

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA, LEÓN

UNAN-LEÓN

ÁREA DE CONOCIMIENTO DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

ÁREA ESPECÍFICA DE MATEMÁTICA Y ESTADÍSTICA



Monografía para optar al título de ing. Estadística

**Análisis de vulnerabilidad ante inundaciones en barrios cercanos al Río Chiquito
del área urbana en la ciudad de León, 2022.**

PRESENTADO POR: Br. Jabin Gamaliel Thomas Pinock.

TUTORA: PhD. Laureana Adalila Molina Membreño.

León, Nicaragua, 10/09/2025

2025: 46/19, Siempre más allá! Avanzamos en la Revolución

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA, LEÓN

UNAN-LEÓN

ÁREA DE CONOCIMIENTO DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

ÁREA ESPECÍFICA DE MATEMÁTICA Y ESTADÍSTICA



Monografía para optar al título de ing. Estadística

**Análisis de vulnerabilidad ante inundaciones en barrios cercanos al Río Chiquito
del área urbana en la ciudad de León, 2022.**

PRESENTADO POR:

Br. Jabin Gamaliel Thomas Pinock. _____

APROBADO POR:

Tutora: PhD. Laureana Adalila Molina Membreño. _____

León, Nicaragua, 10/09/2025

2025: 46/19, siempre más allá! Avanzando en la Revolución

Índice

I.	Introducción	1
II.	Antecedentes.....	2
III.	Planteamiento del problema.....	4
IV.	Justificación	5
V.	Objetivos	6
VI.	Marco teórico	7
6.1.	Gestión del Vulnerabilidad de Desastres (GRD).....	7
6.2.	Conceptos Fundamentales:.....	7
6.3.	Ciclo de la Gestión del Vulnerabilidad.....	8
6.4.	Importancia de la Gestión del Vulnerabilidad en Contextos Urbanos.	9
6.5.	Causas y Factores Contribuyentes a las Inundaciones.....	10
6.6.	Consecuencias de las Inundaciones.....	11
6.7.	Metodología para el Análisis de Vulnerabilidad	12
6.7.1.	Definición de Exposición y su Identificación	13
6.7.2.	Definición y Dimensiones de la Vulnerabilidad.	13
6.8.	Tipologías de Vulnerabilidad y Construcción del Índice.	14
6.8.1.	Análisis de Amenaza y Exposición.....	14
6.9.	Sistemas de información geográfica.....	15
6.10.	Herramientas para la Evaluación de Amenazas y Exposición.	15
6.11.	Datos geoespaciales	15
6.12.	Técnica de Mapas de Calor utilizando SIG.....	16
6.13.	Morfometría	16
6.14.	Cuenca Hidrográfica.....	16
6.14.1.	Clasificación de la cuenca Hidrográfica.....	17

6.14.2.	Métodos de Análisis Morfométrico.	17
6.15.	Análisis morfométrico de cuencas hidrográficas.....	17
6.16.	Parámetros Analizados	18
6.16.1.	Parámetros de forma de la cuenca	18
6.16.2.	Índice de alargamiento	19
6.16.3.	Índice asimétrico.....	20
6.16.4.	Curva hipsométrica	20
VII.	Diseño Metodológico.	23
7.1.	Recolección de datos	23
7.2.	Instrumento de recolección de información	24
7.3.	Análisis de la información	24
7.4.	Análisis morfométrico y delimitación	25
7.5.	Operacionalización de las variables.....	27
VIII.	Resultados.....	28
8.1.	Índice de vulnerabilidad IV.....	39
IX.	Conclusión	55
X.	Recomendación.....	58
XI.	Bibliografía.....	60
XII.	Anexo	63

Índice de resultados

Gráfico 1. Barrios cercanos a la cuenca del Rio Chiquito de la Ciudad de León .	28
Gráfico 2. Distribución de las personas en la Vivienda.	30
Gráfico 3. Tipos de viviendas.	31
Gráfico 4. Tipos de materiales de construcción.	31
Gráfico 5. Servicios Básicos presentes en las viviendas.	32
Gráfico 6. Conocimiento de Inundaciones en la Zona de Estudio.	32
Gráfico 7. Percepción de los Habitantes sobre zona de Inundación.	33
Gráfico 8. Habitantes Afectados Previamente por Inundaciones.	33
Gráfico 9. Conocimiento de Rutas de Evacuación por Parte de los Habitantes.	34
Gráfico 10. Conocimiento de lugares seguros ante Inundaciones.	34
Gráfico 11. Preparación y Acciones Conocidas ante Eventos de Inundación.	35
Gráfico 12. Acceso a Refugios Disponibles en Caso de Inundación.	35
Gráfico 13. Recepción de Capacitación sobre Prevención ante Inundaciones.	36
Tabla 1. Características Demográficas de la Población Encuestada.	29
Tabla 2. Percepción de Riesgo por Inundación y Licuefacción.	37
Tabla 3. Evaluación de Infraestructura, Organización y Preparación Comunitaria.	38
Tabla 4. Índice de Material de la vivienda.	39
Tabla 5. Índice de consistencia de la infraestructura de su vivienda.	39
Tabla 6. Índice de uso de suelo.	40
Tabla 7. Índice de la distancia en relación con el río.	40
Tabla 8. Incidencia de enfermedades post-inundación.	41
Tabla 9. Índice de enfermedades que se presentan.	41
Tabla 10. Índice aparición de afecciones en la piel.	42
Tabla 11. Índice nivel de escolaridad.	42
Tabla 12. Índice conocimiento de las inundaciones.	43
Tabla 13. Índice de edad.	43
Tabla 14. Índice de Sexo.	44
Tabla 15. Índice número de personas en la vivienda.	44

Tabla 16. Índice ha sido afectado por inundaciones.....	45
Tabla 17. Índice consideración de área de inundación donde habita.	45
Tabla 18. Índice conocimiento de rutas de evacuación.....	45
Tabla 19. Índice grupo de WhatsApp.....	46
Tabla 20. Índice de vulnerabilidad IV.....	48
Tabla 21. Parámetros generales	52
Tabla 22. Parámetros de la forma.	52
Tabla 23. Índice Asimétrico.	52
Tabla 24. Características del relieve.....	53
Figura 1. Clasificación de los ríos de acuerdo con la curva hipsométrica.	21
Figura 2. Localización de viviendas en la ribera del Río Chiquito.....	49
Figura 3 . Puntos de mayor vulnerabilidad de Inundación, Río Chiquito.	50
Figura 4. Topografía y Pendientes de la Microcuenca del Río Chiquito.	51
Figura 5. Área de drenaje vista 3D.....	53

Agradecimientos

Mi más sincero agradecimiento a mis padres, Soraida Pinock Sanchez y Gerardo Thomas Presby, por su amor incondicional, sacrificios y apoyo constante, que fueron la base de este logro.

A mis hermanos, por su respaldo, comprensión y por ser un equipo unido que hizo el camino más llevadero.

A mi tutora, PhD. Laureana Adalila Molina Membreño, por su sabiduría, paciencia y dedicación, que fueron esenciales para la finalización de este proyecto. Su apoyo académico y emocional dejó una huella profunda.

Finalmente, a mis amigos, la familia que elegí, por su apoyo incondicional, alegría y fuerza, haciendo que este desafiante camino fuera más llevadero. Su amistad es un regalo invaluable.

Resumen

La ciudad de León, Nicaragua, enfrenta problemas recurrentes de inundaciones durante la temporada de lluvias, principalmente debido al desbordamiento del Río Chiquito, que atraviesa su área urbana. En la ribera del río, numerosas familias viven en zonas de vulnerabilidad, lo que ha generado graves problemas de inundación anuales. La presente investigación tuvo como objetivo analizar geográficamente los puntos de mayor vulnerabilidad ante inundaciones y evaluar la vulnerabilidad de la población en los barrios adyacentes al río. Se aplicó un enfoque cuantitativo-descriptivo, utilizando la Metodología de Molina y González (2019) para evaluar la vulnerabilidad, mediante la aplicación de 121 encuestas a la población residente en las áreas de vulnerabilidad. Los datos obtenidos, junto con un análisis geoespacial y morfométrico de la microcuenca, fueron procesados con los programas informáticos QGIS y SPSS. Los resultados principales revelaron un Índice de Vulnerabilidad Global de 2.75, indicando un nivel de vulnerabilidad moderadamente alto. Este valor se justifica por el alto porcentaje de personas (66.94%) que percibe que su zona es propensa a inundaciones, aunque solo el 57.85% de ellas tiene un plan familiar de emergencia. El estudio también encontró que el promedio del núcleo familiar es de 4.7 miembros, y que el material de construcción predominante en los techos de las viviendas es el concreto (94.21%), lo que fue evaluado como un factor de vulnerabilidad física. Un 47.11% de los encuestados reportó que sus hogares ya han sido afectados por inundaciones en el pasado (como el Huracán Mitch), y un preocupante 50.41% de los pobladores no conoce las rutas de evacuación disponibles en sus respectivos sectores. Adicionalmente, el análisis morfométrico de la microcuenca reveló una forma alargada con un relieve plano, lo que sugiere un alto vulnerabilidad de inundaciones por acumulación de agua. En base a estos hallazgos, se consensuaron recomendaciones para la elaboración de políticas que busquen modificar la situación actual y beneficiar tanto a los pobladores como a la Alcaldía Municipal de León.

Palabras clave: Vulnerabilidad ante inundaciones, Gestión del riesgo de desastres (GRD), Río Chiquito, León, Nicaragua, Análisis geoespacial, Análisis morfométrico, Sistemas de Información Geográfica (SIG), Percepción de vulnerabilidad, Planificación urbana.

I. Introducción.

La ciudad de León, ubicada en el noroeste de Nicaragua, ha enfrentado históricamente una recurrente problemática de desastres naturales, particularmente inundaciones (INETER, 2018). Esta situación de vulnerabilidad se agrava por su ubicación geográfica, la intensidad de las precipitaciones en la región y la expansión urbana acelerada sin una planificación adecuada, lo que incrementa la exposición de viviendas y edificaciones a estos eventos (INETER & SINAPRED, 2018). En el área urbana de León, los ríos El Chiquito y El Pochote representan fuentes significativas de vulnerabilidad de inundación. Anualmente, el desbordamiento del cauce principal de estos ríos genera severos daños a las comunidades aledañas. Adicionalmente, las características geomorfológicas en las partes media y alta de las microcuencas contribuyen a la predisposición de los terrenos a deslizamientos y a un alto grado de sedimentación en las zonas bajas durante la época lluviosa, lo que exacerba el problema de las inundaciones (COMUPRED, 2021). La criticidad de esta situación es reconocida a nivel nacional, ya que el Plan Invierno 2022 del Estado Mayor de la Defensa Civil del Ejército de Nicaragua y el Sistema Nacional de Prevención de Desastres Naturales (SINAPRED), identifica a León como uno de los departamentos más vulnerables a inundaciones en el país (EMDC, 2022). Ante este contexto, la presente monografía se enfoca en el Análisis de vulnerabilidad ante inundaciones en barrios cercanos al Río Chiquito del área urbana de la ciudad de León. Para ello, se seleccionará como área de estudio la microcuenca del Río Chiquito, desde su nacimiento, ubicado al sureste del puente llamado Río Chiquito, hasta su último punto urbano, en Casa Blanca, al oeste de la ciudad de León. La unidad de estudio estuvo conformada por las personas que habitaban cerca del Río Chiquito. Se aplicaron encuestas para recopilar información sobre la percepción de vulnerabilidad, el comportamiento del río y las condiciones de las viviendas. Se efectuó un recorrido por el tramo urbano para evaluar el bosque de galería y las condiciones de riesgo existentes. Mediante metodologías de análisis de vulnerabilidad y herramientas SIG, se elaboraron mapas que mostraron los niveles de amenaza por inundaciones. Además, el análisis morfométrico permitió identificar y clasificar las zonas con riesgo moderado y alto. Finalmente, se obtuvo una caracterización sociodemográfica y espacial que reflejó los niveles de vulnerabilidad del Río Chiquito.

II. Antecedentes.

Hernández-Uribe et al, (2017) propusieron una metodología para analizar la vulnerabilidad de inundación en cuencas urbanas, enfocada en tomadores de decisiones para mitigar daños. Se aplicó en la cuenca del río Atemajac, Jalisco, México, donde las inundaciones anuales causan graves daños. La metodología combina un enfoque determinista, con modelación numérica y evaluación de daños, y uno paramétrico, que utiliza índices adimensionales para evaluar la vulnerabilidad considerando factores sociales, económicos, físicos y ambientales.

Igarza, (2018) realizó un análisis de vulnerabilidad por inundación aplicable a cuencas urbanas, usando un modelo determinista y un modelo paramétrico, en la cuenca Atemajac, Jalisco, México. Su objetivo fue generar mapas de inundación y daños para diferentes periodos de retorno, así como índices de vulnerabilidad por inundación que integren los indicadores sociales, económicos, físicos y ambientales.

González, (2021) propuso una metodología para el análisis de la vulnerabilidad por inundación en zonas urbanas con base en el uso del suelo y el valor catastral. Su objetivo fue generar mapas de vulnerabilidad por inundación que permiten identificar las zonas más vulnerables y estimar los daños potenciales en la ciudad de Villahermosa, Tabasco, México. Usaron un modelo hidráulico bidimensional para simular escenarios de inundación con diferentes periodos de retorno.

IMTA, (2015) Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, desarrolló una metodología para generar mapas de peligro, vulnerabilidad y vulnerabilidad en zonas urbanas mediante modelos matemáticos. Estos mapas integran el análisis de escurrimientos pluviales en calles y fluviales, lo que proporciona resultados más precisos.” (Eliminé la fecha completa en la primera mención, solo se usa el año.

El Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico de España publicó guías técnicas para reducir la vulnerabilidad de los elementos expuestos en las zonas inundables y promover la adaptación al riesgo de inundación de distintos sectores económicos. (MITECO, 2017).

El Índice de Evapotranspiración de Precipitación Estandarizada (SPEI) en la Patagonia Argentina. Es una extensión del Índice de Precipitación Estandarizada (SPI), calculable en escalas de 1 a 48 meses. Propuesto por Vicente & et al, (2010), es un índice multiescalar de sequía sensible al calentamiento global, basado en datos de precipitación y temperatura. Su ventaja es que incorpora la variabilidad de la demanda evaporativa para mejorar la evaluación y monitoreo de sequías. (Castillo et al., 2017).

Alcocer-Yamanaka et al, (2016) expusieron una metodología para la generación de mapas de vulnerabilidad, que articula los mapas de peligro y vulnerabilidad por inundación. Se expone el procedimiento a realizar bajo un criterio que permite ser adaptable a distintas zonas urbanas.

Escuder Bueno, (2014) desarrolló una herramienta completa y cuantitativa de análisis del riesgo de inundación en zonas urbanas, basada en el uso de modelos de vulnerabilidad, para el cálculo, análisis y evaluación, del riesgo de inundación tanto de origen pluvial como de origen fluvial.”

La investigación, “Análisis de vulnerabilidad y vulnerabilidad en edificaciones urbanas” en Perú, desarrolló una metodología para evaluar el riesgo de edificaciones ante inundaciones y sismos. Incluye la identificación de áreas críticas y la asignación de ponderaciones a variables clave, permitiendo establecer niveles de vulnerabilidad y proponer acciones de mitigación. (Lozano, 2008).

Propuestas para la gestión de riesgo urbanos en Brasil: Un estudio del Instituto Universitario del Agua y de las Ciencias Ambientales, aborda la gestión de inundaciones de Riesgo urbanas con un enfoque en la prevención de daños. Este trabajo destaca la importancia de integrar la gestión de Riesgo en la planificación urbana para reducir la vulnerabilidad y mejorar la resiliencia de las ciudades (Ferreira, 2022).

III. Planteamiento del problema.

La ciudad de León es una zona vulnerable a diferentes tipos de desastres naturales y humanos, y la dinámica natural, física, social y económica constituyen estados de vulnerabilidad que han llevado a frecuentes situaciones de desastres en diferentes regiones del departamento (INETER & SINAPRED, 2018).

La necesidad de realizar esta investigación de la vulnerabilidad ante inundaciones es para que ayuden a los tomadores de decisiones, para la prevención y mitigación, que puede agravar la situación y aumentar la vulnerabilidad de las comunidades.

En particular, se plantean las siguientes preguntas de interés:

¿Cómo perciben su vulnerabilidad y el peligro de inundación, la población que vive cercana al Río Chiquito?

¿La zona cercana al Río Chiquito en León es vulnerable a diferentes tipos de desastres naturales?

¿Es necesario identificar geográficamente los puntos de vulnerabilidad a la inundación y estudiar las características de la microcuenca del Río Chiquito?

