades en este tipo de zonas.

Tema	Factores	Descripción
Geolocalización	Planta de localización	Planta de localización de: ríos, vegetación, taludes.
	Curvas de nivel	Levantamiento que permita determinar desniveles y calcular alturas, pendientes y localizar perfiles.
Geología	Estratos	Presencia y profundidad de estratos de suelo.
	Fracturación	Tamaño, forma y posibilidades de deslizamiento o volteo de cada bloque de estratos.
Agua superficial	Precipitación	Máxima, mínima, promedio anual. Lluvia máxima en una hora.
	Escorrentía	Tiempo de concentración y caudal máximo.
	Infiltración	Valor en % en relación con el volumen de precipitación.
Factores externos	Sismicidad	Aceleración de diseño, intensidad y magnitud. Profundidad y distancia entre epicentros. Relaciones con fallas geológicas cercanas.
	Vegetación	Cobertura y tipo de vegetación presente. Comportamiento de evotranspiración.

Continúa en la siguiente página

Cuadro 1 – continuación de la página anterior

Tema	Factores	Descripción
	Clima	Temperatura ambiental, lluvia, viento, cambios barométricos.
	Impacto ambiental	Modificaciones causadas por el hombre (deforestación, alteración del ciclo hidrológico, entre otros).
Mecánica de suelos	Propiedades mecánicas	Erosionabilidad, granulometría, plasticidad, resistencia al corte, permeabilidad.

Cuadro 1

Factores de riesgo para el análisis de ocurrencia de deslizamientos de tierra

(Adaptación de Suárez, 1998)

F. Características de la cuenca relacionadas con deslizamientos e inundaciones

El análisis de las características físicas, hidrológicas y geomorfológicas de una cuenca hidrográfica es esencial para comprender los procesos naturales que pueden desencadenar desastres como deslizamientos e inundaciones. Estas variables permiten identificar las áreas más vulnerables, modelar el comportamiento del agua durante eventos extremos y proponer medidas de mitigación efectivas. Factores como la pendiente, el uso del suelo, la capacidad de los cauces y la intensidad de las lluvias interactúan de manera compleja, amplificando los riesgos en determinadas regiones. Por ello, la evaluación integral de estas variables es una herramienta clave en la gestión del riesgo y la planificación territorial (Global Water Partnership y Sociedad Geográfica de Lima, 2011).

1. Morfometría de la cuenca

a. **Área de la cuenca:** cuencas grandes generan mayores volúmenes de agua durante lluvias intensas, incrementando el riesgo de inundaciones. Cuencas pequeñas responden más rápido a las lluvias, lo que favorece inundaciones repentinas.

b. **Pendiente media:** pendientes pronunciadas generan escorrentías rápidas, aumentando la erosión y el riesgo de deslizamientos. Pendientes suaves favorecen la acumulación de agua, incrementando el riesgo de inundaciones.

c. **Densidad de drenaje:** una red hidrográfica muy densa permite que el agua llegue más rápido a los cauces principales, incrementando los picos de caudal y las inundaciones.

(Global Water Partnership y Sociedad Geográfica de Lima, 2011).

2. Geología y geomorfología

a. **Tipo de roca:** rocas impermeables, como lutitas o pizarras, generan mayor escorrentía, aumentando el riesgo de inundaciones. Rocas fracturadas o permeables, como calizas, favorecen la infiltración, disminuyendo la escorrentía.

b. **Suelos erosionables:** suelos arcillosos o arenosos son más susceptibles a la erosión y pueden desencadenar deslizamientos durante lluvias intensas.

(Ibáñez, 2008).

3. Hidrología

a. **Intensidad y duración de las lluvias:** lluvias intensas y prolongadas saturan los suelos, reduciendo su estabilidad y aumentando los deslizamientos. También generan mayor escorrentía y elevan los niveles de agua en los ríos.

b. **Tiempo de concentración:** un tiempo de concentración corto, debido a la forma o pendiente de la cuenca, incrementa el riesgo de inundaciones repentinas.

(Global Water Partnership y Sociedad Geográfica de Lima, 2011).

4. Cobertura y uso del suelo

a. **Deforestación:** la ausencia de vegetación reduce la capacidad del suelo para absorber agua, aumentando la escorrentía y el riesgo de inundaciones y deslizamientos.

b. **Urbanización:** superficies impermeables en zonas urbanizadas generan mayor escorrentía, incrementando el riesgo de inundaciones y sobrecarga de los sistemas de drenaje.

(Centro Nacional de Prevención de Desastres, 2020).

5. Hidrografía

a. **Capacidad de los cauces:** cauces con baja capacidad de carga debido a la sedimentación o falta de mantenimiento pueden desbordarse fácilmente durante tormentas.

b. **Orden del río:** ríos de bajo orden, como afluentes pequeños, son más propensos a desbordarse rápidamente durante lluvias intensas.

(Global Water Partnership y Sociedad Geográfica de Lima, 2011).

6. Topografía

a. **Relieve accidentado:** zonas montañosas presentan pendientes pronunciadas y suelos inestables que son propensos a deslizamientos, especialmente durante lluvias intensas.

b. **Zonas planas:** áreas de baja elevación tienden a acumular agua, aumentando el riesgo de inundaciones.

(Global Water Partnership y Sociedad Geográfica de Lima, 2011).

7. Vegetación y ecosistemas

a. **Cobertura vegetal densa:** actúa como una barrera natural, reduciendo la velocidad de la escorrentía y estabilizando el suelo, lo que disminuye el riesgo de deslizamientos.

b. **Áreas degradadas:** ecosistemas deteriorados no absorben agua de manera eficiente, aumentando la escorrentía y los riesgos de desastres.

(Global Water Partnership y Sociedad Geográfica de Lima, 2011).

G. Mitigación y planificación del riesgo ante desastres

Son procesos que buscan reducir los impactos negativos que eventos catastróficos tienen sobre comunidades, infraestructura y el ecosistema del área afectada. La planificación orientada a la mitigación de riesgos desempeña un papel crucial en la reducción de las pérdidas de vidas y bienes al minimizar el impacto de los desastres. Inicialmente, las autoridades locales relevantes identifican los riesgos y vulnerabilidades asociados a los desastres que son habituales en su región (Federal Emergency Management Agency, 2023).

Este proceso incluye llevar a cabo pasos mencionados anteriormente, como la identificación de factores clave, la creación de mapas temáticos con los datos georreferenciados y la clasificación del área de estudio dependiendo del nivel de riesgo al que sea vulnerable. Una vez que se han identificado todo esto, se elaboran estrategias a largo plazo con el propósito de resguardar a las personas, la infraestructura y los bienes materiales registrados en la zona. Los planes de mitigación son fundamentales para interrumpir el ciclo de daños provocados por desastres y el consecuente proceso de reconstrucción que estos implican (Federal Emergency Management Agency, 2023).

H. Estrategias de mitigación

Las estrategias de mitigación previas a los desastres son esenciales para reducir lo más posible la pérdida de vidas humanas y bienes materiales e infraestructura local (Sekita, 2020). Al tener claro que regiones son las más vulnerables al impacto de los desastres, deben tomarse medidas preventivas y planificar acciones que busquen reducir la vulnerabilidad a dichos eventos.

Algunas medidas de mitigación existentes pueden clasificarse en dos grupos generales:

1. Pasivas

- a. **Actualización de códigos de construcción vigentes**
- b. **Rechazo de infraestructura en zonas de desarrollo indeseable**
- c. **Imposición de consecuencias a infractores**

2. Activas

- a. **Control de planificación**

- b. **Identificación y zonificación de áreas de riesgo**
- c. **Planificación del uso del suelo**
- d. **Sistemas de alerta temprana**
- e. **Preservación (conservación y restauración) de los ecosistemas alrededor**
- f. **Gestión de recursos hídricos**
- g. **Monitoreo satelital constante y utilización de SIG**

(Zupka, 1997).

I. Estrategias de mitigación de inundaciones

De la misma forma, las estrategias de mitigación de inundaciones son fundamentales para proteger a las comunidades vulnerables y reducir los daños asociados con estos desastres. Un ejemplo destacado de la aplicación de estas estrategias es el programa de Mapas de Riesgos dirigido por la Agencia Federal de Gestión de Emergencias (FEMA) en Estados Unidos. Este programa se centra en identificar y evaluar los riesgos de inundación, proporcionando datos precisos y actualizados a los accionistas y socios (Sekita, 2020). Los mapas creados a través de este programa son dinámicos, lo que significa que pueden ser actualizados continuamente para reflejar cambios en el terreno y las condiciones ambientales.

El uso de sistemas de información geográfica, como *ArcGIS*, es clave en este proceso. Con esta tecnología, FEMA crea mapas con superposición que integran diversos tipos de datos geoespaciales, facilitando una visualización clara y detallada de las zonas de riesgo de inundación. Estos mapas no solo indican áreas propensas a inundaciones, sino que también incluyen información sobre la infraestructura existente, los recursos naturales y las características demográficas, proporcionando una visión integral que es crucial para la planificación y la toma de decisiones (Sekita, 2020).

Además del mapeo de inundaciones, las estrategias de mitigación general también se benefician del uso de tecnologías SIG. Estas estrategias incluyen la construcción de infraestructuras resilientes, la creación de sistemas de alerta temprana, la implementación de políticas de uso del suelo más estrictas y la promoción de prácticas sostenibles de manejo del agua. Al rastrear y analizar estos esfuerzos mediante SIG, las comunidades pueden evaluar la efectividad de las medidas implementadas y ajustarlas según sea necesario (Sekita, 2020).

La disponibilidad de esta información detallada y actualizada permite a las comunidades localizadas en áreas vulnerables desarrollar planes de mitigación y prevención basados en datos concretos. Por ejemplo, pueden identificar zonas donde es más urgente mejorar el drenaje, reforzar diques o reubicar infraestructuras críticas. También pueden diseñar y poner en práctica programas educativos para aumentar la conciencia pública sobre los riesgos de inundación y las medidas preventivas que pueden tomar los residentes.

Además, la colaboración entre distintos niveles de gobierno y el sector privado es facilitada por estos mapas de riesgos. Los gobiernos locales, estatales y federales pueden coordinar mejor sus esfuerzos, mientras que las empresas privadas pueden planificar sus inversiones y operaciones te-

niendo en cuenta los riesgos de inundación. Esto no solo mejora la respuesta inmediata a las inundaciones, sino que también fortalece la resiliencia a largo plazo de las comunidades.

J. Estrategias de manejo de cuencas

Una cuenca hidrográfica es un espacio delimitado por terrenos de altitud mayor (entiéndase montañas, laderas o colinas), que permiten el drenaje superficial en un río que desemboca a un cuerpo de agua más grande (Faustino y Jiménez, 2000).

Desde una perspectiva hidrológica, una cuenca hidrográfica se define como el territorio que abarca el cauce principal de un río y sus afluentes, y sus límites se establecen según la topografía del terreno y las divisiones naturales de aguas (Gaspari et al., 2019).

El manejo de cuencas hidrográficas es una estrategia integral y multifacética que busca equilibrar las necesidades sociales, económicas y ambientales en la gestión de los recursos hídricos. Una cuenca hidrográfica, delimitada por terrenos de mayor altitud como montañas, laderas o colinas, permite el drenaje superficial de un río hacia un cuerpo de agua más grande. Desde una perspectiva hidrológica, abarca el cauce principal del río y sus afluentes, con límites establecidos por la topografía y las divisiones naturales de aguas (Gaspari et al., 2019).

El manejo de cuencas hidrográficas implica diversas estrategias que se enfocan no solo en la regulación del agua, sino también en la gestión sostenible del territorio que la rodea y los recursos asociados. Estas estrategias podrían incluir:

a. **Conservación de ecosistemas:** la protección y restauración de los ecosistemas dentro de una cuenca es crucial. Los humedales, bosques ribereños y áreas naturales actúan como esponjas que absorben el agua de lluvia, reduciendo el riesgo de inundaciones y recargando los acuíferos subterráneos. Además, estos ecosistemas filtran contaminantes y mejoran la calidad del agua (Martínez Vívar, 2023).

b. **Planificación y uso del suelo:** la zonificación y regulación del uso del suelo dentro de una cuenca son esenciales para prevenir la degradación del suelo, la deforestación y la urbanización descontrolada. La planificación adecuada puede incluir restricciones sobre el desarrollo en áreas propensas a inundaciones y la promoción de prácticas agrícolas sostenibles que minimicen la erosión y la contaminación (Centro Nacional de Prevención de Desastres, 2020).

c. **Construcción de infraestructuras verdes:** las infraestructuras verdes, como techos verdes, jardines de lluvia y sistemas de drenaje sostenibles, ayudan a gestionar el agua de lluvia y reducir la escorrentía. Estas soluciones no solo son efectivas para el manejo del agua, sino que también mejoran la biodiversidad y la calidad de vida urbana (Banco Interamericano de Desarrollo, 2014).

d. **Monitoreo y evaluación constante:** el monitoreo regular de la calidad y cantidad del agua, así como de los ecosistemas y usos del suelo, es esencial para evaluar la efectividad de las estrategias de manejo y realizar ajustes necesarios. Las tecnologías modernas, como sensores remotos y sistemas de información geográfica, facilitan la recopilación y análisis de datos en tiempo real (Centro Nacional de Prevención de Desastres, 2020).

e. **Políticas y legislación:** el establecimiento de políticas y marcos legislativos adecuados es crucial para la implementación efectiva del manejo de cuencas. Esto incluye leyes que regulen el uso del agua, protejan los ecosistemas acuáticos y promuevan prácticas sostenibles. Además, es importante la coordinación entre diferentes niveles de gobierno y sectores para asegurar una gestión coherente y efectiva (Centro Nacional de Prevención de Desastres, 2020).

f. **Adaptación al cambio climático:** las estrategias de manejo de cuencas también deben considerar los impactos del cambio climático, que puede alterar los patrones de precipitación y aumentar la frecuencia de eventos extremos como inundaciones y sequías. La implementación de medidas de adaptación, como la construcción de infraestructuras resilientes y la conservación de recursos hídricos, es esencial para mitigar estos impactos (Centro Nacional de Prevención de Desastres, 2020).

g. **Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH):** la GIRH promueve un enfoque coordinado para el desarrollo y la gestión del agua, tierra y recursos relacionados. Esto implica la participación de todos los actores involucrados, desde comunidades locales hasta gobiernos y organizaciones no gubernamentales, asegurando que las decisiones tomadas reflejen una amplia gama de intereses y conocimientos (Global Water Partnership, 2022).

Este último punto abarca algunos métodos sociales de gestión adicional, de modo que al integrar los todos pueda analizarse una cuenca de manera más integral. De acuerdo con N. Aguirre, 2007, esta se divide en:

h. **Gestión de recursos hídricos:** asignación de derechos de agua, seguimiento de caudales y calidad del agua, control de represas y embalses.

i. **Planificación de desarrollo sostenible:** capacidad de carga de la cuenca y las necesidades de conservación de recursos hídricos.

j. **Participación comunitaria:** involucramiento de las comunidades locales en la gestión de la cuenca, fomentando la responsabilidad y la toma de decisiones compartidas.

k. **Concientización:** creación de material visual para educar a la comunidad sobre la importancia de la conservación de cuencas y la gestión sostenible de los recursos hídricos.

Igualmente, existen maneras de aplicar SIG para el manejo de cuencas. El empleo de estos se ha vuelto relevante en la investigación de parámetros morfológicos de la misma cuenta, considerando también las características del entorno.

Algo muy común es la evaluación del funcionamiento del sistema hidrológico completo por medio de tecnología geoespacial, encargada de generar los mapas geolocalizados que se usan en la creación de mapas (Gaspari et al., 2019).

Entre las aplicaciones de SIG para el manejo de cuencas encontramos:

1. **Mapeo de cuencas:** utilización de SIG para delimitar cuencas hidrográficas, identificando las áreas de captación y los cursos de agua que alimentan la cuenca.

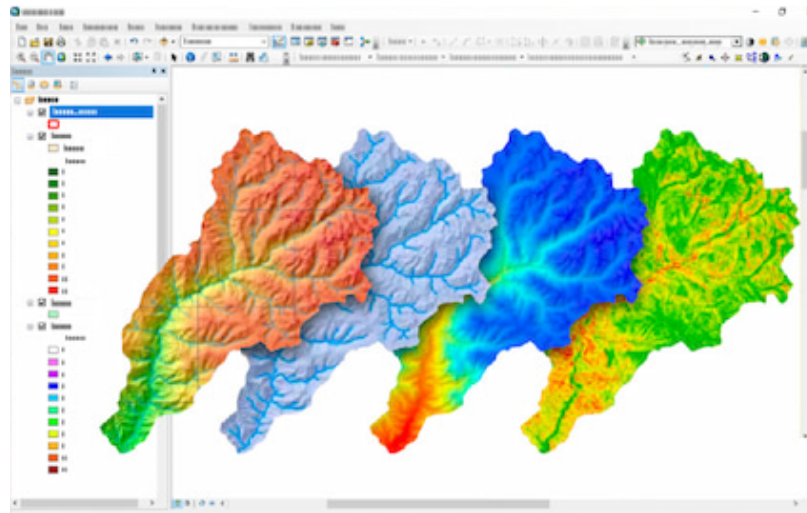


Figura 3. Delimitación y obtención de parámetros de microcuenca

m. **Monitoreo de recursos hídricos:** colocación de estaciones de monitoreo de agua que recopilan datos en tiempo real.

n. **Análisis de uso de la tierra:** identificación de áreas de deforestación, urbanización y agricultura que pueden afectar la escorrentía y la calidad del agua.

ñ. **Predicción de inundaciones:** desarrollo de modelos de inundación para una prevención temprana.

(Gaspari et al., 2019).

K. Caso de estudio: cuenca del Motagua, Guatemala

Como ya se estableció al inicio de este documento, Guatemala es un caso de estudio relevante en lo que respecta a la vulnerabilidad a desastres dada su ubicación geográfica. En general, latinoamérica es una región altamente vulnerable a desastres, pues además de su ubicación, su topografía y condiciones climáticas hacen que sea más propensa a las amenazas naturales.

Especialmente en Guatemala, la vulnerabilidad a muchos desastres aumenta gracias a factores como la urbanización no planificada, la falta de infraestructura de protección, la pobreza y la limitada capacidad de respuesta a emergencias en ciertas áreas. Como resultado, la gestión de riesgos y la preparación para desastres son de vital importancia en la región para reducir el impacto de estas amenazas y proteger a las comunidades vulnerables (Aguirre, 2004).

1. Amenazas geológicas y geotécnicas en Guatemala

Es de suma importancia tomar en cuenta este tipo de amenazas al analizar el panorama general de Guatemala, dada su localización en una región altamente sísmica y la variedad de elevaciones en

su superficie topográfica.

Estudios de suelo pueden validar la presencia de distintos tipos de roca y estratos, a lo largo de todo el territorio nacional. Tanta variedad aumenta los posibles escenarios de riesgo y, por ende, aumenta la cantidad de estudios a realizar; pues los planes territoriales deben limitarse a lo que el tipo de suelo predominante del lugar les permita realizar con el menor riesgo posible (Aguirre, 2004).

Igualmente, los estudios sísmicos permiten identificar la presencia de una gran variedad de condiciones geológicas que pueden constituir un riesgo e imponer una cierta limitación en la planificación territorial. Se habla principalmente de la presencia de fallas en el subsuelo que puedan facilitar y hasta causar los derrumbes y deslaves reportados por todo el país.

2. Amenazas climáticas en Guatemala

El cambio climático se reconoce como una causa importante del aumento en la frecuencia e intensidad de amenazas naturales no geotécnicas, que aumentan los riesgos. Es por esto mismo que una buena gestión de riesgos climáticos y de desastres debe abordar las interacciones entre las variaciones climáticas, las amenazas naturales y sus efectos. Debe tomarse en cuenta que en el ámbito del cambio climático los riesgos analizados son el resultado de la interacción entre las amenazas relacionadas con el clima, la exposición y vulnerabilidad del ecosistema afectado.

Según Menjívar y Guillemes (2023), para evaluar el riesgo climático y de desastres de manera integral, es necesario definir la escala de trabajo y análisis. Inicialmente deben establecerse las variables que se van a analizar: amenazas (incluyendo su probabilidad de ocurrencia) la vulnerabilidad del sistema a esa amenaza y su sensibilidad al clima. Igualmente deben tomarse en cuenta posibles escenarios futuros y sus respectivos escenarios sociales y económicos, dependiendo de la región analizada; considerando si son regiones urbanas, semi urbanas o rurales y el nivel de cobertura vegetal o presencia de zonas boscosas.

3. Vulnerabilidad regional

Algunas de las amenazas más comunes en la región incluyen:

a. **Inundaciones y deslizamientos de tierra:** la región de Centroamérica está ubicada en una zona propensa a la formación de huracanes desde el océano Atlántico, lo que implica lluvias intensas, inundaciones y deslizamientos de tierra en áreas montañosas y zonas urbanas.

b. **Terremotos:** al estar ubicada en una zona sísmica activa, esta región es especialmente susceptible a movimientos telúricos. Esto también podría considerarse una causa de deslizamientos de tierra no previstos.

c. **Erupciones volcánicas:** las erupciones volcánicas pueden tener un impacto significativo en la región, pues implica un cambio en el tipo de suelo presente y en el cambio de uso del mismo.

(Consejo Nacional para la Reducción de Desastres, 2023).

L. Historial de desastres en Guatemala

Como ya se mencionó en reiteradas ocasiones a lo largo de este documento, Guatemala es un país altamente vulnerable a muchos tipos de eventos naturales. Ahora, prestando especial atención a nuestra zona de estudio delimitada, es interesante identificar que muchos de estos fenómenos (antes planteados a nivel país) suelen tener un impacto alto en zonas a lo largo de la cuenca del río Motagua.

Un ejemplo es el hecho de que el río sigue el curso lineal del límite entre las placas Norteamérica y del Caribe. Esto implica constantes movimientos tectónicos en zonas aledañas a este cuerpo de agua.

Otro ejemplo es el constante riesgo de desbordamiento existente, causado usualmente por el exceso de lluvias o la ocurrencia de tormentas tropicales en regiones cercanas. El caso más reciente son las depresiones tropicales Eta e Iota, que afectaron la mayor parte del territorio nacional en noviembre del 2020. A pesar de que el curso de estas tormentas no pasó directamente *sobre* el territorio, las oleadas de intensas lluvias causaron una gran cantidad de inundaciones y deslizamientos.

De acuerdo con los análisis realizados por el Instituto de las Naciones Unidas para Formación Profesional y la Investigación (como se cita en Bello y Peralta, [2021](#)), en el departamento de Izabal, las inundaciones provocadas por Eta por el desbordamiento del río Motagua, afectaron principalmente los municipios de Los Amates, Morales y Puerto Barrios. Unos 150 km^2 fueron inundados en estos tres municipios con exposición directa de alrededor de 8,600 personas. El agua desbordada, que en algunos lugares alcanzó los 2.5 metros de altura, bloqueó calles y espacios comunitarios con lodo y piedras, contaminó pozos y destruyó sistemas comunitarios de agua, provocando un nivel de daño considerable en la infraestructura vial comunitaria y municipal (Bello & Peralta, [2021](#)). Ya planteada la relevancia de este río, se procede a caracterizarlo.

1. El río Motagua

El Motagua es uno de los ríos más importantes de Centroamérica, abarcando desde el extremo oeste de Guatemala y fluyendo hacia el este a lo largo de 48 kilómetros, recorriendo la frontera entre ambos países antes de desembocar en el golfo de Honduras en el mar Caribe.

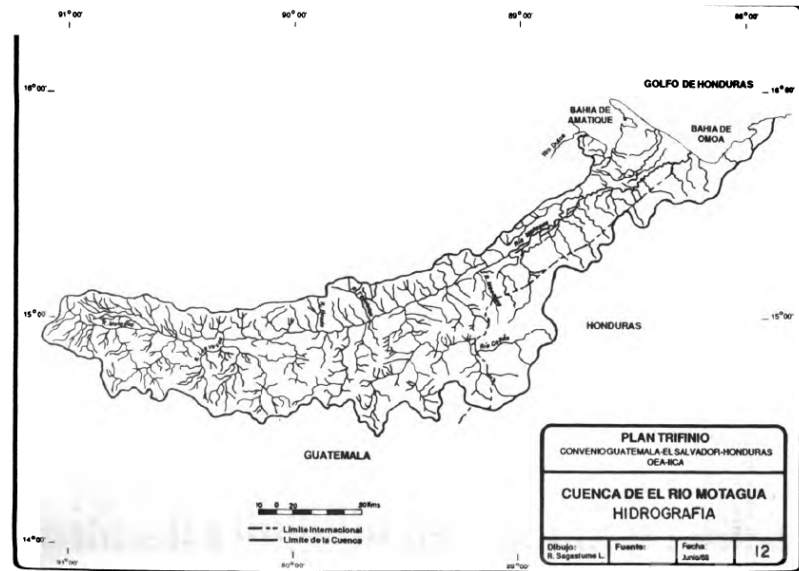


Figura 4. Hidrografía de la cuenca del río Motagua

(González Figueroa, 1988)

Durante los últimos años se han impulsado esfuerzos comunes entre ambos países para conservar y restaurar la cuenca, además de abordar problemas ambientales. Sin embargo, debido a su ubicación en una región propensa a desastres, como huracanes y tormentas tropicales, el río también está expuesto a inundaciones periódicas y deslizamientos de tierra (dentro de la misma cuenca) que pueden causar daños significativos (Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo, 2021).

2. Inundaciones en la cuenca del río Motagua

Es común que en época lluviosa en Guatemala muchos ríos se desborden, causando estragos en las comunidades establecidas en los alrededores de sus cuencas. Es tan común, que el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología publica boletines hidrológicos especiales sobre ríos, en los que reporta los niveles promedio del agua en la cuenca; incluso advirtiendo sobre niveles peligrosos o fuera del rango usual en época seca.

De igual manera, el INSIVUMEH publica boletines de niveles de ríos y caudales diariamente. A continuación se muestran dos ejemplos. El primero, es un boletín de nivel de río y caudal de fecha 24 de febrero del 2024. El segundo, es un boletín publicado en la página del instituto en agosto del 2023.

NIVELES DE RÍOS Y CAUDALES

BOLETÍN HIDROLÓGICO

VERTIENTE DEL MAR CARIBE
BOLETÍN No. 165 año 2024

Fecha: Sábado 24/02/2024
Hora: 20:00

Nombre de la Estación	Nombre del río	Ubicación	Niveles Normales (m)		Caudales Normales (m ³ /s)		Nivel Actual (m)	Caudal Instantáneo (m ³ /s)	Tendencia observada			Observaciones	No. BHE	Estado
			Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo			Disminuir	Mantenerse	Incrementar			
Camotán	Camotán	Jocotán, Chiquimula	0.79	1.81	6.18	64.47	0.24	0.39		x		Río Bajo		
Concuá II	Motagua	Granados, Baja Verapaz	0.01	1.36	7.26	132.50	-0.71	0.26		x		Río Bajo		
Guatán	Motagua	Guatán, Zacapa	0.80	2.70	34.26	558.97	1.90	244.30						
Modesto Méndez	Gracias a Dios	Livingston, Izabal	0.85	2.55	6.46	66.12	0.94	8.56		x				
San Pedro Cadenas	San Pedro	San Luis, Petén	0.48	2.90	8.42	207.02	0.50	9.39		x				
Vado Hondo	Shutaque	Chiquimula, Chiquimula	-0.39	0.13	0.33	11.19	-0.49	0.02		x		Río Bajo		

OBSERVACIONES GENERALES:

1. Los niveles están medidos en una escala de referencia instalada en uno de los márgenes de cada río en el sitio de la estación hidrométrica.
2. Las lecturas de los niveles de las escalas son de referencia y son independientes de la profundidad del río.
3. Se define el caudal mínimo como el caudal observado que no excede el 10% de ocurrencia durante su periodo de registro.
4. Se define el caudal máximo como el caudal observado que excede el 90% de ocurrencia durante su periodo de registro.

