

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA, LEÓN
UNAN-LEÓN**

ÁREA DE CONOCIMIENTO DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

ÁREA ESPECÍFICA DE MATEMÁTICA Y ESTADÍSTICA



TESIS MONOGRÁFICA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERÍA ESTADÍSTICA

**Análisis de riesgo y vulnerabilidad de inundación en la microcuenca
del río Pochote usando Sistema de Información Geográfica.**

León 2023

PRESENTADO POR: Br. Keylin Carolina Lira Sánchez.

TUTORA: PhD. Laureana Adalila Molina Membreño.

León, Nicaragua, 29/12/2025

46/19 ¡Siempre más allá, AVANZANDO EN LA REVOLUCIÓN!

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA, LEÓN
UNAN-LEÓN**

ÁREA DE CONOCIMIENTO DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

ÁREA ESPECÍFICA DE MATEMÁTICA Y ESTADÍSTICA



TESIS MONOGRÁFICA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERÍA ESTADÍSTICA

**Análisis de riesgo y vulnerabilidad de inundación en la microcuenca
del río Pochote usando Sistema de Información Geográfica.**

León 2023

PRESENTADO POR: Br. Keylin Carolina Lira Sánchez_____

TUTORA: PhD. Laureana Adalila Molina Membreño_____

León, Nicaragua, 29/12/2025

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN	6
II. ANTECEDENTES	7
III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
IV. JUSTIFICACIÓN.....	10
V. OBJETIVOS.....	11
5.1. Objetivo general	11
5.2. Objetivos específicos	11
VI. MARCO TEÓRICO	12
6.1. Concepto integral de riesgo: amenaza, vulnerabilidad y exposición	12
6.2. Causas y efectos de los desastres naturales	13
6.2.1. Gestión del riesgo	13
6.3. Inundaciones: definición y tipología.....	13
6.3.1. Tipos de inundaciones	14
6.4. Relación entre amenaza, vulnerabilidad y exposición.....	14
6.5. Modelos de análisis de riesgo: deterministas y probabilísticos	15
6.6. Aplicación de los SIG en la gestión del riesgo por inundaciones	16
6.6.1. Uso de modelos digitales de elevación (DEM) en la modelación hidrológica.	17
6.6.2. Priorización de medidas de mitigación y respuesta ante emergencias	17
6.7. Análisis morfométrico, hipsométrico y evaluación de la vulnerabilidad en la microcuenca.....	18
6.8. Evaluación de la vulnerabilidad: índices por componente.....	19
6.9. Conceptos básicos de estadística	20
6.9.1. Estadística descriptiva.....	20
6.9.2. Tablas estadísticas.....	20
6.9.3. Tabla de frecuencias	21
6.9.4. Gráfico de barras.....	21
VII. METODOLOGÍA	22

VIII. RESULTADOS.....	28
IX. CONCLUSIONES	67
X. RECOMENDACIONES	69
XI. CRONOGRAMA DE ESTUDIO.....	70
XII. ANEXOS.....	71
XIII. REFERENCIAS	78

TABLA DE CONTENIDO DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Porcentaje de personas en los repartos cercanos a la subcuenca de la ciudad de León.....	30
Gráfico 2. Porcentaje de los encuestados por categoría de sexo	31
Gráfico 3. Porcentaje de escolaridad por sexo.....	31
Gráfico 4. Servicio público de energía eléctrica	33
Gráfico 5. Servicio público de agua potable	34
Gráfico 6. Servicio público de energía eléctrica	35
Gráfico 7. Servicios sanitarios.....	36
Gráfico 8. Sabe qué hacer en caso de una inundación.....	37
Gráfico 9. Afectados por inundación	37
Gráfico 10. Capacidad de respuesta de la población ante inundación.....	38
Gráfico 11. Desalojar la vivienda por inundación	38
Gráfico 12. Viviendas a 10 metros en relación con el río Pochote	39
Gráfico 13. Material de construcción de las viviendas a 10 metros.....	39
Gráfico 14. Nivel de vulnerabilidad de las casas ubicadas a 10 metros.....	40
Gráfico 15. Nivel de vulnerabilidad de las viviendas cercanas a 40 metros	40
Gráfico 16. Material de construcción de las viviendas	41
Gráfico 17. Uso de aplicación de alerta ante inundación	41

TABLA DE CONTENIDO DE TABLAS Y MAPAS

Tabla 1. Cantidad de pobladores por repartos en la ciudad de León	42
Tabla 2. Materiales de construcción de las viviendas	44
Tabla 3. Años de antigüedad de las viviendas	46
Tabla 4. Tipo de suelo.....	47
Tabla 5. Distancia de las viviendas del río	48
Tabla 6. Canal de corriente natural del río	49
Tabla 7. Características del tipo de vegetación.....	50
Tabla 8. Tipo de sedimentos	52
Tabla 9. Cálculo del índice general	53
Tabla 10. Ha sido afectado por inundaciones	55
Tabla 11. La zona donde habita considera que es área de inundaciones.....	57
Mapa 1. Localización de las viviendas cercanas al río Pochote.....	59
Mapa 2. Mapa de calor de zonas de alto riesgo por inundación	60
Mapa 3. Delimitación de la cuenca del río Pochote	62
Tabla 12. Parámetros generales	62
Tabla 13. Parámetros de la forma	63
Tabla 14. Parámetros del relieve	64

Dedicatoria

Entre noches de desvelos construí un sueño lleno de esfuerzo y dedicación con la bendición de una hermosa investigación culminándola este año lleno de amor.

A Dios por darme la oportunidad de culminar este trabajo, por la sabiduría el entendimiento y el conocimiento para así poder realizar este trabajo.

A mis padres quienes me han apoyado incondicionalmente sin importar las circunstancias y así poderme guiar hacia adelante para cumplir mis metas.

Agradecimientos

Agradezco a la Universidad UNAN LEÓN, Facultad de Ciencias y Tecnología por haberme abierto las puertas de su prestigiosa y respetable institución.

A mi tutora PhD. Laureana Adalila Molina Membreño, quien dedicó gran parte de su tiempo y empeño para guiarme durante esta ardua tarea de recolección, procesamiento y análisis de datos y orientarme por el camino correcto en la realización de este estudio.