Se considera que es necesario desarrollar este estudio, para analizar los puntos críticos de vulnerabilidad de inundaciones, proponer medidas preventivas y de mitigación para proteger a la población cercana al Río Chiquito en León.

IV. Justificación

La prevención de la vulnerabilidad y desastres es un tema de gran importancia en cualquier sociedad. En el caso de Nicaragua, su ubicación geográfica la hace especialmente vulnerable a diferentes tipos de desastres naturales, como terremotos, huracanes, inundaciones y deslizamientos de tierra, entre otros. Además, la combinación de causas de fondo o Riesgo con las amenazas afecta los procesos de desarrollo, generando sufrimiento y deterioro en las condiciones de vida de la población (INETER & SINAPRED, 2018).

Esta investigación tiene como objetivo Analizar la vulnerabilidad ante inundaciones en barrios cercanos al Río Chiquito del área urbana en la ciudad de León, 2022. Para ello, se utilizará la metodología de Peck, (2017), enfocándose específicamente en la vulnerabilidad. Para el análisis geográfico y estadístico, se usará el software QGIS 3.40.7 para hacer mapas y SPSS v25 para los resultados estadísticos. Es importante destacar que la prevención de la vulnerabilidad y desastres es responsabilidad de todos. La población debe estar informada y preparada para enfrentar situaciones de emergencia y las autoridades deben contar con planes de contingencia y medidas preventivas que permitan reducir la vulnerabilidad en sus territorios (COMUPRED, 2021).

Los hallazgos de este estudio serán expuestos ante las autoridades locales. Esta información estará disponible para otros interesados en el tema, investigadores y la comunidad en general, sirviendo como base para la formulación de decisiones y la implementación de acciones precisas que contribuyan a prevenir situaciones de emergencia en la región de León.

V. Objetivos

5.1. Objetivos General

- Analizar la vulnerabilidad ante inundación en barrios cercanos al Río Chiquito del área urbana en la ciudad de León.

5.2. Objetivos Específicos

- Describir las características: demográficas, de viviendas y la percepción de los habitantes sobre la vulnerabilidad ante inundación del Río Chiquito, en los barrios del área urbana de la ciudad de León.
- Construir índice de vulnerabilidad por inundación (IV) mediante integración de factores sociales, físicos y ambientales.
- Identificar geográficamente las zonas con mayor vulnerabilidad ante inundaciones del Río Chiquito.
- Delimitar geográficamente la microcuenca del Río Chiquito
- Modelizar los parámetros morfométricos de la microcuenca del Río Chiquito

VI. Marco teórico

6.1. Gestión del Vulnerabilidad de Desastres (GRD)

La Gestión del Vulnerabilidad de Desastres (GRD) es un proceso sistemático y proactivo que busca reducir las pérdidas potenciales ocasionadas por desastres. Su objetivo principal es fortalecer la resiliencia de las comunidades y los sistemas ante eventos adversos, promoviendo un desarrollo sostenible y seguro. Según la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres (UNISDR), la GRD engloba “las disposiciones institucionales y operacionales adoptadas para implementar políticas, estrategias y capacidades para reducir los impactos de los peligros y desastres” (Narváez et al., 2009).

Para comprender la GRD, es fundamental desglosar sus conceptos constituyentes, los cuales se interrelacionan para definir el nivel de vulnerabilidad en una determinada área.

6.2. Conceptos Fundamentales:

Amenaza, Exposición, Vulnerabilidad y Vulnerabilidad.

La evaluación del riesgo es un pilar central de la GRD y se conceptualiza comúnmente como la combinación de la amenaza (o peligro), la exposición y la vulnerabilidad de los elementos expuestos. Esta relación se expresa a menudo mediante la siguiente fórmula fundamental:

$$\textit{Riesgo} = \textit{Amenaza} \times \textit{Exposición} \times \textit{Vulnerabilidad}$$

En su forma más simplificada y conceptual, el riesgo se suele expresar como un producto:

$$R = A \times E \times V$$

Donde:

Amenaza (o, Peligro A): Es la probabilidad de que un fenómeno natural o provocado por el ser humano, potencialmente dañino, ocurra en un lugar específico y en un período determinado (Narváez et al., 2009). En el contexto de este estudio, el peligro se refiere específicamente a la ocurrencia de inundaciones en los barrios cercanos al Río Chiquito, caracterizado por su frecuencia, intensidad y duración.

Exposición (E): Se refiere a la presencia de personas, medios de subsistencia, servicios ambientales y recursos económicos, sociales o culturales en lugares y contextos que podrían verse afectados por un peligro (Narváez et al., 2009). Para el caso de las inundaciones en León, la exposición incluye la población residente, viviendas, infraestructura básica (agua, alcantarillado), bienes materiales y actividades económicas ubicadas dentro de las áreas susceptibles a ser anegadas por el desborde del Río Chiquito. La identificación de la exposición puede realizarse mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y el levantamiento de inventarios de los elementos presentes en las zonas de estudio, como se menciona en la metodología general de análisis de vulnerabilidad (Hernández-Uribe et al., 2017). Desde una perspectiva estadística, la exposición puede ser entendida como el recuento o la densidad de elementos en el área de estudio.

Si consideramos N_i como el número de elementos expuestos de tipo i (viviendas, personas) en una zona susceptible, la exposición total para esa zona sería:

$$E_{total} = \sum_{i=1}^k N_i$$

Donde k es el número de tipos de elementos expuestos considerados.

Vulnerabilidad (V): Es la susceptibilidad de los elementos expuestos a sufrir daños o pérdidas ante la manifestación de un peligro. Tal como lo abordan Molina & González (2019), la vulnerabilidad no es solo una característica física, sino que es un concepto multidimensional que abarca factores físicos, sociales, económicos, ambientales, motivacionales y actitudinales (Molina & González, 2019).

6.3. Ciclo de la Gestión del Vulnerabilidad.

La Gestión del Riesgo de Desastres (GRD) no es un evento aislado, sino un proceso dinámico y continuo que se articula a través de un ciclo de fases interrelacionadas, cuyo objetivo es reducir la vulnerabilidad y gestionar eficazmente los desastres (Narváez et al., 2009). Este ciclo comprende las siguientes etapas clave:

Prevención: Se enfoca en evitar que los impactos adversos de los peligros se materialicen, buscando eliminar o reducir la probabilidad de un desastre. Incluye medidas

estructurales (ej., obras de ingeniería) y no estructurales (ej., regulación del uso del suelo en zonas inundables, tal como se sugiere en guías de adaptación al riesgo de inundación.

Mitigación: Busca reducir los efectos adversos de un peligro cuando este ocurre. A diferencia de la prevención, asume la ocurrencia del evento y se centra en disminuir su impacto, por ejemplo, mediante el reforzamiento de infraestructuras o la implementación de sistemas de alerta temprana.

Preparación: Consiste en las acciones anticipadas para garantizar una respuesta efectiva. Esto incluye la planificación de contingencias, el desarrollo de capacidades de respuesta en la comunidad (como se evidencia en la existencia de “Grupos WhatsApp de brigadas ante vulnerabilidad naturales” y el uso de “otras redes sociales de monitoreo” según las Preguntas 35 y 36 de la encuesta), y la elaboración de planes de evacuación.

Respuesta: Son las acciones inmediatas durante o después de un desastre, orientadas a salvar vidas, minimizar el impacto, atender necesidades básicas y restablecer el orden. Comprende desde operaciones de búsqueda y rescate hasta la provisión de asistencia humanitaria.

Recuperación: Es el proceso post-desastre para restablecer y mejorar las condiciones de vida de las comunidades afectadas. Esta fase, que incluye rehabilitación y reconstrucción, debe guiarse por el principio de “reconstruir mejor” (*Build Back Better*) para reducir la vulnerabilidad futura y fomentar la resiliencia a largo plazo.

6.4. Importancia de la Gestión del Vulnerabilidad en Contextos Urbanos.

Como menciona Cajigal y Maldonado, (2019). La aplicación de la GRD es de suma importancia en entornos urbanos, como la ciudad de León, debido a la alta concentración de población, infraestructura y actividad económica que poseen. La expansión urbana, a menudo sin una planificación adecuada, puede exacerbar la exposición y la vulnerabilidad de las comunidades frente a peligros naturales como las inundaciones (OAS, 1970). Por tanto, una GRD efectiva en estas áreas es fundamental para salvaguardar vidas, minimizar pérdidas socioeconómicas y promover un desarrollo urbano resiliente y sostenible.

Inundaciones: Fenómeno Natural y Antrópico.

Las inundaciones son eventos hidrometeorológicos complejos, considerados entre los desastres naturales que mayores pérdidas humanas y económicas generan a nivel global (Cajigal y Maldonado, 2019). Su ocurrencia no es exclusiva de fenómenos puramente naturales, sino que su magnitud y recurrencia están cada vez más influenciadas por la interacción con actividades humanas y los efectos del cambio climático. Comprender la naturaleza dual de las inundaciones es fundamental para un análisis de vulnerabilidad.

Tipos de Inundaciones: Las inundaciones pueden clasificarse según su origen y las características del evento hidrológico. Los tipos más relevantes para un estudio en un contexto urbano cercano a un río incluyen:

Inundaciones Fluviales (o por desborde de ríos): Ocurren cuando el caudal de un río excede la capacidad de su cauce, provocando el desbordamiento de las aguas hacia las llanuras de inundación adyacentes. Este tipo es central para su investigación, dado que el estudio se enfoca en los barrios cercanos al Río Chiquito.

Inundaciones Pluviales (o urbanas por escorrentía superficial): Se producen por la acumulación de agua en zonas urbanas debido a la incapacidad del sistema de drenaje para evacuar el volumen de precipitación.

Inundaciones Repentinas (o “flash floods”): Caracterizadas por un rápido aumento del nivel del agua en un corto período de tiempo, haciéndolas particularmente peligrosas.

6.5. Causas y Factores Contribuyentes a las Inundaciones

La ocurrencia y severidad de las inundaciones son el resultado de la interacción compleja de factores naturales y actividades humanas.

Factores Hidrometeorológicos

Precipitación: La intensidad, duración y distribución espacial de las lluvias son los principales detonantes. Eventos de precipitación extrema, como los asociados a ciclones tropicales (Cajigal y Maldonado, 2019), superan la capacidad de infiltración del suelo y la de los sistemas de drenaje.

Escorrentía Superficial: Volumen de agua que fluye sobre la superficie del terreno sin infiltrarse, incrementándose con la intensidad de la lluvia y la impermeabilización del suelo.

Factores Geomorfológicos y Topográficos

Características de la Cuenca: El tamaño, la forma, la pendiente promedio y la red de drenaje de una cuenca influyen en la velocidad y el volumen de la escorrentía.

Topografía Local: Áreas con pendientes suaves o ubicadas en depresiones son más propensas a la acumulación de agua. La cercanía y la baja elevación de los barrios respecto al Río Chiquito son factores topográficos clave en su estudio.

Factores Antropogénicos: La intervención humana juega un rol cada vez más significativo en la amplificación del peligro de inundaciones y, crucialmente, en el aumento de la exposición y la vulnerabilidad.

Urbanización no planificada: El crecimiento desordenado de las ciudades, especialmente en llanuras de inundación, reduce la capacidad natural de absorción del suelo e incrementa la escorrentía superficial, llevando a una mayor exposición (Hernández-Uribe et al., 2017).

Deforestación y Degradación del Suelo: Disminuyen la infiltración del agua y aumentan la erosión.

Manejo inadecuado de desechos sólidos: La acumulación de basura en ríos y sistemas de drenaje obstruye el flujo del agua, provocando desbordamientos localizados.

Alteración de cauces y riberas: La canalización o invasión de riberas pueden alterar los patrones de flujo y aumentar los riesgos.

6.6. Consecuencias de las Inundaciones

Los impactos de las inundaciones son multifacéticos y afectan diversas esferas de la vida de las comunidades:

Impactos Sociales: Incluyen la pérdida de vidas, desplazamientos, afectación a la salud (enfermedades hídricas, problemas de piel como los indagados en la encuesta preguntas 37, 38, 39), daños a viviendas e interrupción de servicios básicos.

Impactos Económicos: Se manifiestan en daños a la infraestructura, pérdidas en la agricultura, destrucción de comercios y afectaciones a la productividad.

Impactos Ambientales: Contaminación del agua y del suelo, erosión y alteración de ecosistemas.

6.7. Metodología para el Análisis de Vulnerabilidad

El análisis de la vulnerabilidad en el presente estudio se fundamenta en la metodología propuesta por Molina y González (2019) en su trabajo: Propuesta metodológica para la evaluación de la vulnerabilidad urbana ante inundaciones, caso de estudio municipio de la Paz Centro, Nicaragua'. Dicha metodología es compatible con enfoques reconocidos como el de Peck (2017) al considerar elementos clave para el análisis y al descomponer la vulnerabilidad en sus dimensiones críticas, permitiendo una evaluación comprensiva.

Esta aproximación se centra en la identificación y análisis de la vulnerabilidad desde una perspectiva multidimensional, incluyendo, pero no limitándose a, los siguientes factores, tal como se exploran en la presente investigación a través de encuestas a la población:

Vulnerabilidad Social y Demográfica: Considerando características de la población como edad, sexo, escolaridad y composición del hogar.

Vulnerabilidad Física y Estructural: Evaluando las características constructivas y ubicación de las viviendas, así como el tipo y uso del suelo.

Capacidades y Preparación: Diagnóstico de las capacidades existentes en la comunidad y el nivel de preparación de los pobladores para enfrentar eventos de inundación.

Vulnerabilidad de Salud: Analizando las condiciones de salud y las enfermedades comunes después de eventos de inundación. La aplicación de esta metodología permitirá identificar y caracterizar las áreas y poblaciones más susceptibles a los impactos de inundaciones en los barrios cercanos al Río Chiquito, proporcionando una base sólida para la toma de decisiones.

6.7.1. Definición de Exposición y su Identificación.

La exposición se refiere a la presencia de personas, infraestructura, activos económicos y recursos ambientales en lugares y contextos que podrían verse afectados por un peligro (Narváez et al., 2009). Una alta concentración de elementos expuestos en una zona de amenaza intensifica el potencial de pérdidas en caso de un desastre (Molina & González, 2019). La identificación y cuantificación de la exposición en un análisis de vulnerabilidad de inundación para barrios urbanos incluye:

Población: Número de habitantes, densidad poblacional y características demográficas (edad, género, etc.) dentro de las zonas de inundación.

Viviendas: Cantidad de unidades habitacionales, tipo de construcción, valor de las edificaciones y su distribución espacial.

Infraestructura Crítica: Redes de servicios básicos (agua potable, alcantarillado, energía eléctrica), vías de comunicación (calles, puentes), centros de salud, escuelas y otros equipamientos sociales.

Actividades Económicas: Comercios, industrias, áreas agrícolas o cualquier otra actividad productiva ubicada en zonas de vulnerabilidad.

Para el presente estudio, la exposición será identificada a través de un levantamiento de información de campo y la georreferenciación de los elementos relevantes dentro de los barrios cercanos al Río Chiquito, complementando los datos obtenidos a través de la encuesta con información espacial.

6.7.2. Definición y Dimensiones de la Vulnerabilidad.

Según Molina & González, (2019), la vulnerabilidad ante inundaciones es la incapacidad de un sistema o comunidad para resistir, absorber, adaptarse y recuperarse de los efectos de un evento extremo. Su metodología propone una evaluación a través de diversas dimensiones interconectadas, esenciales para caracterizar las debilidades de una población y estructurar el análisis de los datos obtenidos en la encuesta y comprender las condiciones específicas de los barrios cercanos al Río Chiquito.

6.8. Tipologías de Vulnerabilidad y Construcción del Índice.

El marco de Molina & González, (2019), desglosa la vulnerabilidad en categorías específicas que son directamente aplicables a la información recopilada en este estudio. Para cada una de estas categorías, la vulnerabilidad puede ser evaluada mediante indicadores específicos derivados de las preguntas de la encuesta. La valoración global de la vulnerabilidad para una unidad de análisis (una vivienda o un hogar) puede realizarse mediante la construcción de un Índice de Vulnerabilidad (IV), donde cada categoría contribuye ponderadamente.

$$V_k = \frac{\sum_{i=1}^{n_k} I_{ki}}{n_k}$$

Donde V_k es la vulnerabilidad para la categoría k , I_{ki} es el valor del indicador i dentro de la categoría k , y n_k es el número de indicadores en esa categoría. Posteriormente, el Índice de Vulnerabilidad Total (IV_{Total}) puede ser una suma ponderada de las Riesgo por categoría:

$$IV_{Total} = \sum_{k=1}^m w_k \cdot K_k$$

Donde w_k es el peso asignado a cada categoría de vulnerabilidad:

$$k, y \sum_{k=1}^m w_k = 1$$

6.8.1. Análisis de Amenaza y Exposición

El riesgo de desastres por inundación no solo depende de la vulnerabilidad de la población, sino también de la caracterización precisa de la amenaza (o peligro) y la identificación de los elementos expuestos. En el contexto del análisis de vulnerabilidad, la amenaza y la exposición son componentes inseparables que, al interactuar con la vulnerabilidad, determinan el impacto potencial de un evento (Narváez et al., 2009).