Preparado por: José Quexel

BHVC 165-2024



Ministerio de
Comunicaciones,
Infraestructura y
Vivienda

INSTITUTO NACIONAL DE SISMOLOGÍA, VULCANOLOGÍA, METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA



Figura 5. Boletín hidrológico de niveles de ríos y caudales no. 165-2024: vertiente del mar Caribe

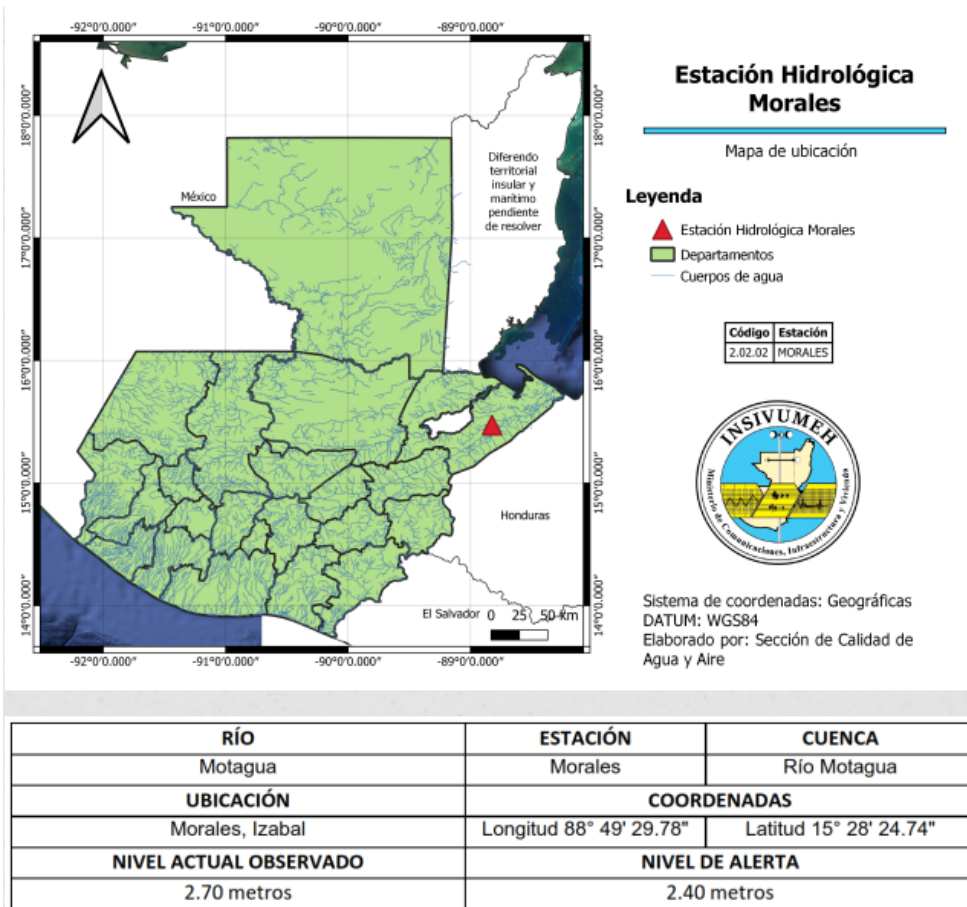


Figura 6. Boletín hidrológico especial no. 773-2023: río Motagua

(Esquit Chiquitá, 2023).

3. Deslizamientos de tierra en la cuenca del río Motagua

Los deslizamientos de tierra, (también conocidos como deslaves), son un fenómeno recurrente que se manifiesta en regiones montañosas o donde existen pendientes pronunciadas o laderas empinadas. La cuenca del río Motagua, al estar ubicada en las regiones montañosas de Guatemala y Honduras, es particularmente susceptible a estos eventos. Las lluvias intensas, especialmente durante la temporada de lluvias, desempeñan un papel fundamental en el desencadenamiento de deslizamientos de tierra en esta región. Esto se da cuando el suelo excede su límite de saturación, reduciendo su cohesión y debilitando su capacidad de retención (Ibáñez, 2008).

Otro factor que contribuye a la ocurrencia de deslizamientos en la cuenca del río es la actividad sísmica en la región. Los terremotos pueden alterar la estabilidad del suelo, debilitando las laderas y desencadenando deslizamientos. La erosión, causada en parte por la deforestación y la modificación del uso del suelo para actividades humanas, también es un factor significativo en la predisposición a deslizamientos de tierra. Cuando se remueve la vegetación natural que retiene el suelo y se implementan prácticas de uso de la tierra que aumentan la erosión, se debilita la capa superficial del terreno, lo que lo hace más propenso a deslizarse (Ibáñez, 2008).

4. Consecuencias

Las inundaciones, originadas por el rebalsamiento del río Motagua, y los derrumbes y deslaves en sus áreas circundantes representan amenazas significativas para la infraestructura y las comunidades a lo largo de su cuenca. Esta sección del estudio se enfocará específicamente en analizar las consecuencias principales de estos eventos, destacando su impacto en la infraestructura, las comunidades locales y las actividades económicas.

a. **Impacto a la infraestructura:** las consecuencias en la infraestructura derivadas de inundaciones por rebalsamiento y los derrumbes y deslizamientos de tierra son elementos cruciales que demandan una atención, pues estos eventos poseen el potencial de alterar significativamente la configuración física y funcional de la región. A continuación se explorará cómo estas situaciones impactan de manera directa la infraestructura crítica, enfatizando las dimensiones del desafío que enfrentan las estructuras clave de la cuenca (Cardona A., 2001).

- **Evaluación de vulnerabilidad de estructuras críticas:** las inundaciones, al alcanzar niveles críticos, ejercen una presión intensa sobre la estructura o sub-estructura (cimentación) de algún puente que lo atraviese. Esta presión constante podría llegar a socavar los cimientos de estos elementos estructurales, debilitando su integridad y eventualmente conduciendo a colapsos parciales o totales. La pérdida de estos puntos de cruce no solo afectaría directamente el transporte y la conectividad, sino que también crearía barreras significativas para el acceso a otras comunidades aledañas o servicios vitales. Por otro lado, los derrumbes y deslizamientos del suelo alrededor de la cuenca pueden llegar a afectar directamente a comunidades o pobladores que hayan construido y/o habiten en esos pedazos de terreno (Cardona A., 2001).

b. **Impacto a la población:** las consecuencias en las comunidades derivadas de inundaciones y deslizamientos de tierra representan una narrativa compleja, con muchos aspectos a tomar en cuenta. Estos eventos naturales, más allá de sus efectos inmediatos en la infraestructura, impactan la vida cotidiana de quienes habitan en las proximidades del río y sus afluentes.

- **La vida humana:** principalmente debe tomarse en cuenta que estos eventos representan una amenaza directa para la seguridad física (e incluso para la vida) de todas las personas que se encuentren en las proximidades de la cuenca del río al momento de la ocurrencia del evento (Cardona A., 2001).
- **Desarrollo humano no planificado en zonas inundables:** muy ligado a la vulnerabilidad de la vida humana, al ser una de las principales causas de amenaza, está el desarrollo de comunidades no planificadas (también conocidas como asentamientos) en sectores con suelos no recomendados para la construcción de viviendas (Cardona A., 2001).

c. **Impacto a las actividades económicas:** el impacto de los desastres en las actividades económicas es profundo y multifacético. Las inundaciones y deslizamientos no solo destruyen viviendas y tierras agrícolas, sino que también interrumpen las cadenas de suministro y las actividades comerciales, afectando gravemente la economía local y regional. La pérdida de cultivos puede desencadenar una crisis alimentaria, elevando los precios de los alimentos y poniendo en riesgo la seguridad alimentaria de las comunidades afectadas. Además, la destrucción de infraestructura básica como carreteras, puentes y sistemas de comunicación complica las labores de socorro y recuperación, aumentando los costos asociados con la reconstrucción y el restablecimiento de la actividad económica (Cardona A., 2001).

La pérdida de activos productivos, como equipos agrícolas y pequeñas empresas, representa una barrera significativa para la recuperación económica. En muchos casos, los desastres provocan la migración de poblaciones hacia áreas urbanas en busca de oportunidades, lo que a su vez genera presiones adicionales sobre los servicios públicos y la infraestructura urbana. Esto crea un ciclo de vulnerabilidad y pobreza que es difícil de romper sin una intervención adecuada y sostenida.

La dependencia de la agricultura como principal fuente de ingresos en muchas comunidades rurales de Guatemala exacerba el impacto económico de los desastres. La falta de acceso a seguros o a mecanismos de apoyo financiero para los afectados agrava aún más la situación, dejando a muchas familias en una situación precaria y prolongando la recuperación económica. Por lo tanto, es crucial que se desarrollen estrategias de gestión de riesgos que no solo mitiguen los efectos inmediatos de los desastres, sino que también fortalezcan la resiliencia económica a largo plazo (Banco Interamericano de Desarrollo, 2017).

En conjunto, estas consecuencias materializan la intersección crítica entre el entorno natural y las dinámicas económicas y sociales de las comunidades, destacando la urgencia por el desarrollo de estrategias integrales de gestión de desastres y planes de desarrollo resilientes, que aborden tanto los impactos inmediatos como las secuelas a largo plazo en la región analizada.

5. Listado de desastres en Guatemala

Guatemala ha experimentado una serie de desastres a lo largo de su historia, que han tenido un impacto significativo en la población, la economía y la infraestructura del país. Algunos de los eventos más devastadores incluyen:

a. **Terremotos:** al ubicarse en una zona sísmica, Guatemala ha sufrido varios terremotos importantes, como el terremoto de 1976. Con una magnitud de 7.5, causó la muerte de aproximadamente 23,000 personas y dejó a más de un millón más sin hogar. Más recientemente, Guatemala también ha experimentado sismos significativos, como el terremoto de 2017 con una magnitud de

6.9 que afectó el occidente del país, dañando viviendas, infraestructuras y dejando decenas de heridos (Los Angeles Times, 2017).

b. **Erupciones volcánicas:** con más de 30 volcanes activos, Guatemala enfrenta erupciones frecuentes. La erupción del Volcán de Fuego en 2018 es uno de los ejemplos más recientes y mortales, resultando en cientos de muertes y desplazamientos masivos, además de la destrucción de muchas comunidades aledañas. Además de la erupción, las secuelas de una erupción volcánica (como los flujos de ceniza o laharicos) pueden seguir causando daños a la infraestructura (Banco Mundial, CEPAL y PNUD, 2018).

c. **Inundaciones y deslizamientos de tierra por tormentas tropicales:** las temporadas de lluvias intensas y los huracanes, como lo fue el Huracán Stan en 2005, provocan graves inundaciones y deslizamientos de tierra, causando pérdidas humanas y devastación considerable de infraestructura y cultivos (Comisión Económica para América Latina y el Caribe, 2005).

En 2015, un deslizamiento en El Cambray II, en el municipio de Santa Catarina Pinula, soterró un barrio entero, dejando más de 280 muertos (Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres, 2015). Este desastre fue causado por las lluvias intensas y la inestabilidad del terreno, mostrando la fragilidad de las comunidades que se desarrollan en zonas de riesgo.

Igualmente, en el 2020, las tormentas Eta e Iota golpearon duramente a Guatemala, causando graves inundaciones y deslizamientos. Las lluvias torrenciales asociadas a estos huracanes desplazaron a decenas de miles de personas, dañaron la infraestructura vial y agrícola, y causaron pérdidas humanas. Estos eventos resaltaron la vulnerabilidad del país ante fenómenos meteorológicos extremos (Bello y Peralta, 2021).

d. **Sequías:** en los últimos años, Guatemala ha enfrentado sequías severas en el Corredor Seco, una región que abarca varias zonas del oriente y sur del país. La sequía prolongada, agravada por el cambio climático, ha afectado a miles de familias que dependen de la agricultura de subsistencia, reduciendo las cosechas y aumentando la inseguridad alimentaria (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Ambiente, 2021).

Estos eventos destacan la importancia de una gestión efectiva de riesgos para mitigar el impacto de futuros desastres.

M. Vulnerabilidad regional

La vulnerabilidad regional en Guatemala está influenciada por una combinación de factores. El país se encuentra en una región sísmicamente activa y propensa a fenómenos climáticos extremos. Además, muchas comunidades están ubicadas en zonas de alto riesgo, como laderas de volcanes y áreas propensas a inundaciones, lo que aumenta su exposición a desastres. La infraestructura deficiente agrava esta situación, ya que muchas construcciones no están diseñadas para soportar estos eventos. La pobreza generalizada limita la capacidad de recuperación y adaptación de las comunidades afectadas, y la falta de planificación urbana adecuada expone aún más a las comunidades a estos riesgos (Oficina de las Naciones Unidas para reducción del Riesgo de Desastres, 2015).

Diversos factores contribuyen a la vulnerabilidad en Guatemala. La falta de acceso a servicios básicos como agua potable y saneamiento incrementa la susceptibilidad a enfermedades y debilita

la resiliencia comunitaria. La deficiencia en la infraestructura de vivienda hace que muchas casas no puedan soportar desastres, aumentando el riesgo de colapso y daños. La falta de educación y conciencia pública sobre gestión de riesgos limita la capacidad de respuesta efectiva ante desastres. Además, la planificación urbana deficiente, con la ausencia de políticas sostenibles, expone a las comunidades a mayores riesgos, especialmente en zonas propensas a deslizamientos y inundaciones (Oficina de las Naciones Unidas para reducción del Riesgo de Desastres, 2015).

1. Factores que influyen en la vulnerabilidad

Los factores que influyen en la vulnerabilidad en Guatemala son variados y complejos. Entre ellos se encuentran:

a. **Condiciones geográficas y climáticas:** Guatemala está situada en una región propensa a terremotos, erupciones volcánicas, huracanes y lluvias intensas, lo que naturalmente incrementa la vulnerabilidad del país.

b. **Infraestructura y planificación urbana deficientes:** muchas construcciones no están diseñadas para resistir desastres, y la falta de planificación adecuada agrava el riesgo en áreas propensas a deslizamientos e inundaciones.

c. **Pobreza y desigualdad socioeconómica:** la pobreza de las comunidades limita el acceso a recursos que podrían mitigar el impacto de desastres, como seguros, mejoras en la vivienda y planes de evacuación efectivos.

d. **Falta de acceso a servicios básicos:** muy ligado a lo anterior, la ausencia de agua potable, saneamiento y servicios de salud (ya sea por falta de recursos o de infraestructura adecuada) incrementa la susceptibilidad a enfermedades y complica la recuperación después de un desastre.

e. **Educación limitada:** la falta de educación sobre gestión de riesgos limita la capacidad de respuesta efectiva ante desastres, aumentando la vulnerabilidad de las comunidades.

(Aguirre, 2004)

N. Comparación entre regiones

La comparación entre diferentes regiones dentro de Guatemala en términos de vulnerabilidad muestra disparidades significativas debido a factores socioeconómicos y geográficos. Igualmente, la capacidad de respuesta y recuperación varía entre regiones, con algunas áreas mejor preparadas y equipadas que otras. Estas comparaciones permiten identificar áreas prioritarias para la implementación de medidas de reducción de riesgos y fortalecimiento de la resiliencia (Aguirre, 2004).

Por ejemplo, regiones con altos índices de pobreza, como el Altiplano occidental, tienden a ser más vulnerables debido a la combinación de falta de infraestructura adecuada, condiciones geográficas adversas y acceso limitado a recursos de recuperación. Por otro lado, áreas como la región central, aunque más desarrolladas, enfrentan una alta exposición a terremotos debido a su ubicación en la falla de Motagua. La costa caribeña, por su parte, está particularmente expuesta a huracanes y tormentas tropicales, lo que agrava la situación en comunidades costeras vulnerables (Suárez, 1998).

Estas comparaciones permiten identificar las áreas prioritarias para la implementación de medidas de reducción de riesgos. Regiones más vulnerables requieren una atención especial en la planificación de estrategias de mitigación y fortalecimiento de la resiliencia. Además, el intercambio de experiencias y conocimientos entre regiones más preparadas y aquellas que enfrentan mayores desafíos puede ser una estrategia efectiva para mejorar la gestión del riesgo a nivel nacional.

Ñ. Implementación de soluciones en Guatemala

La implementación de soluciones para mitigar la vulnerabilidad a desastres en Guatemala es un desafío complejo que requiere un enfoque multidimensional. En los últimos años, el país ha avanzado en la adopción de medidas de gestión de riesgos, aunque persisten importantes desafíos.

Uno de los enfoques clave ha sido la integración de sistemas de alerta temprana, especialmente en áreas propensas a deslizamientos e inundaciones. Esto funciona con el apoyo de las estaciones de observación meteorológica de la Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres (CONRED). Estos sistemas buscan permitir una mejor preparación y respuesta ante eventos naturales (UNESCO San José para Centroamérica y México, 2012). Sin embargo, la cobertura y efectividad de estos sistemas aún varían significativamente entre regiones.

Finalmente, la cooperación internacional y la asistencia técnica han sido fundamentales para avanzar en la implementación de soluciones. Organismos internacionales han colaborado en la construcción de capacidades locales para la gestión de riesgos y la resiliencia, pero es necesario un enfoque más sostenible y adaptado a las necesidades locales para asegurar que las soluciones implementadas sean efectivas a largo plazo.

1. La Política Nacional para la Reducción del Riesgo de Desastres (PNRRD) 2024-2034

La PNRRD 2024-2034 es un documento estratégico y participativo desarrollado por la Secretaría Ejecutiva de la CONRED ¹. Esta es una política integral y participativa que busca reducir el riesgo de desastres en Guatemala a través de cuatro ejes estratégicos, lineamientos y resultados específicos, con el liderazgo del gobierno y la participación de diversos actores. Su implementación contribuirá a construir un país más resiliente y seguro para la población.

El proceso de elaboración se basó en la Constitución Política de la República, la metodología del marco lógico, el enfoque de gestión por resultados y la Guía para la formulación de políticas públicas de la Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia (SEGEPLAN) (Consejo Nacional para la Reducción de Desastres, 2023).

Su objetivo central es reducir el nivel de riesgo de desastres en Guatemala. Para lograrlo, se establecieron cuatro ejes estratégicos de Gestión de la información del riesgo de desastres, Gobernanza del riesgo de desastres, Inversión en reducción de vulnerabilidades con enfoque de Gestión Integral del Riesgo de Desastres (GIRRD) y Preparación, respuesta y recuperación oportuna para la población.

¹ Sitio Web oficial de CONRED: <https://conred.gob.gt/>

La política identifica 22 lineamientos estratégicos y 29 intervenciones, con mecanismos de seguimiento y evaluación, a ser implementados por 23 instituciones. Estos esfuerzos buscan alcanzar resultados intermedios y finales en cada eje para disminuir las pérdidas humanas y materiales causadas por desastres (Consejo Nacional para la Reducción de Desastres, 2023).

2. El modelo INFORM en la evaluación de riesgos de inundaciones y deslizamientos

El Index for Risk Management (INFORM)² es una herramienta muy utilizada para evaluar la vulnerabilidad y el riesgo en contextos de desastres, como inundaciones y deslizamientos de tierra, factores centrales en el análisis de la cuenca del río Motagua. Este modelo integra variables relacionadas con la exposición a peligros naturales, la vulnerabilidad de las comunidades, y la capacidad de respuesta, permitiendo una evaluación integral del riesgo. En el caso de las inundaciones, el INFORM toma en cuenta tanto la intensidad y frecuencia del peligro como la susceptibilidad física y socioeconómica de las poblaciones expuestas. Del mismo modo, los deslizamientos de tierra, que suelen ocurrir en áreas montañosas con fuertes pendientes y suelos erosionados, son capturados por el modelo a través de indicadores de fragilidad ambiental y estructura del terreno (UNICEF, PNUD, PMA, OCHA y CONRED, 2018).

En Guatemala, el INFORM ha sido adaptado para analizar los riesgos de desastres a nivel nacional, especialmente en regiones vulnerables como la cuenca del río Motagua, donde las condiciones geográficas y socioeconómicas aumentan la exposición a inundaciones y deslizamientos. Su aplicación permite a las autoridades priorizar intervenciones en áreas críticas y mejorar la planificación de estrategias de reducción de riesgo durante la redacción o modificación de los planes de ordenamiento territorial de cada municipio. Al ofrecer un índice cuantitativo que evalúa la exposición a peligros y la capacidad de respuesta, este modelo facilita la identificación de brechas en infraestructura y en preparación ante emergencias, proporcionando una base sólida para la toma de decisiones en la gestión del riesgo de desastres.

En la Figura 7 se presenta un mapa que ilustra los resultados del índice INFORM a nivel nacional para el año 2021, destacando las áreas de mayor vulnerabilidad y exposición a desastres naturales en Guatemala. Este mapa resalta las zonas donde el riesgo es más elevado, permitiendo una comparación visual entre las diferentes regiones del país.

Las áreas de mayor riesgo, señaladas en tonos más intensos, corresponden a aquellas con alta exposición a fenómenos como inundaciones y deslizamientos, sumadas a limitaciones en su capacidad de respuesta.

²Los datos del modelo INFORM para Guatemala están disponibles en una plataforma de acceso público. Para consultar la información detallada sobre el índice de riesgo, visita <https://sara.humanitarianresponse.info/inform-guatemala>.

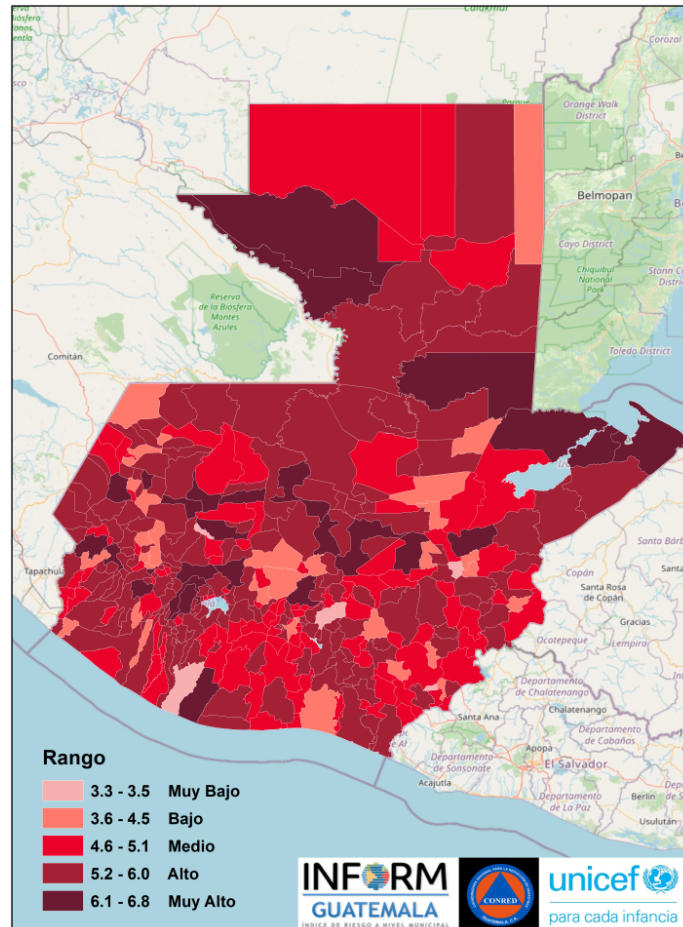


Figura 7. INFORM subnational model of Guatemala

(Disaster Risk Management Model Center, 2021)

A partir del análisis visual del mapa de índices INFORM 2021, se observa que los municipios con los colores más oscuros, correspondientes a los rangos de "Alto" (5.2 - 6.0) y "Muy Alto" (6.1 - 6.8) en cuanto a riesgo de desastres, se concentran principalmente en los departamentos de Alta Verapaz, Chiquimula, Zacapa, Jalapa y Jutiapa. Estas áreas, caracterizadas por su topografía accidentada, alta densidad poblacional y condiciones socioeconómicas vulnerables, son las más propensas a enfrentar desastres como inundaciones y deslizamientos de tierra. Adicionalmente, algunos municipios en el sur de Quiché, así como en la región del altiplano occidental, también presentan índices de riesgo elevados, lo que subraya la importancia de priorizar intervenciones de gestión del riesgo en estas zonas críticas.

3. Programas de seguro contra desastres

El Gobierno de Guatemala recibió un desembolso de US\$6,376,184 (aproximadamente Q49,483,715.00) gracias a una póliza de seguro paramétrico por exceso de lluvia suscrita con The Caribbean Catastrophe Risk Insurance Facility Segregated Company (CCRIF SPC), respaldado por el Banco Mundial. La póliza se activó debido a las fuertes lluvias causadas por la tormenta tropical

Alberto del 13 al 19 de junio de 2024, que afectaron varias comunidades e infraestructura pública del país (Ministerio de Finanzas Públicas, 2024).

Los seguros paramétricos ofrecen una cobertura rápida ante riesgos catastróficos, calculando el pago en función de la intensidad del evento. Este modelo permite que los fondos se desembolsen sin depender de avalúos de daños, facilitando una respuesta ágil a los desastres. En este caso, los recursos fueron transferidos al Fondo Común Cuenta Única Nacional del Banco de Guatemala y distribuidos a las instituciones identificadas por la CONRED de la siguiente manera:

Institución	Cantidad (Q)
Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación	12,000,000.00
Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social	12,000,000.00
Ministerio de la Defensa Nacional	12,000,000.00
Secretaría Ejecutiva de CONRED	13,483,714.93
Total	49,483,714.93

Cuadro 2
Distribución de recursos del seguro paramétrico

(Adaptación de Ministerio de Finanzas Públicas, 2024)

El 1 de junio de 2024, el Ministerio de Finanzas renovó la póliza para el período 2024-2025, con un aumento del 10 % en la cobertura, lo que asegura que Guatemala continúe protegida frente a eventos de lluvias extremas hasta el 31 de mayo de 2025. Esta estrategia es fundamental para fortalecer la capacidad de respuesta y recuperación del país frente a los efectos del cambio climático.

Este financiamiento está destinado a apoyar la recuperación temprana y reducir el impacto económico inmediato de los desastres. El uso de seguros paramétricos es clave para mejorar la resiliencia del país, al proporcionar recursos que pueden implementarse rápidamente en las áreas afectadas por desastres (Ministerio de Finanzas Públicas, 2024).

VI. METODOLOGÍA

Los deslizamientos de tierra e inundaciones representan una amenaza constante para las comunidades y ecosistemas a lo largo de todo el territorio nacional. La cuenca del río Motagua, en particular, ha experimentado eventos devastadores asociados a estos fenómenos. Con el fin de comprender y mitigar de manera más eficiente estos riesgos, la aplicación de SIG para el análisis de patrones relacionados con la topografía se vuelve crucial, por lo que es necesario detallar cómo se ejecutó este análisis.

La primera fase de la investigación se centró en la recopilación de los datos geoespaciales necesarios para llevar a cabo un análisis completo de vulnerabilidad ante deslizamientos e inundaciones en la zona designada. Esta etapa fue fundamental para garantizar la precisión y relevancia de los resultados, para lo cual se identificaron diversas fuentes de datos geoespaciales.

En un principio, se recopiló toda la información relevante para la generación de mapas temáticos que permitieran un análisis detallado de todas las zonas por las que pasa la cuenca principal del río Motagua. Esto incluyó registros de eventos de deslizamientos e inundaciones proporcionados por el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH). Este organismo gubernamental proporcionó información de gran importancia para comprender los patrones históricos de estos eventos y su relación con las características geográficas de la región.

De igual manera, el Instituto Geográfico Nacional (IGN)³ se convirtió en otra fuente de datos indispensable al ofrecer mapas topográficos y cartografía actualizada de la región. Estos recursos cartográficos fueron esenciales para comprender la topografía y la geomorfología de la cuenca del río Motagua, lo que contribuyó a evaluar la vulnerabilidad a desastres en cada uno de sus sectores.

La infraestructura de datos espaciales de Guatemala (IDEG)⁴ facilitada por SEGEPLAN, también permitió el acceso a muchas capas de información geográfica relevantes para el presente estudio. Entre ellas se consideraron las capas de capacidad de uso del suelo, la ubicación de zonas pobladas y la localización de infraestructura vulnerable a inundaciones o deslizamientos de tierra a nivel nacional.