A mi familia y a mi compañero de vida que siempre estuvieron presente con su apoyo incondicional he podido lograr mis metas y objetivos, por ellos rindo homenaje esperando brindarles más alegría y victorias en futuros retos.

A las personas pobladores de los repartos del rio pochote incluidas en el estudio quienes contribuyeron participando voluntariamente para llevar a cabo este trabajo de investigación.

Resumen

Las inundaciones afectan a las poblaciones cercanas a los ríos. Debido a las características de relieve en las partes media y alta de la cuenca, los terrenos presentan predisposición a deslizamientos de tierra en época de lluvias, inundaciones y un alto grado de sedimentación en la parte baja. El objetivo es desarrollar una metodología aplicable a cuencas hidrográficas urbanas, para identificar áreas de vulnerabilidad; en particular, se analizarán los riesgos por inundaciones. Se usarán dos enfoques: el determinista, basado en modelación numérica y determinación de daños, y el paramétrico, para homologar los factores que intervienen en la vulnerabilidad, a través de índices adimensionales normalizados por componentes de índole social, económica, física y ambiental. Se utilizarán los Sistemas de Información Geográfica (SIG), así como imágenes satelitales y fotografías aéreas de ambos ríos. Como resultados, se obtendrán mapas de vulnerabilidad, riesgo y de período de retorno. Estos servirán para desarrollar posibles modelos deterministas ante estas amenazas y para caracterizar la población usando SPSS. Como innovación, se desarrollará una aplicación móvil (App) que contendrá un sistema de alerta temprana ante inundaciones, permitiendo a los usuarios ingresar información y monitorear el nivel de riesgo para prevenir desastres causados por este tipo de amenazas. Los resultados servirán de apoyo para la toma de decisiones y para generar proyectos que mitiguen o minimicen los daños causados por inundaciones en la población ubicada en las cinco cuencas de los ríos Chiquito y Pochote. Además, el proyecto contribuirá a la formación de estudiantes y docentes de la UNAN-León.

Palabras clave: Inundaciones, Vulnerabilidad, Riesgo, Alerta temprana, Modelación numérica, Enfoque determinista, Cuencas hidrográficas, Sistemas de Información Geográfica (SIG).

I. INTODUCCIÓN

El desbordamiento del río Pochote en la ciudad de León ocasiona graves problemas de inundación, que afectan a la población cercana. Debido a las características del relieve en las partes media y alta, los terrenos presentan una alta predisposición a deslizamientos de tierra en época de lluvias, a inundaciones y a la sedimentación en la parte baja. El objetivo de esta investigación es analizar las zonas de riesgo por inundación en la microcuenca hidrográfica del río Pochote aplicando la metodología determinista. Cuantificar el riesgo de inundación es complejo debido a las múltiples variables involucradas y a su constante evolución (Hernández-Uribe et al., 2017). El crecimiento de urbanizaciones espontáneas y sin planificación urbanística contribuye a grandes inundaciones durante episodios de lluvias torrenciales (Lozano, 2008; SINAPRED, 2005). Este fenómeno refleja la urgente necesidad de atender el ordenamiento territorial, especialmente en zonas de riesgo asociadas a las riberas de los ríos. Las metodologías de análisis de riesgo por inundación se dividen en dos grupos: deterministas (o cuantitativos) y paramétricos (o cualitativos) (Balica et al., 2012). Para su correcta aplicación, es esencial integrar indicadores significativos que delimiten la exposición, la susceptibilidad y la resiliencia de la cuenca, de manera que sea comprensible para los tomadores de decisiones (Hernández-Uribe et al., 2017). Las inundaciones son uno de los desastres naturales más devastadores, y la urbanización no planificada ha aumentado este riesgo, sobre todo en zonas cercanas a vías fluviales. Las áreas mal planificadas son vulnerables a inundaciones repentinas debido a la falta de infraestructura adecuada y a la impermeabilización del suelo (Hernández-Uribe et al., 2017). Este estudio proporcionará información importante sobre el riesgo, la vulnerabilidad y la exposición de las familias que habitan cerca del río Pochote. Los resultados servirán a la Alcaldía Municipal de León para la toma de decisiones, contribuyendo al desarrollo de planes de acción que mitiguen el impacto de las inundaciones y beneficien a la comunidad local.

II. ANTECEDENTES

Igarza (2018) aplicó un estudio con enfoque determinista y paramétrico para analizar el riesgo de inundación de la cuenca Atemajac en Jalisco, México. Su propósito fue crear mapas que representen las inundaciones y los daños correspondientes a distintos periodos de retorno, así como índices de vulnerabilidad que incluyeran factores sociales, económicos, físicos y ambientales. En ese trabajo se presenta una metodología de análisis de riesgo por inundación aplicable a cuencas urbanas, dirigida a los tomadores de decisiones para mitigar daños. La metodología se fundamentó en dos vertientes complementarias: la del enfoque determinista, basada en modelación numérica y determinación de daños; y la del enfoque paramétrico, donde se busca homologar los factores que intervienen en la vulnerabilidad a través de índices adimensionales normalizados por componentes de índole social, económica, física y ambiental.

En otro estudio, Alcocer y Góngora (2016) proponen una metodología para la generación de mapas de riesgo que articula los mapas de peligro y vulnerabilidad por inundación. Exponen un procedimiento adaptable a distintas zonas urbanas. Estos mapas son utilizados para estimar los costos por daños estructurales de las viviendas, para lo cual se plantean dos factores importantes: resistencia al vuelco y deslizamiento. Para el cálculo de la vulnerabilidad de las edificaciones ante un evento de inundación, establecieron una metodología que permite determinar los mapas de vulnerabilidad de toda una zona urbana, con base en información generada por el INEGI y contenida en las Áreas Geoestadísticas Básicas (AGEB). El caso de estudio es la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.

Bueno y García (2013) plantean que la complejidad del análisis a escala local requiere del desarrollo de metodologías específicas para el análisis del riesgo de inundaciones en zonas urbanas. Esto implica incorporar tanto inundaciones de origen pluvial como de origen fluvial, con sensibilidad a la lluvia y al movimiento del río.