Mapeo de Zonas Susceptibles: Identificación de áreas topográficamente bajas o adyacentes a cuerpos de agua que, por su geomorfología, son naturalmente propensas a inundarse. Este tipo de mapeo se apoya fuertemente en los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

6.9. Sistemas de información geográfica.

Un sistema de información geográfica (SIG) es un sistema que crea, administra, analiza y representa cartográficamente todo tipo de datos. Un SIG conecta datos a un mapa integrando datos de ubicación con todo tipo de información descriptiva. Esto sirve como base para la representación cartográfica y el análisis que se utiliza en la ciencia y en prácticamente todos los sectores. Un SIG ayuda a los usuarios a comprender los patrones, las relaciones y el contexto geográfico. Entre las ventajas se encuentran la mejora de la comunicación y la eficiencia, así como de la gestión y la toma de decisiones.(ESRI, 2023).

6.10. Herramientas para la Evaluación de Amenazas y Exposición.

Diversas metodologías de análisis de Riesgo se han desarrollado utilizando SIG, incluyendo la superposición de mapas temáticos, reclasificación de información, y aplicación de métodos estadísticos y pesos ponderados. Estas metodologías permiten evaluar la variabilidad espacio-temporal de las amenazas y factores de vulnerabilidad (Marin, 2023).

6.11. Datos geoespaciales

En los SIG utilizarán dos formatos principales de archivo de datos geoespaciales: datos ráster y datos vectoriales.

Datos ráster: Los datos ráster consisten en cuadrículas o celdas de píxeles con información espacial asociada a cada celda, como la elevación, la temperatura o incluso el uso del suelo (Jonker, 2023). Los datos ráster se utilizan para crear imágenes complejas de alta resolución, como fotografías e imágenes por satélite.

Por ejemplo, una imagen de satélite representada por una matriz de datos que contiene la información meteorológica de una ciudad permite a los ciudadanos comprobar si llueve.

Datos vectoriales: Los datos vectoriales son la representación de un elemento geoespacial a través de sus coordenadas x e y . La forma más básica de los datos vectoriales es un punto. Dos o más puntos forman una línea, y tres o más líneas forman un polígono. Por ejemplo, Google Maps, un mapa web común y una representación visual que utiliza datos vectoriales, define la ubicación de una ciudad mediante puntos; carreteras con líneas; y edificios o límites mediante polígonos.

6.12. Técnica de Mapas de Calor utilizando SIG

Los mapas de calor o de vulnerabilidad son técnicas de representación geográfica usada en la exploración de conjuntos de datos masivos para visualizar la intensidad de un fenómeno, además de brindar una representación visual interpretable de patrones de distribución espacial complejos (Rodríguez C, 2019).

Un mapa de calor es una representación visual de datos que utiliza un código de colores para mostrar la intensidad o magnitud de un fenómeno en una superficie o área determinada (Guevara Ríos et al., 2023). Los mapas de calor se utilizan comúnmente para visualizar patrones y tendencias en grandes conjuntos de datos, facilitando la identificación de áreas con valores altos o bajos.

6.13. Morfometría.

La morfometría se define como el estudio cuantitativo de la forma y las dimensiones de los organismos o de las características geográficas. Este análisis puede realizarse a través de métodos clásicos, que se centran en medidas lineales y superficiales, o mediante morfometría geométrica, que utiliza herramientas estadísticas avanzadas para analizar la forma en un contexto tridimensional (Flores & Anselmo, 2019).

6.14. Cuenca Hidrográfica.

Una cuenca hidrográfica es una depresión en el terreno, rodeada por terrenos más altos, en la cual desemboca el agua proveniente de precipitaciones, deshielo, o escurrimientos. Esta agua fluye hacia un único sistema de drenaje natural, como un río, lago, mar, océano, o cualquier otro cuerpo de agua. La cuenca hidrográfica está delimitada por una línea de cumbres conocida como divisoria de aguas, que marca el límite entre diferentes cuencas hidrográficas (Bordino, 2021). A su vez, dentro de una cuenca principal, los cursos secundarios que desembocan en un curso principal conforman subcuencas.

6.14.1. Clasificación de la cuenca Hidrográfica.

Exorreicas: Desembocan en grandes cuerpos de agua abiertos, como mares u océanos.

Endorreicas: Desembocan en cuerpos de agua cerrados, como lagos o salares.

Arreicas: Las aguas se filtran o evaporan antes de incorporarse a una red de drenaje debido a las características del terreno y el clima.

Partes de una cuenca hidrográfica.

Cuenca alta: Zona de nacimiento del río, caracterizada por una gran pendiente.

Cuenca media: Zona de valle del río, donde hay un equilibrio entre el material sólido arrastrado por la corriente y el que se deposita.

Cuenca baja: Zona baja del río, donde el material arrastrado se deposita debido a la menor velocidad de la corriente, formando llanuras.

6.14.2. Métodos de Análisis Morfométrico.

Morfometría Clásica: Implica la medición de características como longitud, ancho y profundidad.

Morfometría Geométrica: Utiliza técnicas matemáticas y estadísticas para representar y analizar la forma de manera más precisa

Análisis de Datos: Los datos morfométricos suelen analizarse utilizando software especializado que permite la representación gráfica de los resultados, facilitando la interpretación de los patrones morfológicos.

6.15. Análisis morfométrico de cuencas hidrográficas

El análisis morfométrico es una herramienta fundamental en la hidrología y la geomorfología que permite cuantificar las características físicas de una cuenca hidrográfica mediante la medición y evaluación de parámetros geométricos, de red de drenaje y de relieve (Zamorano & Quesada, 2019). Estos parámetros son esenciales para comprender el comportamiento hidrológico de la cuenca, ya que influyen directamente en la generación de escorrentía, el tiempo de concentración, la susceptibilidad a inundaciones y la erosión (Ortuño-Cano & Gentili, 2023).

6.16. Parámetros Analizados

El análisis morfométrico permite cuantificar las características geométricas y topográficas de la cuenca, facilitando la interpretación de su comportamiento hidrológico y la identificación de áreas susceptibles a inundaciones (Schumm, 1956; Horton, 1932; Miller, 1953). A continuación, se describen los principales parámetros empleados en este estudio:

Perímetro de la cuenca (P , km): Longitud del contorno de la cuenca (Schumm, 1956).

$$P = \text{Longitud total del contorno de la cuenca}$$

Área de la microcuenca cuenca (A , Km^2): Es la superficie total que drena hacia un punto de salida común. Determina la cantidad potencial de agua que puede generar escorrentía en un evento de precipitación (Schumm, 1956).

$$A = \sum a_i$$

Longitud recta de la cuenca (Lb , km): Es la distancia más larga medida desde la divisoria hasta la desembocadura (Cruz-Romero et al., 2015).

$$P = \text{Distancia entre la salida y el punto más alejado de la cuenca}$$

Ancho de la cuenca (w , Km): Es la relación entre el área de drenaje de la cuenca y la longitud de esta (Horton, 1932).

$$W = \text{Relación entre el área de drenaje de la cuenca y la longitud}$$

6.16.1. Parámetros de forma de la cuenca

Índice de compacidad o índice de Gravelius (Cc):

Compara el perímetro de la cuenca con el de un círculo de igual área (Horton, 1945).

$$Cc = 0.2821 \left(\frac{P}{\sqrt{A}} \right)$$

Índice de compacidad para la evaluación de la forma

Clase	Rango	Descripción
Kc1	1 a 1.25	Forma casi redonda a Oval - redonda
Kc2	1.25 a 1.5	Forma oval - oblonga
Kc3	>1.5	Forma - oblonga a rectangular - oblonga

Factor de forma (Rf): Relación entre el área de la cuenca y el cuadrado de su longitud principal (Horton, 1932).

$$Rf = \frac{A}{(Lb)^2}$$

Este valor adimensional, independiente del área estudiada, tiene por definición un valor de 1 para cuencas imaginarias de forma exactamente circular. Los valores de Kc nunca serán inferiores a 1. El grado de aproximación de aguas de escurrimiento, siendo más acentuado cuanto más cercano sea a la unidad, lo cual quiere decir que entre más bajo sea el Kc mayor será la concentración de agua.

Clasificación del factor forma

Kt	características
<1	tiende a ser a largada, baja susceptibilidad a las avenidas
1	cuadrada
> 1	Tiende a ser achatada, tendencia a ocurrencia de avenidas

6.16.2. Índice de alargamiento

Relaciona la longitud del cauce encontrada en la cuenca, medida en el sentido principal, y el ancho máximo de ella. Este define si la cuenca es alargada, cuando su valor es mucho valor es mucho mayor a la unidad, o si es muy achatada, cuando son valores menores.

$$I_A = \frac{L}{An}$$

Índice de alargamiento

Kf	Característica
$I_A > 1$	Cuenca alargada
$I_A < 1$	Cuenca achatada y por lo tanto el cause principal es corto

6.16.3. Índice asimétrico

$$I_{As} = \frac{A_{mayor}}{A_{menor}}$$

Índice asimétrico

K_f	Característica
$I_{As} > 1$	Cuenca principal bastante recargado a una de las vertientes.
$I_{As} = 1$	Distribución uniforme del cauce principal

Características de relieve de la cuenca

$$s_m = \frac{L * D}{A}$$

Clasificación de las cuencas de acuerdo con la pendiente.

Pendiente media (%)	Tipo de relieve
0-3	Plano
3-7	Suave
7-12	Medianamente accidentado
12-20	Accidentado
20-25	Fuertemente accidentado
35-50	Muy fuertemente accidentado
50-75	Escarpado
>75	Muy escarpado

Elevación media de la cuenca

$$H_{media} = \frac{\sum Area * A_{<.media i}}{\sum Area}$$

6.16.4. Curva hipsométrica

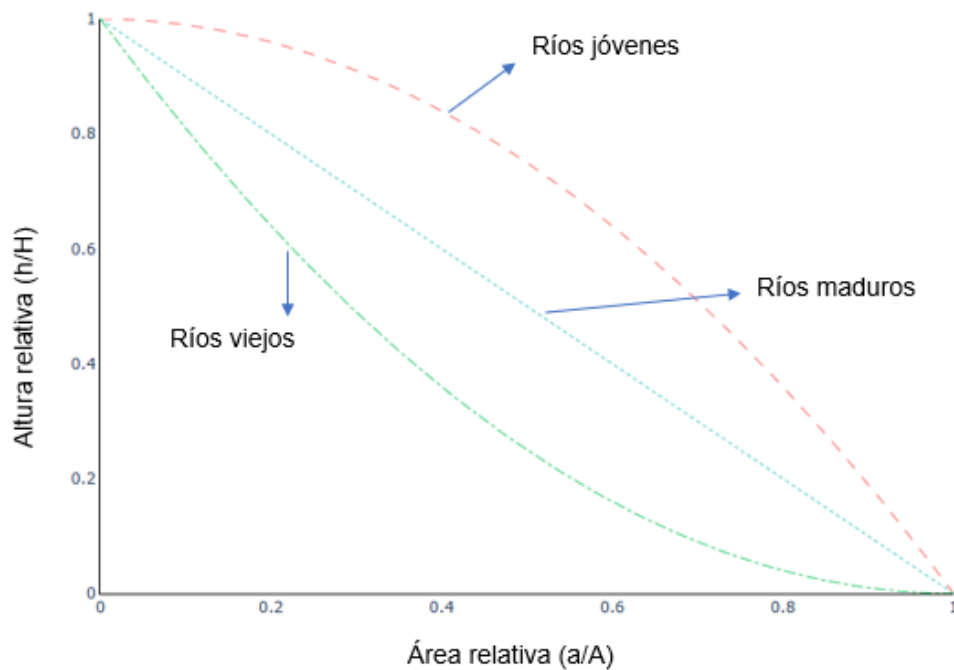
Los datos de elevación son significativos, sobre todo para considerar la acción de la altitud en el comportamiento de la temperatura y la precipitación. La curva hipsométrica refleja con precisión el comportamiento global de la altitud de la cuenca y la dinámica del

ciclo de erosión. Es la representación gráfica del relieve de la cuenca en función de las superficies correspondientes (Díaz et al., 1999).

$$H = \frac{\sum (c_i * a_i)}{A}$$

En Donde tenemos: H = altura media de la cuenca, Ci = cota media del área i entre dos curvas de nivel, ai = área i entre dos curvas de nivel, A = área total de la cuenca.

Figura 1. Clasificación de los ríos de acuerdo con la curva hipsométrica.



Fuente: (Díaz et al., 1999).

Relación de elongación (Re)

Mide la tendencia de la cuenca a ser más alargada o circular (Miller, 1953).

$$Re = \left(\frac{2}{Lb} \right) * \left(\frac{A}{\pi} \right)^{0.5}$$

Relación de circularidad (R_c): Grado de semejanza de la cuenca con un círculo perfecto (Miller, 1953).

$$R_c = 4\pi \left(\frac{A}{P^2} \right)$$

Altitud mínima (h, msm): Elevación más baja dentro de la cuenca (Horton, 1932).

$$h = \text{Elevación mínima de la cuenca}$$

Altitud máxima (H, msm): Elevación más alta dentro de la cuenca (Horton, 1932).

$$H = \text{Elevación máxima de la cuenca}$$

Desnivel (R, msm): Diferencia entre la altitud máxima y mínima de la cuenca (Horton, 1932).

$$R = H - h$$

Relación de relieve (Rh):

Razón entre el desnivel total de la cuenca y su longitud principal (Schumm, 1956).

$$Rh = \frac{R}{Lb}$$

VII. Diseño Metodológico.

El enfoque de este estudio es de tipo cuantitativo-descriptivo, la unidad de análisis corresponde a los pobladores de los barrios que residen en las cercanías de la ribera del Río Chiquito, en áreas identificadas como vulnerables ante inundaciones. Se aplicaron encuestas estructuradas y se evaluaron, en puntos críticos, la vulnerabilidad del río y su entorno inmediato.

Se adoptó la metodología de Molina & González, (2019), que permitió una caracterización detallada del Río Chiquito, se georreferenciaron las viviendas y se usaron las herramientas para análisis estadístico y geoespacial. La población objetivo se constituyó por las personas que habitan en la ribera del Río Chiquito, excluyendo aquellas personas que sus viviendas se encontraron cerradas durante el periodo de recolección de datos.

Cada individuo que residen en las proximidades del río se consideró como unidad de estudio. La definición del área de estudio abarcó aproximadamente los 6 km del Río Chiquito que atraviesan la ciudad de León, se cubrieron los barrios y repartos más cercanos como Guadalupe, Villa 23 De Julio, El Calvario, El Almendro, El Sagrario, Rogelio Santana, Juan Ramon Sampson, El Laborío, San Sebastián, Sutiaba, Repto 18 agosto, Puente La Granja. El entorno fluvial será observado mediante recorridos de campo, registrando el estado del río, el flujo de agua, presencia de residuos sólidos y aguas negras, así como características físicas como bancos de arena y rocas.

7.1. Recolección de datos

Fuente primaria: Se aplicó una encuesta estructurada a los pobladores cercanos al Río Chiquito en León, diseñada para caracterizar la vulnerabilidad **física** y **social** del área, siguiendo la metodología de Molina y González, (2019). Las viviendas fueron georreferenciadas mediante GPS, se identificaron y georreferenciaron los puntos críticos de inundación y deslizamiento, lo que permitió una caracterización física detallada del área.

7.2. Instrumento de recolección de información.

La encuesta de vulnerabilidad ante inundaciones en el área urbana del Río Chiquito consta de 37 preguntas organizadas en secciones que recogen información demográfica, estados de la infraestructura de las viviendas, uso del suelo, conocimiento sobre inundaciones, niveles vulnerabilidad de la población que vive en la cercanía del Río Chiquito.

Formato de la Encuesta:

Datos Demográficos: Incluye preguntas sobre sexo, barrio, edad, número de personas en la vivienda, escolaridad, tipo y material de construcción de la vivienda, y disponibilidad de servicios básicos.

Sección I:

Conocimiento sobre inundaciones: Evalúa el entendimiento de los encuestados sobre qué son las inundaciones, su experiencia previa y la capacitación recibida.