Por otro lado, el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) proporcionó datos sobre la gestión de recursos naturales y regulaciones ambientales. Esta información permitió evaluar cómo las políticas ambientales y la gestión de recursos podrían influir en la vulnerabilidad de la región o de una comunidad cercana al cauce principal.

Además, se utilizaron las bibliotecas y repositorios de otras instituciones educativas del país para buscar tesis anteriores, documentos técnicos, capas de datos geolocalizados y literatura relevante que pudiera ser de utilidad. Organizaciones internacionales como la ONU, la OEA y el Banco Mundial también proporcionaron informes sobre desastres y proyectos de mitigación de riesgos en Guatemala. Estos representaron una buena fuente de información para contextualizar la vulnerabilidad de la cuenca del río Motagua en un contexto global y regional.

³Sitio Web de la página de Cartografía y Datos Geográficos del IGN: <https://www.ign.es/web/cbg-area-cartografia>

⁴Sitio Web del Geoportal de la IDEG: <https://ideg.segeplan.gob.gt/geoportal/>

Para una gestión efectiva de la información, todos los datos recopilados se integraron en una base de datos geoespaciales. Esta base sirvió como el fundamento de la investigación y permitió un acceso más eficiente a los datos necesarios para las etapas posteriores. La integración de datos en un SIG facilitó una gestión más efectiva y ordenada, además de una mejor visualización espacial de la información recopilada. Esto permitió la creación de mapas temáticos con capas de superposición de variables críticas como inundaciones, infraestructura vial vulnerable y deslizamientos. Para la creación de los mismos se utilizó el programa Quantum GIS.

El análisis incluyó la utilización del modelo INFORM Guatemala, que sirvió como base para verificar y confirmar la representación de la vulnerabilidad en los mapas temáticos generados. Esto permitió evaluar de forma integral la exposición al riesgo de desastres, la capacidad de respuesta de las comunidades y las áreas con mayor prioridad para la intervención.

Además, se analizaron los planes de desarrollo municipal y de ordenamiento territorial (PDM-OT) para cada municipio de la cuenca del río Motagua. Estos documentos permitieron identificar amenazas específicas o aspectos de mejora que ya habían sido reconocidos previamente, de acuerdo con las características y necesidades particulares de cada municipio. Este enfoque ayudó a contrastar la información obtenida con los análisis locales existentes y reforzó la relevancia de las recomendaciones propuestas.

Con base en la información recopilada y el análisis realizado, se identificaron las áreas de la cuenca del río Motagua que presentan un riesgo más alto de sufrir desastres asociados a deslizamientos e inundaciones. Estas áreas fueron clasificadas en función de su vulnerabilidad y riesgo. Con esta clasificación, se generaron mapas temáticos que muestran las zonas más vulnerables y expuestas a desastres en la cuenca del río Motagua, y en base a esto se desarrollaron recomendaciones para reducir la vulnerabilidad ante estos riesgos en las comunidades peligrosamente cercanas al cauce principal.

En última instancia, esta investigación busca contribuir a la gestión eficiente de desastres y a la reducción de su impacto en la cuenca del río Motagua. El mejoramiento y la constante actualización de los planes de mitigación es fundamental para reducir la vulnerabilidad de las comunidades y la región en su conjunto.

El seguimiento de resultados se centraría en la continuación de la recopilación de datos, convirtiendo esta fase en un ciclo continuo de mejora que garantice la resiliencia a largo plazo del sector específico estudiado frente a desastres.

Finalmente, la aplicación de las recomendaciones de mitigación propuestas en la investigación puede desempeñar un papel crucial en la protección de vidas y propiedades en una región propensa a eventos naturales adversos. La integración de SIG en este proceso demostró cómo la tecnología y la investigación pueden unirse para abordar problemas urgentes y contribuir al bienestar de las comunidades y los ecosistemas en riesgo.

VII. ANÁLISIS DE RESULTADOS

A. Descripción geográfica de la zona analizada

El río Motagua, uno de los más importantes de Guatemala, se extiende a lo largo de aproximadamente 486 kilómetros desde su nacimiento en las montañas de Quiché, hasta su desembocadura en el mar Caribe. Su cuenca, que abarca alrededor de 12,670 km², atraviesa varias regiones del país, incluyendo áreas montañosas y valles, conformando una zona diversa tanto geográfica como socioeconómicamente.

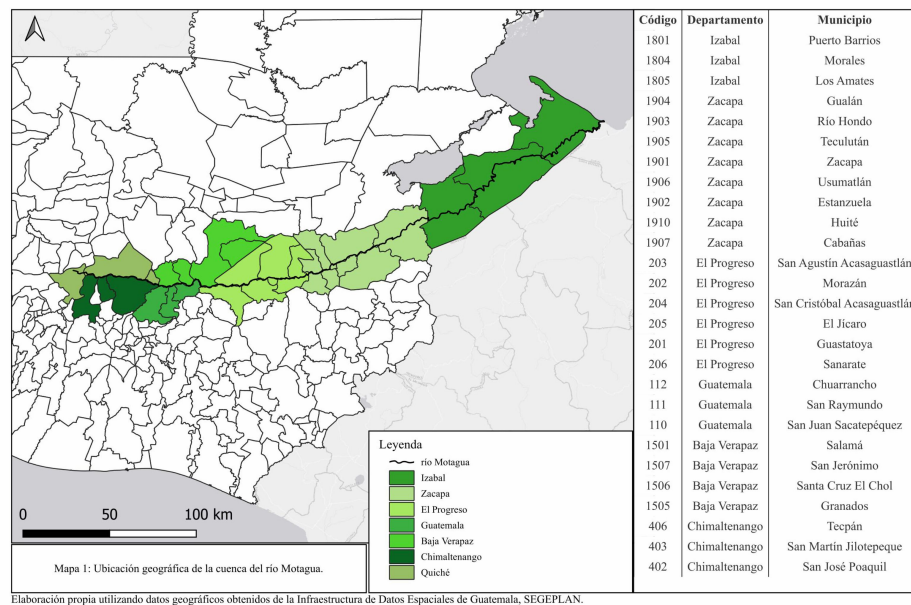


Figura 8. Mapa 1: ubicación geográfica de la cuenca del río Motagua
(Ver Anexo 2: Mapa 1)

B. Descripción topográfica general de la zona analizada

La topografía juega un papel crucial en el análisis de zonas vulnerables, ya que influye directamente en los patrones de escorrentía, la erosión del suelo y la susceptibilidad a inundaciones de zonas más específicas. Las características del relieve, así como pendientes, valles y altitudes presentes, determinan cómo el agua se mueve a través del paisaje y cómo interactúa con las comunidades asentadas en esas áreas. Comprender la topografía permite la identificación de las zonas más propensas a desbordamientos y deslizamientos de tierra, así como la planificación de estrategias adecuadas de mitigación de riesgos. En este contexto, un análisis detallado de la topografía es un paso importante para poder identificar soluciones efectivas que protejan a las comunidades vulnerables y promuevan una gestión sostenible del territorio.

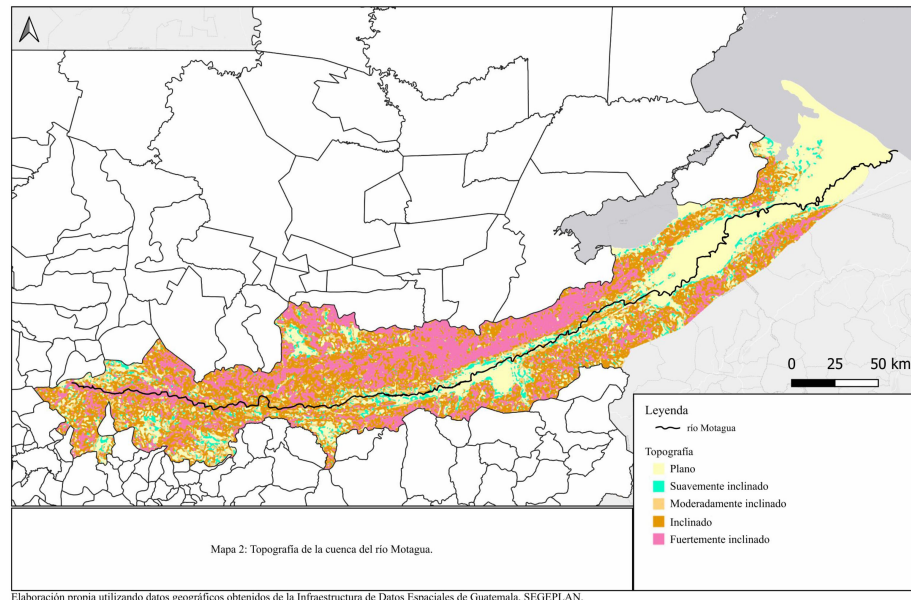


Figura 9. Mapa 2: topografía de la cuenca del río Motagua
(Ver Anexo 2: [Mapa 2](#))

Entonces, como puede observarse en la Figura 9 la región sobre la que se ubica la cuenca tiende a ser plana o a tener inclinaciones medias o fuertes; dos tipos de elevación que facilitan de una manera u otra fenómenos de rebalse e inundación en época lluviosa. Por ejemplo, la porción del cauce que pasa por Izabal se encuentra en una zona de relieve predominantemente plano, facilitando la acumulación de agua, y por ende, el desbordamiento del río al no existir elevaciones que contengan o desvíen el flujo. También es posible notar que, en la región de Zacapa, el cauce está ubicado en una zona plana rodeada de inclinaciones medias y fuertes. Este tipo de topografía podría representar un valle rodeado de montañas que canalizan el agua hacia el río durante la temporada de lluvias, lo que probablemente genera una rápida acumulación de agua y aumenta la posibilidad de crecidas súbitas.

Por otro lado, la sección del cauce que pasa por el límite divisorio entre Chimaltenango y Quiché puede identificarse como ubicada en una zona de relieve accidentado, con cercanía a afluentes que desembocan en el cauce. Esto no solamente incrementa el riesgo de inundaciones, sino también la acumulación de agua en las partes bajas del territorio y la rápida concentración de flujo durante tormentas, causando crecidas.

C. Capacidad y uso de suelo

El estudio de clasificación de la capacidad de uso del suelo a lo largo de la cuenca del río Motagua (realizado por el Dirección de Información Geográfica, Estratégica y Gestión de Riesgos, 2021) se llevó a cabo utilizando la metodología del Departamento de Agricultura de EE. UU. — USDA, por sus siglas en inglés — clasifica los suelos en tipos del I al VIII en función de sus características y aptitud para diferentes usos agrícolas. Esta metodología evalúa la susceptibilidad de los suelos a inundaciones y determina la gestión adecuada del uso del suelo en función de su capacidad de drenaje y retención de agua. La tabla a continuación plantea las características de cada tipo de suelo según la metodología USDA.

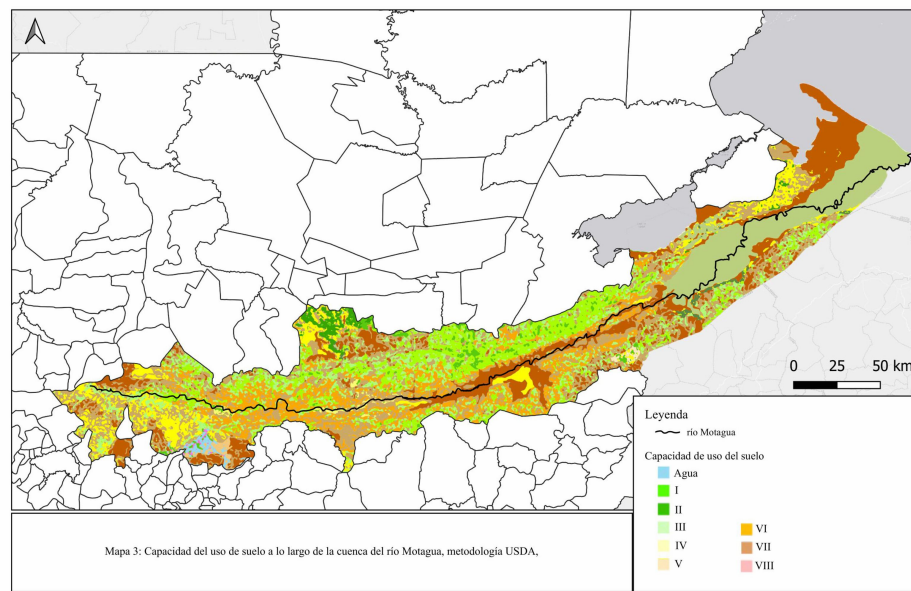


Figura 10. Mapa 3: capacidad de uso de suelo a lo largo de la cuenca del río Motagua, metodología USDA (Ver Anexo 2: [Mapa 3](#))

Clase	Características y uso
I	Suelos de alta capacidad: suelos con condiciones ideales para la agricultura. Excelente estructura, buen drenaje, pH adecuado y alta fertilidad. No presentan limitaciones significativas. Uso: adecuado para cultivos intensivos y una variedad de prácticas agrícolas.
II	Suelos de buena capacidad: suelos aptos para la agricultura con algunas limitaciones menores, como ligeras pendientes o problemas de drenaje. Requieren prácticas de manejo adicionales para mantener la productividad. Uso: apta para la mayoría de los cultivos, aunque puede necesitar manejo adicional para optimizar la producción.
III	Suelos de capacidad moderada: suelos con limitaciones significativas que pueden afectar la producción agrícola. Estas limitaciones pueden incluir pendientes pronunciadas, problemas de drenaje o textura que dificulta el cultivo. Uso: puede ser utilizado para cultivos con manejo especializado, aunque es menos adecuado para cultivos intensivos.
IV	Suelos de baja capacidad: suelos con limitaciones severas que hacen difícil o costoso su uso para la agricultura. Limitaciones pueden incluir alta erosión, baja fertilidad natural o problemas de salinidad. Uso: generalmente se limita a cultivos especializados o se utiliza para pastizales, bosques o conservación.
V	Suelos no aptos para agricultura: suelos con limitaciones graves como inundaciones frecuentes, alta salinidad o condiciones extremas. No es adecuado para cultivos agrícolas. Uso: se recomienda el uso para pastizales, bosques o conservación.
VI	Suelos de capacidad muy baja: suelos con condiciones muy severas que hacen que el uso agrícola sea prácticamente inviable. Limitaciones incluyen pendientes extremas, terreno rocoso o baja capacidad de carga. Uso: principalmente para conservación de ecosistemas naturales, ya que el uso agrícola es muy limitado.
VII	Suelos de capacidad extrema: suelos con limitaciones extremas que imposibilitan cualquier tipo de uso agrícola. Suelos pueden ser muy erosionables, con alta salinidad o condiciones que requieren grandes esfuerzos para su uso. Uso: exclusivamente para conservación y preservación de hábitats naturales.
VIII	Suelos de capacidad muy alta: suelos que no son aptos para ningún uso agrícola debido a condiciones extremadamente adversas, como alta erodibilidad, terrenos con grandes pendientes o muy salinos. Uso: utilizados para la preservación y protección del medio ambiente, con ninguna posibilidad de cultivo.

Cuadro 3

Clasificación de la capacidad de uso del suelo en agricultura

(Tabla adaptada del Departamento de Agricultura de EE. UU., 1961)

Inicialmente, en el Cuadro 3 es posible observar en el que la sección del río Motagua que atraviesa Izabal se encuentra ubicada en una zona del suelo con capacidad de uso Tipo III, lo que de acuerdo a su categoría permite realizar una producción agrícola no destinada a cultivos intensivos. El Concejo Municipal de Desarrollo del Municipio de Puerto Barrios, 2018, menciona en el último PDM-OT que, dada la periodicidad de las inundaciones, toda actividad de las comunidades establecidas cerca de la cuenca está limitada por las crecidas o bajadas de caudal en el río; pero que contiene sedimento rico en nutrientes que le permite obtener una cosecha cada dos semestres (de enero a mayo), y que según el MAGA aumenta el rendimiento de la plantación de cultivo primario, como el maíz por ejemplo. El PDM-OT de Morales también menciona que las riveras del río son bien aprovechadas por los productores de banano, debido a la fertilidad y excelentes condiciones que posee la tierra (Concejo Municipal de Morales, Izabal, 2018).

Ya llegando a Zacapa, se puede observar un cambio predominante en la capacidad de uso del suelo a Tipo VII. Esto implica que estas zonas no son viables para actividades agrícolas. Sin embargo, la gran demanda de tierras causada por un aumento en la población asentada en el área rural del municipio implica la ocupación de tierras para usos agropecuarios, la reducción de áreas boscosas y el incremento de áreas destinadas para los asentamientos humanos. También se registra el avance considerable de la frontera agrícola por incremento de fincas ganaderas, lo que ocasiona que los recursos naturales se vayan degradando por cambio de uso de la tierra (Concejo Municipal de Gualán, Zacapa, 2018).

A lo largo de la rivera del río Motagua en la región de El Progreso también se encuentran tipos de suelo con poco potencial de uso agrícola (Tipos IV y VII), además de pequeñas regiones con tipo de suelo III aprovechables en la zona del Valle del Motagua para la plantación de limón criollo, mango tomy, melón y papaya (Concejo Municipal de Desarrollo del municipio de San Cristóbal Acasaguastlán, El Progreso, 2018).

El resto de los departamentos de la cuenca cuentan con una capacidad del suelo de Tipo I y III. En Baja Verapaz se acostumbra la producción intensiva de hortalizas (tomate, chile pimiento, güisquil, etc). Los productores que han migrado a las regiones más boscosas han alterado la frontera de uso de suelo para la expansión del área productiva de la tierra, lo que afecta directamente la conservación del bosque (Concejo Municipal de Salamá, Baja Verapaz, 2018). En Chimaltenango, las zonas colindantes tienden a ser zonas boscosas mixtas (Concejo Municipal de Desarrollo del Municipio de Tecpán Guatemala, Chimaltenango, Guatemala, 2019).

D. Análisis de vulnerabilidad a inundaciones basado en la distancia respecto al cauce principal del río Motagua

En Guatemala, la Norma de Seguridad Estructural de Edificaciones y Obras de Infraestructura para la República de Guatemala 4-10 (NSE 4-10), en la sección 2.1.2 proporciona recomendaciones para la ubicación de edificaciones en áreas expuestas a riesgos. Esta norma establece los lineamientos para la identificación y delimitación de zonas de riesgo, específicamente aquellas afectadas por inundaciones y desbordamientos de ríos.

En la subsección 2.1.2.1 se menciona que previo a la construcción en áreas cercanas a cuerpos de agua (como ríos), se deben identificar las zonas inundables con base en estudios y análisis hidrológicos y topográficos. Estas zonas se definen en función de la recurrencia de eventos de inundación (por ejemplo, períodos de retorno de 10, 50 o 100 años) y la capacidad de los cauces para manejar el flujo de agua durante la temporada de lluvias intensas. En el contexto del río Motagua, esto implicaría que las áreas dentro de los 100 metros del cauce son consideradas de alta exposición y requieren medidas estrictas de mitigación.

Aunque la norma no sugiere distancias mínimas de construcción a partir del cauce principal de los ríos, en general se recomienda evitar construcciones dentro de los 100 metros del río para zonas de alto riesgo de inundación, debido a la alta probabilidad de desbordamientos y daño a la infraestructura, especialmente si no existen diques o barreras naturales que contengan el flujo del agua.

A medida que las construcciones se sitúan a distancias mayores del cauce, la vulnerabilidad tiende a disminuir. Comunidades ubicadas entre 100 y 500 metros, por ejemplo, todavía pueden estar en riesgo, pero este riesgo se reduce considerablemente, especialmente si la topografía es favorable y existen barreras naturales o artificiales. Podría justificarse la construcción condicionada por, por ejemplo, la implementación de obras de mitigación (bordas, canales de desviación, etc.) o una evaluación más precisa de los riesgos por inundación. Esto podría sugerirse al asumir que cualquier intento de construcción de comunidad en este rango de distancia está siendo propiamente planificado, o forma parte de algún plan de ordenamiento territorial desarrollado.

Más allá de los 500 metros la probabilidad de inundación disminuye sustancialmente, a menos que existan casos específicos con factores agravantes, como la deforestación o problemas de drenaje. Si se analiza cada una de las regiones atravesadas por la cuenca del río, se puede formar una idea bastante general de que regiones están más expuestas y vulnerables de acuerdo con la cantidad de comunidades establecidas a las distancias previamente establecidas como críticas.

A continuación, se presentan los mapas empleados para el análisis específico de cada sección. Estos mapas delimitan exclusivamente los municipios de los departamentos mencionados que se encuentran dentro del área de influencia de la cuenca del río Motagua. Igualmente, las comunidades presentadas en el análisis toman en consideración ciudades, villas, pueblos, caseríos, colonias, parajes, fincas, lotificaciones e incluso asentamientos sin realizar ninguna distinción entre ellos más que la distancia a la que se ubican del Motagua. Esta manera de esquematizar cada región no solo permite identificar áreas de mayor riesgo, sino que también facilita la toma de decisiones sobre el desarrollo urbano y la planificación territorial, sugiriendo que las construcciones críticas, como hospitales y escuelas, se ubiquen en zonas de menor vulnerabilidad, mientras que las infraestructuras ya existentes en zonas de alto riesgo deben reforzarse con medidas de mitigación, como barreras de contención o sistemas de drenaje. Además, este enfoque puede ser ajustado en el futuro, de acuerdo a los estudios hidrológicos locales y el comportamiento específico del río Motagua.

1. Izabal

De las 828 comunidades reportadas (y distribuidas como se muestra en el mapa) en los municipios de Puerto Barrios, Morales y Los Amates, 106 se encuentran establecidas en regiones muy vulnerables a inundaciones generadas por el cauce principal del río. Esto representa alrededor del 12.80 % de la totalidad de comunidades. Para este análisis se observó la Figura [II](#).

a. **Puerto Barrios:** en Puerto Barrios, que es un importante puerto y centro de comercio en la región de Izabal, la proximidad al río Motagua plantea desafíos importantes para la planificación territorial. Dada la ubicación del puerto, que se encuentra a menudo en zonas bajas cercanas al río, se requiere una zonificación del riesgo más rígida. Las áreas ubicadas a menos de 100 metros del río deben ser cuidadosamente gestionadas para evitar la construcción de infraestructuras críticas y residenciales, optando por usos del suelo que no expongan a las personas a riesgos innecesarios pero que de igual manera aprovechen el espacio designado. Las comunidades ya establecidas en esta zona deben considerar la implementación de sistemas de protección avanzados, como barreras naturales, para mitigar el riesgo de inundaciones en zona aledañas. Además, es crucial desarrollar planes de emergencia y evacuación específicos para estas áreas de alto riesgo, considerando la alta densidad de población y la importancia económica de Puerto Barrios.

b. **Morales:** está cerca de la desembocadura del río en el mar Caribe, lo que incrementa la vulnerabilidad debido a la interacción con las mareas y los vientos costeros, especialmente durante tormentas tropicales y huracanes. En Morales, un municipio que se caracteriza por su actividad agrícola y sus extensas áreas rurales, la planificación territorial debe adaptarse a las características de su paisaje y su uso del suelo. El PDM-OT de Morales resalta que, al ser zonas de drenaje limitado, las áreas bajas son particularmente propensas a inundaciones recurrentes, afectando principalmente actividades agrícolas y asentamientos rurales (Concejo Municipal de Morales, Izabal, [2018](#)); de este modo, hasta las comunidades situadas hasta los 500 metros del río enfrentan un riesgo moderado de inundación. Para estas zonas, es recomendable implementar medidas de protección que incluyen mejoras en los sistemas de drenaje y la creación de zonas de retención de agua para manejar las crecidas del río. Dado el predominio de actividades agrícolas, se debe considerar la construcción de infraestructuras que no solo protejan contra inundaciones, sino que también minimicen el impacto en las áreas de cultivo e incluso que busquen aprovechar el recurso hídrico para dichas actividades. La educación sobre gestión del riesgo y las prácticas agrícolas sostenibles podrían ser fundamentales para reducir la vulnerabilidad en esta región específica de la cuenca.

c. **Los Amates:** los Amates, por su característico entorno rural y comunidades dispersas, requiere un enfoque específico para la gestión del riesgo de inundaciones. Las comunidades ubicadas entre 500 y 1000 metros del río Motagua presentan un riesgo menor en comparación con las zonas más cercanas, aún así, es importante no subestimar la necesidad de medidas preventivas. En esta zona, la planificación territorial debería ser enfocada en la implementación de estrategias de protección y monitoreo a largo plazo, así como en el mantenimiento de la infraestructura existente. Es esencial promover la participación comunitaria en la gestión del riesgo, involucrando a los residentes en la planificación de soluciones adaptadas a sus necesidades y contextos locales. Además, el análisis del impacto ambiental y la sostenibilidad de las medidas propuestas es crucial para asegurar que las soluciones sean efectivas y respetuosas con el entorno natural.

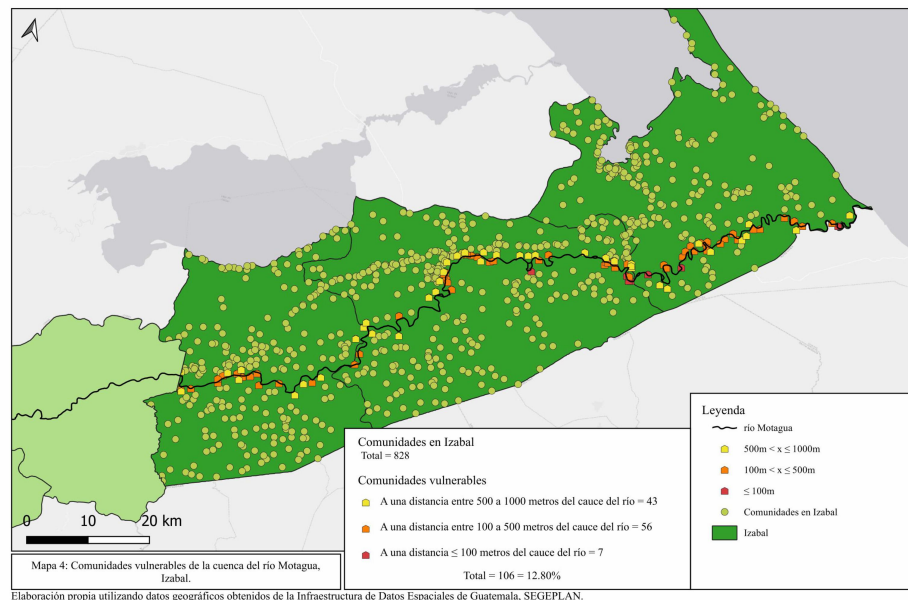


Figura 11. Mapa 4: comunidades vulnerables en la cuenca del río Motagua, Izabal
(Ver Anexo 2: [Mapa 4](#))

2. Zacapa

En los municipios de Gualán, Río Hondo, Teculután, Zacapa, Usumatlán, Estanzuela, Huité y Cabañas, en el departamento de Zacapa, se han identificado 616 comunidades en total. De estas comunidades, 3 se encuentran a menos de 100 metros del río Motagua, lo que representa un 0.49 % del total, exponiéndolas a un alto riesgo de inundaciones. Otras 47 comunidades, correspondientes al 7.63 % del total, están ubicadas entre 100 y 500 metros del río, con un riesgo moderado de inundación. Finalmente, 53 comunidades, que representan el 8.60 % del total, se encuentran a una distancia de entre 500 y 1000 metros, donde el riesgo es menor pero aún relevante. Para este análisis se observó la Figura [12](#).

a. **Gualán:** ubicado en el tramo medio del río Motagua, donde el caudal es más fuerte y los afluentes cercanos aumentan significativamente el volumen de agua. Gualán, que tiene una fuerte actividad agrícola y ganadera, se identifican comunidades en riesgo debido a su proximidad al río Motagua. El PDM-OT señala que la combinación de deforestación excesiva, cambios en el uso de suelo y la topografía hace que esta zona sea especialmente vulnerable a inundaciones, afectando a las comunidades establecidas cerca del cauce (Concejo Municipal de Gualán, Zacapa, [2018](#)), por lo que para esta comunidad es crucial implementar restricciones en el avance de la frontera agrícola, así como reducir al mínimo la deforestación de zonas boscosas cercanas y los cambios de uso de suelo. En cuanto a las 24 comunidades que se encuentran entre los 100 y 500 metros del río, se deben considerar mejoras en la gestión del riesgo a través de la creación de zonas de amortiguamiento y sistemas de drenaje adecuados.

b. **Teculután:** Teculután, con su terreno montañoso y proximidad al Motagua, alberga 1 comunidad a menos de 100 metros del río y 6 más en la franja de entre 100 y 500 metros. La comunidad más cercana debe priorizarse en términos de infraestructura protectora. En las comunidades intermedias, se sugiere la implementación de sistemas de drenaje y la reforestación de áreas montañosas para evitar la erosión, especialmente en épocas de lluvias intensas.

c. **Río Hondo:** similar a Gualán, Río Hondo se encuentra en la parte media de la cuenca del Motagua, en un valle que está estrechamente vinculado al cauce del río. La topografía en este municipio es ligeramente montañoso, pero las laderas que rodean el valle canalizan el agua hacia el río principal. En este caso, el PDM-OT menciona que la inclinación del terreno y la cercanía del río convierten a esta región en un área de alto riesgo, con crecidas rápidas y la saturación de suelos que provocan inundaciones frecuentes, especialmente durante eventos meteorológicos más intensos (Concejo Municipal de Desarrollo del municipio de Río Hondo, Zacapa, 2018). Al tener mucha importancia comercial y agrícola, las áreas más cercanas al río requieren una planificación territorial que limite el uso residencial e industrial, priorizando el desarrollo de infraestructuras resilientes. Las comunidades en la zona intermedia, por su parte, necesitan sistemas de drenaje eficientes y la promoción de cultivos que puedan resistir inundaciones periódicas, lo que ayudaría a mitigar la pérdida de tierras y por ende la interrupción eventual de sus actividades económicas.

d. **Zacapa y Usumatlán:** en los municipios de Zacapa y Usumatlán, las comunidades tienden a estar más alejadas del río, teniendo entre ambos municipios 6 comunidades entre los 100 y 500 metros de distancia del cauce principal. En estas áreas, se debe implementar un manejo sostenible de los recursos hídricos, que incluya la creación de zonas de amortiguación naturales y la implementación de infraestructura resistente a inundaciones.

e. **Estanzuela, Huité y Cabañas:** estos últimos tres municipios se encuentran algunas de las comunidades más alejadas del río Motagua, habiendo únicamente una comunidad entre los 100 y 500 metros en cada uno de ellos. Aunque el riesgo de inundación en estas áreas es menor, no debe subestimarse el impacto de eventos climáticos extremos. La planificación territorial debe incluir la mejora de las infraestructuras de drenaje y el fortalecimiento de las capacidades locales para manejar el riesgo de desastres, promoviendo soluciones basadas en la naturaleza, incluyendo programas de reforestación.