En el documento publicado por Nicaragua Investiga (2022), se considera que el municipio de León tiene una densidad total de $198.98 \text{ Hab} / \text{km}^2$ y una densidad rural de $92.12 \text{ Hab} / \text{km}^2$. Por su posición geográfica, se encuentra en una zona altamente amenazada por inundación, anegación, posibles deslizamientos y huracanes. También se observa

que altos niveles de amenaza coinciden con muchas regiones densamente pobladas de León, en las que se identifican los ríos Chiquito, Pochote y el río de Las Mercedes de Quezalaguaque, que históricamente han presentado crecidas repentinas, además de cauces abiertos, caminos, cañadas y zonas de infiltración. En el área del casco urbano, se presentan zonas inestables, debido a que hay familias ubicadas en lugares de pendiente inclinada, sin ninguna obra de mitigación, y cerros con altas pendientes que afectan a las familias asentadas cerca.

SINAPRED (2022), reportó que la precipitación anual promedio para León es de 1385 *mm* de agua. Siete departamentos son los puntos más vulnerables por inundaciones en Nicaragua para ese período lluvioso, según el Plan Invierno 2022, presentado por el Estado Mayor de la Defensa Civil del Ejército de Nicaragua y el Sistema Nacional de Prevención de Desastres Naturales (SINAPRED). En orden serían: Managua, Chinandega, RAACN, León, Rivas, Madriz y Masaya. Chinandega y Managua conforman el 60% de la población en riesgo o vulnerable ante intensas lluvias, con casi medio millón de personas expuestas a inundarse, incluso antes de que el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER) afirmara que el invierno se había establecido ese año.

III. PLANTAMIENTO DEL PROBLEMA.

Las inundaciones son consideradas uno de los desastres naturales más devastadores a nivel mundial, factores como la urbanización descontrolada y el aumento de superficies impermeables, han incrementado la vulnerabilidad de las ciudades, provocando eventos de inundación más frecuentes e intensos (ONU, 2021).

En la ciudad de León, las inundaciones representan una amenaza constante y significativa. La falta de información detallada sobre la magnitud del riesgo de inundaciones y las áreas más vulnerables dificulta la toma de decisiones efectivas y la asignación de recursos para la prevención y mitigación de desastres. Esta problemática es particularmente crítica en la microcuenca del río Pochote, una zona urbana de León que enfrenta riesgos considerables debido a sus características geográficas y urbanísticas.

Por esta situación, existe un gran interés en generar resultados que ayuden a la universidad y a las autoridades locales a tomar decisiones informadas en beneficio de las personas que viven cerca del río Pochote. Por ello, se plantean las siguientes preguntas de investigación:

¿Cómo perciben su vulnerabilidad y el peligro de inundación las personas que viven cercanas al Río Pochote?, ¿Cómo se analiza el riesgo por inundaciones en la microcuenca del Río Pochote, con el uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG)?

Para responder a estas interrogantes, en este estudio se identificarán áreas críticas en relación con el riesgo de inundaciones, y se evaluará la vulnerabilidad de las infraestructuras de las viviendas y de las personas que viven muy cerca del río. Además, esta investigación ayudará a los tomadores de decisiones de la Alcaldía Municipal de León a planificar el uso del suelo de una manera más sostenible e implementar medidas preventivas que reduzcan el impacto de las inundaciones y permitan establecer estrategias efectivas de mitigación en la ciudad de León.

IV. JUSTIFICACIÓN

La gestión de riesgos de desastres es una prioridad para garantizar el desarrollo sostenible y la seguridad de cualquier comunidad. En la ciudad de León, donde las inundaciones representan una amenaza constante, es fundamental, identificar las áreas críticas, evaluar la vulnerabilidad de la población y la infraestructura de sus viviendas. Este análisis no solo permitirá reducir los impactos de las inundaciones, sino también, a las autoridades locales que permitirá planificar el uso del suelo de manera sostenible, contribuyendo al bienestar de la población y al fortalecimiento de la resiliencia comunitaria, y proporcionando un documento base como guía para la toma de decisiones beneficiando a la universidad haciendo proyección social y una tesis de culminación de estudio.

La prevención, mitigación y reducción de riesgos son aspectos esenciales que deben integrarse en la vida cotidiana de la ciudadanía. En este sentido, es importante promover una cultura de prevención que incluya tanto a las instituciones como a la sociedad civil, generando conciencia sobre la importancia de tomar medidas concretas para minimizar los efectos de los desastres naturales. (Prevención & mitigación 2018).

El Sistema Nacional para la Prevención, Mitigación y Atención a Desastres (SINAPRED) es un ejemplo de cómo se pueden articular esfuerzos. Según la Ley 337, este sistema está compuesto por un conjunto orgánico de estructuras, métodos y procedimientos que vinculan a los ministerios, instituciones públicas, autoridades locales y organizaciones de la sociedad civil, con el objetivo de reducir los riesgos y proteger tanto a las personas como a sus bienes. Este enfoque colaborativo es esencial para enfrentar desafíos como los que presenta el caso del río Pochote en León. A nivel territorial, los comités locales (COMUPRED), integrados por representantes de instituciones gubernamentales, organizaciones no gubernamentales, empresas privadas y la comunidad, juegan un papel crucial en la prevención y atención de desastres. Estos comités son fundamentales para garantizar que las medidas de mitigación se implementen de manera efectiva y con la participación de todos los actores involucrados. (SINAPRED 2018).

V. OBJETIVOS.

5.1. Objetivo general

- Aplicar los Sistemas de Información Geográfica para el análisis de riesgo y vulnerabilidad por inundaciones en la microcuenca hidrográfica Río Pochote área urbana de la ciudad de León.

5.2. Objetivo específicos

- Describir la percepción que tienen del riesgo de inundación las familias al estar viviendo muy cerca del Río Pochote y características de sus viviendas.
- Determinar de los índices de vulnerabilidad, conceptualizando la vulnerabilidad en el aspecto social, ambiental y físico, en aquellos lugares de mayor riesgo ante inundación.
- Analizar geográficamente, mediante los mapas, donde se ilustrarán los lugares de riesgos a inundaciones, usando los Sistemas de Información Geográfico.
- Hacer el análisis de morfometría de la microcuenca del Río Pochote, mediante los Sistemas de Información Geográfico.
- Desarrollar una aplicación móvil que funcione en Apps, con un sistema, que sirva para el monitoreo de alerta temprana comunitaria ante inundación.