Sección II:

Niveles de vulnerabilidad ante inundaciones: Utiliza una escala de 1 a 5 para medir la percepción en la comunidad y la exposición ante inundaciones.

Sección III:

Vulnerabilidad ante inundaciones: también utiliza una escala de 1 a 5 para evaluar la consistencia de la infraestructura de la vivienda, la preparación de los núcleos familiares y la participación de organismos de defensa civil.

7.3. Análisis de la información

Se construyó una base de datos para organizar y depurar la información recolectada. Se realizó un control de calidad de la Base de datos y para el análisis se utilizaron los siguientes recursos:

- **GPS:** Para la georreferenciación precisa de viviendas y puntos críticos.
- **Excel (v365):** Para la organización, manipulación y análisis preliminar de los datos.

- **SPSS (v25):** Para la gestión y análisis de técnicas estadísticas: tablas, gráficas, Árbol de decisión.
- **QGIS (v3.40.1):** Para análisis geoespacial y generación de mapas temáticos relacionados con la determinación de los índices de vulnerabilidad que tienen los barrios aledaños al Río Chiquito.

El análisis se realizó en varias etapas:

1. **Análisis estadístico:** Técnicas descriptivas y análisis de correlación para explorar relaciones entre variables como calidad de la vivienda y vulnerabilidad.
2. **Evaluación de la preparación comunitaria:** A través de encuestas y entrevistas sobre conocimiento y preparación ante inundaciones.
3. **Revisión de intervenciones institucionales:** Evaluación del rol y eficacia de organismos de defensa civil y otras instituciones.
4. **Análisis geoespacial:** Utilizando SIG para mapear áreas de vulnerabilidad, creando mapas de vulnerabilidad basados en altitud y proximidad al río.

7.4. Análisis morfométrico y delimitación

Para el procesamiento y análisis espacial de la microcuenca del Río Chiquito, se emplearon herramientas del conjunto GRASS GIS integradas en el software QGIS. Estas herramientas permitieron realizar un análisis morfométrico robusto, facilitando la delimitación de cuencas, la extracción de redes de drenaje y la obtención de parámetros geomorfológicos esenciales para la modelización hidrológica (Neteler & Mitasova, 2008; QGIS, 2024).

A continuación, se describen los principales módulos GRASS utilizados:

Módulo	Propósito	Características clave
r.fill.dir	Rellenar sumideros en modelos digitales de elevación (MDE)	Elimina depresiones y corrige el flujo para asegurar continuidad hidrológica.
r.watershed	Calcular acumulación de flujo y delimitar cuencas	Permite definir umbrales personalizados y genera mapas de cuencas y acumulación de flujo.
r.stream.extract	Extraer redes fluviales a partir de datos de flujo	Genera redes de drenaje en formatos ráster y vectorial, facilitando el análisis de la red hidrográfica.
r.water.outlet	Identificar cuencas a partir de coordenadas de salida	Permite delimitar áreas de aporte específicas según puntos de interés.
r.to.vect	Convertir datos ráster a formato vectorial	Facilita la visualización y el análisis espacial adicional de las redes y límites de cuenca.

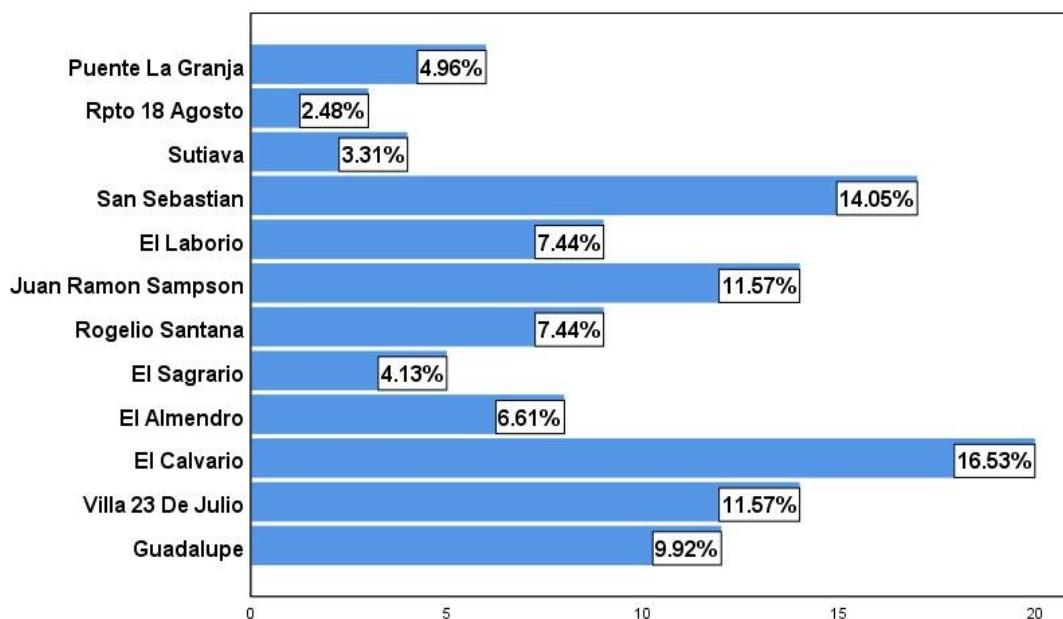
Fuente: Elaboración propia

7.5. Operacionalización de las variables.

Variable	Indicadores	Definición Operativa	Instrumentos	Escala de Medición
Condición de la Vivienda	Material de construcción, tipo de techo	Evaluar el material predominante en la construcción de las viviendas (paredes, techo y piso).	Encuesta a residentes, Observación de campo	Nominal
Vulnerabilidad ante Inundaciones	Proximidad al río, nivel de preparación, tipo de suelo, uso del suelo.	Grado de susceptibilidad de las viviendas y sus ocupantes a sufrir daños ante inundaciones.	Encuesta, Medición de distancias (GPS), Observación de campo	Ordinal
Impacto en la Salud	Enfermedades post-inundación, enfermedades frecuentes en época lluviosa, afecciones en la piel.	Incidencia y tipo de enfermedades reportadas por los pobladores tras eventos de inundación y en el periodo lluvioso.	Encuestas a residentes	Nominal
Conocimiento sobre la Vulnerabilidad	Nivel de conocimiento, percepción de las amenazas y sus efectos.	Medir el conocimiento de los pobladores sobre las causas, efectos y medidas de prevención de las inundaciones, así como su percepción de la vulnerabilidad.	Encuesta a residentes	Ordinal
Preparación Comunitaria	Participación en simulacros, existencia de planes familiares, pertenencia a brigadas.	Grado de participación y organización de la comunidad en actividades de preparación y respuesta ante emergencias por inundaciones.	Encuesta a residentes	Ordinal
Acciones Institucionales	Intervención de entidades gubernamentales y no gubernamentales, apoyo recibido.	Evaluar la percepción de los pobladores sobre la intervención y el apoyo de las instituciones durante y después de las inundaciones.	Encuesta a residentes	Nominal

VIII. Resultados

Gráfico 1. Barrios cercanos a la cuenca del Río Chiquito de la Ciudad de León.



En esta investigación se encuestaron a 121 personas distribuidas en 12 repartos, incluyendo Puente la Granja, Reparto 18 agosto, Sutiaba, San Sebastián, El Laborío, Juan Ramón Sampson, Rogelio Santana, El Sagrario, El Almendro, El Calvario y Villa 23 de Julio. La selección se centró en pobladores con viviendas cercanas o dentro de la subcuenca del Río Chiquito; para las viviendas sin presencia de personas, se recabaron datos de localización, características y la información facilitada por vecinos.

La proporción de encuestados por reparto reveló que El Calvario tuvo la mayor participación (16.53%), lo cual es significativo dado que es un área muy cercana al río con viviendas en su cauce y pendientes pronunciadas, exponiéndolos a altos Riesgo de inundación y deslizamientos. En segundo lugar, San Sebastián representó el 14.05% de los participantes.

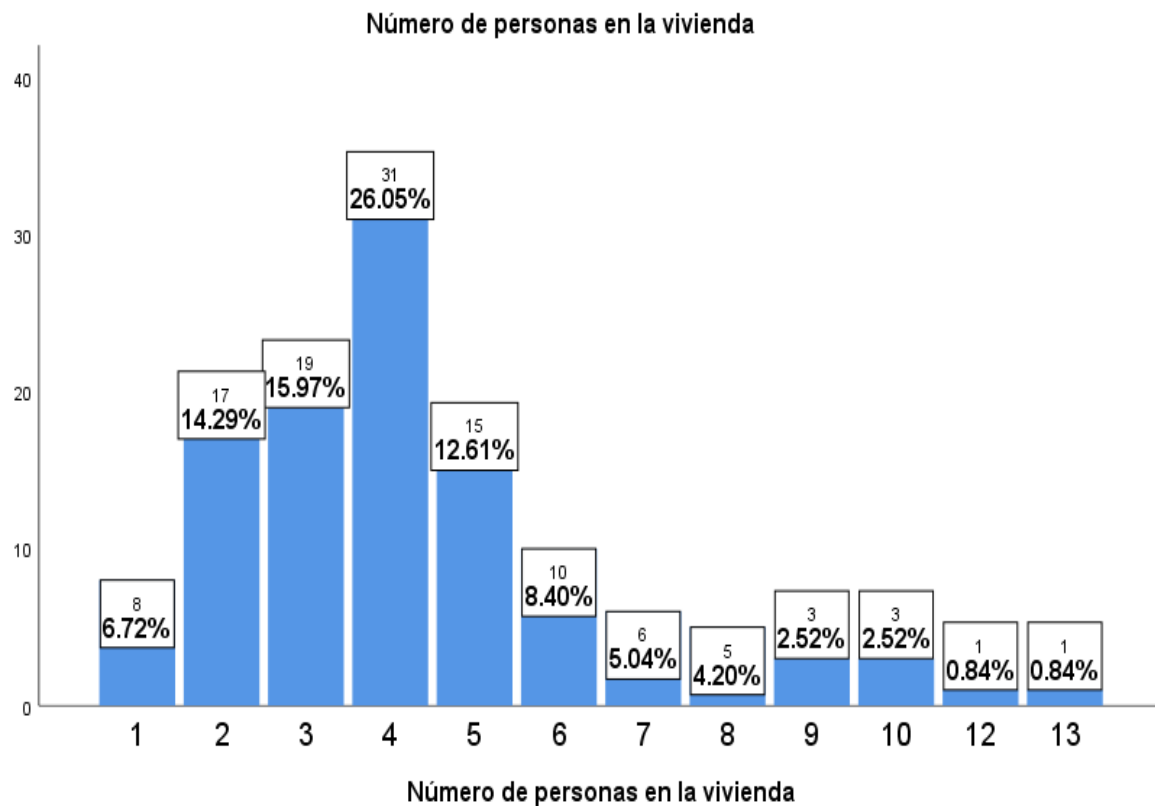
Tabla 1. Características Demográficas de la Población Encuestada.

		Frecuencia	Porcentaje
Edad	18-29 años	3	2.5
	30-39 años	41	33.9
	40-54 años	45	37.2
	55-69 años	32	26.4
		Frecuencia	Porcentaje
Sexo	Femenino	69	57.0
	Masculino	52	43.0
		Frecuencia	Porcentaje
Nivel de escolaridad	Alfabetizado	6	5.0
	Primaria	26	21.5
	Secundaria	50	41.3
	Universitario	31	25.6
	Técnico medio	3	2.5
	Iletrado	5	4.1
	Total	121	100.0

La mayoría de los participantes en el estudio están en los grupos de Adultos Tempranos (30-39 años) y Adultos Medios (40-54 años), con más personas alrededor de los 30 años. La población más representada tiene entre 20 y 60 años, siendo parte importante de la fuerza laboral. En cuanto al sexo, hay más mujeres, que representan el 57. 0% de los participantes, en comparación con el 43. 0% de hombres. Esto podría significar que las mujeres tienen más exposición a los temas del estudio. Respecto al nivel de escolaridad, el 41. 3% de los participantes tienen secundaria, seguidos por los universitarios (25. 6%) y quienes tienen primaria (21. 5%). Pocos tienen educación básica o técnica. La mayoría tiene al menos secundaria, lo que puede afectar su comprensión y participación en el estudio.

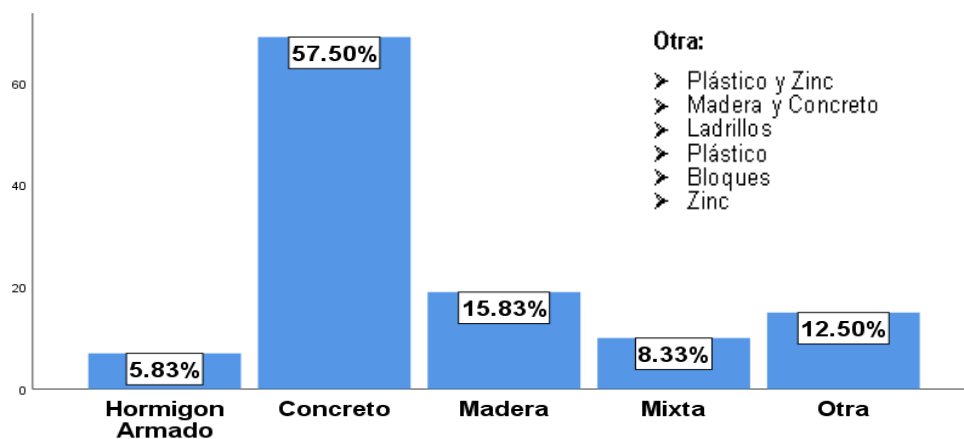
Gráfico 2. Distribución de las personas en la Vivienda.

0



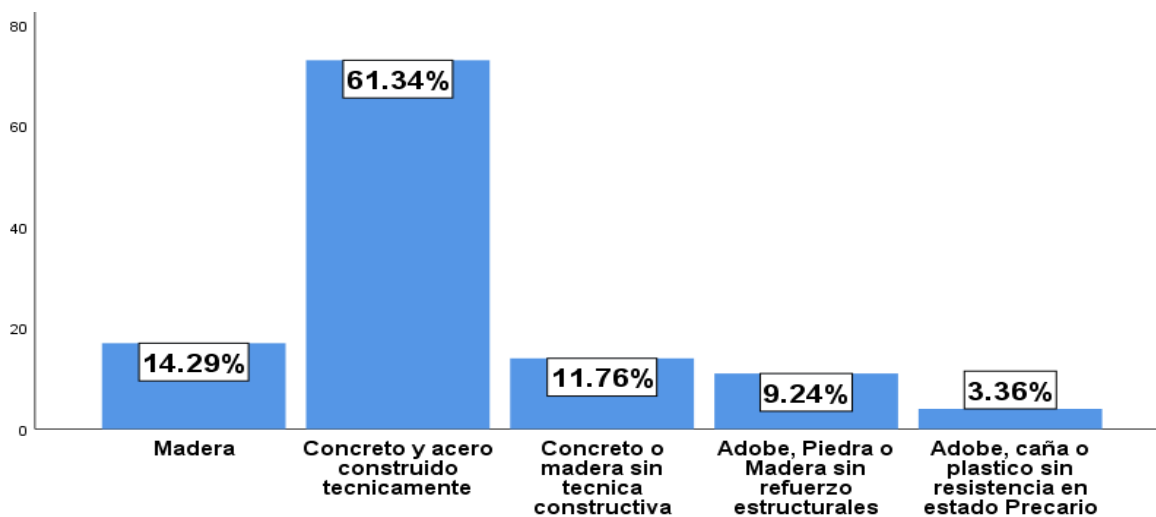
La mayoría de las viviendas tienen entre 3 y 4 personas, con el 15.97% y el 25.05% respectivamente. Una proporción significativa también tiene 2 personas (14.29%) o 5 personas (12.61%). Las viviendas con más de 6 personas son menos comunes, y solo un pequeño porcentaje tiene 7 o más residentes. Esta distribución indica una variedad de tamaños de hogar, con una tendencia hacia familias de tamaño medio.

Gráfico 3. Tipos de viviendas.