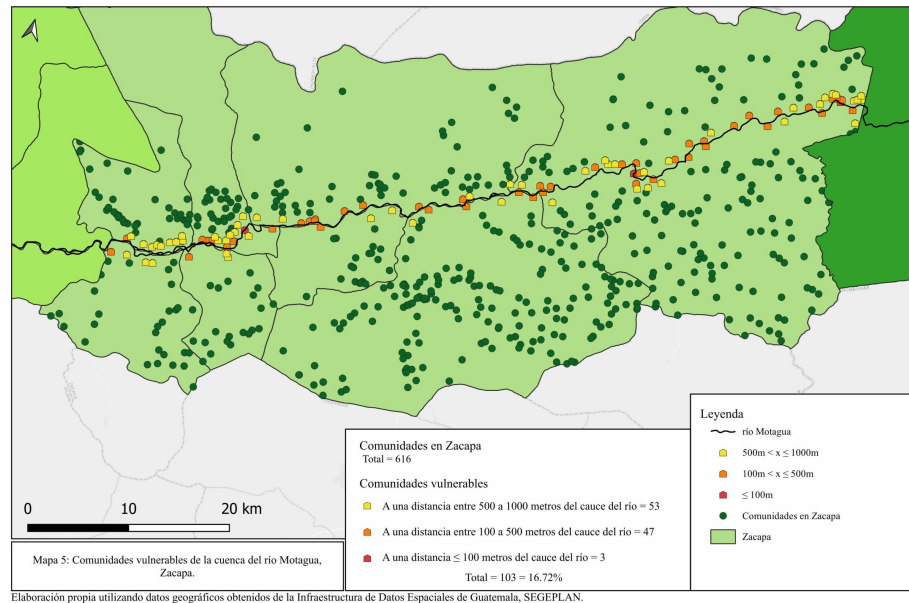


Figura 12. Mapa 5: comunidades vulnerables en la cuenca del río Motagua, Zacapa
(Ver Anexo 2: [Mapa 5](#))

3. El Progreso

En los municipios de San Agustín Acasaguastlán, Morazán, San Cristóbal Acasaguastlán, El Júcaro, Guastatoya y Sanarate, en el departamento de El Progreso, se han identificado un total de 75 comunidades en riesgo debido a su proximidad al río Motagua, lo que representa aproximadamente el 12.34 % de todas las comunidades en la región. De estas, 3 (1 en Morazán y 2 en San Agustín Acasaguastlán) se encuentran a menos de 100 metros del cauce principal del río, expuestas a un riesgo alto de inundación. Otras 42 comunidades, localizadas en su mayoría en Guastatoya y San Cristóbal Acasaguastlán, están entre los 100 y 500 metros del río, mientras que 30, la mitad de ellas en El Júcaro, se encuentran entre los 500 y 1000 metros. Estas cifras subrayan la necesidad de desarrollar estrategias específicas de gestión del riesgo y planificación territorial para reducir la vulnerabilidad de estas comunidades frente a inundaciones. Para este análisis se observó la [Figura 13](#).

a. **San Agustín Acasaguastlán y Morazán:** estos municipios se encuentran en una región de colinas y valles de pendiente moderada o pronunciada que facilita la escorrentía superficial hacia el río Motagua. La topografía accidentada aumenta la susceptibilidad a deslizamientos de tierra en áreas cercanas al río (Concejo Municipal de Desarrollo del municipio de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso, [2019](#)) En este caso, San Agustín Acasaguastlán y Morazán presentan 3 comunidades en riesgo elevado por estar a menos de 100 metros del río Motagua. En estas áreas, la construcción de barreras naturales, como cinturones verdes, o artificiales, como diques, podría mitigar los efectos de crecidas del río. Podría ser necesario considerar la reubicación de estas comunidades en algún futuro cercano, o al menos la creación de planes de emergencia que incluyan evacuación rápida en caso de desbordamiento.

b. **Guastatoya y San Cristóbal Acasaguastlán:** la mayoría de las comunidades que se encuentran en la franja de entre 100 y 500 metros del río se ubican en Guastatoya y San Cristóbal Acasaguastlán. Estas áreas presentan una topografía menos abrupta en comparación con otros municipios del departamento, con una mezcla de colinas suaves y terrenos planos en las cercanías del río. Este tipo de configuración geográfica usualmente favorece la acumulación de agua en los valles (como lo es la microrregión del Valle del Motagua), lo que podría incrementar el riesgo de inundaciones localizadas (Concejo Municipal de Desarrollo del municipio de San Cristóbal Acasaguastlán, El Progreso, 2018). La deforestación en los alrededores también es un factor que aumenta la vulnerabilidad, pues contribuye a la erosión del suelo y la saturación de los afluentes (Concejo Municipal de Desarrollo del municipio de Guastatoya, El Progreso, 2010). Si bien el riesgo es menor que en las áreas más cercanas al cauce, estas zonas requieren una planificación integral que incluya la construcción de infraestructuras de drenaje y protección contra inundaciones. Además, es importante considerar la preservación de áreas naturales para reducir el impacto de las crecidas.

c. **El Jícara:** en este se encuentra la mitad de las 30 comunidades en riesgo moderado, es fundamental implementar estrategias preventivas ante eventos meteorológicos extremos que pueden aumentar el caudal del río y afectarles directamente aunque el riesgo sea menor. Las comunidades más vulnerables se encuentran en zonas donde el relieve acentúa la concentración de agua, lo que puede provocar deslizamientos y erosionar las márgenes del río (Concejo Municipal de Desarrollo del municipio de El Jícara, El Progreso, 2019). Las medidas de mitigación pueden incluir la reforestación y la mejora de la infraestructura local para prevenir desbordamientos.

d. **Sanarate:** Sanarate, al estar más alejado del río Motagua en comparación con otros municipios, enfrenta un riesgo relativamente menor. Sin embargo, es importante que la planificación territorial contemple medidas preventivas, como la gestión eficiente de aguas pluviales y la construcción de obras que protejan a las comunidades en caso de eventos climáticos extremos.

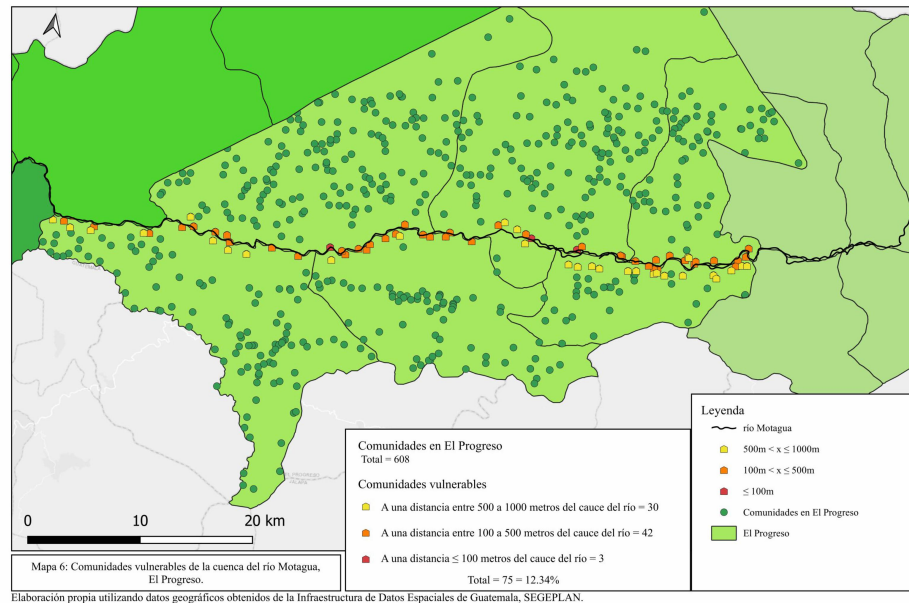


Figura 13. Mapa 6: comunidades vulnerables en la cuenca del río Motagua, El Progreso (Ver Anexo 2: [Mapa 6](#))

4. Guatemala

En los municipios de Chuarrancho, San Juan Sacatepéquez y San Raymundo, ubicados en el departamento de Guatemala, se han identificado un total de 7 comunidades en riesgo de inundaciones causadas por la proximidad al cauce principal del río Motagua, lo que representa el menor porcentaje de vulnerabilidad en comparación con otros departamentos a lo largo del río. Este número equivale a menos del 1 % de las comunidades totales de la región, lo que coloca a Guatemala como el departamento con menos comunidades vulnerables a inundaciones del Motagua. Ninguna comunidad se encuentra a menos de 100 metros del río, lo que reduce significativamente el riesgo inmediato. Sin embargo, 3 comunidades en Chuarrancho están ubicadas entre 100 y 500 metros del cauce, mientras que 4 comunidades, de las cuales 3 están en San Juan Sacatepéquez, se encuentran entre los 500 y 1000 metros. Para este análisis se observó la Figura [14](#).

a. **Chuarrancho:** es el municipio con la mayor cantidad de comunidades cercanas al río Motagua dentro del departamento de Guatemala. Aunque las 3 comunidades identificadas entre los 100 y 500 metros no enfrentan un riesgo tan inminente como las áreas más cercanas al río en otros departamentos, su topografía montañosa y la presencia de pendientes pronunciadas pueden amplificar el impacto de las lluvias intensas, que podrían provocar deslaves y desbordamientos en zonas bajas. La planificación territorial en esta región debe incluir la conservación de los suelos y la reforestación para reducir la erosión y mejorar la capacidad de respuesta ante eventos climáticos extremos.

b. **San Juan Sacatepéquez:** en este, las comunidades en riesgo de inundaciones se encuentran a distancias entre 500 y 1000 metros del río Motagua, lo que disminuye la probabilidad de impactos directos, aunque el riesgo persiste debido a las características del terreno. San Juan Saca-

tepéquez es una región conocida por su actividad agrícola y sus áreas forestales. La implementación de medidas como la creación de barreras o el manejo adecuado de las cuencas contribuiría a reducir la vulnerabilidad de estas comunidades a los efectos de posibles crecidas del río.

c. **San Raymundo:** al igual que San Juan Sacatepéquez, se caracteriza por su relativa lejanía del cauce principal del Motagua. No obstante, la presencia de pendientes y el uso de la tierra para la agricultura intensiva aumentan el riesgo de erosión y deslaves, que podrían intensificar los efectos de lluvias fuertes eventuales. La planificación en esta zona debería enfocarse en la estabilización de laderas y la implementación de sistemas de drenaje que puedan mitigar también el riesgo de desbordamientos de afluentes menores que alimentan al Motagua.

En general, este departamento presenta una vulnerabilidad relativamente baja a las inundaciones del cauce principal del río Motagua. No obstante, la topografía accidentada y el uso del suelo en estas áreas requieren estrategias preventivas de gestión de riesgos, centradas en la conservación del terreno y la mitigación de riesgos asociados con la erosión y los desbordamientos de otros afluentes secundarios. Esto permitiría garantizar la seguridad de las comunidades, a pesar de su mayor distancia al cauce principal.

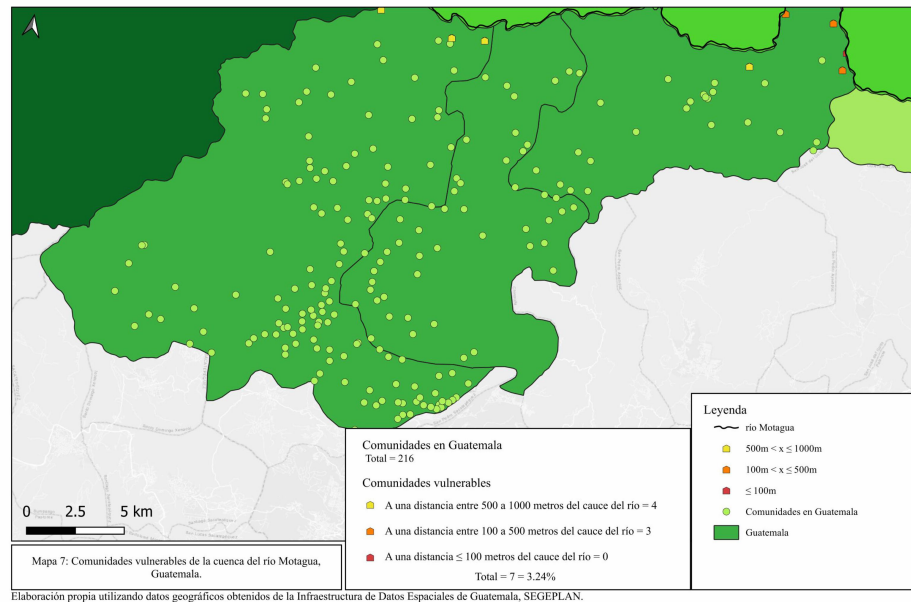


Figura 14. Mapa 7: comunidades vulnerables en la cuenca del río Motagua, Guatemala (Ver Anexo 2: [Mapa 7](#))

5. Baja Verapaz

En los municipios de Salamá, San Jerónimo, Santa Cruz El Chol y Granados, en el departamento de Baja Verapaz, se identifican un total de 15 comunidades con distintos niveles de riesgo de inundaciones por su proximidad al cauce principal del río Motagua. Una sola comunidad en Salamá se encuentra a menos de 100 metros del río, 6 comunidades (3 en Salamá, 2 en El Chol y 1 en Granados) están entre los 100 y 500 metros de distancia, mientras que 8 comunidades en total se

sitúan entre los 500 y 1000 metros en todos los municipios. Para este análisis se observó la Figura **15**

a. **Salamá:** es un municipio caracterizado por una topografía montañosa, con laderas empinadas y valles estrechos que canalizan la escorrentía superficial hacia el cauce del río Motagua (Concejo Municipal de Salamá, Baja Verapaz, **2018**). La única comunidad ubicada a menos de 100 metros del río enfrenta un alto riesgo de inundaciones, exacerbado por el relieve inclinado y la acumulación rápida de agua en temporadas de lluvias intensas. Las tres comunidades que se encuentran entre los 100 y 500 metros también están ubicadas en áreas vulnerables debido a la escorrentía de las colinas cercanas. La planificación territorial debería enfocarse en la estabilización de laderas y la construcción de sistemas de drenaje que controlen el flujo de agua.

b. **Santa Cruz El Chol:** presenta una topografía de colinas moderadas y valles más amplios, lo que reduce ligeramente el riesgo de desbordamientos. Sin embargo, las dos comunidades situadas entre los 100 y 500 metros del río aún enfrentan riesgos de acumulación de agua y erosión, especialmente en las márgenes del cauce principal. Se recomendaría implementar medidas como la reforestación en zonas estratégicas y la aplicación de sistemas naturales de drenaje para mitigar el riesgo de inundaciones.

c. **Granados:** este municipio tiene una topografía de colinas suaves. Tiene una única comunidad entre los 100 y 500 metros del río. Aunque el riesgo de inundación es menor que en Salamá, sigue habiendo vulnerabilidad en las zonas bajas por la acumulación de agua. Las medidas de planificación en Granados deberían incluir la implementación de prácticas de resiliencia comunitaria ante eventos climáticos extremos.

d. **San Jerónimo:** aunque San Jerónimo no tiene comunidades a menos de 100 metros del río, su topografía montañosa presenta riesgos asociados a la escorrentía y la erosión de las laderas. Las comunidades situadas entre los 500 y 1000 metros están expuestas a inundaciones si la capacidad de absorción del suelo en las áreas altas se ve superada. La conservación forestal y de biodiversidad, las prácticas de manejo de cuencas y la implementación de sistemas de alcantarillado eficientes son esenciales para reducir los riesgos a largo plazo en este municipio (Concejo Municipal de San Jerónimo, Baja Verapaz, **2018**).

En general, Baja Verapaz muestra una combinación de topografía montañosa y valles profundos que agravan los riesgos de inundación en áreas cercanas al río Motagua. Las medidas de mitigación deben enfocarse en la conservación de suelos, manejo de cuencas y la construcción de infraestructura adecuada para controlar la escorrentía y mejorar la capacidad de respuesta ante desastres.

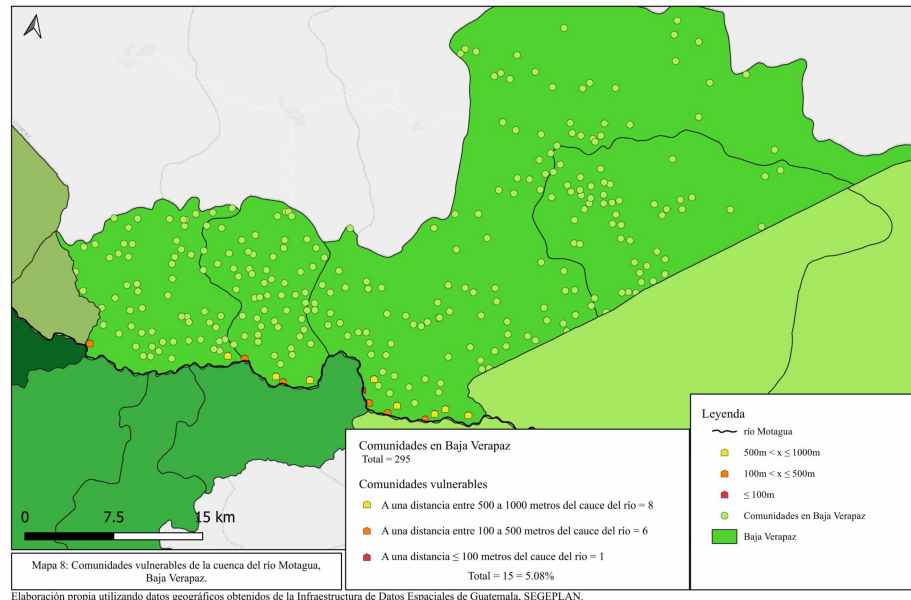


Figura 15. Mapa 8: comunidades vulnerables en la cuenca del río Motagua, Baja Verapaz (Ver Anexo 2: [Mapa 8](#))

6. Chimaltenango

En el departamento de Chimaltenango, se identifican un total de 368 comunidades vulnerables a inundaciones por su proximidad al cauce principal del río Motagua. De estas, ninguna comunidad se encuentra a menos de 100 metros del río, 12 están ubicadas entre los 100 y 500 metros de distancia, y 8 se encuentran entre los 500 y 1000 metros. El municipio de San Martín Jilotepeque es el que concentra la mayor cantidad de comunidades más vulnerables, mientras que Tecpán y San José Poaquil tienen menor exposición a este riesgo. Para este análisis se observó la Figura [16](#).

a. **San Martín Jilotepeque:** este se caracteriza por su topografía montañosa, con pendientes pronunciadas y terrenos accidentados. Acá, el patrón de recurrencia de desastres en la cuenca del río Motagua es derrumbes en la parte alta e inundaciones en la parte baja (Concejo Municipal de Desarrollo del Municipio de San Martín Jilotepeque, [2010](#)). Las comunidades que se encuentran entre los 100 y 500 metros del río Motagua están expuestas a un mayor riesgo de inundaciones debido a la combinación de precipitaciones intensas y la rápida escorrentía en las laderas, como en todas las regiones con este tipo de topografía. La falta de vegetación en algunas áreas contribuye a la erosión y al aumento del caudal del río durante las temporadas de lluvias.

b. **Tecpán:** las comunidades situadas entre los 500 y 1000 metros del río Motagua siguen expuestas a posibles desbordamientos, especialmente durante eventos climáticos extremos. La planificación territorial en Tecpán debe enfocarse en la mejora de la infraestructura de drenaje y la construcción de obras de control de inundaciones, así como en la protección de zonas de cultivo cercanas al río. El PDM-OT de Tecpán ya contempla medidas de conservación de suelos y reforestación, pero es necesario intensificar estos esfuerzos en las áreas más expuestas (Concejo Municipal de Desarrollo del Municipio de Tecpán Guatemala, Chimaltenango, Guatemala, [2019](#)).

c. **San José Poaquil:** las comunidades que se encuentran entre los 100 y 500 metros del cauce del Motagua están en zonas de riesgo moderado, y requieren una atención especial en cuanto a la gestión del agua superficial. Las áreas agrícolas cercanas al río también deben ser protegidas mediante la creación de zonas que reduzcan la erosión y el arrastre de sedimentos.

Las áreas bajas, la proximidad al río Motagua y sus afluentes y la falta de infraestructura adecuada de mitigación/prevención aumentan significativamente los riesgos. Además, la topografía montañosa en algunos de estos municipios facilita el escurrimiento rápido de agua hacia los cauces, lo que genera crecidas repentinas y desbordamientos que afectan tanto a las zonas urbanas como rurales.

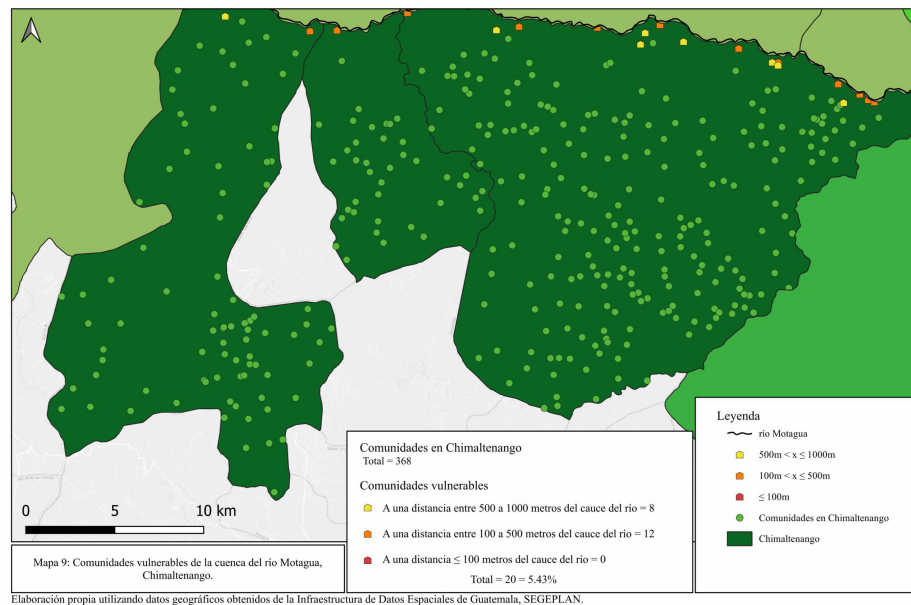


Figura 16. Mapa 9: comunidades vulnerables en la cuenca del río Motagua, Chimaltenango (Ver Anexo 2: Mapa 9)

7. Quiché

Quiché, ubicado en la región occidental de Guatemala, presenta una diversidad topográfica que varía entre montañas y valles profundos. Los municipios de Joyabaj, Pachalum y Chichicastenango, aunque geográficamente distintos, comparten una cercanía relativa al río Motagua, lo que les confiere cierto nivel de vulnerabilidad ante fenómenos naturales como las inundaciones. Estos municipios dependen en gran medida de la agricultura como actividad económica principal, lo que hace que la gestión del territorio y los recursos naturales sea de gran importancia al momento de mitigar riesgos. Para este análisis se observó la Figura 17.

a. **Joyabaj:** cuenta una topografía caracterizada por terrenos montañosos y valles profundos. La comunidad que se encuentra a menos de 100 metros del río está especialmente expuesta a inundaciones durante la temporada de lluvias, debido a la fuerte pendiente de las montañas que lo rodean. La rápida escorrentía superficial aumenta el riesgo de desbordamientos del río Motagua. Las actividades económicas en Joyabaj, principalmente la agricultura y la ganadería, podrían verse

afectadas si no se toman medidas de manejo de cuencas para proteger las tierras cultivables cercanas al río (Concejo Municipal de Desarrollo Municipal de Joyabaj, Quiché, 2019).

b. **Pachalum:** Pachalum, con una comunidad a menos de 100 metros del río Motagua y varias otras entre 100 y 500 metros, tiene un relieve más suave en comparación con Joyabaj, pero aun así está expuesto a riesgos por su cercanía al cauce. Las principales actividades económicas de Pachalum son la agricultura de subsistencia y el comercio local (Concejo Municipal de Desarrollo del Municipio de Pachalum, Quiché, 2019), por lo que proteger las áreas agrícolas cercanas al río es fundamental para la seguridad alimentaria y la economía local.

c. **Chichicastenango:** aunque ninguna de las comunidades vulnerables está en Chichicastenango, es importante destacar las características del municipio. Su topografía montañosa y accidentada lo hace menos susceptible a las inundaciones por el río Motagua, pero presenta otros desafíos, como la erosión de suelos y la gestión del agua en áreas de cultivo. En este caso, es esencial continuar con la instalación de sistemas de alcantarillado pluvial para las comunidades rurales (Concejo Municipal de Desarrollo del Municipio de Chichicastenango, Quiché, 2010).