VI. MARCO TEÓRICO.

6.1. Concepto Integral de Riesgo: Amenaza, Vulnerabilidad y Exposición

El riesgo se refiere a la probabilidad de que una amenaza se convierta en un desastre, generando consecuencias negativas sobre una comunidad o sistema. Este concepto se construye a partir de tres componentes fundamentales: amenaza, vulnerabilidad y exposición (PNACC, 2025).

La **amenaza** es un evento potencialmente destructivo, como huracanes, terremotos, inundaciones o fenómenos inducidos por el ser humano, que puede ocurrir con cierta intensidad en un lugar y tiempo determinado (OANS, 2017). Estas amenazas, por lo general, no pueden ser modificadas, pero sí pueden ser monitoreadas y gestionadas.

La **vulnerabilidad** se refiere a la incapacidad de las personas, comunidades o sistemas para resistir, adaptarse y recuperarse ante una amenaza. Puede estar determinada por factores físicos, sociales, económicos o ambientales, y se expresa en relación con el tipo de amenaza presente (Rivera, 2012). Por ejemplo, comunidades con infraestructura débil o escasos recursos presentan mayor vulnerabilidad ante eventos extremos.

La **exposición** representa la presencia de personas, bienes, servicios e infraestructuras en zonas donde pueden ser afectados por una amenaza. Es un componente crítico del riesgo, ya que determina cuántos elementos están en peligro y qué tan severo puede ser el impacto (OANS, 2017).

La interacción entre estos tres factores puede aumentar significativamente el riesgo, especialmente cuando las amenazas coinciden con altos niveles de vulnerabilidad y exposición. En este sentido, los desastres naturales no solo son producto de fenómenos físicos, sino también de condiciones sociales y estructurales que amplifican sus efectos (EIRD, 2004; CIFRC, 2025).

6.2. Causas y efectos de los desastres naturales

Los desastres naturales pueden ser desencadenados por una variedad de peligros, incluyendo:

Fenómenos meteorológicos:

como sequías, temperaturas muy altas o bajas, lluvias muy intensas y, a su vez, las consecuencias de esto, como las inundaciones. Ríos & Molero, (2013).

Eventos geológicos:

Tales como terremotos, erupciones volcánicas y deslizamientos, ocurren desde épocas remotas, provocando pérdidas de vidas humanas y perjuicios materiales (Ogura, A., & Soares Macedo, E. 2005).

6.2.1 Gestión del Riesgo

La gestión del riesgo implica un enfoque proactivo para prevenir desastres mediante la preparación, mitigación y respuesta. Esto incluye:

Educación y concienciación: Capacitar a las comunidades sobre los riesgos y cómo prepararse.

Desarrollo sostenible: Implementar políticas que reduzcan la vulnerabilidad socioeconómica.

Planificación urbana: Diseñar infraestructuras que minimicen el impacto de los desastres.

Es esencial que las comunidades desarrollen resiliencia frente a estos riesgos para poder afrontar los desafíos futuros.

6.3. Inundaciones: Definición y Tipología

Una inundación se define como la ocupación temporal por parte del agua de zonas que normalmente están secas. Este fenómeno puede ser causado por el desbordamiento de ríos, torrentes o lagos, así como por la acumulación de agua en áreas debido a lluvias intensas, deshielo, mareas altas o maremotos. Las inundaciones pueden originarse tanto

por eventos naturales como por actividades humanas, como la rotura de presas o la impermeabilización del suelo (Laura F, 2020).

6.3.1 Tipos de inundaciones

Inundaciones fluviales:

Ocurren cuando el caudal de un río sobrepasa los límites de su cauce natural. Este tipo de inundación se vuelve peligroso cuando las zonas inundables son ocupadas por asentamientos humanos, aumentando el riesgo para la población (Rojas & Aguayo, 2014).

Inundaciones pluviales:

También conocidas como inundaciones repentinas o flash floods, se producen por lluvias intensas en cortos períodos de tiempo, superando la capacidad de drenaje del terreno. Su desarrollo rápido y escasa advertencia las hace especialmente peligrosas.

Inundaciones costeras:

Se presentan en zonas cercanas al mar y son provocadas por marejadas, tsunamis o tormentas que elevan el nivel del agua más allá de lo habitual. Estas inundaciones afectan tanto a comunidades costeras como a ecosistemas marinos.

La comprensión de estos tipos de inundación es fundamental para la planificación urbana, el diseño de infraestructuras resilientes y la preparación ante desastres. Cada categoría implica diferentes niveles de amenaza y vulnerabilidad, por lo que su análisis detallado es clave para la gestión del riesgo en contextos urbanos y rurales.

6.4. Relación entre Amenaza, Vulnerabilidad y Exposición

La relación entre estos tres componentes puede expresarse mediante la siguiente fórmula:

$$RIESGO = AMENAZA * VULNERABILIDAD * EXPOSICION$$

Esto implica que el riesgo aumenta si cualquiera de estos factores se incrementa. Para gestionar el riesgo de manera efectiva, es crucial abordar cada uno de estos

componentes mediante estrategias que reduzcan la vulnerabilidad y la exposición ante amenazas específicas.

6.5. Modelos de análisis de riesgo: deterministas y probabilísticos

En el análisis de riesgos, los modelos matemáticos permiten representar sistemas complejos y anticipar su comportamiento ante eventos adversos. Existen dos enfoques principales: determinista y probabilístico, cada uno con características y aplicaciones específicas.

Un modelo determinista es una representación matemática en la que los resultados están completamente definidos por las condiciones iniciales y las relaciones establecidas entre variables. Para un conjunto dado de entradas, el modelo siempre produce el mismo resultado, sin considerar la aleatoriedad o incertidumbre (Gutiérrez et al., 2015). La construcción de este tipo de modelo implica:

Identificación del problema: Definir claramente el sistema o proceso a modelar.

Determinación de variables: Seleccionar las variables relevantes que influyen en el sistema.

Formulación de ecuaciones: Establecer relaciones matemáticas entre las variables.