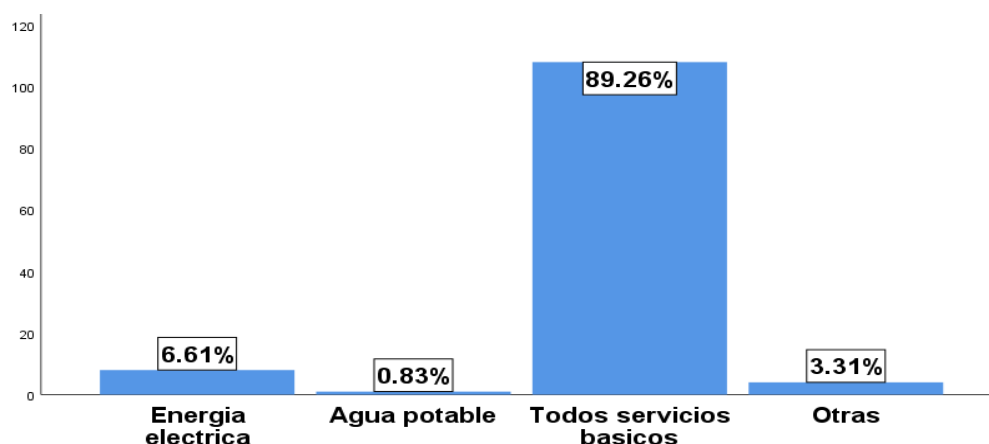
La mayoría de las viviendas están construidas con concreto, representando el 57.50% de la muestra, seguido por madera con 15.83%. Las viviendas mixtas constituyen 8.33%, mientras que el 5.83% son de hormigón. El 12.50% restante corresponde a tipos de vivienda categorizadas como otras, que incluyen materiales como plástico y zinc, madera con concreto, ladrillos, bloques y solo zinc.

Gráfico 4. Tipos de materiales de construcción.



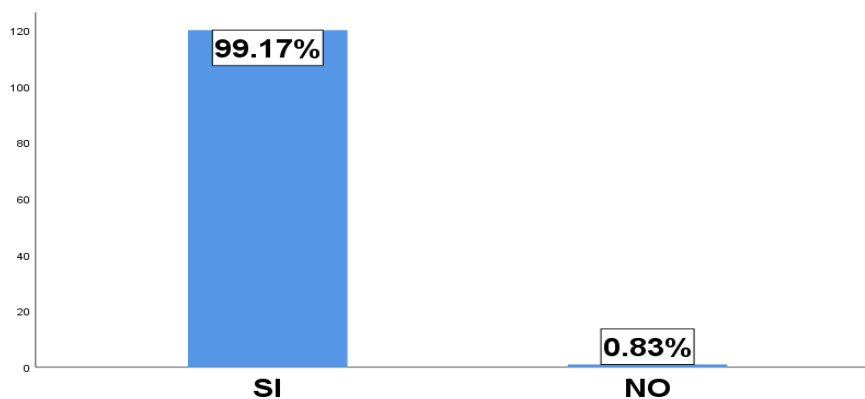
El 61.34% de las viviendas está construido con concreto y acero, mostrando alta resistencia ante desastres naturales. Un 14.29% utiliza madera y un 11.76% combina materiales sin técnicas definidas, reduciendo su durabilidad. Además, el 9.24% emplea adobe o madera sin refuerzo, con limitada estabilidad. El 3.36% restante son viviendas precarias hechas con caña o plástico, altamente vulnerables a eventos naturales.

Gráfico 5. Servicios básicos presentes en las viviendas.



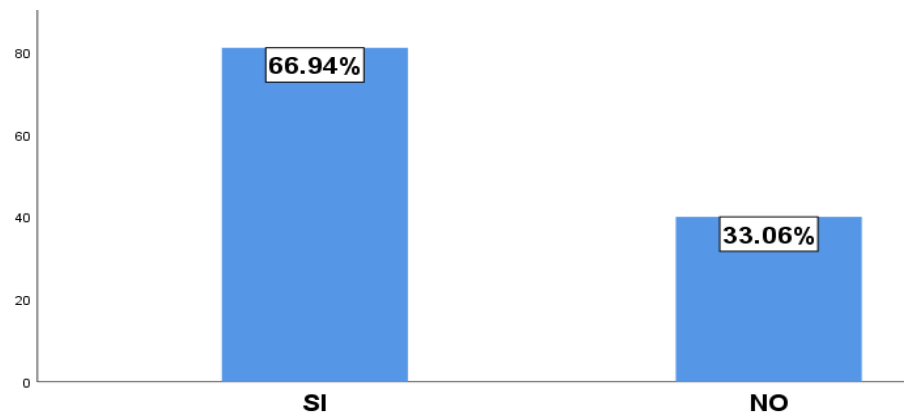
La mayoría de las viviendas, 89.3%, tienen acceso a todos los servicios básicos, indicando una cobertura integral que incluye energía eléctrica, agua potable y otros servicios esenciales. Sin embargo, 0.8% de las viviendas carecen de agua potable, lo que representa una carencia crítica que podría afectar la salud y el bienestar de los residentes. Además, 6.6% de las viviendas tienen acceso a energía eléctrica, mientras que 3.3% reportan acceso a otros servicios, que podrían incluir servicios adicionales como telecomunicaciones o gas.

Gráfico 6. Conocimiento de Inundaciones en la Zona de Estudio.



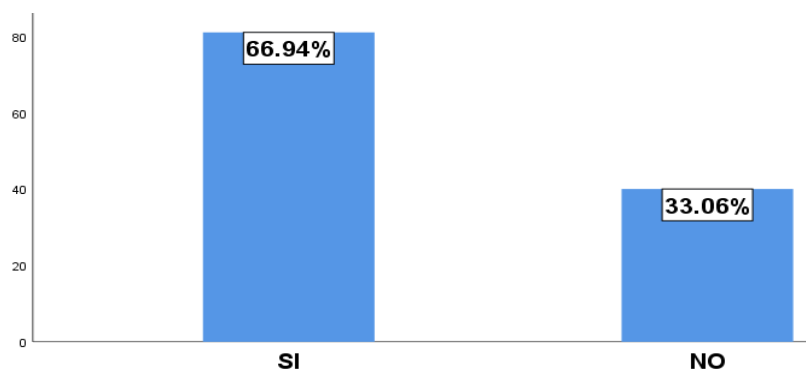
Un 99.17% de los encuestados sabe qué son las inundaciones, lo que indica un alto nivel de conciencia sobre este fenómeno natural en la comunidad. En contraste, solo 0.83% de los encuestados no sabe qué son las inundaciones, lo que sugiere que el conocimiento general sobre las inundaciones está bien difundido entre la población.

Gráfico 7. Percepción de los Habitantes sobre zona de Inundación.



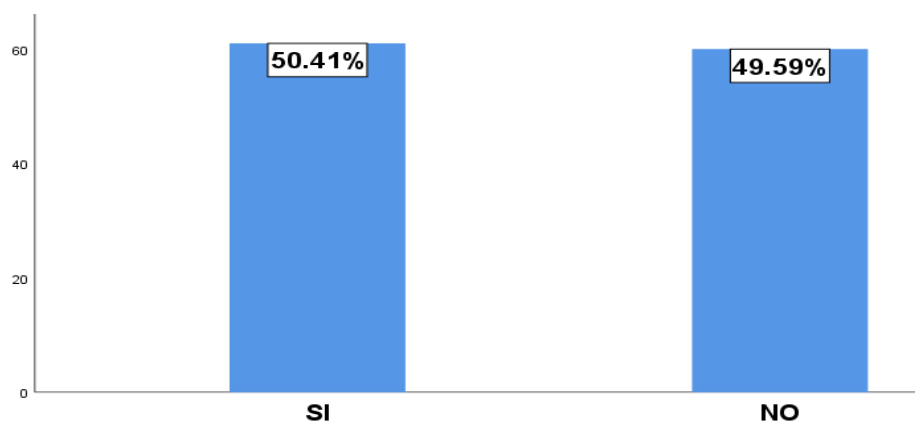
El 66.94% de los encuestados perciben que su zona de residencia se considera un área de inundación. Este dato sugiere que una mayoría significativa de la población es consciente de que vive en una zona susceptible a inundaciones, lo cual es crucial para la preparación y planificación de medidas de mitigación. Por otro lado, 33.06% de los encuestados no considera que su zona sea propensa a inundaciones. Esta discrepancia puede señalar una falta de información o percepción errónea del riesgo, lo que podría influir en la preparación y respuesta ante eventos de inundación.

Gráfico 8. Habitantes Afectados Previamente por Inundaciones.



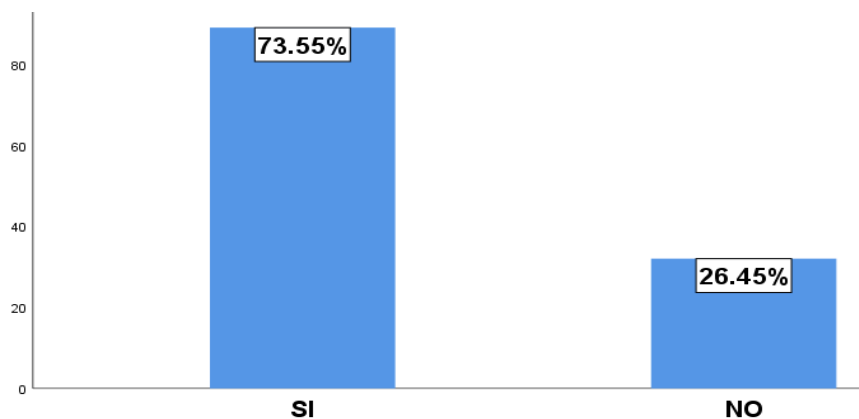
El 38.84% de los encuestados han reportado haber sido afectados por inundaciones. Este porcentaje indica que una porción considerable de la población ha experimentado directamente los efectos de las inundaciones, lo cual puede reflejar la vulnerabilidad de ciertas áreas a estos eventos y la necesidad de medidas de respuesta y recuperación efectivas. Por otro lado, 61.16% de los encuestados no han experimentado efectos directos de inundaciones.

Gráfico 9. Conocimiento de Rutas de Evacuación por Parte de los Habitantes.



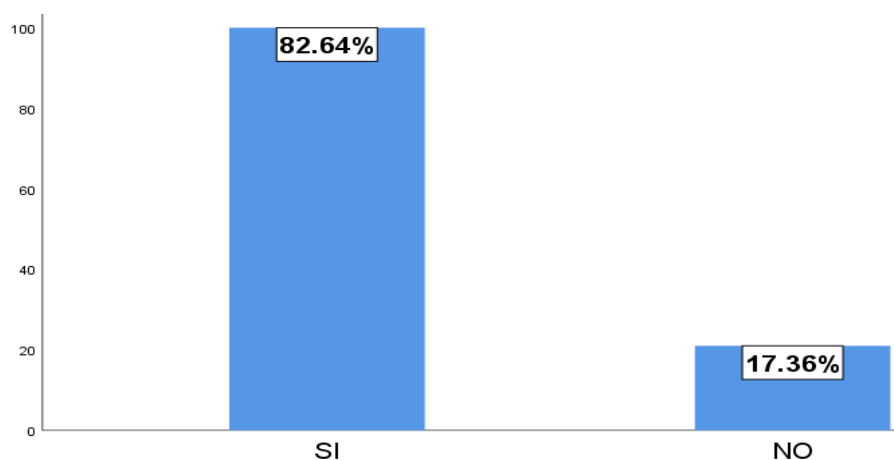
El 50.41% de los encuestados están informados sobre la existencia de rutas de evacuación en su sector. Esto es positivo, ya que indica que una parte significativa de la comunidad está preparada para actuar en caso de emergencia. Sin embargo, 49.59% de los encuestados no tienen conocimiento sobre la existencia de rutas de evacuación.

Gráfico 10. Conocimiento de lugares seguros ante Inundaciones.



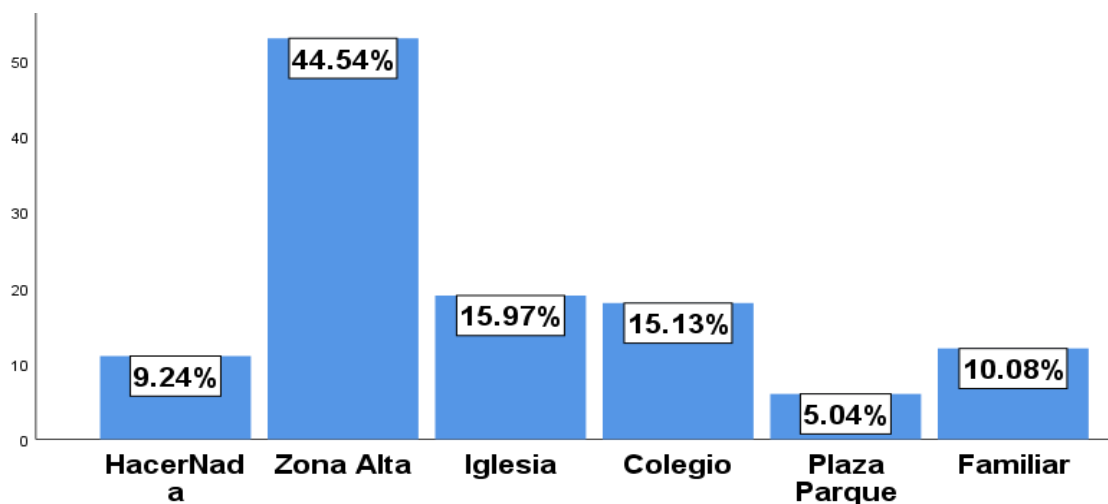
Un 73.55% de los encuestados confirmaron que hay un lugar seguro en su barrio donde ellos y sus familiares pueden refugiarse en caso de una inundación. Este alto porcentaje indica que la mayoría de la población tiene acceso a un refugio seguro, lo que es una señal positiva de preparación y seguridad comunitaria. El 26.45% de los encuestados señalaron que no hay un lugar seguro en su barrio para refugiarse. Este porcentaje resalta que una parte significativa de la población podría enfrentar dificultades en situaciones de emergencia, ya que no tienen un refugio designado.

Gráfico 11. Preparación y Acciones Conocidas ante Eventos de Inundación.



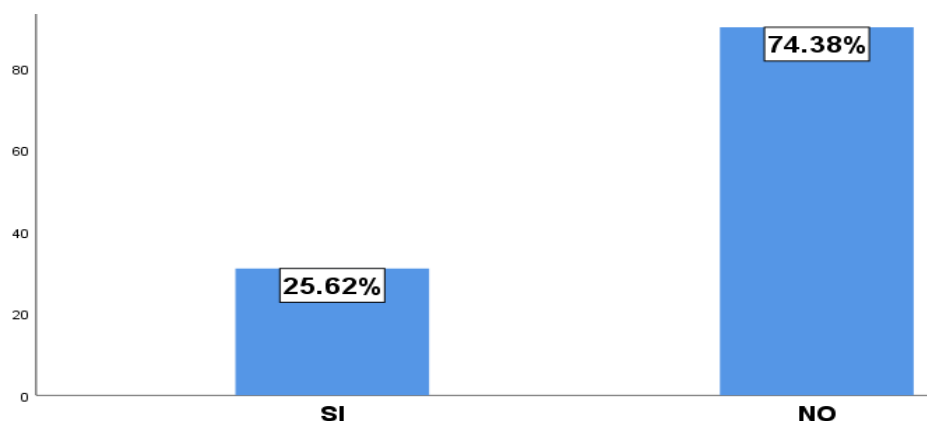
Un 82.64% de los encuestados indicaron que saben qué hacer en caso de una inundación. Este alto porcentaje sugiere que una gran mayoría de la población está informada y preparada para enfrentar situaciones de inundación, lo que es un indicador positivo de educación y preparación ante emergencias. En comparación con el, 17.36% de los encuestados no saben qué hacer en caso de una inundación.

Gráfico 12. Acceso a Refugios Disponibles en Caso de Inundación.

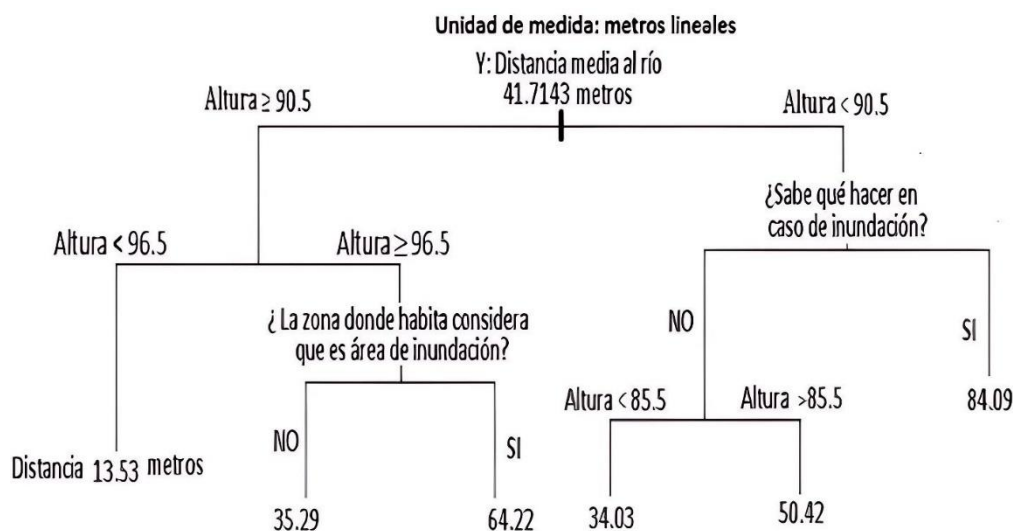


De los resultados obtenidos en la siguiente grafica que hay un aumento en las Zona Alta con un 44.54%, seguidos de la Iglesia 25.97%, Colegio 15.13%. En comparación con las demás como Hacer Nada (9.24%), Plaza parque (5.04%) y Familiar (10.08%). Los encuestados respondieron que al presentarse este tipo de evento ellos buscarían como refugiarse en Zonas altas.