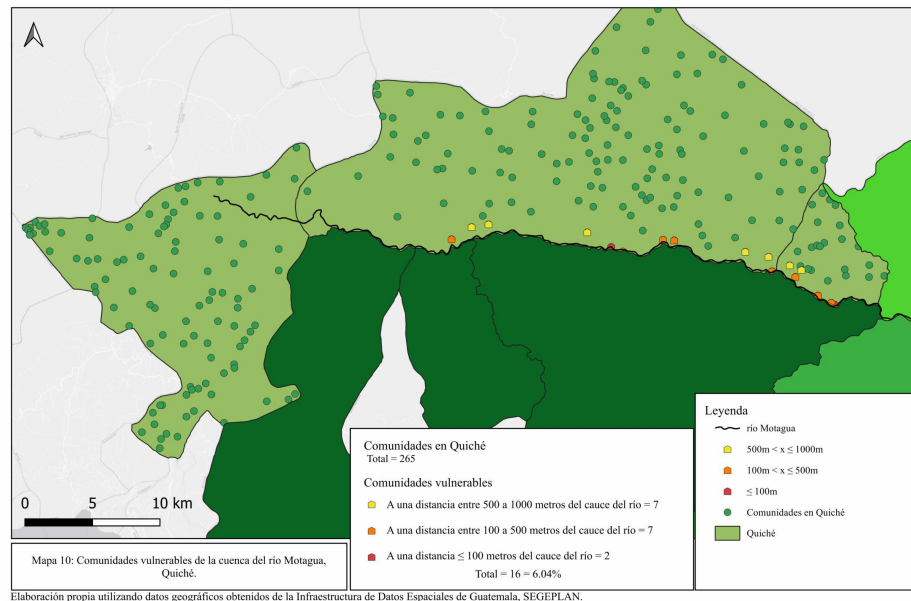


Figura 17. Mapa 10: comunidades vulnerables en la cuenca del río Motagua, Quiché (Ver Anexo 2: Mapa 10)

E. Infraestructura crítica en zonas vulnerables a desastres

El análisis de los caminos cercanos al río Motagua en los departamentos de Izabal, Zacapa, El Progreso, Guatemala, Chimaltenango, Quiché y Baja Verapaz revela una serie de riesgos asociados con las inundaciones y los desbordamientos del río. Estos caminos no solo son vitales para la conectividad regional, sino que también son críticos para la economía local y la movilidad diaria. A continuación, se presenta un análisis por departamento obtenido del análisis de la Figura 18.

1. Izabal

En Izabal, los caminos que conectan los municipios como Puerto Barrios, Morales y Los Amates son de gran importancia para el comercio y el turismo, dado que son rutas clave hacia los puertos y las fronteras con Honduras. La Ruta CA-9 es la principal carretera que atraviesa la región, pasando cerca del río Motagua en varios tramos, especialmente en Los Amates y Morales, donde las planicies aluviales del río son propensas a desbordamientos.

a. **Vulnerabilidad:** estas áreas son especialmente sensibles a inundaciones durante la temporada de lluvias, debido a la cercanía del río y la topografía plana, lo que puede afectar la conectividad con las comunidades rurales y los puertos.

2. Zacapa

En el departamento de Zacapa, la Carretera CA-9 también juega un papel importante, pasando cerca del río Motagua en Gualán, Río Hondo y Zacapa. Los caminos secundarios que conectan pequeñas comunidades rurales en los municipios de Usumatlán, Estanzuela y Teculután cruzan zonas aluviales y son vulnerables a las inundaciones.

a. **Vulnerabilidad:** las zonas planas y los valles cercanos a estos municipios son propensos a desbordamientos que interrumpen el tráfico y el acceso a servicios básicos.

3. El Progreso

La red vial en El Progreso está dominada por la Ruta CA-9, que también pasa cerca del río Motagua en municipios como Guastatoya y San Agustín Acasaguastlán. Los caminos rurales que conectan estos municipios y comunidades cercanas al río suelen estar en áreas bajas susceptibles a desbordamientos durante las lluvias intensas.

a. **Vulnerabilidad:** la baja capacidad de drenaje en muchas áreas y la cercanía al cauce principal aumentan la exposición a inundaciones.

4. Guatemala

Aunque el departamento de Guatemala tiene una menor cantidad de comunidades vulnerables cerca del río Motagua, especialmente en los municipios de Chuarrancho, San Juan Sacatepéquez y San Raymundo, los caminos que conectan estas áreas rurales pueden ser propensos a inundaciones. Las rutas locales de terracería son las más vulnerables debido a su cercanía a arroyos que desembocan en el río Motagua.

a. **Vulnerabilidad:** las pendientes pronunciadas pueden causar deslizamientos de tierra y acumulación de agua en caminos de tierra, dificultando el acceso.

5. Chimaltenango

En Chimaltenango, especialmente en San Martín Jilotepeque, existen caminos rurales que cruzan áreas cercanas al Motagua. Aunque no hay comunidades a menos de 100 metros del río, los caminos rurales que atraviesan terrenos montañosos están sujetos a erosión, y las lluvias intensas pueden

hacer que sean intransitables.

a. **Vulnerabilidad:** las pendientes pronunciadas y el suelo erosionable incrementan el riesgo de deslizamientos y bloqueos de caminos.

6. Quiché

En Quiché, los municipios de Joyabaj y Pachalum tienen caminos rurales que pasan cerca del Motagua y sus afluentes. Estas áreas tienen suelos de montaña que aumentan la posibilidad de deslizamientos y obstrucción de caminos durante la temporada lluviosa.

a. **Vulnerabilidad:** aunque hay pocas comunidades directamente en peligro, los caminos que conectan estas áreas son importantes para el comercio agrícola y la movilidad regional, y son susceptibles a deslizamientos de tierra.

7. Baja Verapaz

En Baja Verapaz, municipios como Salamá y El Chol tienen una red de caminos rurales que se ve afectada durante la temporada de lluvias. Algunos de estos caminos se acercan al río Motagua y están en riesgo de inundación.

a. **Vulnerabilidad:** las áreas montañosas y los valles cercanos al Motagua son susceptibles a inundaciones rápidas y deslaves que pueden cortar las rutas de acceso.

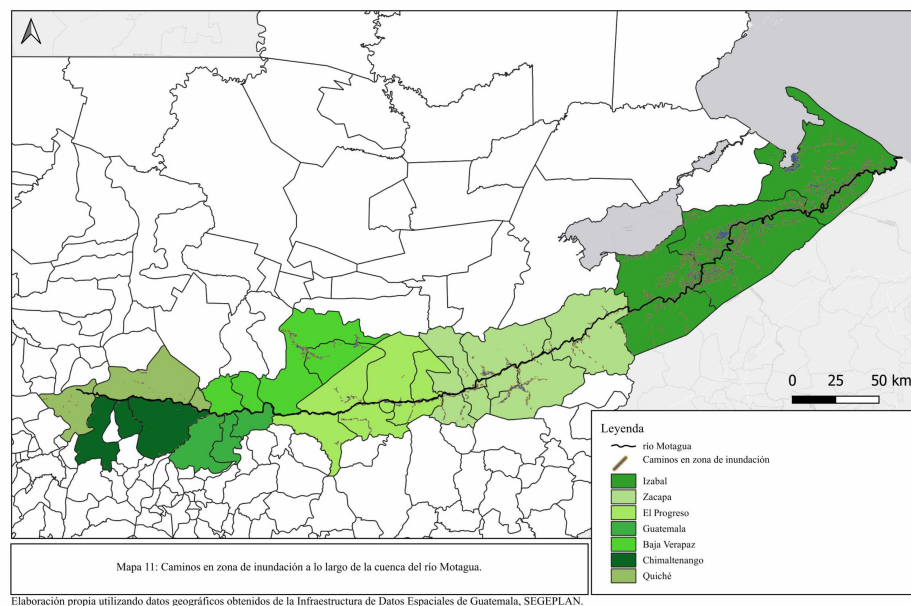


Figura 18. Mapa 11: caminos en zona de inundación a lo largo de la cuenca del río Motagua
(Ver Anexo 2: [Mapa 11](#))

Con el fin de comparar la ubicación de los caminos más vulnerables a inundaciones con respecto

a otros riesgos existentes, también se elaboró un mapa que muestra los caminos vulnerables en zonas susceptibles a deslizamientos de tierra.

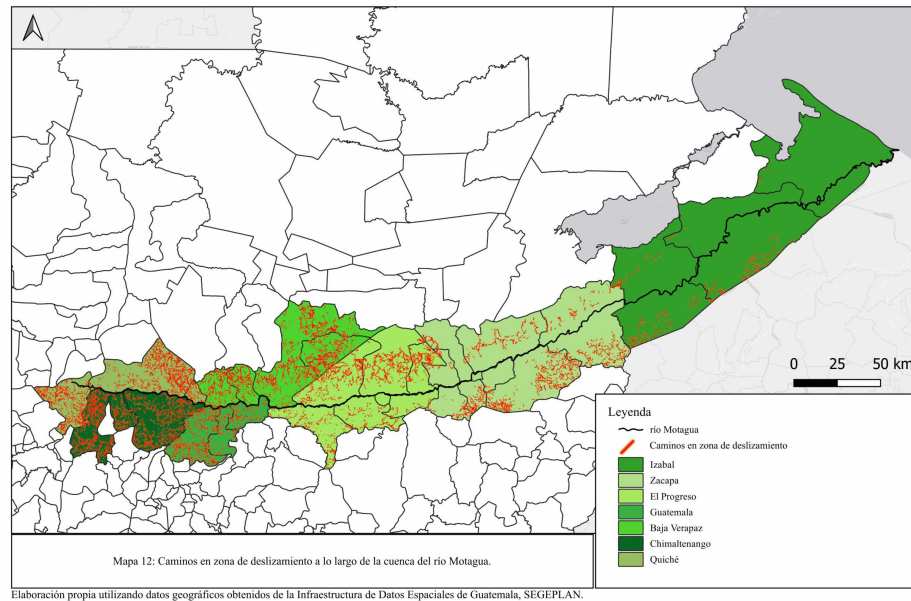


Figura 19. Mapa 12: caminos en zona de deslizamiento a lo largo de la cuenca del río Motagua (Ver Anexo 2: [Mapa 12](#))

Es posible observar, en la Figura 19, que los departamentos con mayor cantidad de caminos vulnerables por deslizamientos cerca de la cuenca del río Motagua son Quiché, Chimaltenango y Baja Verapaz. Estas regiones, caracterizadas por su topografía accidentada y su exposición a fenómenos naturales, presentan un riesgo significativo para la infraestructura vial. Los deslizamientos, intensificados por las lluvias intensas y el mal manejo y utilización del suelo, comprometen la seguridad y la conectividad de las comunidades locales, afectando tanto el transporte como el acceso a servicios esenciales. Esta vulnerabilidad resalta la necesidad de implementar estrategias de gestión del riesgo y fortalecer la infraestructura para mitigar los impactos de estos desastres.

La planificación adecuada de estos caminos y la implementación de medidas de mitigación, como obras de drenaje y mantenimiento regular, son esenciales para reducir los riesgos en estas áreas vulnerables.

F. Análisis del mapa de municipios críticos según el modelo INFORM

El mapa de los municipios críticos basado en el modelo INFORM revela un patrón claro de vulnerabilidad en las áreas cercanas a la cuenca del río Motagua. Los municipios de Morales, Gualán y Río Hondo, Jocotán y Guastatoya destacan como los más afectados debido a su combinación de alta exposición a peligros naturales, vulnerabilidad socioeconómica y capacidad de respuesta limitada.

a. **Exposición a Peligros Naturales:** la proximidad de estos municipios al río Motagua y sus afluentes los sitúa en zonas propensas a inundaciones recurrentes. Las áreas bajas cercanas al cauce del río, particularmente en Morales y Gualán, están expuestas a las crecidas que ocurren durante la temporada de lluvias intensas. El análisis topográfico muestra cómo las pendientes pronunciadas en municipios como Jocotán y Río Hondo aceleran el escurrimiento superficial, aumentando el riesgo de crecidas repentinas. Esto no solo afecta las áreas urbanas cercanas, sino también las zonas rurales, donde la falta de infraestructura adecuada para mitigar estos eventos incrementa el impacto de las inundaciones.

b. **Vulnerabilidad Socioeconómica:** el mapa refleja también la alta vulnerabilidad social y económica de estos municipios. La mayoría de las comunidades en estas áreas son rurales y dependen de actividades agrícolas que, en muchos casos, son afectadas por las inundaciones y la degradación del suelo. Además, la deforestación, que ha avanzado en gran parte de la cuenca debido a la expansión agrícola, ha aumentado la vulnerabilidad al erosionar los suelos, aumentando la propensión a deslaves y deslizamientos de tierra al mismo tiempo que disminuye la capacidad de infiltración del agua. Esto también incrementa la magnitud de las inundaciones y contribuye a la degradación ambiental en estas zonas.

c. **Capacidad de Respuesta:** el modelo INFORM destaca la capacidad limitada de respuesta a desastres en estos municipios, donde la infraestructura para la prevención y mitigación de riesgos es insuficiente. La falta de sistemas de alerta temprana y obras de protección en el cauce aumenta la exposición de las comunidades asentadas localmente. Este factor, combinado con la pobreza y el limitado acceso a infraestructura sanitaria, contribuye a que las comunidades sean particularmente vulnerables no solo a las inundaciones, sino también a los efectos a largo plazo de las actividades humanas en la cuenca, como la contaminación del agua.

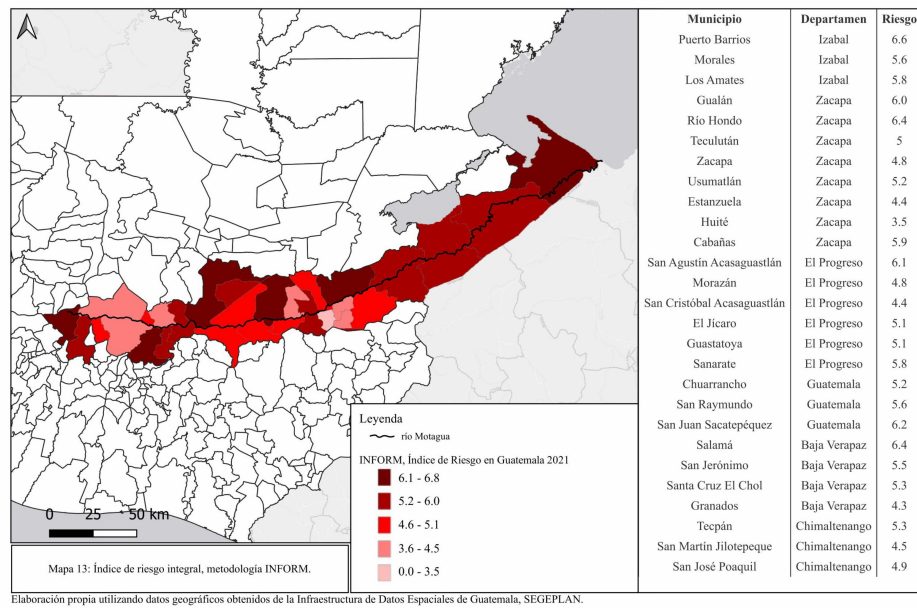


Figura 20. Mapa 13: índice de riesgo integral, metodología INFORM (Ver Anexo 2: [Mapa 13](#))

El uso del modelo INFORM en la evaluación de riesgos en estos municipios proporciona una visión integral del impacto que los factores geográficos, socioeconómicos y de infraestructura tienen en la vulnerabilidad de las comunidades. De esta manera se pueden priorizar acciones y recursos para mitigar los efectos de inundaciones y deslizamientos en las áreas más críticas de la cuenca del río Motagua.

Utilizando la Figura 7 como referencia se observa que, a nivel nacional, el índice INFORM revela que las áreas más críticas en Guatemala se concentran en regiones donde las condiciones socioeconómicas, la fragilidad ambiental y la exposición a peligros naturales son más pronunciadas. Los departamentos de Izabal, Alta Verapaz y Chiquimula, entre otros, presentan altos niveles de riesgo debido a su topografía accidentada y su cercanía a cuerpos de agua que los hacen propensos a inundaciones y deslizamientos. Comparado con los municipios de la cuenca del río Motagua — como Morales, Gualán, Río Hondo y Jocotán — se observa que estos también enfrentan altos niveles de riesgo, en parte debido a su cercanía al río y la vulnerabilidad de las comunidades locales. Sin embargo, en municipios como Guastatoya, donde la capacidad de respuesta es ligeramente superior, el riesgo se reduce, lo que resalta la importancia de fortalecer tanto la infraestructura como los mecanismos de preparación y respuesta en los municipios más vulnerables.

G. Situación de los municipios de la cuenca en relación con los demás municipios, a nivel nacional

A nivel de toda la Cuenca del río Motagua, se han identificado 342 comunidades vulnerables a inundaciones y deslizamientos, una cifra alarmante que pone de relieve la exposición de la población a fenómenos naturales que pueden causar daños significativos en la infraestructura y en la vida de las personas. Este análisis es crucial para comprender la magnitud del riesgo que enfrentan estas comunidades y la necesidad de implementar medidas adecuadas de gestión del riesgo.

Izabal destaca como el municipio con el mayor número de comunidades vulnerables, con 106 comunidades, lo que representa el 30.99 % del total. Su proximidad al río Motagua lo convierte en una zona de alto riesgo para inundaciones, especialmente durante la temporada de lluvias. Estas inundaciones pueden no solo causar pérdidas materiales, sino también afectar la seguridad y salud de sus habitantes, así como las actividades económicas que dependen de la estabilidad del entorno.

Zacapa, con 103 comunidades vulnerables que constituyen el 30.12 %, también enfrenta riesgos significativos debido a su ubicación geográfica. La combinación de lluvias intensas y el desbordamiento del río puede resultar en deslizamientos de tierra, poniendo en peligro la vida de las personas y la integridad de sus hogares. La infraestructura en estas áreas, a menudo inadecuada para soportar tales eventos, agrava la situación.

En El Progreso, la situación es igualmente preocupante con 75 comunidades vulnerables, que representan el 21.93 % del total. Las características topográficas de la región, junto con la cercanía al río, aumentan el riesgo de deslizamientos, especialmente en áreas montañosas. Las autoridades deben priorizar la identificación de zonas críticas y la implementación de medidas de mitigación, como la reforestación y la construcción de muros de contención.

Por otro lado, los municipios de Guatemala y Alta Verapaz presentan cifras más bajas, con 7 (2.05 %) y 15 (4.39 %) comunidades vulnerables, respectivamente. Aunque estos números son menores, no deben minimizarse. Las comunidades cercanas al río en estos municipios también están

expuestas a inundaciones y deslizamientos, lo que requiere atención en la planificación de infraestructura y en la capacitación de las comunidades para enfrentar emergencias.

En Chimaltenango y Quiché, con 20 (5.85 %) y 16 (4.68 %) comunidades vulnerables, respectivamente, es fundamental implementar programas de educación y sensibilización sobre los riesgos asociados a la proximidad al río Motagua. La preparación ante desastres puede marcar la diferencia en la capacidad de estas comunidades para enfrentar eventos extremos.

Este análisis de la vulnerabilidad a inundaciones y deslizamientos en la Cuenca del río Motagua subraya la necesidad de una respuesta integral que incluya medidas de prevención, infraestructura adecuada y la participación activa de las comunidades. Solo a través de un enfoque colaborativo entre el gobierno, las organizaciones no gubernamentales y las comunidades locales se podrá mitigar los impactos de estos fenómenos naturales y proteger la vida y los medios de subsistencia de la población vulnerable.

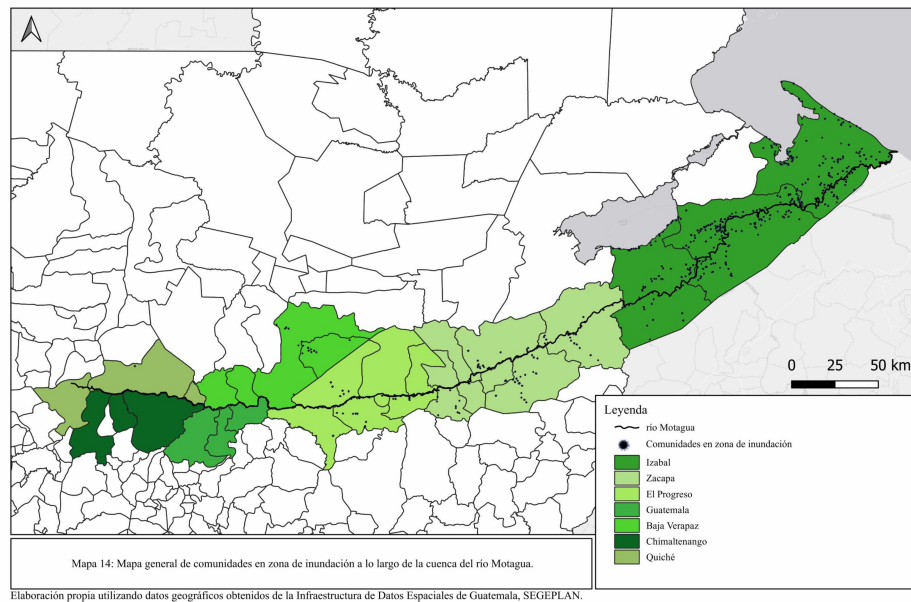


Figura 21. Mapa 14: comunidades en zona de inundación a lo largo de la cuenca del río Motagua
(Ver Anexo 2: [Mapa 14](#))

VIII. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A. Vulnerabilidad y capacidad de respuesta en los municipios de la cuenca

Los mapas generados a partir del índice de riesgo integral, junto con los de vulnerabilidad a inundaciones, evidencian que a nivel general los departamentos de Izabal, Zacapa y El Progreso tienen los niveles más altos de exposición debido a la proximidad crítica de un importante porcentaje de sus comunidades al cauce principal del río Motagua. No obstante, más allá de la exposición física a las amenazas naturales, el verdadero desafío radica en la limitada capacidad de respuesta a desastres en algunos de estos municipios. Por ejemplo, el PDM-OT de Morales, Izabal, destaca que aunque se han identificado zonas de alto riesgo a lo largo del río Motagua, no se han implementado suficientes medidas estructurales para mitigar el impacto de las inundaciones (Concejo Municipal de Morales, Izabal, 2018). Los sistemas de drenaje son inadecuados, y la expansión urbana en áreas vulnerables sigue ocurriendo sin un control estricto. Así se refleja cómo la falta de infraestructura adecuada y programas de reubicación incrementan significativamente el riesgo y los impactos de los desastres.

B. Implicaciones del INFORM en la planificación territorial

El análisis del INFORM permitió identificar que, aunque la vulnerabilidad física es un factor determinante en la cuenca del río Motagua, las variables socioeconómicas y la falta de recursos técnicos y financieros juegan un rol igualmente importante en aumentar los niveles de riesgo. Esta combinación de factores demuestra que los municipios con mayores niveles de pobreza y menores recursos educativos, como Zacapa y El Progreso, tienden a ser los más afectados no solo por su proximidad al río sino por la falta de capacidad para implementar medidas de prevención, mitigación y recuperación a desastres.

Su utilización como una matriz de evaluación de riesgos se justifica al proporcionar una estructura que analiza el riesgo a través de tres dimensiones clave: Peligro y exposición física (físico y geográfico), vulnerabilidad (social, económica, de infraestructura, etc.) y falta de capacidad de respuesta (institucional, organizacional, recursos, etc.). Estas tres dimensiones están basadas en múltiples indicadores que pueden considerarse para la realización de una matriz. Al integrar estos indicadores en una evaluación de riesgos, es posible visualizar cómo interactúan las diferentes variables y qué zonas o comunidades tienen mayores niveles de riesgo.

Por otro lado, la falta de regulación estricta en el uso del suelo agrava considerablemente la vulnerabilidad tanto económica como física de las comunidades cercanas al río. Al permitir que se desarrollen actividades agrícolas, asentamientos y proyectos de infraestructura en zonas que deberían estar restringidas por su alto riesgo a inundaciones o deslizamientos, las autoridades locales contribuyen a una mayor exposición de la población y sus medios de subsistencia. Esto no solo incrementa el impacto físico de los desastres, sino que también compromete la estabilidad económica de familias y comunidades enteras, cuyos cultivos y propiedades se ven afectados recurrentemente por eventos naturales. La ausencia de un control adecuado por parte del gobierno local establece un ciclo de pobreza y vulnerabilidad, donde los recursos se destinan constantemente a la recuperación parcial, en lugar de a la prevención y mitigación de riesgos.

Por ejemplo, el PDM-OT de Gualán, Zacapa, establece claramente la necesidad de desarrollar un uso del suelo más acorde con las limitaciones geográficas del municipio (Concejo Municipal de Gualán, Zacapa, 2018). Sin embargo, el incumplimiento de estas regulaciones ha permitido la expansión de áreas agrícolas en zonas de riesgo o en zonas originalmente destinadas a la conservación de bosques, lo que incrementa la exposición a inundaciones al cambiar las condiciones del suelo. El uso de los resultados del INFORM es esencial para confirmar el nivel de vulnerabilidad, fortalecer la implementación de estos planes y dirigir las inversiones a las áreas de mayor vulnerabilidad, priorizando acciones como la reubicación de viviendas y la construcción de sistemas de control de inundaciones e incluso de sistemas de alerta temprana.

C. Infraestructura crítica y vulnerabilidad integral

Otro aspecto que resalta del análisis de los mapas es la exposición de la infraestructura crítica en varias zonas vulnerables, particularmente en Izabal y Zacapa. En estos departamentos, se identificaron caminos y puentes clave que están propensos a quedar inutilizados durante los eventos de inundación, lo que podría aislar a comunidades enteras y dificultar los esfuerzos de rescate y rehabilitación. La falta de vías alternativas y la dependencia de infraestructuras vulnerables demuestran la importancia de integrar análisis de riesgos en la planificación y construcción de infraestructura crítica.

El PDM-OT de Río Hondo, Zacapa, menciona que varios caminos rurales están construidos en zonas propensas a inundaciones debido a la topografía del terreno y la cercanía al cauce del río Motagua (Concejo Municipal de Desarrollo del municipio de Río Hondo, Zacapa, 2018). Este plan recomienda la construcción de puentes elevados y la creación de vías alternas para garantizar el acceso a las comunidades durante la temporada de lluvias. Estos casos más específicos refuerzan la necesidad de utilizar la información proporcionada por los mapas de riesgo para priorizar relocalización y/o mejoras en infraestructura crítica, de modo que no solo se reduzca la vulnerabilidad, sino que se asegure el acceso a los caminos y conectividad en caso de emergencia.

D. Comparación entre regiones y factores que influyen en la vulnerabilidad

Comparar los distintos departamentos de la cuenca pone en evidencia cómo la topografía, el uso del suelo y los recursos socioeconómicos interactúan para definir los niveles de riesgo en cada región. Por ejemplo, mientras que los municipios en Zacapa y El Progreso se ven más afectados por inundaciones debido a la cercanía de las comunidades al río, en Quiché y Chimaltenango el riesgo de deslizamientos de tierra aumenta debido a la pendiente del terreno y la erosión del suelo. Estos resultados refuerzan la importancia de aplicar soluciones específicas a las características geográficas y sociales de cada región. En el PDM-OT de Joyabaj, Quiché, se menciona que las áreas más vulnerables a deslizamientos de tierra se encuentran en las zonas montañosas, donde la deforestación (incluso la generada por cambios abruptos en la utilización del suelo) ha reducido la capacidad del suelo para retener agua, aumentando la probabilidad de deslizamientos durante la temporada de lluvias. Este PDM-OT propone la reforestación como una medida clave de mitigación, una estrategia que también se refleja en los resultados obtenidos en el análisis de vulnerabilidad (Concejo Municipal de Desarrollo Municipal de Joyabaj, Quiché, 2019).

E. Prioridades para la mitigación y adaptación al cambio climático

Finalmente, el análisis realizado con la observación de los mapas realizados destaca que el cambio climático ha incrementado las amenazas hidro-meteorológicas, como inundaciones y deslizamientos, en toda la cuenca del río Motagua. Este es un factor que deberá ser considerado de manera muy específica en futuras políticas de gestión de riesgos y planificación territorial. Los PDM-OT de los municipios como Guastatoya, incluyen recomendaciones para la creación de zonas de protección ribereñas, donde se prohíban los asentamientos y se promueva la conservación de la vegetación natural para reducir la exposición al riesgo de inundaciones (Concejo Municipal de Desarrollo del municipio de Guastatoya, El Progreso, [2010](#)). Es vital que los esfuerzos de adaptación al cambio climático incluyan medidas como la reforestación de áreas montañosas y la mejora de los sistemas de drenaje en las zonas urbanas más vulnerables. Asimismo, los municipios deben promover la colaboración interinstitucional para implementar sistemas de alerta temprana que puedan reducir significativamente el impacto de eventos climáticos extremos.