Validación: Evaluar el modelo mediante simulaciones y análisis de sensibilidad.

Por otro lado, los modelos probabilísticos incorporan la incertidumbre inherente a los fenómenos naturales y sociales. Se basan en supuestos estadísticos para estudiar los resultados de experimentos aleatorios y predecir su comportamiento futuro bajo condiciones similares (Vázquez, 2014). Estos modelos permiten estimar la probabilidad de ocurrencia de eventos y evaluar escenarios múltiples, siendo útiles cuando los datos disponibles presentan variabilidad o incompletitud.

La principal diferencia entre ambos enfoques radica en cómo abordan la incertidumbre: mientras los modelos deterministas ofrecen resultados únicos y precisos, los probabilísticos permiten explorar rangos de posibles resultados, considerando la variabilidad de los datos y las condiciones del entorno (Pacheco, 2017).

6.6 Aplicación de SIG en la gestión del riesgo por inundaciones

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son herramientas tecnológicas fundamentales para la gestión del riesgo por inundaciones, ya que permiten la recopilación, almacenamiento, análisis e interpretación de datos geoespaciales (Montes et al., 2022). Su utilidad radica en tres funciones clave:

Georreferenciación: Asignación de coordenadas geográficas a datos para ubicarlos espacialmente.

Análisis espacial: Evaluación de relaciones entre variables geográficas, facilitando la identificación de patrones, tendencias y zonas críticas.

Visualización: Generación de mapas temáticos y representaciones gráficas que simplifican la interpretación de información compleja.

En el contexto del análisis hidrológico, los SIG permiten integrar datos geográficos con información hidrometeorológica, como precipitaciones, escorrentía, uso del suelo y elevación del terreno. Esta integración es esencial para comprender los fenómenos relacionados con el agua y evaluar el riesgo de inundación en áreas urbanas y rurales (ACCA, 2024).

Entre las fuentes de datos más relevantes se encuentran las imágenes satelitales, que ofrecen información sobre cobertura vegetal, cambios en el uso del suelo y extensión de cuerpos de agua. Estas imágenes son clave para monitorear eventos extremos y evaluar el impacto de las actividades humanas en el ciclo hidrológico.

Los SIG también permiten la creación de mapas de riesgo, combinando información topográfica, hidrológica y meteorológica para identificar zonas propensas a inundaciones. Estos mapas son herramientas estratégicas para la planificación urbana, ya que orientan la toma de decisiones sobre el uso del suelo, la ubicación de infraestructuras y la implementación de medidas preventivas.

Además, los SIG facilitan la simulación de escenarios mediante modelos hidrológicos, lo que permite anticipar el comportamiento del agua ante distintos eventos climáticos. Esto es crucial para diseñar sistemas de alerta temprana, evaluar impactos potenciales y priorizar acciones de mitigación.

6.6.1. Uso de modelos de elevación (DEM) en la modelación hidrológica

Los Modelos de Elevación Digital (DEM) son representaciones tridimensionales del terreno que muestran la elevación del suelo en diferentes puntos (ESRI, 2007). Estos modelos son cruciales para el análisis hidrológico por varias razones:

Identificación de zonas inundables:

Al superponer mapas de inundación con DEM, es posible identificar las áreas más vulnerables a inundaciones, lo que es fundamental para la planificación urbana y la gestión del riesgo

Simulación hidrológica:

Los DEM se integran con modelos hidrológicos para predecir el comportamiento del flujo hídrico durante eventos extremos, como tormentas intensas o deshielos. Esto ayuda a anticipar crecidas y a diseñar sistemas de drenaje eficaces.

6.6.2. Priorización de Medidas de Mitigación y Respuesta ante Emergencias

Una vez identificadas las áreas vulnerables, los SIG juegan un papel crucial en la priorización de medidas de mitigación y en la planificación de respuestas ante emergencias:

Evaluación de Impacto:

Los SIG permiten realizar evaluaciones detalladas del impacto potencial de inundaciones en infraestructuras críticas y comunidades. Esta información es vital para priorizar intervenciones que protejan a las poblaciones más afectadas.

Coordinación en Respuestas Emergentes:

Durante situaciones críticas, los SIG facilitan la coordinación entre diferentes agencias y organizaciones al proporcionar una plataforma común para compartir información. Esto permite una respuesta más rápida y efectiva ante emergencias relacionadas con inundaciones.

6.7. Análisis Morfométrico

El análisis morfométrico permite medir y caracterizar cuantitativamente la forma, estructura y extensión de una cuenca hidrográfica. Este enfoque es esencial para comprender la relación entre las características geohidrológicas del terreno y los patrones de flujo, infiltración, escorrentía y transporte de sedimentos. Con el avance de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y la Percepción Remota (PR), la estimación de parámetros morfométricos se ha vuelto más precisa y eficiente (Choudhari & Workineh, 2021).

Dentro de este análisis, se incluye la morfometría geométrica, que emplea técnicas estadísticas avanzadas para estudiar la forma en un marco tridimensional. Esta metodología permite evaluar tanto los cambios morfológicos cuantitativos como cualitativos, utilizando matrices de morfo-coordenadas que representan la geometría del relieve con mayor riqueza que las mediciones lineales tradicionales (Soto & Galdames, 2010; Flores & Anselmo, 2019).

La **geo morfometría**, como indicador de procesos, considera variables como la altimetría, la pendiente del terreno y la densidad del drenaje. Se clasifica en general (estudio continuo del campo) y específica (análisis de formas geométricas y topológicas del relieve), lo que permite una comprensión más detallada de la dinámica morfogénica de la cuenca (Castillo, 2017).