Gráfico 13. Recepción de Capacitación sobre Prevención ante Inundaciones.



Se observa la distribución donde se les consulto sobre si han recibido capacitación sobre las inundaciones, de los que respondieron que sí fueron 25.62%, en comparación con los que respondieron que no 74.38%. con estos resultados se observa que la mayoría de los encuestados en esta investigación no fueron capacitados sobre Riesgo de inundación.



Árbol de decisión

El árbol de decisión muestra que la distancia media al río depende principalmente de la altitud y del conocimiento poblacional sobre inundaciones. Las viviendas ubicadas a menor altura (<90.5 m) y cuyos habitantes saben cómo actuar ante inundaciones presentan una menor vulnerabilidad (84.09 m). En cambio, aquellas situadas entre 85.5 y 96.5 m registran distancias menores, incrementando el riesgo.

Tabla 2. Percepción de Riesgo por Inundación y Licuefacción.

	Nivel de Vulnerabilidad	Frecuencia	Porcentaje
Consistencia de la Infraestructura las viviendas	Excelente	21	17.4
	Muy buena	47	38.8
	Regular	40	33.1
	Mala	8	6.6
	Muy mala	5	4.1
organismos y comunitarios locales presentes de forma efectiva	Excelente	11	9.1
	Muy buena	30	24.8
	Regular	35	28.9
	Mala	28	23.1
	Muy mala	17	14.0
Organismos de defensa civil se involucran de forma activa	Excelente	18	14.9
	Muy buena	22	18.2
	Regular	33	27.3
	Mala	27	22.3
	Muy mala	21	17.4
La fortaleza de los núcleos familiares es consistente según grupos de edad.	Excelente	36	29.8
	Muy buena	28	23.1
	Regular	40	33.1
	Mala	12	9.9
	Muy mala	5	4.1
Los núcleos familiares están preparados ante inundación	Excelente	33	27.3
	Muy buena	40	33.1
	Regular	35	28.9
	Mala	8	6.6
	Muy mala	5	4.1
Total		121	100.0

El análisis muestra que la infraestructura de las viviendas es vista de manera desigual, con un 38. 8% calificada como "Muy buena" y un 33. 1% como "Regular", indicando un riesgo importante. La eficacia de los organismos comunitarios y de defensa civil es dudosa, ya que la mayoría opina que su desempeño es "Regular", lo que refleja una falta de confianza. Aunque el 33. 1% de las familias se siente preparadas para inundaciones, esta percepción no se alinea con las Riesgo en la infraestructura y la coordinación.

Tabla 3. Evaluación de Infraestructura, Organización y Preparación Comunitaria

	Nivel de Vulnerabilidad	Frecuencia	Porcentaje
Percepción de Exposición de los Habitantes	Muy baja	12	9.9
	Baja	29	24.0
	Moderada	52	43.0
	Alta	20	16.5
	Muy alta	8	6.6
Percepción del Nivel de Vulnerabilidad en la Comunidad	Muy baja	16	13.2
	Baja	22	18.2
	Moderada	44	36.4
	Alta	23	19.0
	Muy alta	16	13.2
Vulnerabilidad de Inundación del Río Chiquito en la Comunidad	Muy baja	11	9.1
	Baja	28	23.1
	Moderada	31	25.6
	Alta	31	25.6
	Muy alta	20	16.5
Vulnerabilidad de Licuefacción del Terreno	Muy baja	18	14.9
	Baja	31	25.6
	Moderada	40	33.1
	Alta	23	19.0
	Muy alta	9	7.4
Total		121	100.0

El estudio muestra que la comunidad presenta una percepción de vulnerabilidad moderada, lo que podría sugerir una normalización de las amenazas. Un descubrimiento importante es que no hay un acuerdo sobre el peligro de inundación del Río Chiquito, lo que indica una discrepancia en la experiencia o en el conocimiento de los residentes. Por otra parte, la baja percepción del riesgo de licuefacción sugiere una posible falta de conocimiento sobre este peligro.

8.1. Índice de vulnerabilidad IV

Vulnerabilidad Física y Estructural

Tabla 4. Índice de Material de la vivienda.

	Frecuencia	Porcentaje	$\sum I_{k_i}$
Madera	18	14.9	18
Concreto y acero construido técnicamente	73	60.3	146
Concreto o madera sin técnica constructiva	14	11.6	42
Adobe, Piedra o Madera sin refuerzo estructurales	11	9.1	44
Adobe, caña o plástico sin resistencia en estado Precario	5	4.1	25
Total	121	100	275
Índice			2.27

Vulnerabilidad	Muy baja 1.00 - 1.80	Baja 1.81 - 2.60	Moderada 2.61 - 3.40	Alta 3.41 - 4.20	Muy alta 4.21 - 5.00
		2.27			

Tabla 5. Índice de consistencia de la infraestructura de su vivienda.

	Frecuencia	Porcentaje	$\sum I_{k_i}$
Excelente	21	17.4	21
Muy buena	47	38.8	94
Regular	40	33.1	120
Mala	8	6.6	32
Muy mala	5	4.1	25
Total	121	100.0	292
Índice			2.41

Vulnerabilidad	Muy baja 1.00 - 1.80	Baja 1.81 - 2.60	Moderada 2.61 - 3.40	Alta 3.41 - 4.20	Muy alta 4.21 - 5.00
		2.41			

Tabla 6. Índice de uso de suelo.

	Frecuencia	Porcentaje	$\sum I_{k_i}$
Alto Productivo	22	18.2	22
Moderado Productivo	37	38.6	74
Bajo Productivo	29	24.0	87
Infértil	33	27.3	132
Total	121	100.0	315
		Índice	2.60

Vulnerabilidad	Muy baja 1.00 - 1.80	Baja 1.81 - 2.60	Moderada 2.61 - 3.40	Alta 3.41 - 4.20	Muy alta 4.21 - 5.00
		2.60			

Tabla 7. Índice de la distancia en relación con el río.

	Frecuencia	Porcentaje	$\sum I_{k_i}$
Menos de 10 metros	35	28.9	35
De 10 a 30 metros	37	30.6	74
De 31 a 50 metros	19	15.7	57
De 51 a 70 metros	4	3.3	16
Más de 70 metros	26	21.5	130
Total	121	100.0	312
		índice	2.57

Vulnerabilidad	Muy baja 1.00 - 1.80	Baja 1.81 - 2.60	Moderada 2.61 - 3.40	Alta 3.41 - 4.20	Muy alta 4.21 - 5.00
		2.57			

Vulnerabilidad de Salud

Tabla 8. Incidencia de enfermedades post-inundación.

	Frecuencia	Porcentaje	$\sum I_{ki}$
NO	86	71.1	86
SI	35	28.9	175
Total	121	100.0	261
		índice	2.15

Vulnerabilidad	Muy baja 1.00 - 1.80	Baja 1.81 - 2.60	Moderada 2.61 - 3.40	Alta 3.41 - 4.20	Muy alta 4.21 - 5.00
		2.15			

Tabla 9. Índice de enfermedades que se presentan.

	Frecuencia	Porcentaje	$\sum I_{ki}$
Ninguno	15	12.4	15
Infecciones generales	2	1.7	6
Enfermedades respiratorias	51	42.1	204
Enfermedades transmitidas por vectores	53	43.8	265
Total	121	100.0	490
		índice	4.04

Vulnerabilidad	Muy baja 1.00 - 1.80	Baja 1.81 - 2.60	Moderada 2.61 - 3.40	Alta 3.41 - 4.20	Muy alta 4.21 - 5.00
				4.04	

Tabla 10. Índice aparición de afecciones en la piel.

	Frecuencia	Porcentaje	$\sum I_{k_i}$
Ninguna	77	63.6	77
Otras	5	4.1	15
Hongos	13	10.7	52
Alergias	20	16.5	80
Infección	6	5.0	30
Total	121	100.0	254
Índice			2.10

Vulnerabilidad	Muy baja	Baja	Moderada	Alta	Muy alta
	1.00 - 1.80	1.81 - 2.60	2.61 - 3.40	3.41 - 4.20	4.21 - 5.00
		2.10			

Vulnerabilidad Social y de Capacidades

Tabla 11. Índice nivel de escolaridad

	Frecuencia	Porcentaje	$\sum I_{k_i}$
Iletrado	5	4.1	25.0
Alfabetizado	6	5.0	24.0
Primaria	26	21.5	78.0
Secundaria	50	41.3	100.0
Técnico medio	3	2.5	6.0
Universitario	31	25.6	31.0
Total	121	100.0	264.0
índice			2.18

Vulnerabilidad	Muy baja	Baja	Moderada	Alta	Muy alta
	1.00 - 1.80	1.81 - 2.60	2.61 - 3.40	3.41 - 4.20	4.21 - 5.00
		2.18			

Tabla 12. Índice conocimiento de las inundaciones.

	Frecuencia	Porcentaje	$\sum I_{k_2}$
SI	120	99.2	120
NO	1	0.8	5
Total	121	100.0	125
		Índice	1.03

Vulnerabilidad	Muy baja	Baja	Moderada	Alta	Muy alta
	1.00 - 1.80	1.81 - 2.60	2.61 - 3.40	3.41 - 4.20	4.21 - 5.00
	1.03				

Tabla 13. Índice de edad.

	Frecuencia	Porcentaje	$\sum I_{k_1}$
18-29 años	3	2.5	3
30-39 años	41	33.9	82
40-54 años	45	37.2	135
55-69 años	32	26.4	128
Total	121	100.0	348
		Índice	2.88

Vulnerabilidad	Muy baja	Baja	Moderada	Alta	Muy alta
	1.00 - 1.80	1.81 - 2.60	2.61 - 3.40	3.41 - 4.20	4.21 - 5.00
			2.88		

Tabla 14. Índice de Sexo.

	Frecuencia	Porcentaje	$\sum I_{k_i}$
Femenino	69	57.0	260
Masculino	52	43.0	52
Total	121	100.0	312
		índice	2.58

Vulnerabilidad	Muy baja 1.00 - 1.80	Baja 1.81 - 2.60	Moderada 2.61 - 3.40	Alta 3.41 - 4.20	Muy alta 4.21 - 5.00
		2.58			

Tabla 15. Índice número de personas en la vivienda.

	Frecuencia	Porcentaje	$\sum I_{k_i}$
1	8	6.6	8
2	18	14.9	36
3	19	15.7	57
4 hasta 5	47	38.8	141
6 a mas	29	24.0	116
Total	121	100.0	358
		índice	2.96

Vulnerabilidad	Muy baja 1.00 - 1.80	Baja 1.81 - 2.60	Moderada 2.61 - 3.40	Alta 3.41 - 4.20	Muy alta 4.21 - 5.00
			2.96		

Tabla 16. Índice ha sido afectado por inundaciones.

	Frecuencia	Porcentaje	$\sum I_{k_i}$
SI	47	38.8	47
NO	74	61.2	370
Total	121	100.0	417
		Índice	3.45

Vulnerabilidad	Muy baja 1.00 - 1.80	Baja 1.81 - 2.60	Moderada 2.61 - 3.40	Alta 3.41 - 4.20	Muy alta 4.21 - 5.00
				3.45	

Tabla 17. Índice consideración de área de inundación donde habita.

	Frecuencia	Porcentaje	$\sum I_{k_i}$
SI	81	66.9	81.0
NO	40	33.1	200.0
Total	121	100.0	281.0
		Índice	2.32

vulnerabilidad	Muy baja 1.00 - 1.80	Baja 1.81 - 2.60	Moderada 2.61 - 3.40	Alta 3.41 - 4.20	Muy alta 4.21 - 5.00
		2.32			

Tabla 18. Índice conocimiento de rutas de evacuación.

	Frecuencia	Porcentaje	$\sum I_{k_i}$
SI	61	50.4	61.0
NO	60	49.6	300.0
Total	121	100.0	361.0
		Índice	2.98

Vulnerabilidad	Muy baja 1.00 - 1.80	Baja 1.81 - 2.60	Moderada 2.61 - 3.40	Alta 3.41 - 4.20	Muy alta 4.21 - 5.00
			2.98		

Tabla 19. Índice grupo de WhatsApp.

	Frecuencia	Porcentaje	$\sum I_{k_i}$
SI	14	11.6	14
NO	107	88.4	535
Total	121	100	549
			4.53

Vulnerabilidad	Muy baja 1.00 - 1.80	Baja 1.81 - 2.60	Moderada 2.61 - 3.40	Alta 3.41 - 4.20	Muy alta 4.21 - 5.00
			4.53		

Tabla 20. Índice sobre poseen teléfono celular.

	Frecuencia	Porcentaje	$\sum I_{k_i}$
SI	93	76.9	93
NO	28	23.1	140
Total	121	100	233
			1.93

Vulnerabilidad	Muy baja 1.00 - 1.80	Baja 1.81 - 2.60	Moderada 2.61 - 3.40	Alta 3.41 - 4.20	Muy alta 4.21 - 5.00
		1.93			

Tabla 21. Índice sobre Capacitaciones recibidas para actuar ante inundación

	Frecuencia	Porcentaje	$\sum I_{k_i}$
SI	31	25.6	31
NO	90	74.4	450
Total	121	100	481
			3.71

Vulnerabilidad	Muy baja 1.00 - 1.80	Baja 1.81 - 2.60	Moderada 2.61 - 3.40	Alta 3.41 - 4.20	Muy alta 4.21 - 5.00
				3.71	

Tabla 22. Índice organismos de defensa civil involucrados activamente

	Frecuencia	Porcentaje	$\sum I_{ki}$
Excelente	18	14.9	18
Muy buena	22	18.2	44
Regular	33	27.3	99
Mala	27	22.3	108
Muy mala	21	17.4	105
Total	121	100	374
			3.09

Vulnerabilidad	Muy baja 1.00 - 1.80	Baja 1.81 - 2.60	Moderada 2.61 - 3.40	Alta 3.41 - 4.20	Muy alta 4.21 - 5.00
			3.09		

Índice de Vulnerabilidad Global

Tabla 20. Índice de vulnerabilidad IV.

Vulnerabilidad Física y Estructural	INDICE
Material de la vivienda	2.27
Consistencia de la infraestructura de su vivienda	2.41
Uso desuelo	2.6
Distancia en relación con el Río	3.42
Total	2.68
Vulnerabilidad de Salud	
Incidencia de Enfermedades Post-Inundación	2.15
Enfermedades que se presentan	4.04
Aparición de Afecciones en la Piel	2.1
Total	2.76
Vulnerabilidad Social y de Capacidades	
Nivel de escolaridad	2.18
Conocimiento de las inundaciones	1.03
Edad	2.88
Sexo	2.58
Número de personas en la vivienda	2.96
Ha sido usted afectado por inundaciones	3.45
La zona donde habita considera que es área de inundación	2.32
Conoce si existen rutas de evacuación	2.98
Tienes grupo de WhatsApp de brigadas ante Riesgo naturales	4.53
Posees teléfono celular	1.93
Capacitaciones recibidas para actuar ante inundación	3.71
Los organismos de defensa civil involucrados activamente	3.09
Total	2.80
IV TOTAL GLOBAL	2.75

	Muy Baja 1.00 - 1.80	Baja 1.81 - 2.60	Moderada 2.61 - 3.40	Alta 3.41 - 4.20	Muy alta 4.21 - 5.00
IV GLOBAL			2.75		

Resultados SIG

Figura 2. Localización de viviendas en la ribera del Río Chiquito.