IX. CONCLUSIONES

- El análisis de vulnerabilidades en la cuenca del río Motagua identificó que los municipios con mayor riesgo de inundaciones y deslizamientos son Gualán, Río Hondo y Guastatoya, debido a su proximidad al río y a las características geológicas de la región. Esto se evidencia en los mapas temáticos de vulnerabilidad a inundaciones y zonas susceptibles a deslizamientos.
- La utilización de SIG permitió una evaluación precisa de riesgos y vulnerabilidades, facilitando la identificación de áreas críticas en municipios vulnerables para una mejor planificación del riesgo.
- Los mapas temáticos, como los de vulnerabilidad a inundaciones y riesgos multiamenaza, resultaron herramientas clave para la planificación y la toma de decisiones, ayudando a identificar debilidades y peligros a manera de priorizar intervenciones en zonas de alta vulnerabilidad.
- Se identifica a Izabal como el departamento más vulnerable de la cuenca, con el mayor porcentaje de comunidades cercanas al río y la mayor cantidad de caminos en zonas inundables. Su alto índice INFORM confirma la necesidad de estrategias urgentes de mitigación y gestión del riesgo.
- La integración del modelo INFORM con SIG ha demostrado ser una herramienta eficaz para evaluar y clasificar el riesgo de inundaciones y deslizamientos, permitiendo identificar zonas vulnerables con mayor precisión. Los mapas temáticos generados permitieron visualizar con claridad estas zonas críticas, facilitando la priorización de intervenciones en municipios en los cuales la combinación de alta vulnerabilidad y baja capacidad de respuesta requiere una gestión del riesgo más estratégica.
- El análisis de infraestructura crítica en la cuenca del Motagua evidenció que varios caminos clave en Izabal y Zacapa, esenciales para la movilidad y el comercio, son altamente vulnerables a inundaciones recurrentes. El mapa temático de infraestructura crítica refleja la exposición de estos caminos a eventos climáticos extremos. Proteger o mejorar esta infraestructura es fundamental para reducir el aislamiento de las comunidades durante emergencias.
- Los desastres, en particular las inundaciones y los deslizamientos de tierra, afectan no solo la infraestructura existente, sino también la economía local, especialmente en municipios como Gualán y Morales, donde la agricultura es clave. El mapa de uso y cobertura del suelo permitió analizar la distribución de las áreas agrícolas expuestas a estos eventos, resaltando la vulnerabilidad económica de estas comunidades y evidenciando la necesidad de estrategias para reducir los impactos en la producción agropecuaria.

X. RECOMENDACIONES

- Todas las políticas públicas que sean adoptadas en base a hallazgos locales específicos deben ser inclusivas, integrando las necesidades locales, y deben guiar inversiones en infraestructura crítica y seguros contra desastres para las comunidades más afectadas.
- Es importante mejorar las capacidades de las instituciones, promoviendo una mayor coordinación entre instituciones gubernamentales, ONG y comunidades locales para garantizar una capacidad de respuesta efectiva ante emergencias.
- Implementar un sistema de monitoreo y evaluación continuo que actualice regularmente los datos sobre vulnerabilidades y riesgos, utilizando SIG, matrices de riesgo y modelos de análisis como los índices de riesgo para facilitar la toma de decisiones.
- Incluir el modelo INFORM como referencia en las estrategias locales de planificación y gestión del riesgo, para identificar áreas prioritarias de intervención en función de su vulnerabilidad.
- Se recomienda explorar la integración de nuevos modelos de análisis de riesgo que complementen el índice INFORM, considerando variables como el cambio climático y la degradación ambiental, con el fin de obtener un enfoque más integral del riesgo en la cuenca.
- Desarrollar programas educativos que informen a las comunidades sobre los riesgos específicos de su zona, promoviendo prácticas seguras antes, durante y después de un desastre natural.
- A partir de los hallazgos de esta investigación, se recomienda realizar estudios más detallados a nivel comunitario para comprender con mayor precisión la vulnerabilidad específica de cada localidad; y analizar el impacto de los desastres naturales en la economía local y en los medios de vida de la población. Esto permitirá diseñar políticas públicas enfocadas en la resiliencia económica de las comunidades más afectadas.

XI. BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre. (2004). Los desastres en latinoamérica: vulnerabilidad y resistencia. *Revista Mexicana de Sociología*.
- Aguirre, N. (2007). Manual para el Manejo Sustentable de Cuencas Hidrográficas. *Universidad Nacional de Loja*.
- Alcántara-Ayala, I. (2002). Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in developing countries. *Geomorphology*, Volumen 47, Artículo 2-4.
- Alimi, S., Andongma, T., Ogungbade, O., Senbore, S., Alepa, V., Akinlabi, O., Olawale, L., y Muhammed, Q. (2022). Flood vulnerable zones mapping using geospatial techniques: Case study of Osogbo Metropolis, Nigeria [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110982322000746?_cf_chl=tk=vS81iUjUW58oCEszP1P9zXpDNIPueqG9VDLQMqtJA-1721671254-0.0.1.1-5588].
- Banco Interamericano de Desarrollo. (2014). Soluciones de infraestructura verde para problemas urbanos [<https://blogs.iadb.org/ciudades-sostenibles/es/6-soluciones-de-infraestructuraverde/>].
- Banco Interamericano de Desarrollo. (2017). Hoja de antecedentes: el impacto económico de los desastres naturales [<https://www.iadb.org/es/noticias/hoja-de-antecedentes-el-impacto-economico-de-los-desastres-naturales>].
- Banco Mundial. (2020). Los desastres no son naturales [<https://www.bancomundial.org/es/news/video/2020/07/29/los-desastres-no-son-naturales>].
- Banco Mundial, CEPAL y PNUD. (2018). Evaluación de daños y pérdidas Volcán de Fuego [<https://documents1.worldbank.org/curated/en/388801560926135255/pdf/Evaluaci%u00f3n-de-Da%u00f1os-y-P%u00e9rdidas-del-Volc%u00e1n-de-Fuego-DaLa-Report.pdf>].
- Bedoya Posada, C. (2022). *Revisión de metodologías para determinar zonas de riesgo por inundación partir de SIG*.
- Bello, O., y Peralta, L. (2021). Evaluación de los efectos e impactos de las depresiones tropicales Eta y Iota en Guatemala [https://www.cepal.org/sites/default/files/publication/files/46681/S2100038_es.pdf]. *Comisión Económica para América Latina y el Caribe*.
- Bosque, J., Ortega, A., y Rodríguez, V. (2003). Cartografía de riesgos naturales en América Central con datos obtenidos desde Internet [<https://core.ac.uk/download/pdf/39020539.pdf>]. *Universidad de Alcalá de Henares*.
- Burón, L. (2020). El poder de las palabras: los desastres no son naturales [<https://www.undrr.org/es/news/el-poder-de-las-palabras-los-desastres-no-son-naturales>].
- Capdevila, E., y Mínguez, C. (2016). Introducción a los Sistemas de Información Geográfica. *Manual de Tecnologías de la Información Geográfica aplicadas a la Arqueología*.
- Cardona A., O. D. (2001). El impacto económico de los desastres: Esfuerzos de medición existentes y propuesta alternativa. *Banco Interamericano de Desarrollo*.
- Centro Nacional de Prevención de Desastres. (2020). La relación entre el cambio de uso del suelo y las inundaciones [<https://www.gob.mx/cenapred/es/articulos/la-relacion-entre-el-cambiode-uso-del-suelo-y-las-inundaciones>]. *Gobierno de México*.

- CEPAL. (2010). Desastres y desarrollo: el impacto en 2010 (cifras preliminares) [https://www.cepala.org/sites/default/files/events/files/susana_adamo.pdf].
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2005). Efectos en Guatemala de las lluvias torrenciales y la tormenta tropical Stan, Octubre 2005 [<https://repositorio.cepala.org/server/api/core/bitstreams/f5aa0266-cb6d-40dd-8010-9383a044561c/content>].
- Concejo Municipal de Desarrollo del Municipio de Chichicastenango, Quiché. (2010). Plan de Desarrollo de Chichicastenango, Quiché 2011 - 2025.
- Concejo Municipal de Desarrollo del municipio de El Júcaro, El Progreso. (2019). Plan de Desarrollo Municipal y Ordenamiento Territorial El Júcaro, El Progreso 2019 - 2032.
- Concejo Municipal de Desarrollo del municipio de Guastatoya, El Progreso. (2010). Plan de Desarrollo, Guastatoya, El Progreso.
- Concejo Municipal de Desarrollo del Municipio de Pachalum, Quiché. (2019). Plan de Desarrollo Municipal y Ordenamiento Territorial Pachalum, Quiché 2019 - 2032.
- Concejo Municipal de Desarrollo del Municipio de Puerto Barrios. (2018). Plan de Desarrollo y de Ordenamiento Territorial PDM OT de Puerto Barrios, Izabal 2018 - 2032.
- Concejo Municipal de Desarrollo del municipio de Río Hondo, Zacapa. (2018). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Municipio de Río Hondo 2019 - 2032.
- Concejo Municipal de Desarrollo del municipio de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso. (2019). Plan de Desarrollo Municipal y Ordenamiento Territorial San Agustín Acasaguastlán, El Progreso 2019 - 2032.
- Concejo Municipal de Desarrollo del municipio de San Cristóbal Acasaguastlán, El Progreso. (2018). Plan de Desarrollo Municipal y Ordenamiento Territorial San Cristóbal Acasaguastlán, El Progreso 2018 - 2032.
- Concejo Municipal de Desarrollo del Municipio de San Martín Jilotepeque. (2010). Plan de Desarrollo San Martín Jilotepeque, Chimaltenango. Guatemala 2011 - 2025.
- Concejo Municipal de Desarrollo del Municipio de Tecpán Guatemala, Chimaltenango, Guatemala. (2019). Plan de Desarrollo Municipal con enfoque al Ordenamiento Territorial, Municipio de Tecpán 2019 - 2032.
- Concejo Municipal de Desarrollo Municipal de Joyabaj, Quiché. (2019). Plan de Desarrollo Municipal y Ordenamiento Territorial Joyabaj, Quiché 2019 - 2032.
- Concejo Municipal de Gualán, Zacapa. (2018). Plan de Desarrollo Municipal y Ordenamiento Territorial, Municipio de Gualán, Zacapa 2018 - 2032.
- Concejo Municipal de Morales, Izabal. (2018). Plan de Desarrollo Municipal y Ordenamiento Territorial, Municipio de Morales, Izabal 2018 - 2032.
- Concejo Municipal de Salamá, Baja Verapaz. (2018). Plan de Desarrollo Municipal y Ordenamiento Territorial, municipio de Salamá, Baja Verapaz 2018 - 2032.
- Concejo Municipal de San Jerónimo, Baja Verapaz. (2018). Plan de Desarrollo Municipal y Ordenamiento Territorial, municipio de San Jerónimo, Baja Verapaz 2018 - 2032.
- Consejo Nacional para la Reducción de Desastres. (2023). Política Nacional para la Reducción del Riesgo de Desastres en Guatemala (PNRRD) 2024 - 2034 [<https://www.undp.org/es/guatemala/publicaciones/politica-nacional-para-la-reduccion-de-riesgos-en-guatemala-pnrrd>].

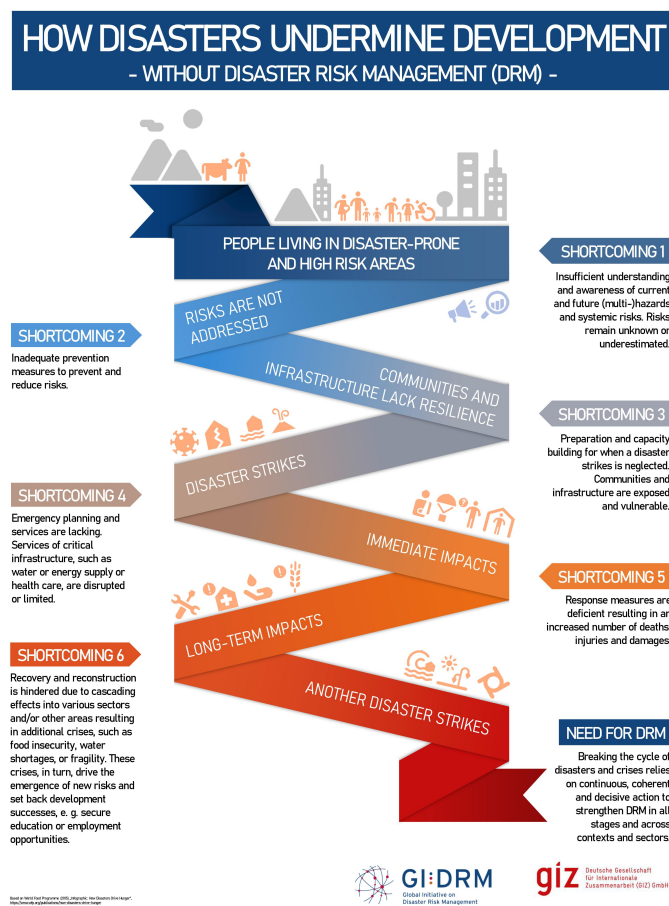
- Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres. (2015). Deslizamiento el Cambray II. Santa Catarina Pinula. [https://www.conred.gob.gt/documentos/cambray2/DCS_20151006_Informe_situacion_actual_0800hrs_Deslizamiento_Cambray_II.pdf].
- Departamento de Agricultura de EE. UU. (1961). Land-Capability Classification [<https://www.govinfo.gov/content/pkg/GOVPUB-A-PURL-gpo20777/pdf/GOVPUB-A-PURL-gpo20777.pdf>].
- Dirección de Información Geográfica, Estratégica y Gestión de Riesgos. (2021). Determinación de la Cobertura Vegetal y Uso de la Tierra a escala 1: 50,000 de la República de Guatemala, Año 2020 [<https://www.maga.gob.gt/download/Cobertura-vegetal-uso-de-la-tierra-21.pdf>].
- Disaster Risk Management Model Center. (2021). INFORM Subnational Risk. Guatemala [<https://drmkc.jrc.ec.europa.eu/inform-index/INFORM-Subnational-Risk/Guatemala>].
- Doerr, A., y Levasseur, K. (2022). Estructuras Discretas Aplicadas. *Universidad de Massachusetts Lowell*, Capítulo 6, Sección 4.
- Escobar, J. (2023). Muestreo Probabilístico [<https://excelparatodos.com/muestreo-probabilistico/>].
- Esquit Chiquitá, F. A. (2023). Boletín Especial de Ríos [<https://insivumeh.gob.gt/?p=81667>].
- Faustino, J., y Jiménez, F. (2000). Manejo de cuencas hidrográficas. *Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza*.
- Federación Internacional de Sociedades de la Cruz Roja y de la Media Luna Roja. (s. f.). ¿Qué es un desastre? [<https://www.ifrc.org/es/nuestro-trabajo/desastres-clima-y-crisis/que-es-desastre>].
- Federal Emergency Management Agency. (2023). Manual Sobre el Manejo de Peligros Naturales en la Planificación para el Desarrollo Regional Integrado [<https://www.fema.gov/es/emergency-managers/risk-management/hazard-mitigation-planning>].
- Fernández, T., Delgado, J., Cardenal, F. J., Jiménez, J., el Hamdouni, R., Irigaray, C., y Chacón, J. (2010). Análisis de Riesgos Naturales a partir de Infraestructura de Datos Espaciales. *Universidad de Sevilla*, 1251-1257.
- García L., C. G. (2015). Los Sistemas de Información Geográfico y su Aplicación a Estudios de Riesgos [<http://revistanadir.yolasite.com/resources/>]. *Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires*.
- Gaspari, F. J., Rodríguez Vagaría, A. M., y Montealegre Medina, F. A. (2019). Manejo de cuencas hidrográficas: Herramientas de sistemas de información geográfica. *Universidad Nacional de La Plata*.
- Gellert, G., y Gamarra, L. (2003). *La trama y el drama de los riesgos a desastres. Dos estudios a diferente escala sobre la problemática en Guatemala*. Editorial de la Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales.
- Global Initiative on Disaster Risk Management. (2020). Global Initiative on Disaster Risk Management (GIDRM) [https://www.gidrm.net/user/pages/get-started/resources/files/20230119161428-GIDRM_Overview.pdf]. *Sociedad Alemana de Cooperación Internacional*.

- Global Initiative on Disaster Risk Management. (2023). What is disaster risk management (DIR)? [https://www.gidrm.net/en/gidrm/what-is-drm]. *Sociedad Alemana de Cooperación Internacional*.
- Global Water Partnership. (2022). ¿Qué es la GIRH? [https://www.gwp.org/es/GWP-Sud-America/ACERCA/como/Que-es-la-GIRH/].
- Global Water Partnership & Sociedad Geográfica de Lima. (2011). ¿Qué es una cuenca hidrológica? [https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/cuenca_hidrologica.pdf].
- González Figueroa, A. (1988). Diagnóstico Preliminar de la Cuenca Hidrográfica Binacional Motagua [https://repositorio.iica.int/handle/11324/14392]. *Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura*.
- Ibáñez, J. J. (2008). Concepto de Deslizamientos, Avalanchas y Movimientos de Tierra: Desastres Naturales en los que Interviene el Suelo [https://www.madrimasd.org/blogs/universo/2008/06/20/95171].
- IONOS. (2023). El diagrama de Ishikawa para abordar los problemas correctamente [https://www.ionos.es/startupguide/productividad/diagrama-de-ishikawa/].
- Khatakho, R., Gautam, D., Aryal, K. R., Pandey, V. P., Rupakhety, R., Lamichhane, S., Liu, Y.-C., Abdouli, K., Talchabhadel, R., Thapa, B. R., y Adhikari, R. (2021). Multi-Hazard Risk Assessment of Kathmandu Valley, Nepal [https://www.mdpi.com/2071-1050/13/10/5369].
- Korah, P., y Juárez, F. (2015). Mapping Flood Vulnerable Areas in Quetzaltenango, Guatemala using GIS [https://www.researchgate.net/profile/Prosper-Korah/publication/274407763_Mapping_Flood_Vulnerable_Areas_in_Quetzaltenango_Guatemala_using_GIS/links/551fc76c0cf2a2d9e1409125/Mapping-Flood-Vulnerable-Areas-in-Quetzaltenango-Guatemala-using-GIS.pdf].
- Los Angeles Times. (2017). Terremoto de 6.9 grados en Guatemala deja daños menores y un herido [https://www.latimes.com/espanol/internacional/articulo/2017-06-14/hoyla-un-sismo-enguatemala-deja-danos-menores-y-un-herido-20170614].
- Lowry, J., Miller, H., y Hepner, G. (1995). A GIS-Based Sensitivity Analysis of Community Vulnerability to Hazardous Contaminants on the Mexico/U.S. Border [https://www.asprs.org/wpcontent/uploads/pers/1995journal/nov/1995_nov_1347-1359.pdf]. *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing*.
- Martínez Vivar, Á. L. (2023). ¿Cuál es la relación y su importancia agua-bosque y cuenca para el ser humano? [https://plataformaeducativa.marn.gob.gt/mod/forum/discuss.php?d=237]. *Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales*.
- Martínez-Ponce, J. G. (2001). *Introducción al Análisis de Riesgos*. Editorial Limusa Noriega.
- Menjívar, L., y Guillemes, Á. (2023). Consideraciones para la evaluación del riesgo climático y de desastre. *Revista Iberoamericana Ambiente & Sustentabilidad*, Vol. 6.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Ambiente. (2021). Informe de pérdidas y daños por efectos del cambio climático en Guatemala [https://portal.segeplan.gob.gt/segeplan/wp-content/uploads/2023/08/Informe_Guatemala2021_CC.pdf].

- Ministerio de Finanzas Públicas. (2024). Guatemala recibió US\$6.376 millones por seguro paramétrico del CCRIF SPC [<https://saladeprensa.minfin.gob.gt/guatemala-recibio-us6-376-millones-por-seguro-parametrico-del-ccrif-spc/>].
- Montejo, A., Montejo, A., y Montejo, A. (2018). *Estabilización de Suelos*. Ediciones de la U.
- Morales, S. (2023). ¿Cuánto ha impactado el fenómeno El Niño en Guatemala y cuanto ha dejado de llover este año? *Prensa Libre*.
- Oficina de las Naciones Unidas para reducción del Riesgo de Desastres. (2015). *Evaluación Global sobre la Reducción del Riesgo de Desastres*.
- Organización de Estados Americanos. (1993). Manual Sobre el Manejo de Peligros Naturales en la Planificación para el Desarrollo Regional Integrado [<http://www.oas.org/dsd/publications/unit/oea65s/oea65s.pdf>].
- Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo. (2010). Evaluación de Riesgo de Desastres. *Buró de Prevención de Crisis y Recuperación*.
- Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo. (2021). Guatemala y Honduras trabajan en la protección de la cuenca del río Motagua.
- Rojas, N., Barboza, E., Maicelo, J., Oliva, S., & Salas, R. (2019). Deforestación en la Amazonía peruana: índices de cambios de cobertura y uso del suelo basado en SIG [<http://dx.doi.org/10.21138/bage.2538a>]. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, Volumen 81.
- Sarmah, T., Das, S., Narendr, A., & Aithal, B. (2021). Assessing human vulnerability to urban flood hazard using the analytic hierarchy process and geographic information system [<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S221242091931026X>].
- Sekita, B. (2020). De qué manera utilizamos los SIG en todas las fases del manejo de Emergencias. *Esri*.
- Suárez, J. (1998). Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. *Universidad Industrial de Santander*.
- UNESCO San José para Centroamérica y México. (2012). Gestión para la Reducción del Riesgo de Desastres y Sistemas de Alerta Temprana [<https://eird.org/pr14/cd/documentos/espanol/AmericaCentralHerramientasydocumentos/AlertaTemprana/EducacionGuatemala.pdf>].
- UNICEF, PNUD, PMA, OCHA y CONRED. (2018). Guía metodológica del Índice para la Gestión de Riesgo [https://sara.humanitarianresponse.info/inform/GT/Guia_Metodologica_INFORM_Guatemala.pdf].
- Zapata, R., Caballeros, R., & Mora, S. (2000). Un tema del desarrollo: La reducción de la vulnerabilidad frente a los desastres [<https://repositorio.cepal.org/items/a521392b-5dc8-4ed8-866d-e4b081b5bdfa>].
- Zupka, D. (1997). Experiencias en la Mitigación de Desastres Naturales. *Departamento de Asuntos Humanitarios de la Organización de Naciones Unidas*.

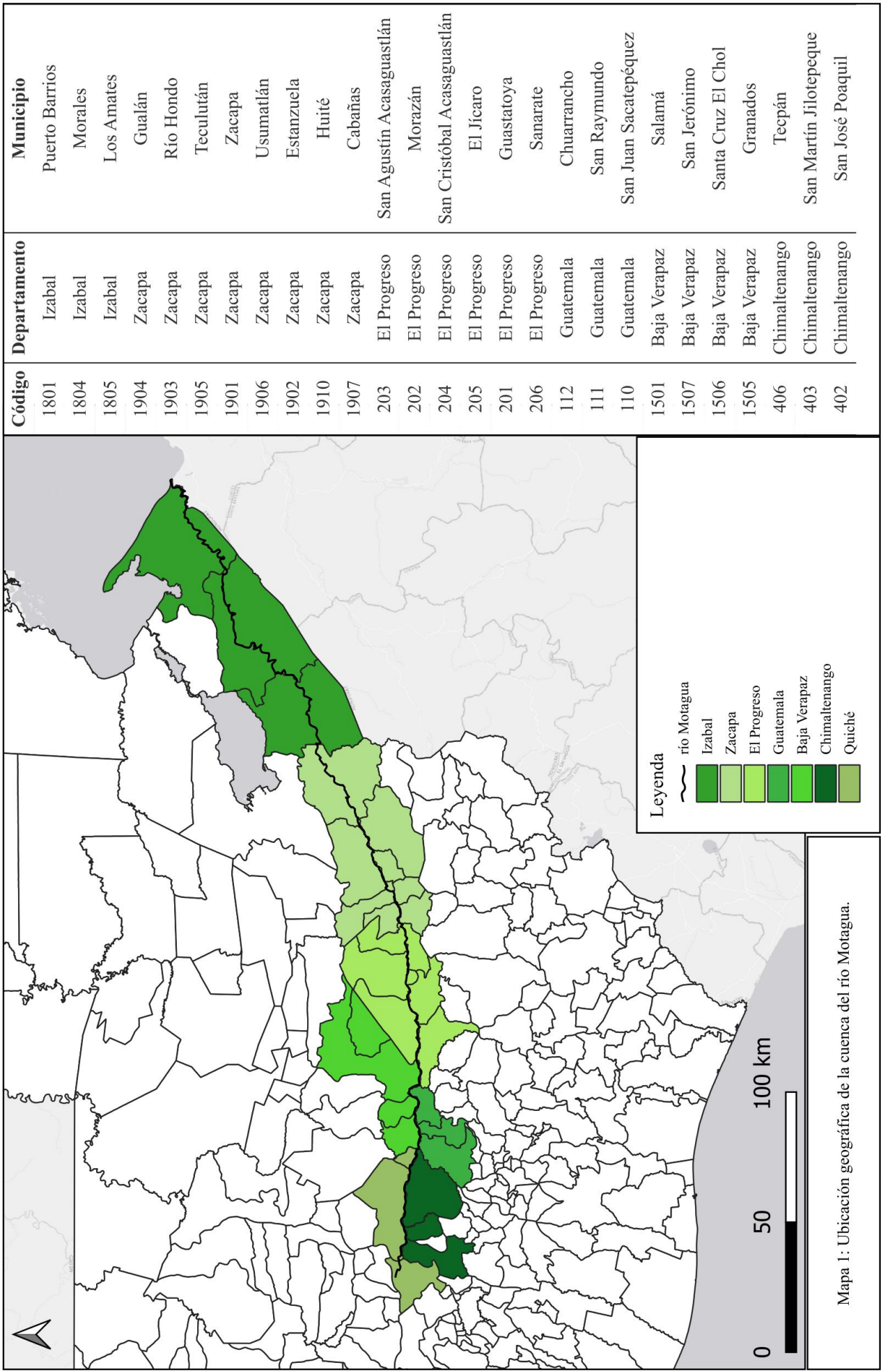
XII. APÉNDICES

A. Infografía. *How disasters undermine development without disaster risk management (DRM)*



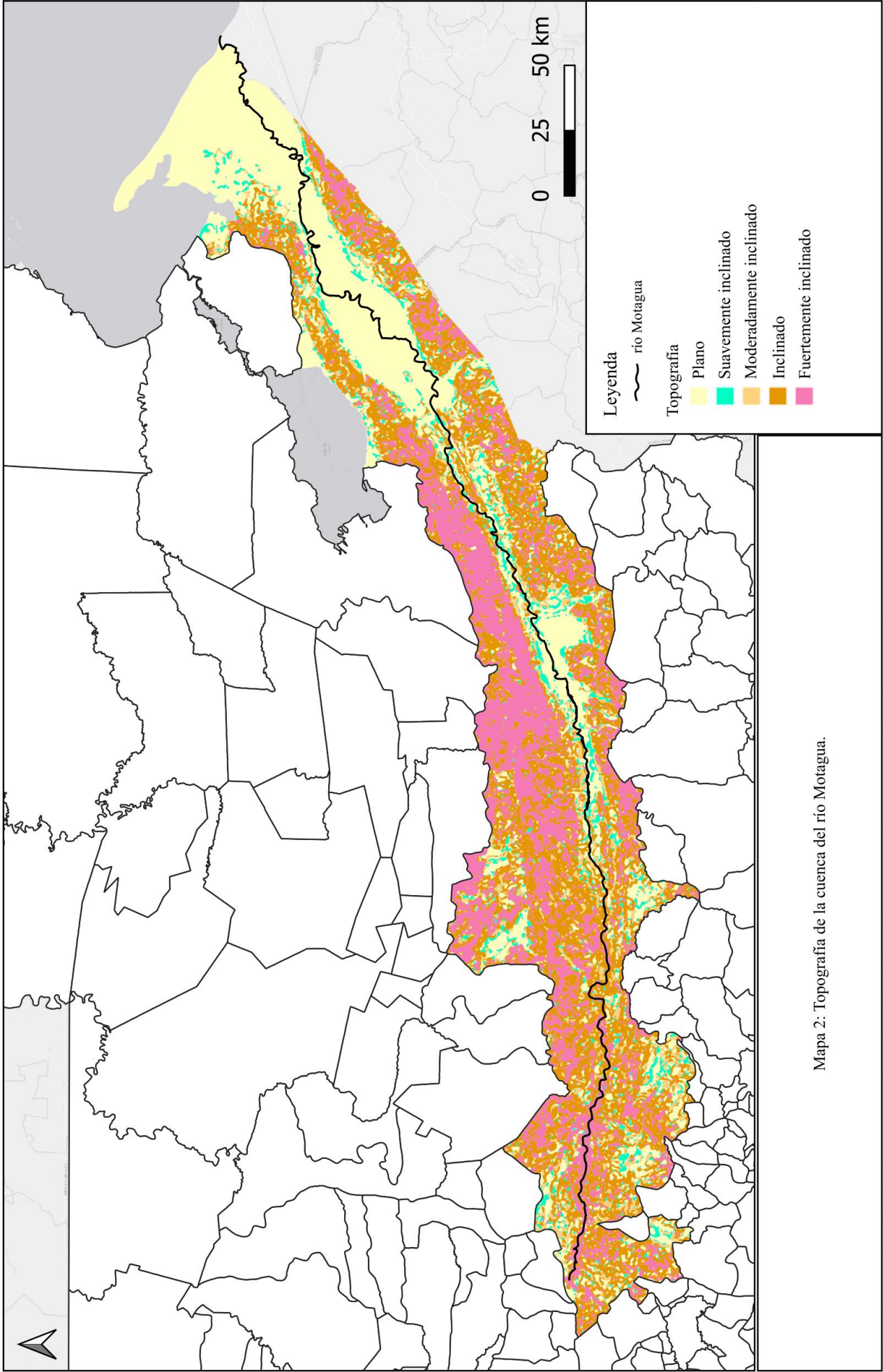
Fuente: Global Initiative on Disaster Risk Management, [2023](#)