Obtención de parámetros morfométricos

Se calcularon los principales índices morfométricos utilizando herramientas SIG y hojas de cálculo en Excel. Los parámetros se agruparon en:

A. Índices lineales:

Orden del cauce (Strahler) =
$$\omega = \begin{cases} \omega_1 + 1 & \text{si } \omega_1 = \omega_2 \\ \max(\omega_1, \omega_2) & \text{si } \omega_1 \neq \omega_2 \end{cases}$$

Longitud total del cauce (Lt)=

$$L_t = \sum_{i=1}^{\Omega} N_i \cdot L_i$$

Densidad de drenaje (Dd)=

$$D_d = \frac{L_t}{A}$$

Frecuencia de drenaje (Fd)=

$$F_d = \frac{N}{A}$$

B. Índices areales:

Área de la cuenca (A)=

$$A = \sum_{i=1}^n a_i$$

Relación de forma (Rf)=

$$R_f = \frac{A}{L^2}$$

Índice de compacidad (Rc)=

$$k_C = \frac{P_{cuenCa}}{2\pi \left(\frac{A_{cuenca}}{\pi} \right)^{\frac{1}{2}}}$$

P: Perímetro de la Cuenca (km)=

$$P = \sum_{i=1}^n l_i$$

A: Área de la cuenca (km²) $A = \sum_{i=1}^n a_i$

Si se conoce la longitud y el ancho promedio de la cuenca: $A = L \times W$.

A= área de la cuenca, L= longitud de la cuenca, W= ancho promedio de la cuenca.

Factor de forma (kf) $k_F = \frac{A}{L^2}$

K_f= factor de forma, A = área de la cuenca, L= longitud máxima de la cuenca.

Es la relación entre el área (A) de la cuenca y el máximo del cuadrado corregido (L). Este parámetro mide la tendencia de las cuencas hacia las crecidas.

Índice de alargamiento $I_A = \frac{L}{A_N}$ L= Longitud de la cuenca, A_N= Ancho de la cuenca

Índice asimétrico $I_{As} = \frac{A_{mayor}}{A_{menor}}$ I_{as}=índice asimétrico (adimensional), A mayor= vertiente mayor (mk²), A menor= vertiente menor (mk²)

6.8. Evaluación de la vulnerabilidad: Índices por componente

La vulnerabilidad se define como la susceptibilidad de una comunidad, sistema o infraestructura a sufrir daños ante una amenaza, considerando su capacidad de respuesta y recuperación. En el análisis de riesgo por inundaciones, se evalúa a partir de tres componentes fundamentales: exposición (E), susceptibilidad (S) y resiliencia (R) (Balica, 2012).

La fórmula general para calcular el índice de vulnerabilidad es: $V = \frac{(E+S)}{R}$

Donde: $V = \frac{(E+S)}{R}$

- **E:** Exposición: Grado en que personas o bienes están en zonas de riesgo.
- **S:** Susceptibilidad: Condiciones que aumentan la probabilidad de daño.
- **R:** Resiliencia: Capacidad de resistir, adaptarse y recuperarse ante el evento.

Este modelo puede desagregarse para evaluar la vulnerabilidad en tres dimensiones específicas:

componentes clave:

Vulnerabilidad Social: $V_s = \frac{E_s + S_s}{R_s}$, V_s = Vulnerabilidad Social, E_s =Exposición Social, S_s = Sensibilidad Social.

Vulnerabilidad Ambiental: $V = \frac{E_a + S_a}{R_a}$, V = Vulnerabilidad Ambiental, E_a = Exposición Ambiental, S_a = Sensibilidad Ambiental, R_a = Resiliencia Ambiental.

Vulnerabilidad Física: $V_f = \frac{E_f + S_f}{R_f}$, V_f = Vulnerabilidad Física, E_f = Exposición Física, S_f = Sensibilidad Física, R_f = Resiliencia Física.

Cada componente aporta variables específicas que permiten calcular índices normalizados, facilitando la identificación de zonas críticas y la priorización de medidas de mitigación. Esta metodología permite integrar factores sociales, ambientales y estructurales en un marco analítico coherente, útil para la planificación territorial y la gestión del riesgo en la microcuenca del río Pochote.

6.9. Conceptos básicos de estadísticos

6.9.1. Estadística Descriptiva.

La estadística descriptiva, tiene como finalidad; describir, ordenar, representar gráficamente y analizar los resultados de dicha muestra de manera sencilla y clara para un conjunto de datos (Jorge, O. A., 2018), En esta investigación se utilizará este tipo de estadística, debido a que esta temática se basa en describir la percepción y representar los resultados que obtendremos en tablas y gráficos, dando así una mejor interpretación del análisis de los datos (Furukawa et al., 1984).

6.9.2. Tablas Estadística.

Las tablas estadísticas, son cuadros que se usan para organizar, clasificar, y resumir datos relevantes que se ha recolectado, con la finalidad de informarse sobre una temática en específica (Barrantes, S. R., 2019). Su uso permite relaciones entre diversas variables. A continuación, se describe la tabla de frecuencias, la cuales se utilizarán para ordenar variables en nuestra investigación (Pallauta & et al., 2021).

6.9.3. Tabla de Frecuencia.

La tabla de frecuencia se define, como aquella, en que se expresan al menos una categoría de la variable categórica, (Estrella P., 2020). También, se conceptualiza como tabla de frecuencias a las tablas en la que se representan las frecuencias obtenidas, mediante agrupación o recuento de datos iguales, de valores o categorías de una variable (García. J. G., 2018).

6.9.4. Gráfico de barra.

Los diagramas de barras tienen relación a los diagramas de sectores, los cuales son utilizados para representar datos de variables cualitativas y así tener mejor comprensión al realizar análisis de datos (Martínez. A. G, 2015), en esta investigación se utilizaron diagramas de barras simples y agrupados, puesto que, se relacionaron variables entre sí.

VII. Metodología

El presente estudio fue de enfoque **cuantitativo y descriptivo**, diseñado para analizar los riesgos por inundaciones en la microcuenca del río Pochote, ubicada en la ciudad de León, Nicaragua.

El área de estudio: El área de estudio se delimitó a lo largo del río Pochote, en la parte norte de la ciudad de León, abarcando 7 barrios y 11 repartos, desde el Reparto San Carlos hasta el Jardín Botánico de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, León. Se incluyeron puntos clasificados como de alto y medio riesgo, según los criterios establecidos por COMUPRED, SINAPRED e INETER.

Unidad de estudio: La unidad de estudio estuvo conformada por personas mayores de edad que habitan en viviendas ubicadas en las cercanías de la ribera del río Pochote. Se excluyeron aquellas viviendas que permanecieron cerradas durante el período de recolección de datos.