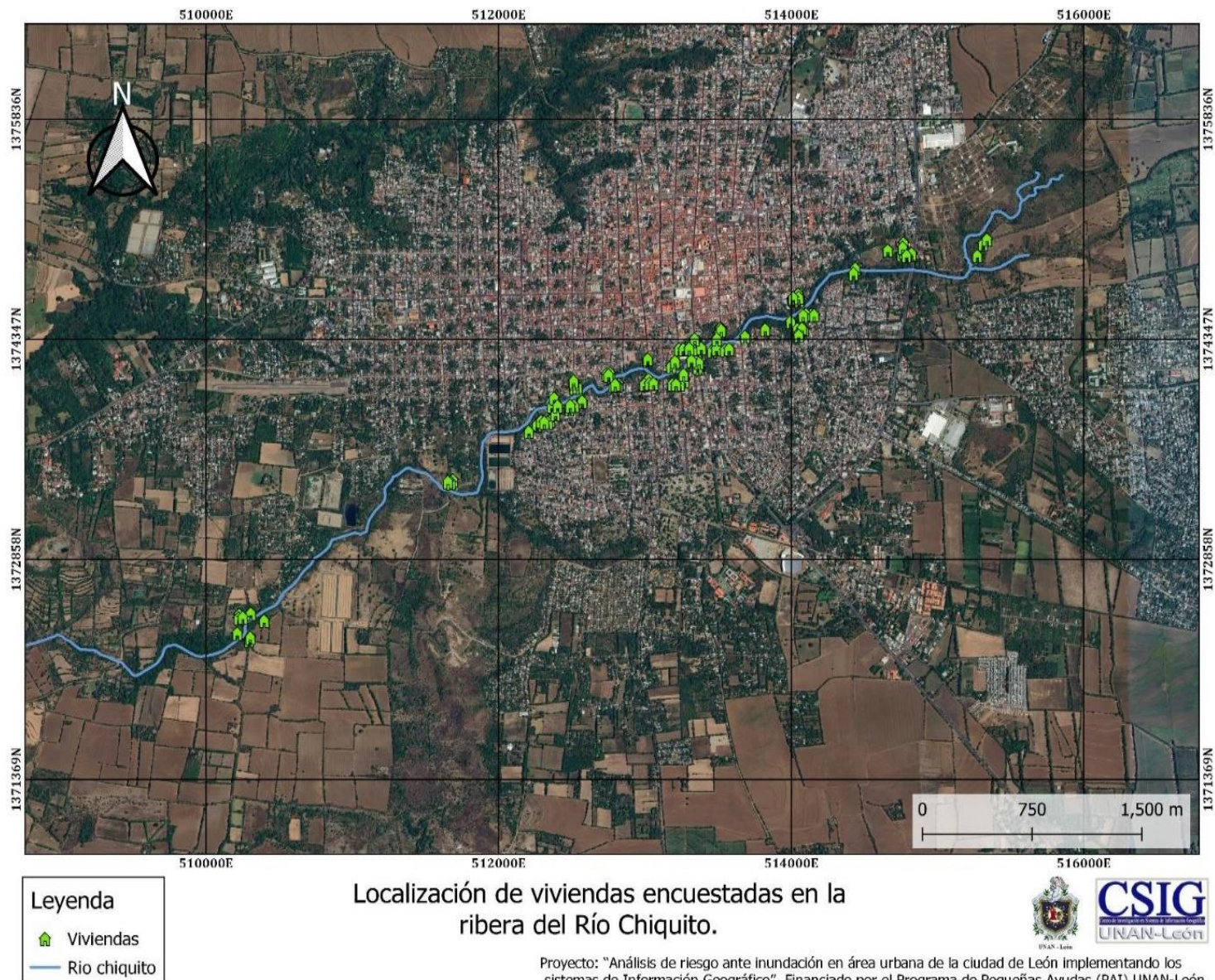
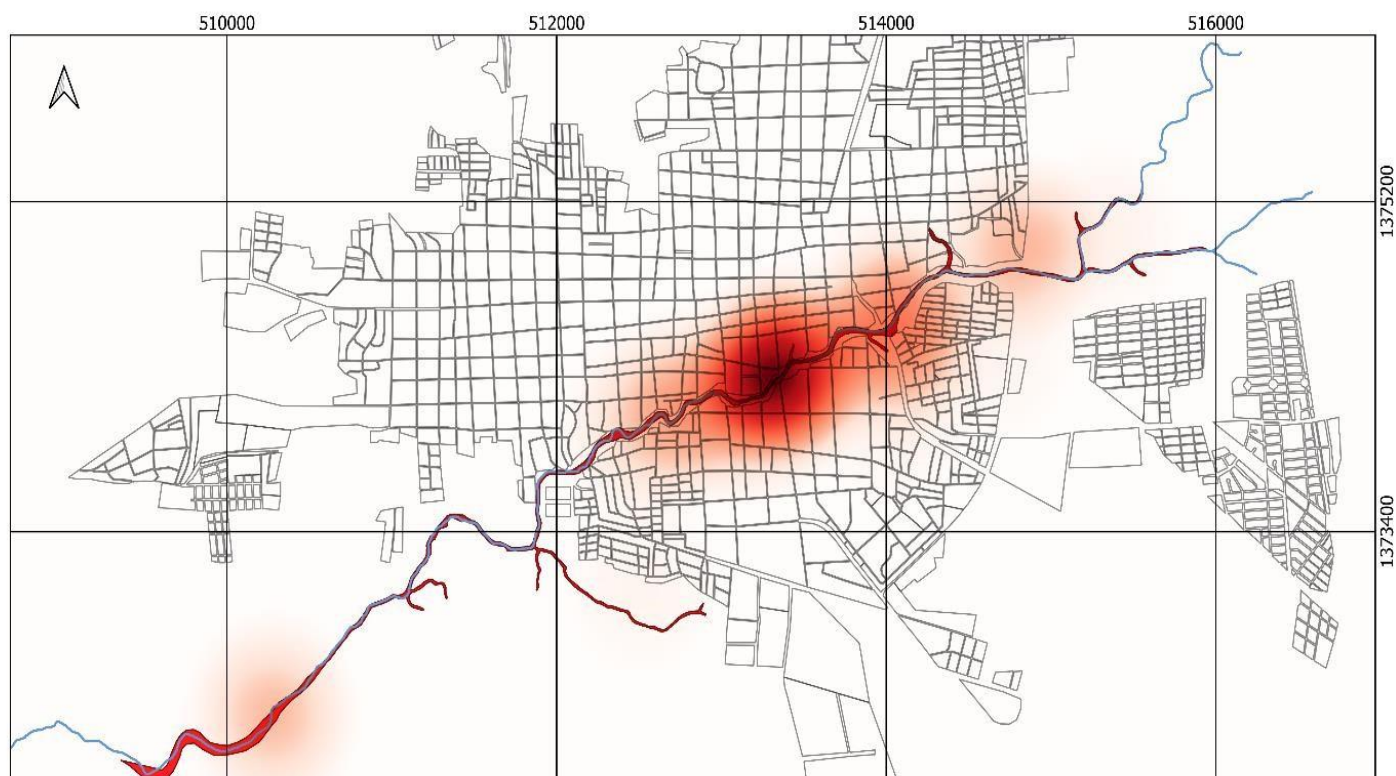


Figura 3 . Puntos de mayor vulnerabilidad de Inundación, Río Chiquito.



Leyenda

- Alto riesgo de inundación
- Río Chiquito
- Área máxima de inundación
- Ciudad de León

Alto riesgo por inundación



0 750 1,500 m

Proyecto: "Análisis de riesgos ante inundación en área urbana de la ciudad de León implementando los Sistemas de Información Geográfico". Financiado por el Programa de Pequeñas Ayudas (PAI) UNAN-León.

Resultados Morfométricos

Figura 4. Topografía y Pendientes de la Microcuenca del Río Chiquito.

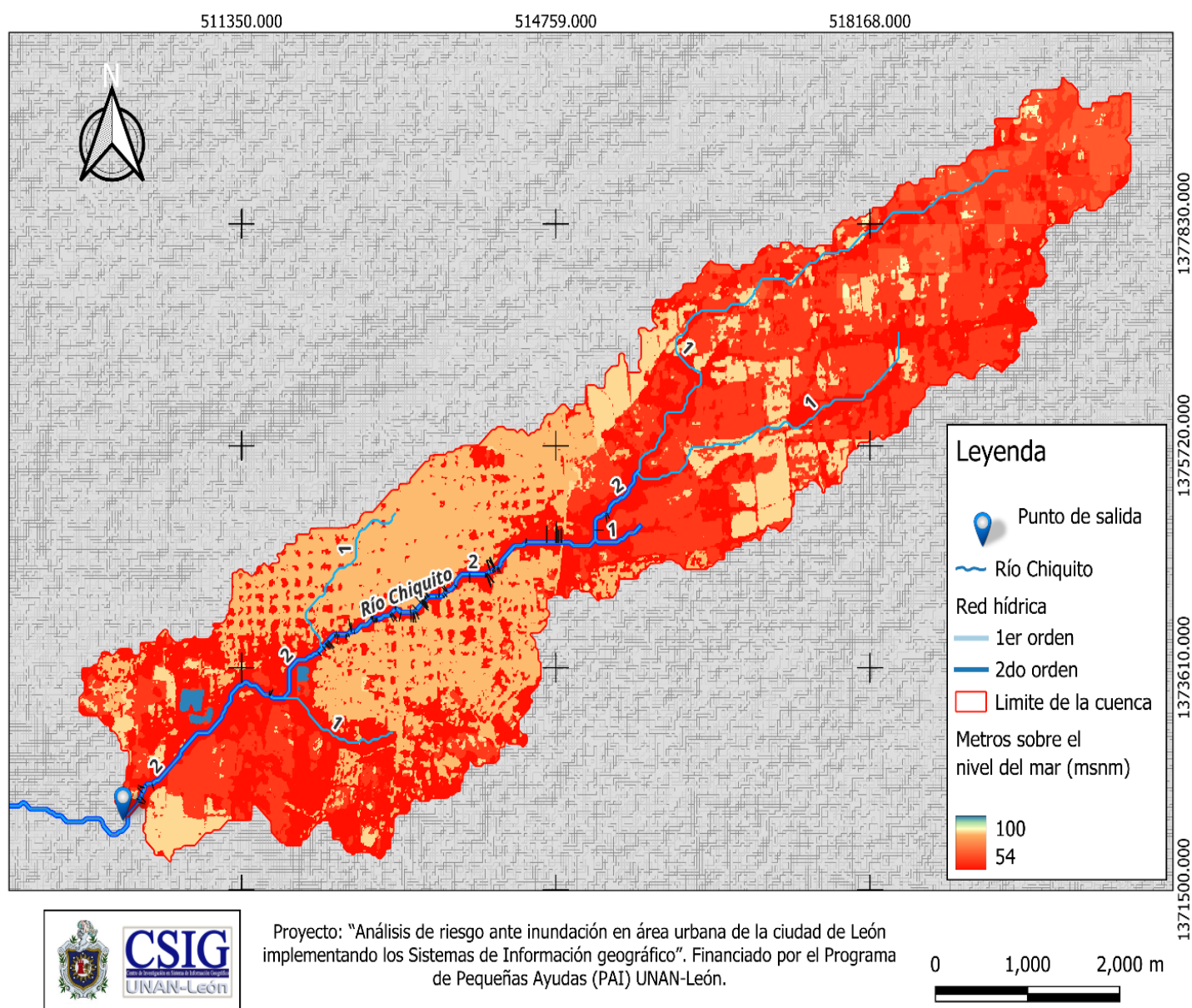


Tabla 21. Parámetros generales

Parámetro	Valor	Unidad
Área de la cuenca	26.507	km ²
Perímetro	39.666	Km
Longitud	13.317	Km
Ancho de cuenca (B)	1.991	Km

Tabla 22. Parámetros de la forma.

Parámetro	Valor	Unidad
Relación de circularidad	0.212	Forma fuertemente alargada
Coeficiente de compacidad de Gravelius	2.173	Forma rectangular-oblonga
Factor de forma de Horton	0.149	Forma de cuenca alargada

Este valor, al ser significativamente menor que 1, confirma que la cuenca es marcadamente **alargada**.

Según el índice de compacidad un ($K_c > 1.5$), confirma que la cuenca tiene una forma **oblonga a rectangular-oblonga**.

De acuerdo con el índice del factor forma un ($K_t < 1$), la cuenca **tiende a ser alargada**, lo que sugiere una baja susceptibilidad a avenidas repentinas.

Tabla 23. Índice Asimétrico.

Parámetro	Valor	Unidad
Intensidad de drenaje	0.589	Baja intensidad de drenaje

Un valor de 0.5 indica que hay una **inclinación o recarga significativa** de la red de drenaje hacia uno de los lados de la cuenca (en este caso, hacia la derecha, mirando aguas abajo).

Tabla 24. Características del relieve.

Parámetro	Valor	Unidad	Descripción
Elevación media	124.374	m a.s.l.	Elevación media de la cuenca
Elevación mínima	60	m a.s.l.	Elevación mínima de la cuenca
Elevación máxima	208	m a.s.l.	Elevación máxima de la cuenca
Relación de relieve	148	msnm	
Pendiente media de la cuenca (grados)	2.8	Grados	Relieve de tipo Plano (rango 0-3%).

Conforme a la tabla de clasificación, una pendiente de 2.8% corresponde a un relieve de tipo **Plano**.

Figura 5. Área de drenaje vista 3D.

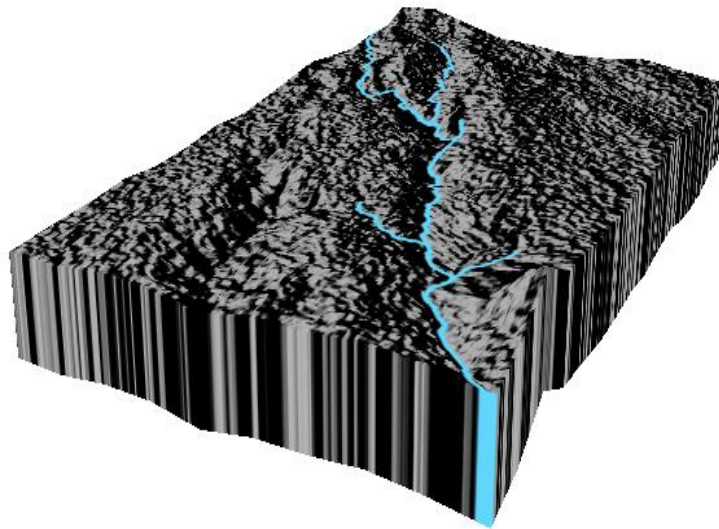
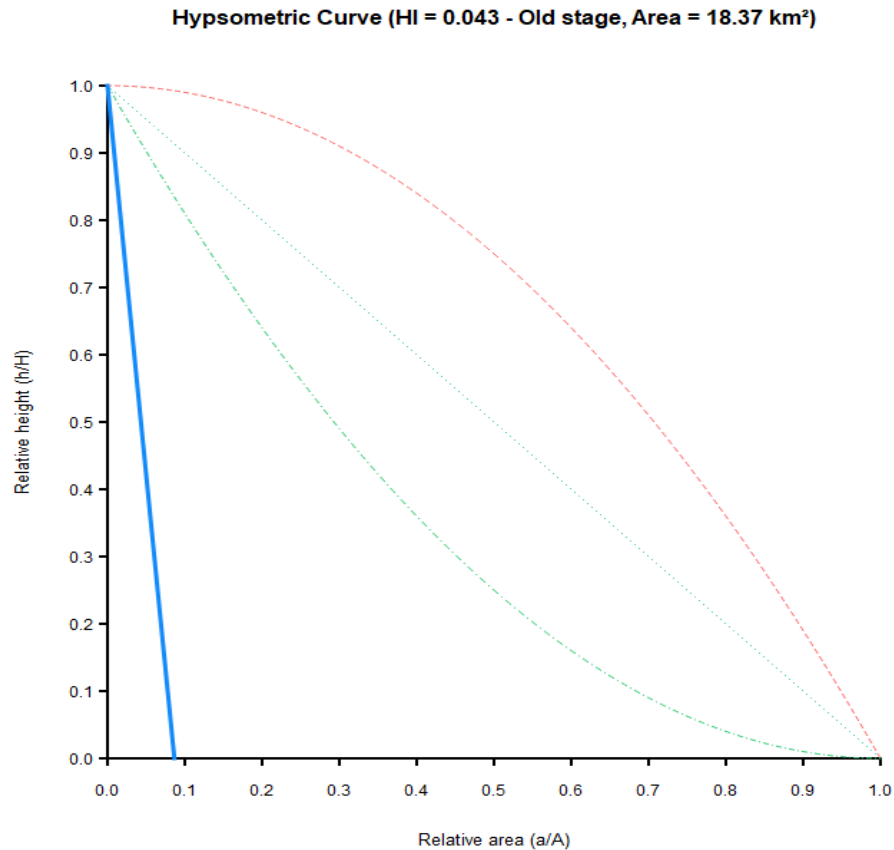


Figura 22. Curva hipsométrica



Según Díaz et al., (1999), la curva hipsométrica permite diagnosticar el estado evolutivo de la cuenca, lo que es crucial para entender su **comportamiento hidrológico** (cómo responde a la lluvia) y la **dinámica de la erosión** (dónde se erosiona y dónde se deposita el sedimento). La gráfica, muestra una cuenca antigua o senil, muy erosionada y cercana a su nivel de base. La mayor parte de su superficie se concentra en las zonas bajas. Predominan los paisajes planos o casi planos (penillanuras) con pendientes muy suaves y bajo potencial erosivo. La respuesta hidrológica es lenta y amortiguada.