B. Mapas temáticos. *Mapas generados con propósito de análisis*



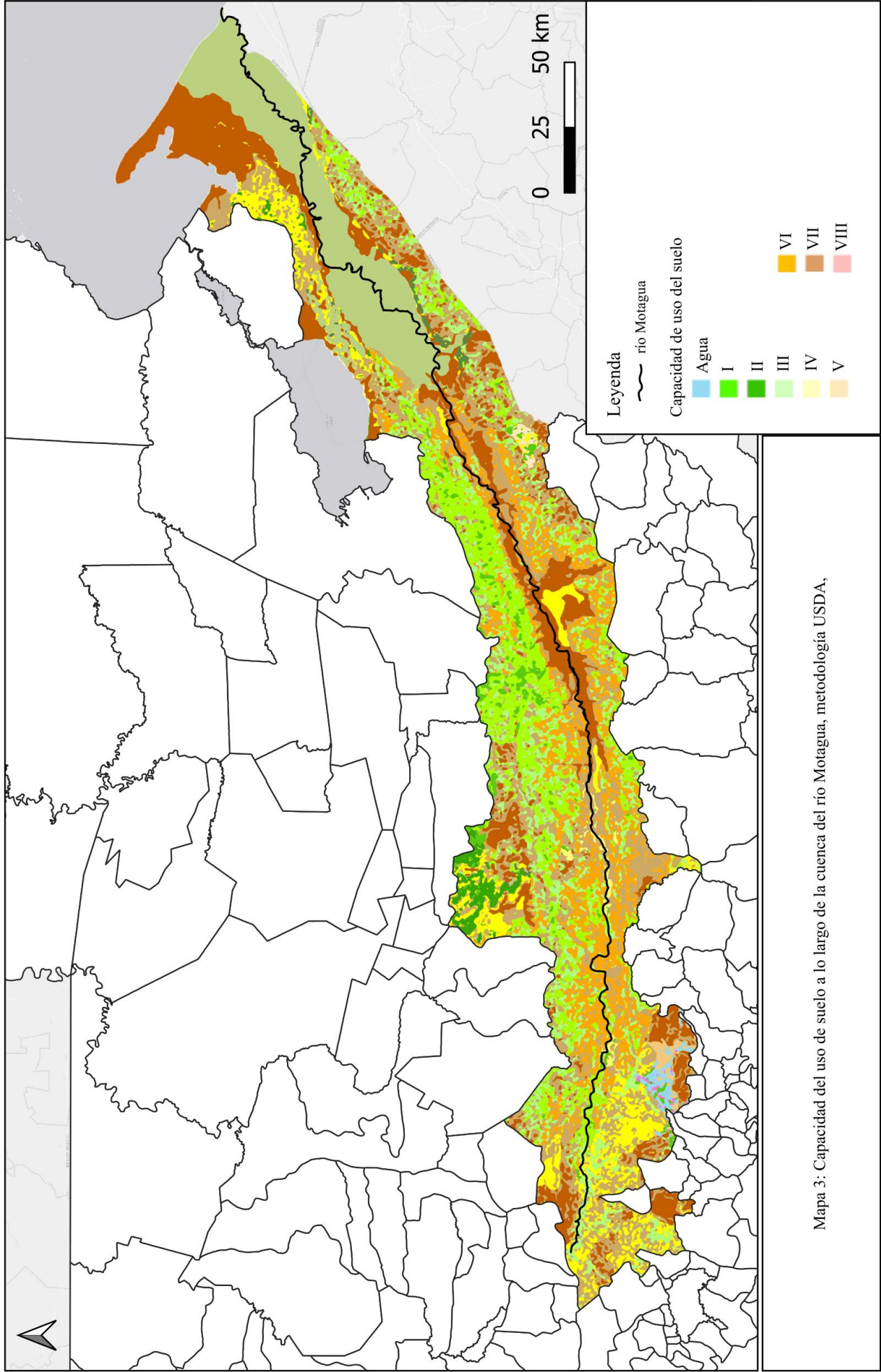
Mapa 1: Ubicación geográfica de la cuenca del río Motagua.

Elaboración propia utilizando datos geográficos obtenidos de la Infraestructura de Datos Espaciales de Guatemala, SEGEPLAN.



Mapa 2: Topografía de la cuenca del río Motagua.

Elaboración propia utilizando datos geográficos obtenidos de la Infraestructura de Datos Espaciales de Guatemala, SEGEPLAN.



Leyenda

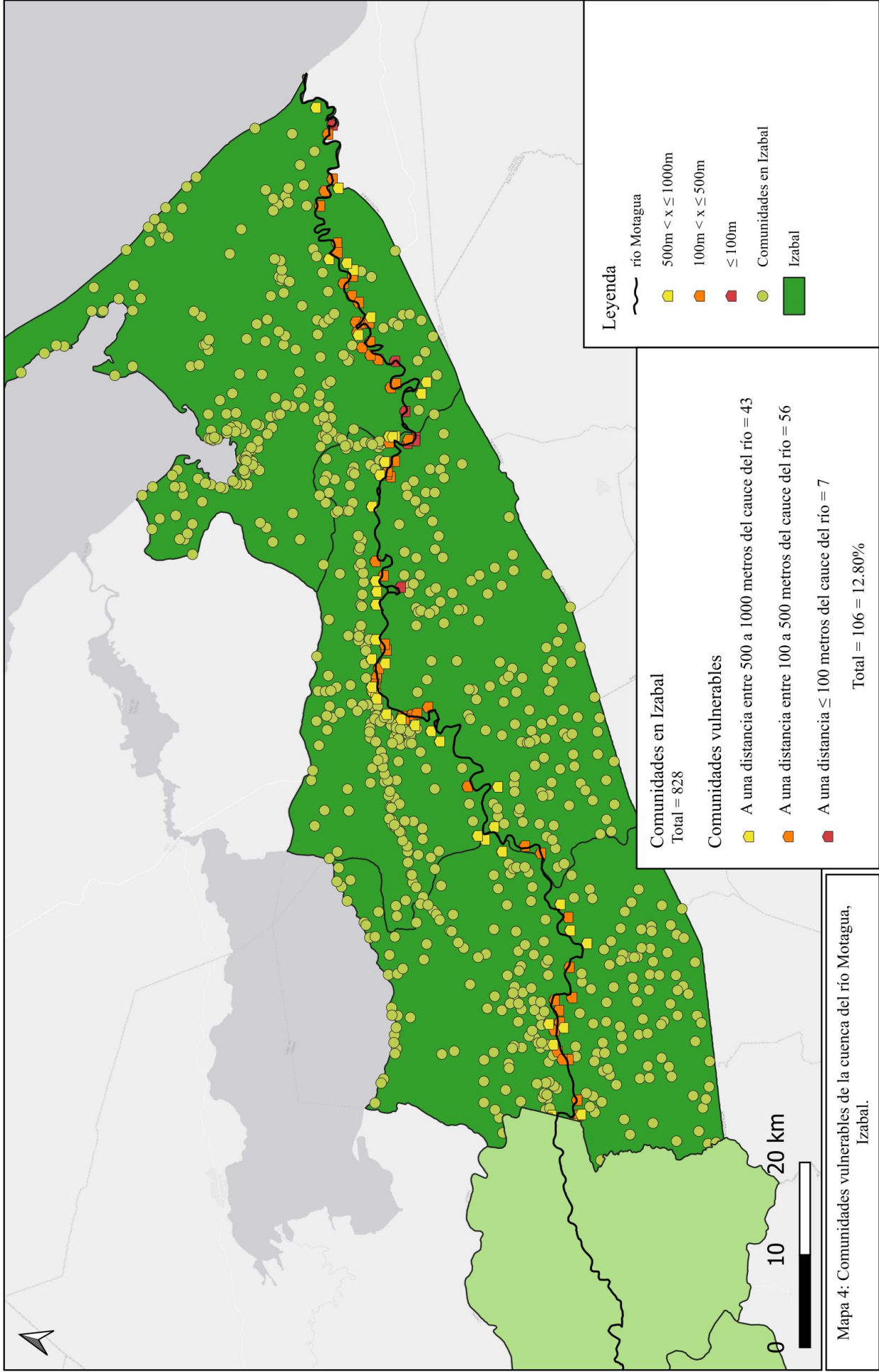
— río Motagua

Capacidad de uso del suelo

Agua	VI
I	VII
II	VIII
III	
IV	
V	

Mapa 3: Capacidad del uso de suelo a lo largo de la cuenca del río Motagua, metodología USDA,

Elaboración propia utilizando datos geográficos obtenidos de la Infraestructura de Datos Espaciales de Guatemala, SEGEPLAN.