Fuentes de información

primaria: Se aplicaron encuestas estructuradas para valorar la percepción del riesgo de inundaciones entre los habitantes cercanos al río. Las viviendas fueron georreferenciadas con GPS, lo que permitió obtener coordenadas precisas. Además, se realizó un recorrido técnico por el cauce del río para observar características físicas como el flujo de agua, la acumulación de sedimentos y la vegetación del bosque de galería, con el fin de evaluar la vulnerabilidad física del entorno.

Información secundaria

Se utilizó información proveniente de instituciones locales, entre ellas:

- **COMUPRED y Alcaldía Municipal de León:** datos sobre zonas de riesgo.
- **INETER:** topografía detallada del río Pochote y registros históricos de precipitación.
- **Imágenes satelitales y fotografías aéreas (LANDSAT):** utilizadas para la elaboración de mapas de riesgo y vulnerabilidad.

Herramientas tecnológicas utilizadas

GPS: Se utilizó para la georreferenciación de viviendas encuestadas, infraestructuras críticas y zonas de riesgo. Se complementó con Google Earth para la visualización inicial del territorio y la verificación de coordenadas.

Microsoft Excel: Se empleó para el cálculo de índices y la organización preliminar de los datos.

SPSS v26: Se construyó una base de datos para organizar y depurar la información recolectada mediante encuestas. Se calcularon medidas estadísticas descriptivas (media, frecuencias, desviación estándar) y se realizaron análisis cruzados (por ejemplo, sexo vs. nivel de conocimiento de amenazas) para identificar patrones sociales de riesgo. Estas técnicas en conjunto aseguran que los resultados sean fiables, interpretables y útiles para la toma de decisiones.

QGIS v3.30.2 y ArcGIS v10.8: Se emplearon para el análisis geoespacial y la elaboración de mapas temáticos. Se importaron shapefiles de límites administrativos y bases de datos con los índices de vulnerabilidad calculados. Se realizó la unión de datos tabulares (desde Excel) con los mapas mediante identificadores comunes (códigos o nombres de comunidad). Se aplicó simbología graduada para representar gráficamente los niveles de vulnerabilidad por zona. Se generaron mapas temáticos para cada componente (social, ambiental, físico) y un mapa sintético final.

Procedimiento metodológico por fases:

Fase I: Se recolectaron datos primarios mediante encuestas y observación directa en campo.

Fase II: Se procesaron los datos en SPSS y se organizaron por componente de vulnerabilidad (social, ambiental, físico).

Fase III: Se calcularon los índices parciales de exposición, susceptibilidad y resiliencia, así como el índice de vulnerabilidad total.

Fase IV: Se integraron los datos en plataformas SIG para el análisis espacial.

Fase V: Se generaron mapas temáticos y se interpretaron los resultados para identificar zonas críticas y proponer medidas de mitigación.

Método de análisis

El análisis se dividió en dos etapas principales:

a) Determinación del riesgo de inundación (modelo determinista)

Se utilizaron datos topográficos, hidrológicos y de uso del suelo para generar mapas temáticos de riesgo. Estos mapas permitieron identificar zonas críticas de inundación en la microcuenca.

b) Evaluación de la vulnerabilidad (modelo paramétrico)

se aplicó la formula general: $V = \frac{(E+S)}{R}$, V= Vulnerabilidad, E= Exposición, S= Sensibilidad,

R= Resiliencia

donde: $V_s = \frac{(E_s+S_s)}{R_s}$

- E: Exposición
- S: Susceptibilidad
- R: Resiliencia

Se calcularon los índices para cada componente:

Vulnerabilidad Social

E: Densidad poblacional, porcentaje en zonas de riesgo

S: Nivel de pobreza, dependencia económica, analfabetismo

R: Acceso a salud, educación, redes comunitarias

Vulnerabilidad Ambiental

$$V = \frac{(E_a+S_a)}{R_a}$$

E: Cercanía a cuerpos de agua, deforestación, erosión

S: Degradación del suelo, pérdida de biodiversidad

R: Reforestación, planes de gestión ambiental

Vulnerabilidad Física

$$V = \frac{(E_f + S_f)}{R_f}$$

E: Infraestructura en zonas de amenaza, tipo de suelo

S: Antigüedad y calidad de las construcciones

R: Normas de construcción, sistemas de drenaje

Estos índices permitieron identificar áreas con mayor vulnerabilidad y orientar la toma de decisiones en materia de planificación urbana y gestión del riesgo.

Creación de mapas temáticos

Para la elaboración de los mapas, se utilizó el software QGIS v3.30.2, en el cual se importaron los puntos georreferenciados sobre el mapa base de la ciudad de León. Las capas cartográficas fueron obtenidas del Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER), y se incorporó la información espacial correspondiente a las viviendas encuestadas a lo largo del río Pochote.

Con estos datos, se construyeron mapas de calor que representaron el riesgo de inundación, delimitando el área de estudio a lo largo del cauce del río. Se asignaron colores según una escala de intensidad de riesgo (baja, media, alta), facilitando la interpretación visual. Posteriormente, se aplicó el algoritmo de interpolación espacial en QGIS para estimar valores en zonas sin datos directos, generando una superficie continua.

Finalmente, se renderizó el mapa, procesando los datos interpolados para generar una imagen que mostrara la distribución espacial del riesgo. El mapa de calor resultante se

presentó de forma clara y concisa, permitiendo identificar patrones y tendencias relevantes para la interpretación geográfica del fenómeno.