IX. Conclusión

Distribución de la Muestra por Barrios: Se encuestaron 121 personas distribuidas en 12 barrios cercanos al Río Chiquito. El Calvario representó el 16.53% de los participantes, seguido por San Sebastián con el 14.05%. Esta distribución resalta la concentración en áreas de alta proximidad al río.

Edad: La mayoría de los encuestados (71.1%) se encuentra en los rangos de edad de 30-39 años (33.9%) y 40-54 años (37.2%), lo que indica una población predominantemente en edad laboral productiva.

Sexo: El 57.0% de los encuestados son mujeres, en comparación con el 43.0% de hombres. Esta proporción sugiere una mayor exposición femenina a los riesgos, posiblemente influenciada por roles de cuidado en el hogar durante eventos de inundación.

Nivel Educativo: El 41.3% de los participantes tiene educación secundaria, seguido por el 25.6% con nivel universitario y el 21.5% con primaria. Solo el 4.1% es iletrado, lo que implica un nivel educativo moderado que podría facilitar la comprensión de medidas preventivas, aunque persisten brechas en la capacitación específica sobre riesgos.

Tamaño del Núcleo Familiar: El promedio de miembros por hogar es de 4.7 personas. La distribución muestra que el 38.8% de las viviendas tienen entre 4 y 5 personas, con un 24.0% superando los 6 miembros, lo que aumenta la vulnerabilidad al requerir planes de evacuación más complejos para grupos grandes.

Materiales de Construcción de Viviendas: El 57.5% de las viviendas están construidas con concreto, el 15.83% con madera y el 8.33% con materiales mixtos. Un 12.50% utiliza materiales precarios como plástico o zinc, lo que contribuye a una vulnerabilidad física moderada, evaluada en un índice de 2.27 para esta dimensión.

Consistencia Estructural de Viviendas: El 61.34% de las viviendas utiliza concreto y acero con técnicas constructivas avanzadas, pero el 14.29% es de madera sin refuerzos y el 3.36% se encuentra en estado precario (adobe, caña o plástico). Esto resulta en un índice de vulnerabilidad estructural de 2.41, indicando una resistencia moderada a eventos extremos.

Acceso a Servicios Básicos: El 89.3% de las viviendas cuenta con todos los servicios esenciales (energía eléctrica, agua potable, etc.), mientras que el 0.8% carece de agua potable y el 6.6% solo tiene electricidad. Esta cobertura alta mitiga parcialmente la vulnerabilidad, pero las carencias críticas afectan la resiliencia ante desastre.

Conocimiento sobre Inundaciones: El 99.17% de los encuestados sabe qué son las inundaciones, con solo el 0.83% desconociéndolo. Este alto nivel de conciencia general es positivo, pero no se traduce necesariamente en acciones preventivas efectivas.

Percepción de Zona Propensa a Inundaciones: El 66.94% percibe su zona como susceptible a inundaciones, mientras que el 33.06% no lo considera así. Esta discrepancia resalta variaciones en la percepción del riesgo, posiblemente influenciadas por experiencias previas o información limitada.

Experiencia Previa con Inundaciones: El 38.84% de los encuestados ha sido afectado directamente por inundaciones (como el Huracán Mitch), en contraste con el 61.16% que no lo ha sido. Esto indica una exposición histórica significativa en subgrupos de la población.

Conocimiento de Rutas de Evacuación: Solo el 50.41% conoce las rutas de evacuación en su sector, mientras que el 49.59% las desconoce. Esta brecha representa un riesgo crítico para la respuesta inmediata durante emergencias.

Disponibilidad de Lugares Seguros: El 73.55% identifica un lugar seguro en su barrio para refugiarse, pero el 26.45% no lo hace. Los refugios preferidos incluyen zonas altas (44.54%), iglesias (25.97%) y colegios (15.13%), lo que sugiere la necesidad de expandir y formalizar estos espacios.

Preparación Ante Inundaciones: El 82.64% sabe qué hacer en caso de inundación, pero el 17.36% no lo sabe. Además, solo el 57.85% tiene un plan familiar de emergencia, evidenciando una preparación incompleta a pesar de la conciencia.

Capacitación Recibida: Solo el 25.62% ha recibido capacitación sobre prevención de inundaciones, en comparación con el 74.38% que no. Esto subraya una deficiencia en programas educativos comunitarios.

Percepción de Vulnerabilidad y Riesgos Específicos: La percepción de exposición es moderada (43.0%), con vulnerabilidad comunitaria moderada (36.4%). El riesgo de inundación del Río Chiquito es alto (25.6% moderado y 25.6% alto), y la licuefacción del terreno es moderada (33.1%), indicando una normalización de amenazas que podría subestimar los peligros.

Evaluación de Infraestructura y Organismos: La consistencia de la infraestructura es muy buena (38.8%) o regular (33.1%). Los organismos comunitarios y de defensa civil se perciben como regulares (28.9% y 27.3%, respectivamente), con bajos niveles de confianza en su efectividad.

Vulnerabilidad Física y Estructural (Índice): El índice promedio es de 2.68, clasificado como moderado, influido por factores como proximidad al río (28.9% a menos de 10 metros) y uso del suelo (índice 2.60).

Vulnerabilidad de Salud (Índice): El índice promedio es de 2.76, con el 28.9% reportando enfermedades post-inundación, predominantemente respiratorias (42.1%) y transmitidas por vectores (43.8%). Afecciones cutáneas afectan al 36.4%, con hongos y alergias como principales.

Vulnerabilidad Social y de Capacidades (Índice): El índice promedio es de 2.80, afectado por bajo conocimiento en rutas (2.98) y capacitaciones (3.71), así como limitada participación en brigadas (4.53 para grupos de WhatsApp).

Índice de Vulnerabilidad Global: El valor total es de 2.75, clasificado como moderadamente alto, integrando todas las dimensiones y justificando la necesidad de intervenciones integrales.

Análisis Geoespacial: Los mapas en QGIS identificaron puntos de alta vulnerabilidad en El Calvario y San Sebastián, con viviendas georreferenciadas en cauces y pendientes, confirmando zonas críticas para inundaciones.

Análisis Morfométrico de la Microcuenca: Área de 26.507 km², perímetro de 39.666 km, forma alargada (factor de forma 0.149), relieve plano (pendiente 2.8%) y baja intensidad de drenaje (0.589), lo que favorece la acumulación de agua y aumenta el riesgo de inundaciones lentas pero prolongadas.

X. Recomendación

Charlas de prevención focalizadas: Implementar charlas y simulacros anuales sobre prevención de inundaciones en barrios vulnerables como El Calvario (16.53%) y San Sebastián (14.05%), dirigidas al 74.38% de la población no capacitada, con énfasis en planes familiares de emergencia y rutas de evacuación.

Estrategias de gestión del riesgo: Diseñar e implementar estrategias coordinadas entre SINAPRED, COMUPRED y la Alcaldía de León, basadas en mapas de vulnerabilidad generados en QGIS, para asistir a los afectados (38.84% con experiencia previa) y preparar a la población general.

Esfuerzos educativos dirigidos: Intensificar campañas educativas para el 4.1% de iletrados y 21.5% con primaria, utilizando medios accesibles como radio y redes sociales (76.9% con acceso a celulares), para mejorar la comprensión de riesgos y medidas preventivas.

Limpieza de cauces: Organizar campañas municipales de limpieza de cauces antes de la temporada de lluvias, con participación comunitaria, enfocándose en puntos críticos identificados en QGIS para mitigar la acumulación de agua por baja intensidad de drenaje (0.589).

Planes de evacuación en laderas: Desarrollar planes de evacuación específicos para barrios con pendientes pronunciadas como El Calvario, con mapas impresos y digitales que indiquen rutas y refugios, abordando el 26.45% que no conoce lugares seguros.

Alertas tempranas para deslizamientos: Establecer sistemas de alerta temprana basados en monitoreo de INETER, comunicados vía SMS o megafonía, para residentes cerca de laderas, aprovechando el 76.9% con acceso a celulares.

Señalización para ríos crecidos: Instalar señalización clara en puntos críticos del Río Chiquito, como Puente La Granja, advirtiendo sobre los peligros de cruzar durante crecidas, acompañada de campañas educativas.

Cumplimiento de instrucciones: Mejorar la comunicación entre organismos de defensa civil (percepción regular: 27.3%) y residentes mediante protocolos claros de emergencia, difundidos en talleres comunitarios.

Evacuación inmediata ante crecidas: Establecer umbrales de nivel de agua (monitoreados por INETER) para activar evacuaciones inmediatas en viviendas cercanas al río (28.9% a menos de 10 metros), comunicadas vía WhatsApp (11.6% en brigadas).

Nuevas rutas de evacuación: Diseñar rutas de evacuación específicas para cada uno de los 12 barrios, con señalización física y digital, priorizando El Calvario y San Sebastián, para abordar el 49.59% que desconoce rutas.

Mayor actividad de defensa civil: Establecer protocolos de respuesta coordinada entre Policía Nacional, bomberos y Cruz Roja, con simulacros regulares y recursos específicos para los 12 barrios, mejorando la percepción regular (27.3%).

Refugios seguros: Identificar y acondicionar refugios en barrios donde el 26.45% no conoce lugares seguros, asegurando capacidad para familias numerosas (promedio 4.7 personas) y mejorando la preparación comunitaria.

Campañas de salud preventiva: Implementar campañas del Ministerio de Salud en época lluviosa, distribuyendo kits sanitarios (mosquiteros, repelentes, jabones) y monitoreando enfermedades respiratorias (42.1%) y vectoriales (43.8%) en refugios.

Regulación del uso del suelo: Prohibir construcciones a menos de 30 metros del río (59.5% de viviendas afectadas) y reforzar riberas con estructuras de contención en puntos críticos identificados en QGIS.

Modelos hidrológicos con parámetros morfométricos: Colaborar con INETER para integrar parámetros de la microcuenca (área: 26.507 km², factor de forma: 0.149) en modelos predictivos, actualizando el Plan Invierno municipal.

Brigadas comunitarias con herramientas digitales: Crear brigadas locales en cada barrio, utilizando WhatsApp para alertas y coordinación, capacitando al 88.4% de hogares no involucrados, aprovechando el 76.9% con acceso a celulares.

Monitoreo de licuefacción del terreno: Realizar estudios geotécnicos en suelos cercanos al río, liderados por INETER, y divulgar resultados en talleres para aumentar la conciencia sobre el riesgo de licuefacción (percepción moderada: 33.1%).

Alianzas con universidades: Establecer colaboraciones con UNAN-León para monitorear anualmente la vulnerabilidad, utilizando QGIS y SPSS para actualizar mapas y datos, fortaleciendo la investigación en GRD.

XI. Bibliografía

- Alcocer-Yamanaka, V. H., Mejía, J. M., Rueda, A., & Gallegos, A. (2016). Metodología para la generación de mapas de vulnerabilidad por inundación en zonas urbanas. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222016000500033
- Bordino, J. (2021, marzo 26). Cuencas hidrográficas: Qué son, tipos e importancia. [ecologiaverde.com. https://www.ecologiaverde.com/cuencas-hidrograficas-que-son-tipos-e-importancia-3334.html](https://www.ecologiaverde.com/cuencas-hidrograficas-que-son-tipos-e-importancia-3334.html)
- Castillo, M., Ibáñez-Castillo, L. A., Valdés, J. B., Arteaga-Ramírez, R., & Vázquez-Peña, M. A. (2017). Análisis de sequías meteorológicas en la cuenca del río Fuerte, México. *Tecnología y ciencias del agua*, 8(1), 35-52. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2017-01-03>
- COMUPRED. (2021, febrero 26). Guía Nacional para el Funcionamiento de los Comités Municipales para la Prevención, Mitigación y Atención a Desastres (COMUPRED). Scribd. <https://es.scribd.com/document/285064268/Guia-COMUPRED-pdf>
- Escuder Bueno, I. (2014). Universidad Politécnica de València. *Ingeniería del agua*, 18(1), ix. <https://doi.org/10.4995/ia.2014.3293>
- Ferreira, X. C. (2022). Inundaciones urbanas: Propuestas para una gestión de Riesgo con enfoque en la prevención de daños.
- González, D. R. P. (2019). Caracterización fisicoquímica del agua de la laguna La Vega Escondida, Tampico, Tamaulipas, México. *Tecnología y ciencias del agua*, 10(1), 1-19. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222019000100001
- Hernández-Urbe, R. E., & Ramírez, A. I. (2017). Análisis de vulnerabilidad por inundación: Metodología y aplicación a la cuenca Atemajac. *Tecnología y ciencias del agua*, 8(3), 05-25. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2017-03-01>
- Igarza, L. M. Z. (2018). Resiliencia urbana ante inundaciones por intensas lluvias en contribución al desarrollo urbano equilibrado. *Arquitectura y Urbanismo*, 39(1), 39-50.

INETER & SINAPRED. (2018). Portal de Mapas Interactivos de Riesgo y Amenazas Naturales. <https://www.ineter.gob.ni/geoportales/Riesgo-amenazas/index.html>

Jonker, A. (2023, noviembre 20). ¿Qué es un sistema de información geográfica (SIG)? | IBM. <https://www.ibm.com/es-es/topics/geographic-information-system>

Lozano, V. P. (2008). Análisis de vulnerabilidad y vulnerabilidad en edificaciones urbanas ante inundaciones y sismos: El caso de la ciudad de Piura. Universidad Nacional de Ingeniería, Perú.

MITECO. (2017). Guías de adaptación al riesgo de inundación y criterios constructivos de nuevas edificaciones en zonas inundables. <https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/gestion-de-los-vulnerabilidades-de-inundacion/usos-del-suelo-en-zonas-inundables/Guias-adaptacion-vulnerabilidad-inundacion-criterios-constructivos.aspx>

Molina, E., & González, A. L. (2019). Metodología para el análisis de vulnerabilidad ante inundaciones. Un ejercicio emergente ante el cambio climático. *Economía Sociedad y Territorio*, 543-574. <https://doi.org/10.22136/est20191342>

Narváez, L., Lavell, A., & Pérez Ortega, G. (2009). La Gestión del Vulnerabilidad de Desastres: Un enfoque basado en procesos (1. Ed). Secretaría General de la Comunidad Andina.

Ortuño-Cano, M. de los Á., & Gentili, J. O. (2023). Análisis morfométrico de la cuenca alta del arroyo Cura Malal Grande (Argentina) aplicado a la susceptibilidad de generar crecidas fluviales. *Investigaciones Geográficas: Una mirada desde el sur*, 66, Article 66. <https://doi.org/10.5354/0719-5370.2023.70111>

Peck, A., Huisman, J., & Thorp, J. (2007). Flood risk management guidance. Environment Agency.

Willys Duarte, G. (2021). ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD POR INUNDACIONES EN ZONA URBANA DE LA CIUDAD DE TIJUANA. <https://repositorioinstitucional.uabc.mx/server/api/core/bitstreams/8bd60451-4930-4874-907d-ab03d935e5ff/content>

Zamorano, J., & Quesada, A. (2019). Zonificación de procesos de ladera e inundaciones a partir de un análisis morfométrico en la cuenca alta del río General, Costa Rica. *Investigaciones Geográficas*, (99).
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112019000200101

XII. Anexo

Cronograma de actividades

Semanas	Estatus	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8	Semana 9	Semana 10	Semana 11	Semana 12	Semana 13	Semana 14	Semana 15	Semana 16	Semana 17	Semana 18	Semana 19	Semana 20	Semana 21	Semana 22	Semana 23	Semana 24	Semana 25	Semana 26	Semana 27	Semana 28	Semana 29	Semana 30	Semana 31	Semana 32	Semana 33
Actividades semanales																																		
Selección del tema	Revisado																																	
Introducción	Revisado																																	
Planteamiento del problema	Revisado																																	
Justificación	Revisado																																	
Antecedentes	Revisado																																	
Elaboración de los objetivos	Revisado																																	
Marco teórico	Revisado																																	
Marco conceptual	Revisado																																	
Metodología	Revisado																																	
Resultados	Revisado																																	
Conclusión	Revisado																																	
Referencia bibliográfica	Revisado																																	