Leyenda

- ~~~~ río Motagua
- 500m < x ≤ 1000m
- 100m < x ≤ 500m
- ≤ 100m
- Comunidades en Izabal
- Izabal

Comunidades en Izabal

Total = 828

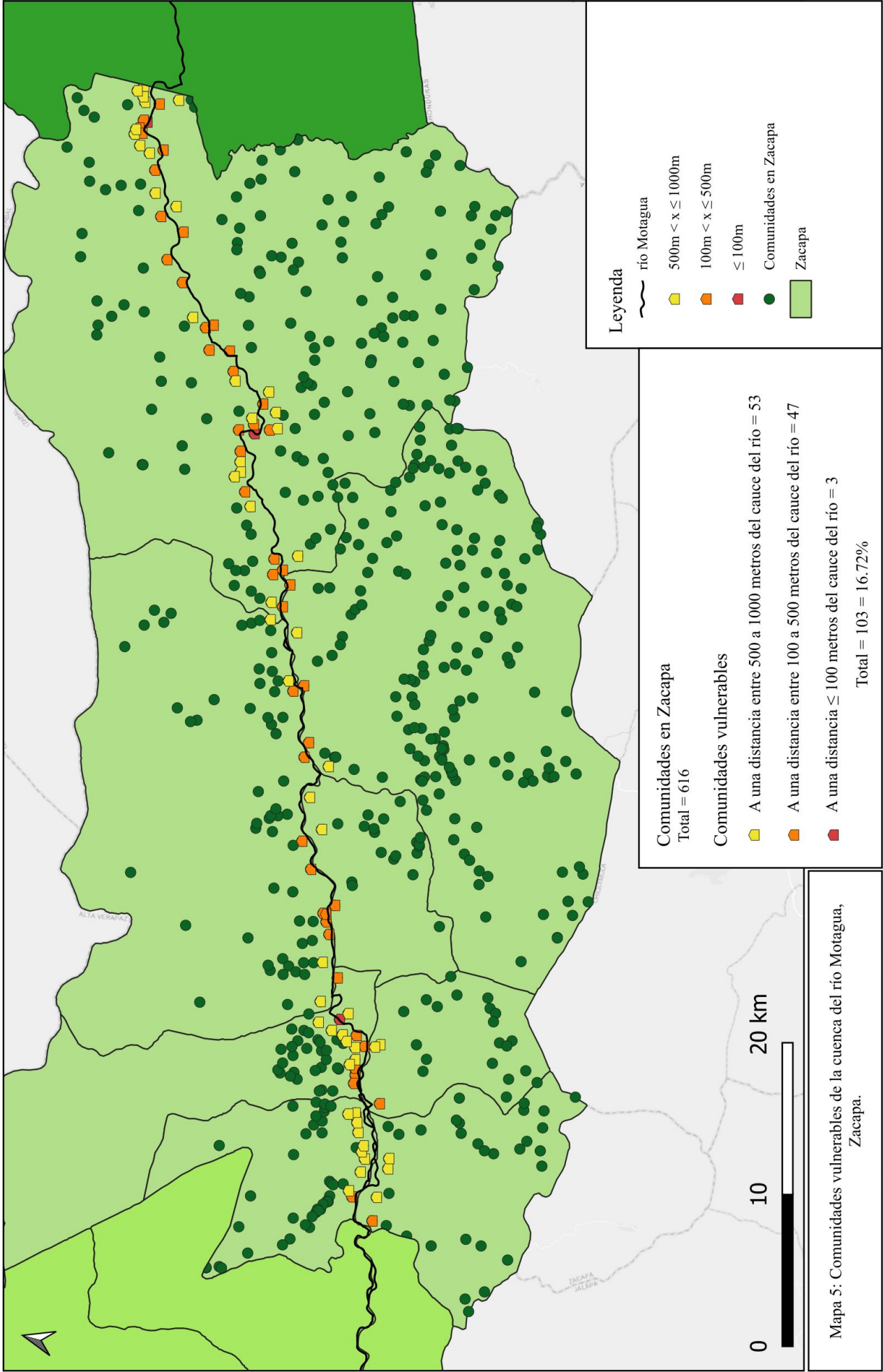
Comunidades vulnerables

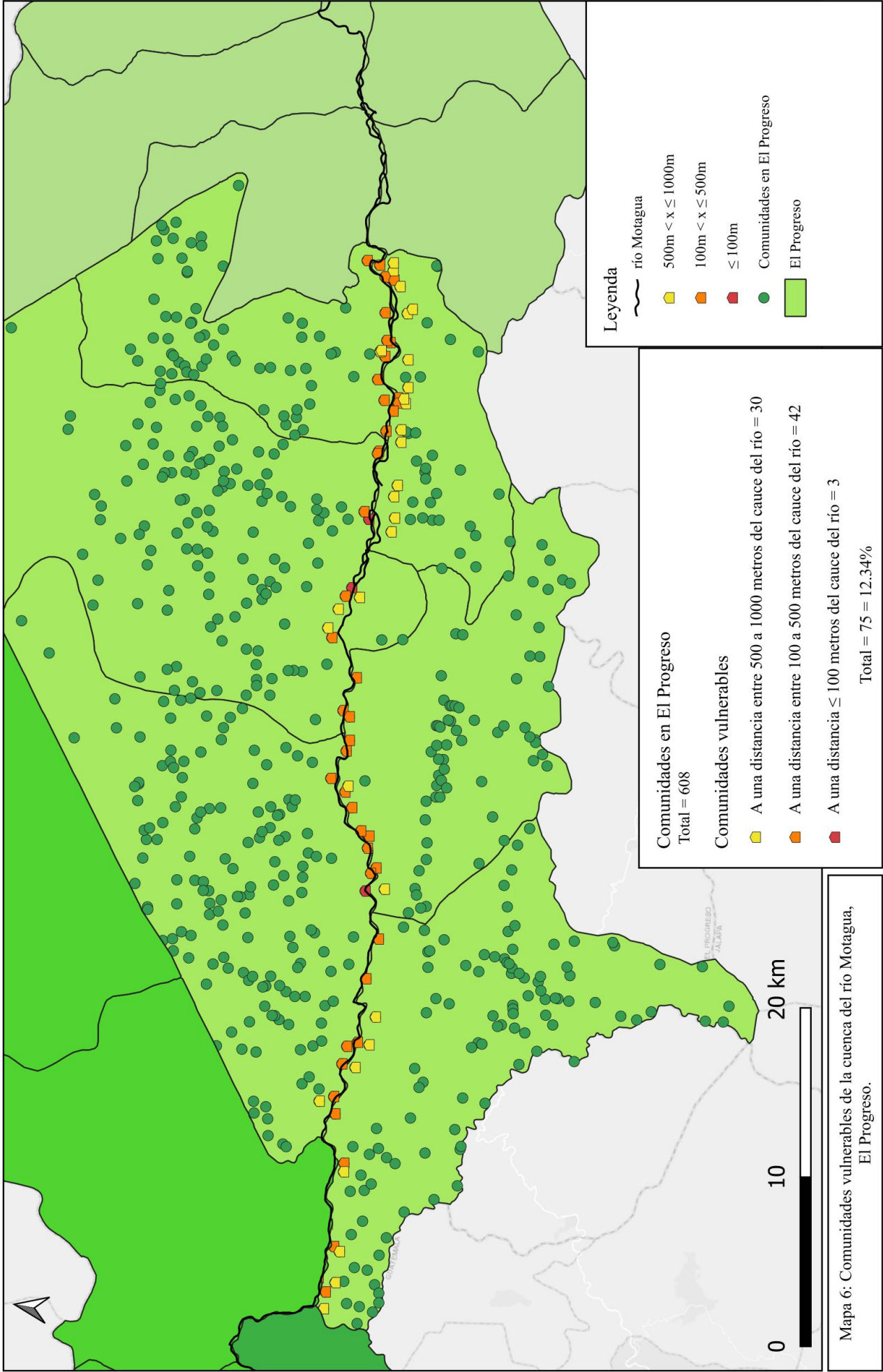
- A una distancia entre 500 a 1000 metros del cauce del río = 43
- A una distancia entre 100 a 500 metros del cauce del río = 56
- A una distancia ≤ 100 metros del cauce del río = 7

Total = 106 = 12.80%

Mapa 4: Comunidades vulnerables de la cuenca del río Motagua, Izabal.

Elaboración propia utilizando datos geográficos obtenidos de la Infraestructura de Datos Espaciales de Guatemala, SEGEPPLAN.





Leyenda

- rio Motagua
- 500m < x ≤ 1000m
- 100m < x ≤ 500m
- ≤ 100m
- Comunidades en El Progreso
- El Progreso

Comunidades en El Progreso
Total = 608

Comunidades vulnerables

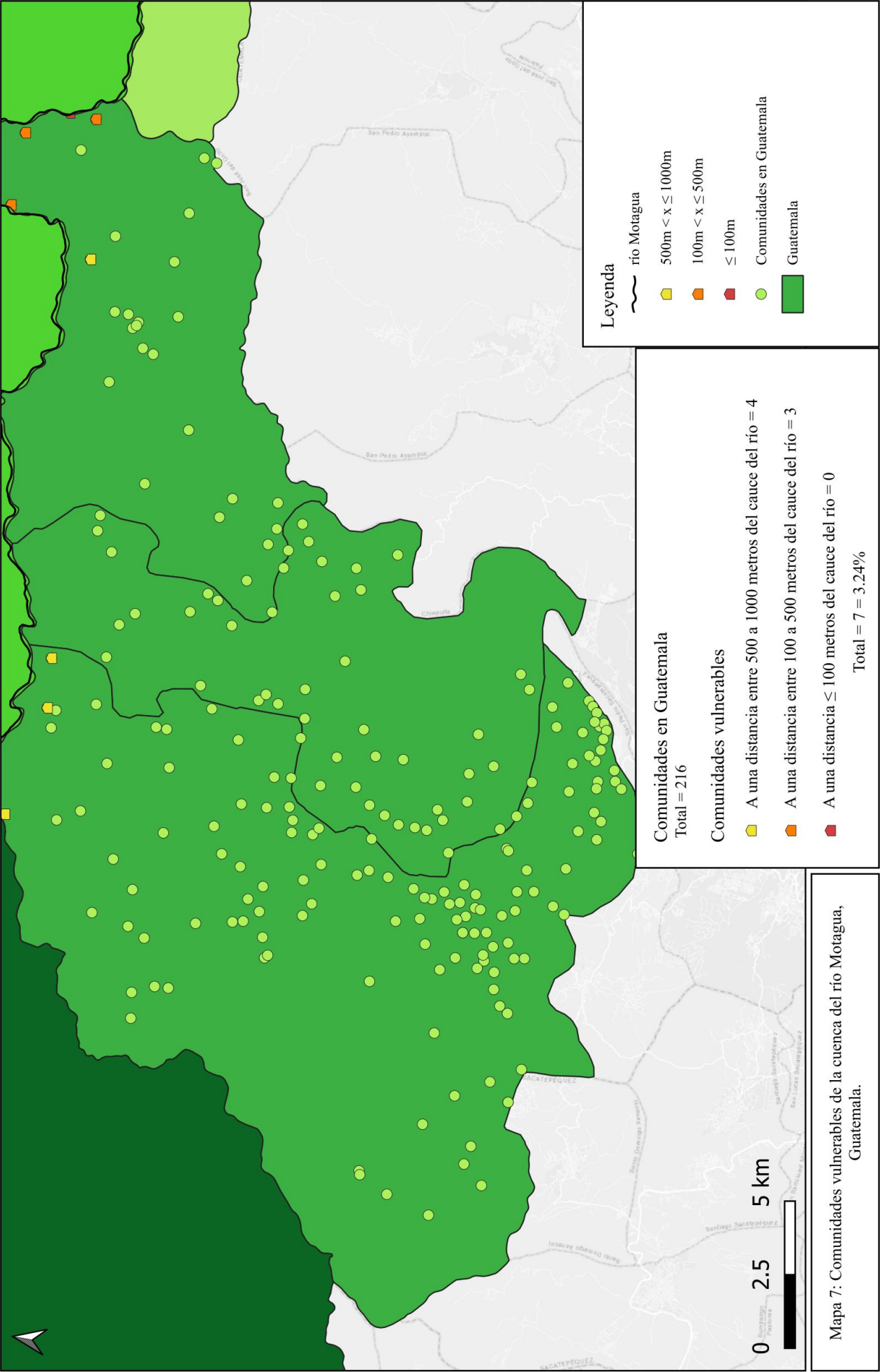
- A una distancia entre 500 a 1000 metros del cauce del río = 30
- A una distancia entre 100 a 500 metros del cauce del río = 42
- A una distancia ≤ 100 metros del cauce del río = 3

Total = 75 = 12.34%

0 10 20 km

Mapa 6: Comunidades vulnerables de la cuenca del río Motagua, El Progreso.

Elaboración propia utilizando datos geográficos obtenidos de la Infraestructura de Datos Espaciales de Guatemala, SEGEPLAN.



Leyenda

- río Motagua
- 500m < x ≤ 1000m
- 100m < x ≤ 500m
- ≤ 100m
- Comunidades en Guatemala
- Guatemala

Comunidades en Guatemala

Total = 216

Comunidades vulnerables

■ A una distancia entre 500 a 1000 metros del cauce del río = 4

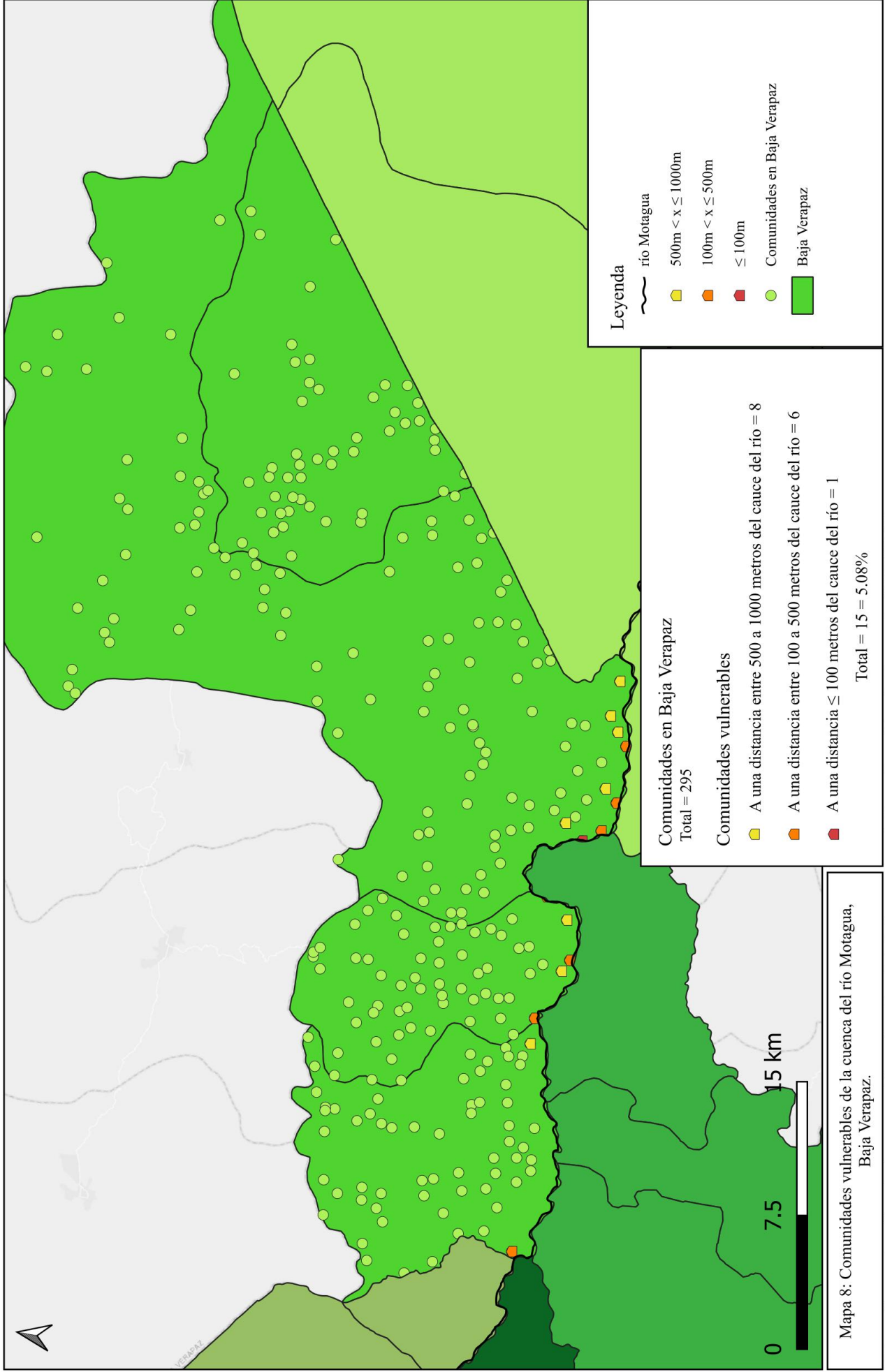
■ A una distancia entre 100 a 500 metros del cauce del río = 3

■ A una distancia ≤ 100 metros del cauce del río = 0

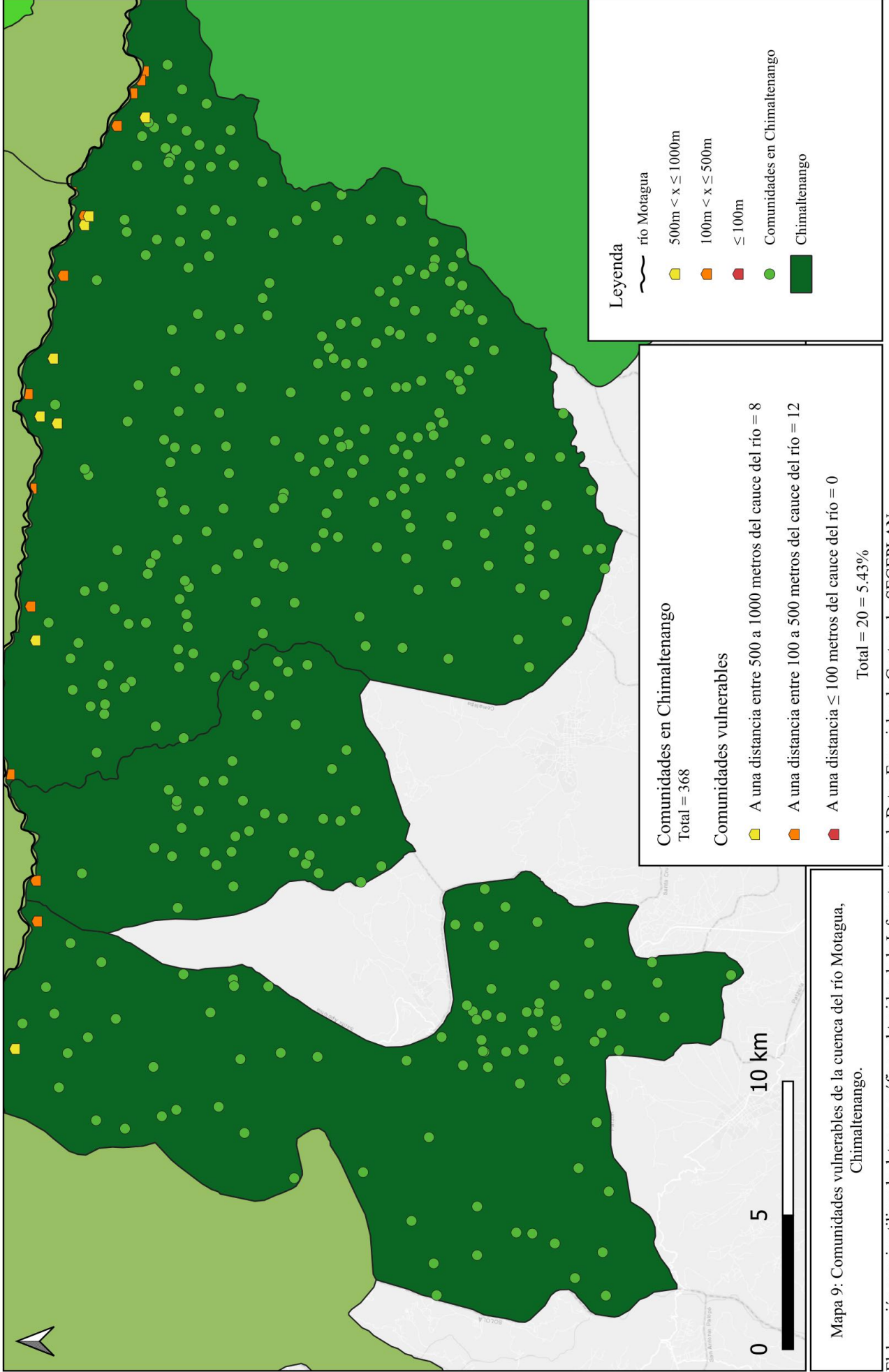
Total = 7 = 3,24%

Mapa 7: Comunidades vulnerables de la cuenca del río Motagua, Guatemala.

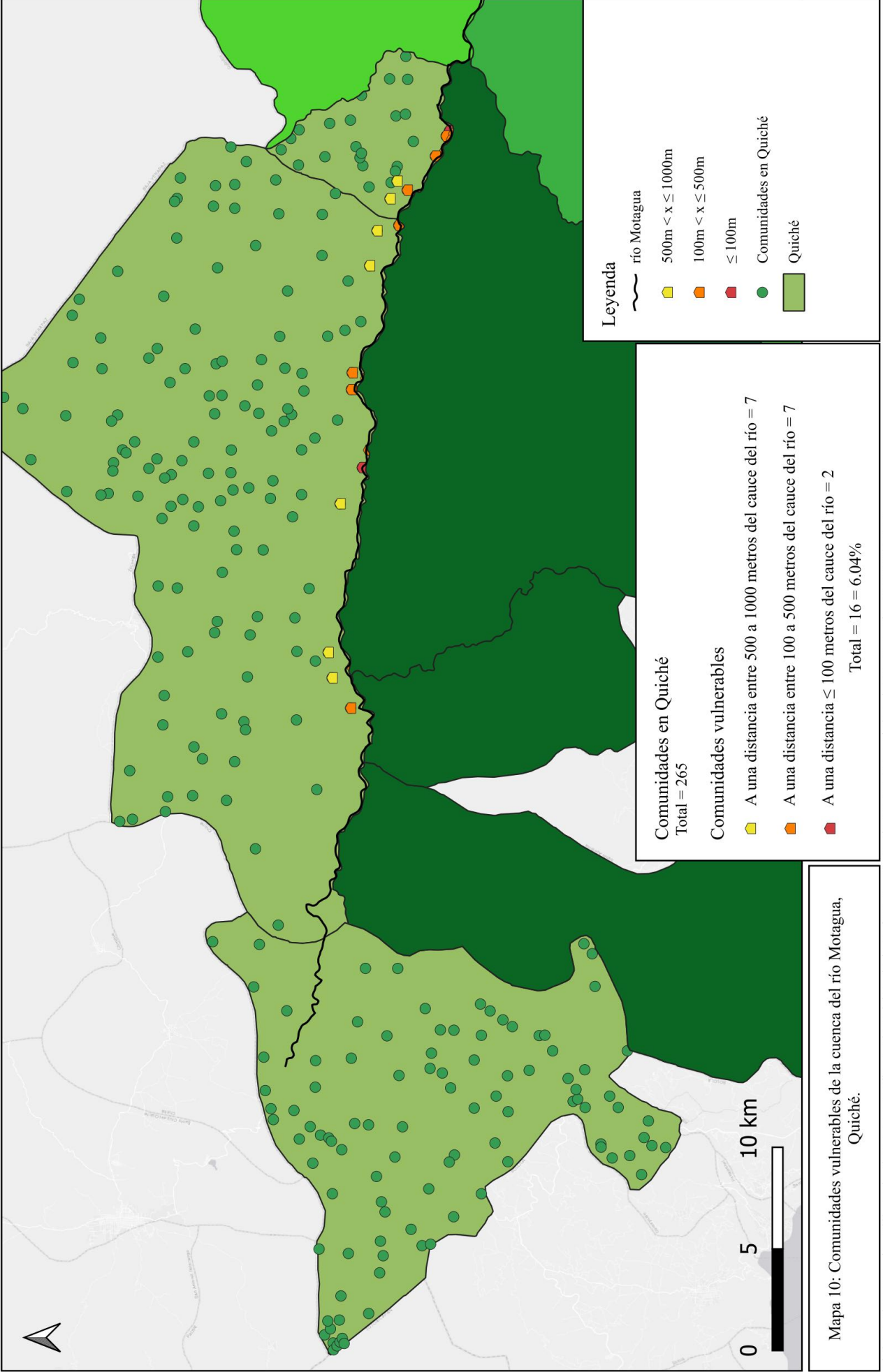
Elaboración propia utilizando datos geográficos obtenidos de la Infraestructura de Datos Espaciales de Guatemala, SEGEPLAN.

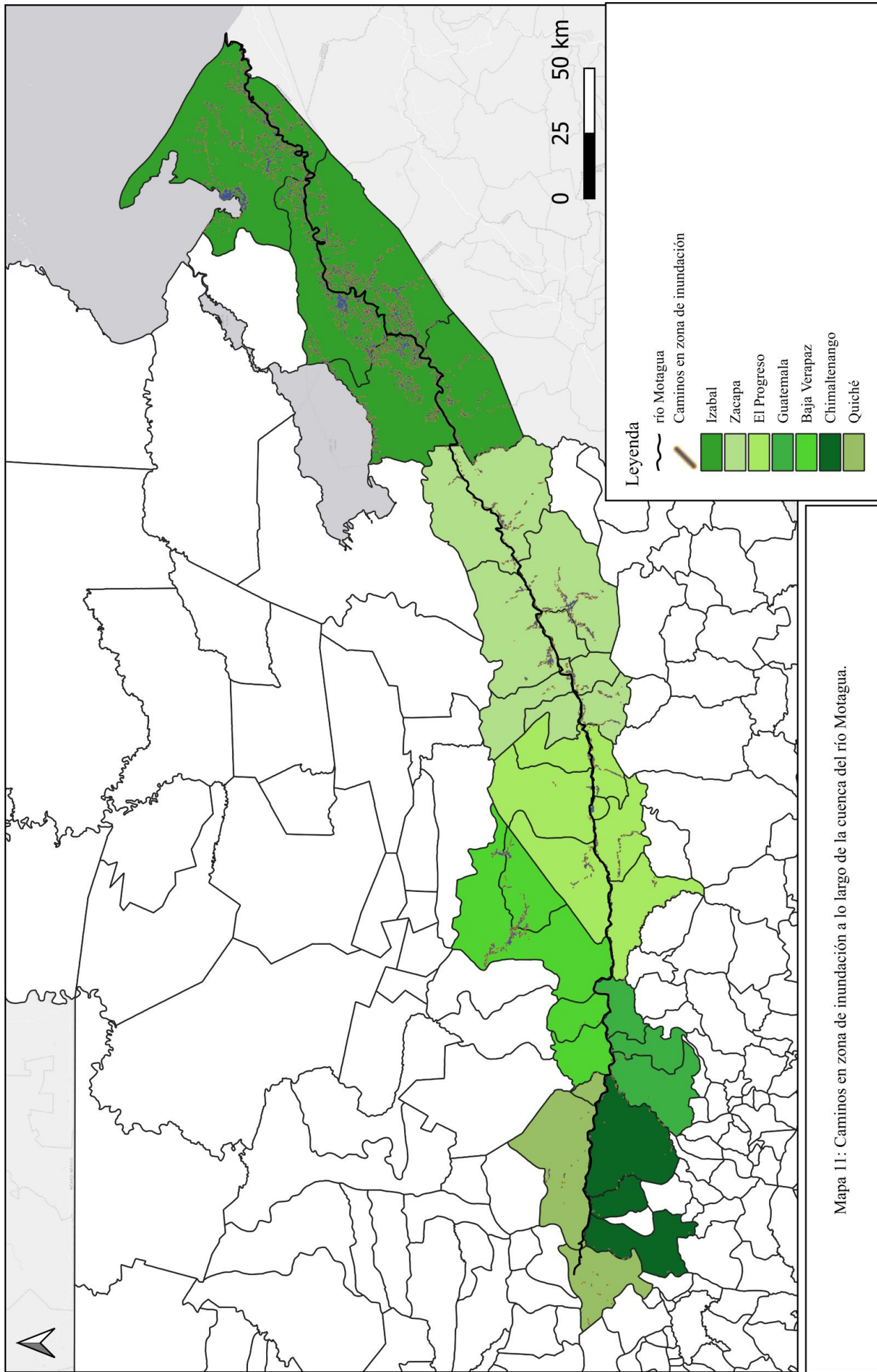


Elaboración propia utilizando datos geográficos obtenidos de la Infraestructura de Datos Espaciales de Guatemala, SEGEPLAN.



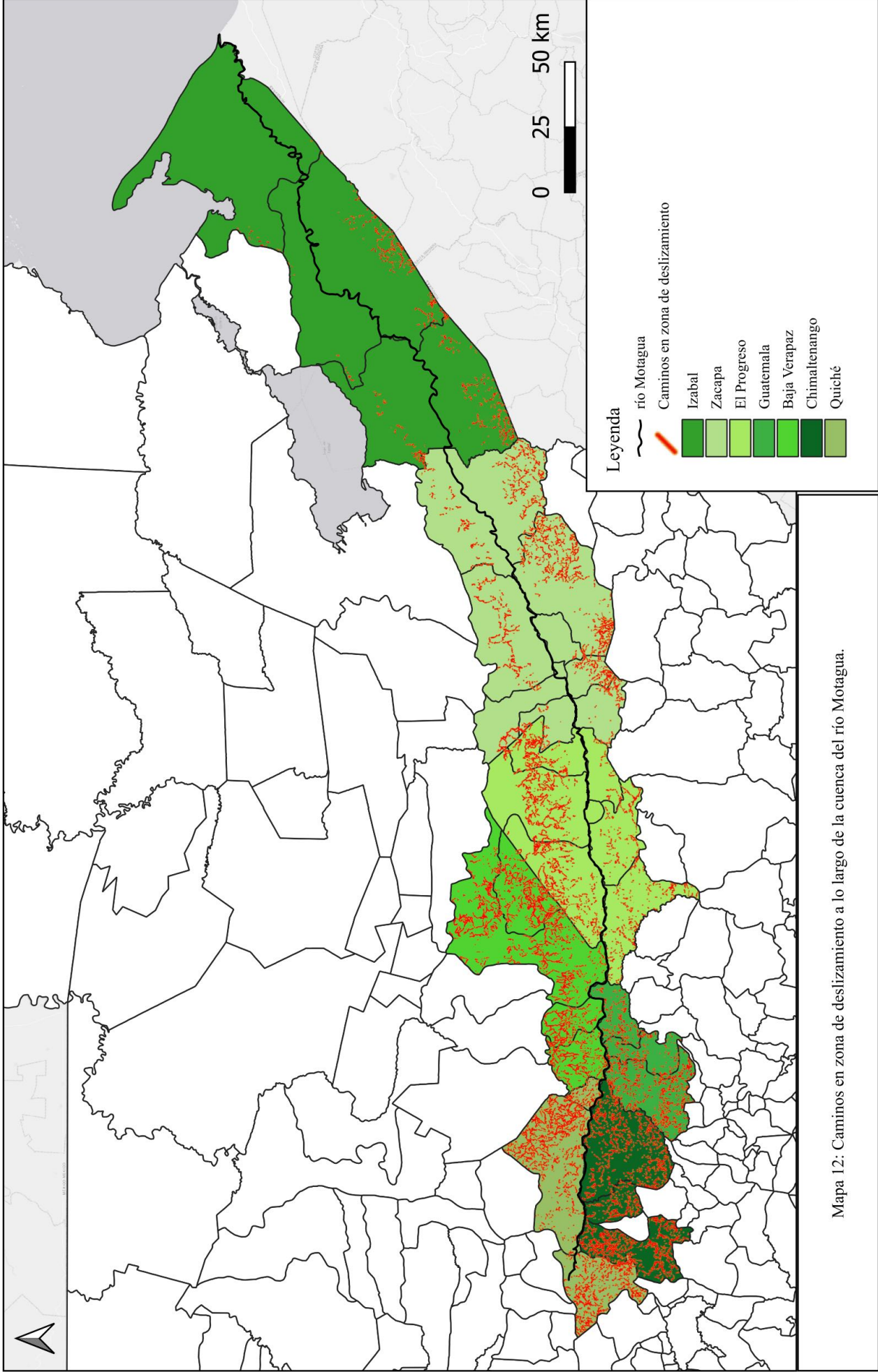
Elaboración propia utilizando datos geográficos obtenidos de la Infraestructura de Datos Espaciales de Guatemala, SEGEPLAN.





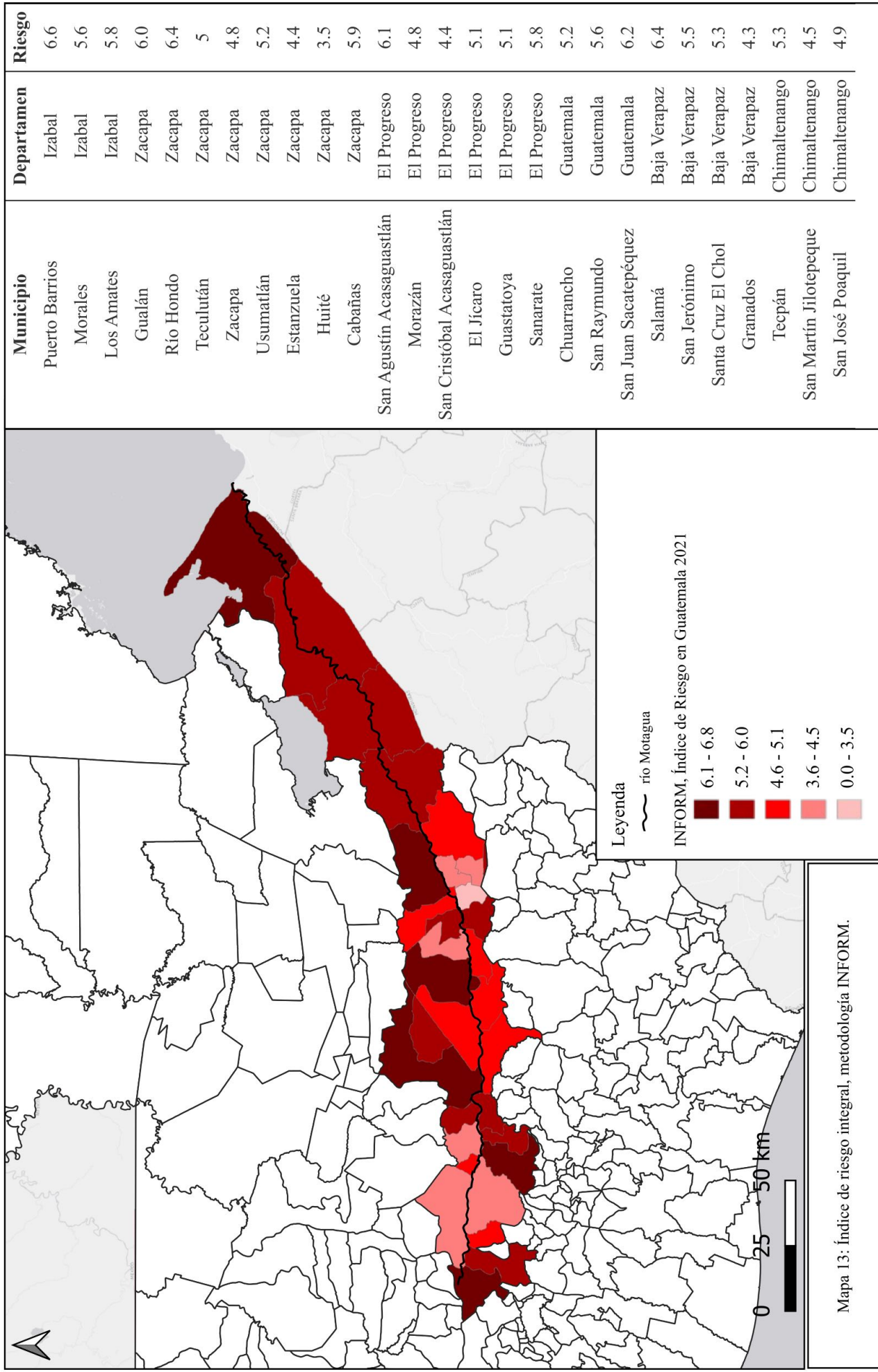
Mapa 11: Caminos en zona de inundación a lo largo de la cuenca del río Motagua.

Elaboración propia utilizando datos geográficos obtenidos de la Infraestructura de Datos Espaciales de Guatemala, SEGEPLAN.



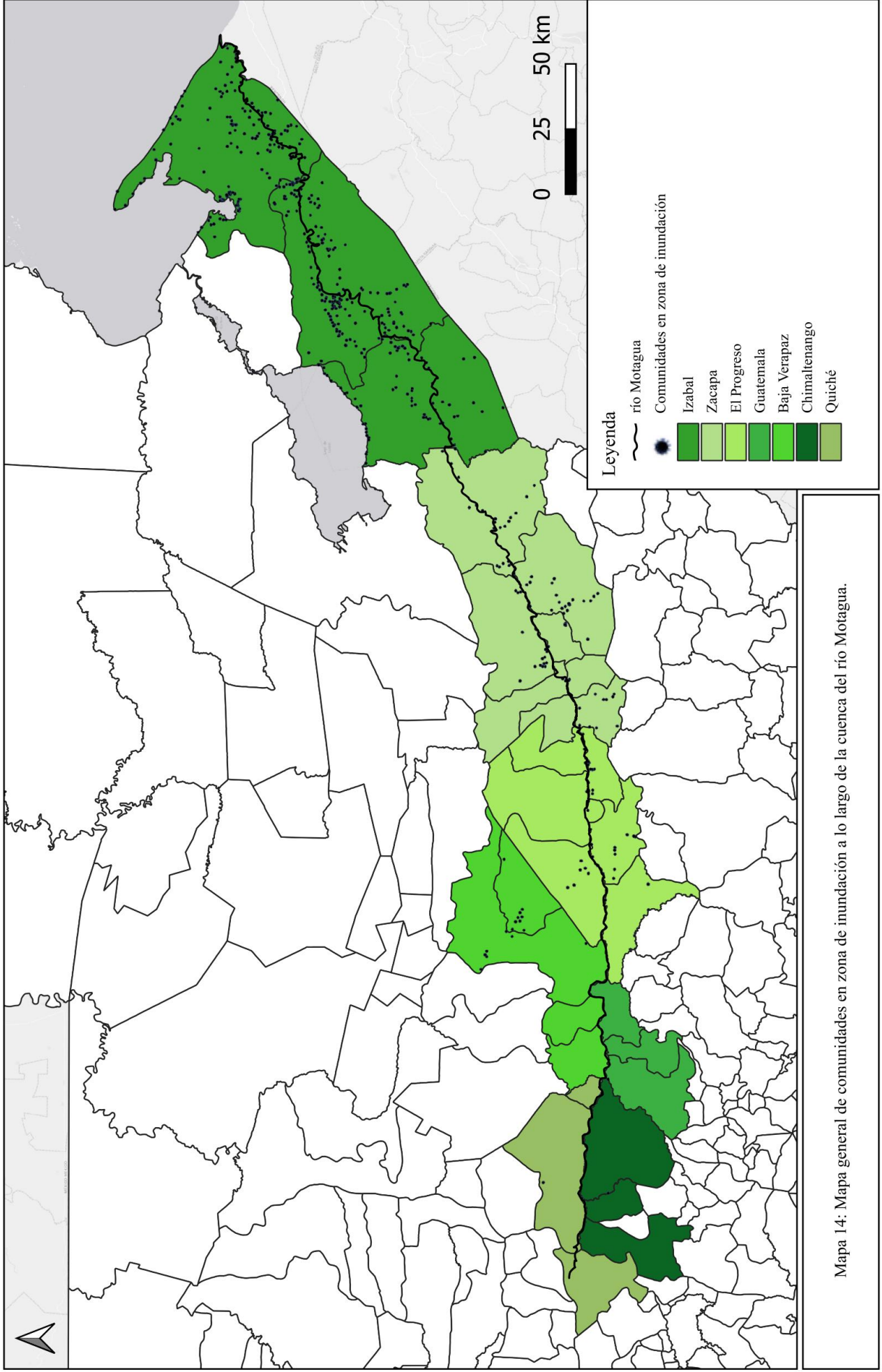
Mapa 12: Caminos en zona de deslizamiento a lo largo de la cuenca del río Motagua.

Elaboración propia utilizando datos geográficos obtenidos de la Infraestructura de Datos Espaciales de Guatemala, SEGEPALAN.



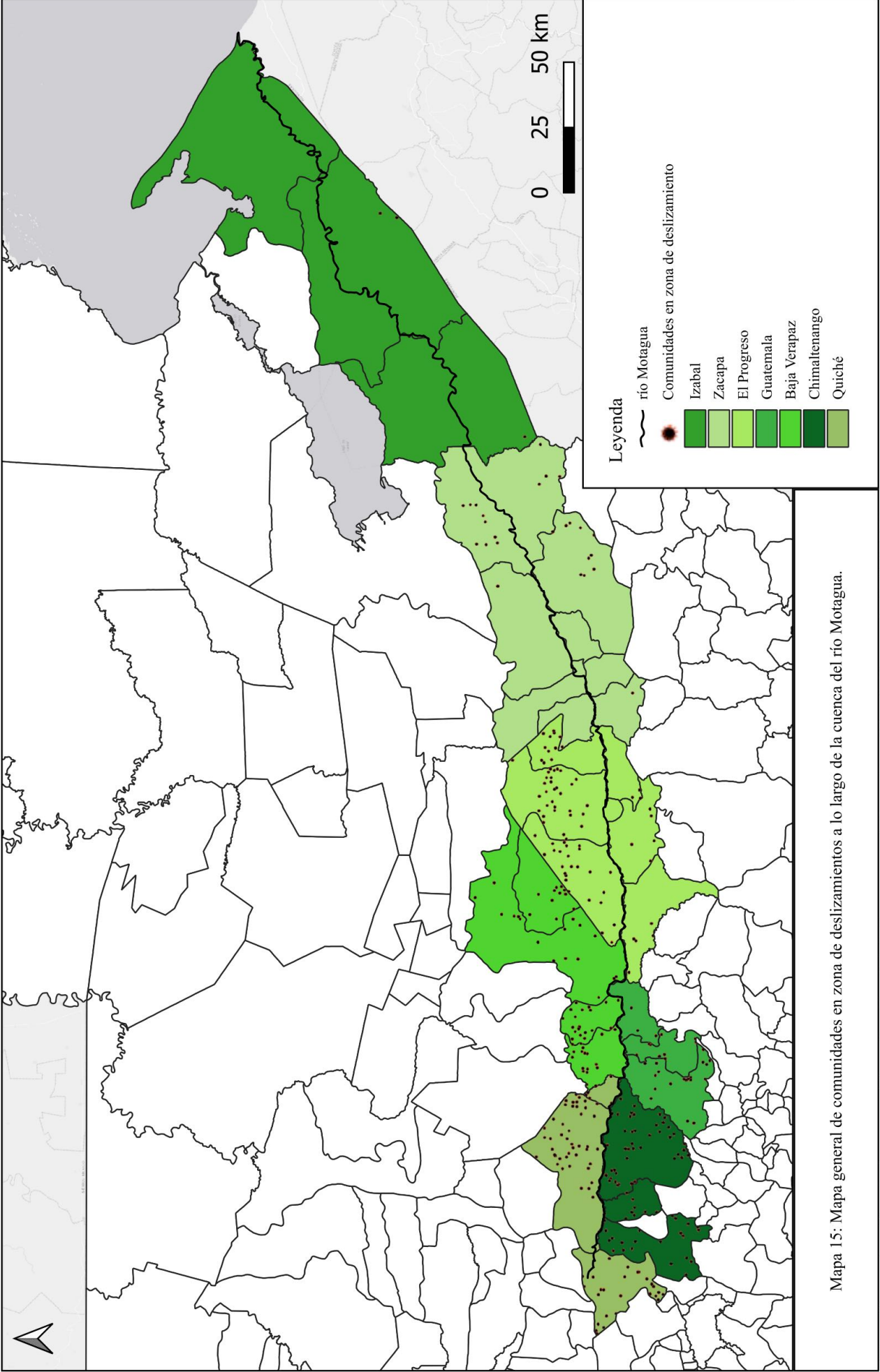
Mapa 13: Índice de riesgo integral, metodología INFORM.

Elaboración propia utilizando datos geográficos obtenidos de la Infraestructura de Datos Espaciales de Guatemala, SEGEPLAN.



Mapa 14: Mapa general de comunidades en zona de inundación a lo largo de la cuenca del río Motagua.

Elaboración propia utilizando datos geográficos obtenidos de la Infraestructura de Datos Espaciales de Guatemala, SEGEPLAN.



Mapa 15: Mapa general de comunidades en zona de desplazamientos a lo largo de la cuenca del río Motagua.

Elaboración propia utilizando datos geográficos obtenidos de la Infraestructura de Datos Espaciales de Guatemala, SEGEPLAN.