Análisis morfométrico de la microcuenca del río Pochote

a) Delimitación de la cuenca

Se emplearon imágenes satelitales y Modelos de Elevación Digital (DEM) procesados en QGIS v3.30.2 y ArcGIS v10.8, con el fin de definir con precisión los límites de la microcuenca del río Pochote y su red de drenaje.

b) Obtención de parámetros morfométricos

Se calcularon los principales índices morfométricos utilizando herramientas SIG y hojas de cálculo en Excel. Los parámetros se agruparon en:

Índices lineales:

Orden del cauce (**Strahler**)=
$$\omega = \begin{cases} \omega_1 + 1 & \text{si } \omega_1 = \omega_2 \\ \max(\omega_1, \omega_2) & \text{si } \omega_1 \neq \omega_2 \end{cases}$$

Longitud total del cauce (**Lt**)=
$$L_t = \sum_{i=1}^{\Omega} N_i \cdot L_i$$

Densidad de drenaje (Dd)=
$$D_d = \frac{L_t}{A}$$

Frecuencia de drenaje (Fd)=

$$Fd = \frac{N}{A}$$

A. Índices areales:

Área de la cuenca (A)=

$$A = \sum_{i=1}^n a_i$$

Relación de forma (Rf)=
$$R_f = \frac{A}{L^2}$$

Índice de compacidad (Rc)=

$$k_c = \frac{p_{cuena}}{2\pi \left(\frac{A_{cuena}}{\pi} \right)^{\frac{1}{2}}}$$

c) Visualización cartográfica

Se elaboraron mapas temáticos que representaron subcuencas, pendientes y áreas críticas de escorrentía. Estos mapas facilitaron la interpretación geomorfológica del terreno y la identificación de zonas vulnerables.

d) Validación y verificación en campo

Se realizó una verificación en campo de los puntos críticos de escorrentía, afluentes principales y zonas de acumulación de agua, utilizando GPS de campo y Google Earth Pro para contrastar la información geoespacial con observaciones directas.

Desarrollo de aplicación móvil para monitoreo de crecidas

Como parte del componente innovador del estudio, se desarrolló una aplicación móvil destinada al monitoreo comunitario del riesgo de inundaciones en la microcuenca del río Pochote. El proceso inició con la recolección de información geográfica y ambiental sobre zonas de riesgo, incluyendo datos topográficos y el comportamiento de las aguas superficiales. Esta información fue almacenada en una base de datos estructurada para su integración en la aplicación. Posteriormente, se diseñó una interfaz intuitiva y funcional, orientada a usuarios comunitarios. La aplicación incluyó funciones como alertas de riesgo, registro de eventos y seguimiento de niveles de agua mediante entrada de datos. Una vez completado el diseño, se inició la codificación utilizando un entorno de desarrollo como Android Studio, integrando la base de datos con el sistema de alertas. Finalmente, se realizaron pruebas funcionales en distintos dispositivos y entornos, validando su operatividad antes del lanzamiento.

Operacionalización de la variable.

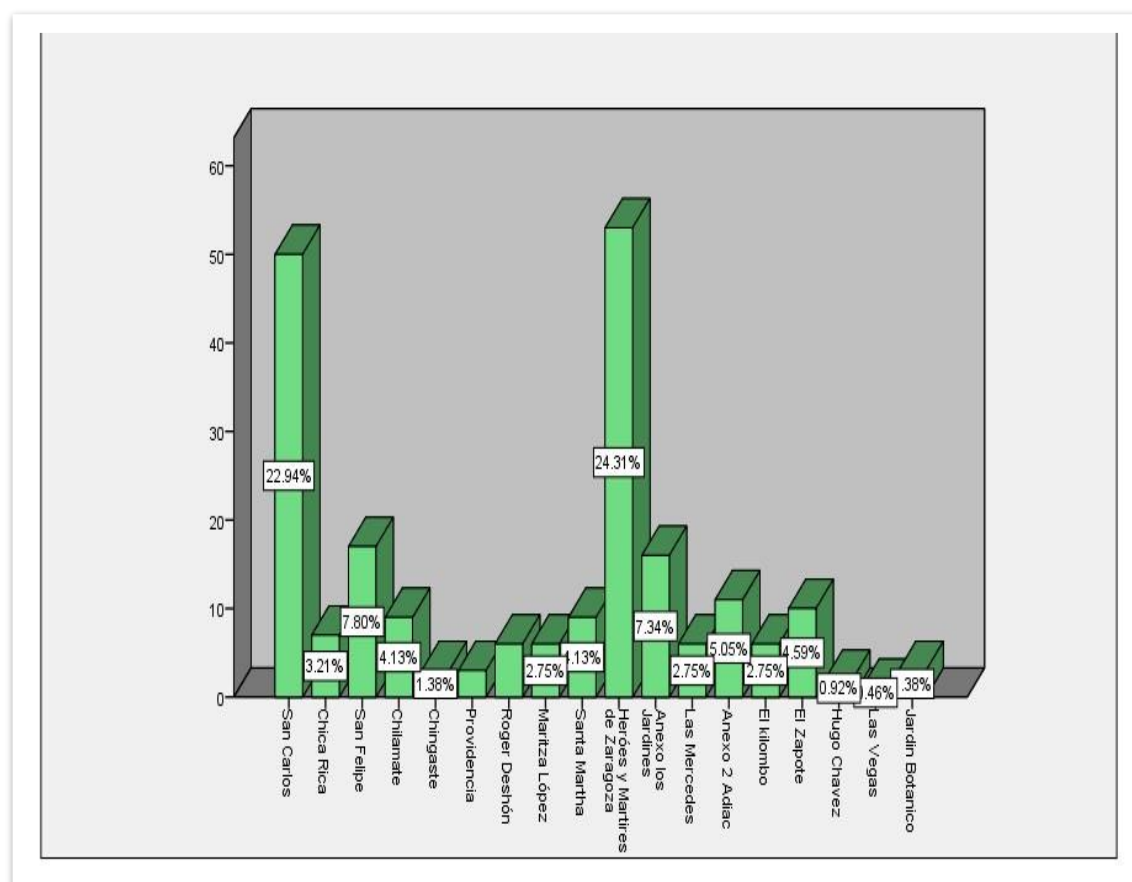
Variable	Dimensión	Indicador	Instrumento
Riesgo de inundación	Áreas críticas	Zonas identificadas como de mayor riesgo en mapas SIG	QGIS, ArcGIS
Vulnerabilidad	Infraestructura	Material de construcción de viviendas	Encuestas
		Edad de la vivienda	Encuestas
	Exposición	Proximidad de la vivienda al río	GPS y Google Earth
	Susceptibilidad	Participación comunitaria en prevención de desastres	Encuestas
Impacto social	Salud	Enfermedades asociadas a inundaciones	Encuestas
Factores ambientales	Vegetación	Estado de los bosques de galería	Observaciones y GPS
	Calidad del suelo	Presencia de erosión y sedimentos	Observaciones

VIII. RESULTADOS

TABLA DE CONTENIDO DE GRÁFICO

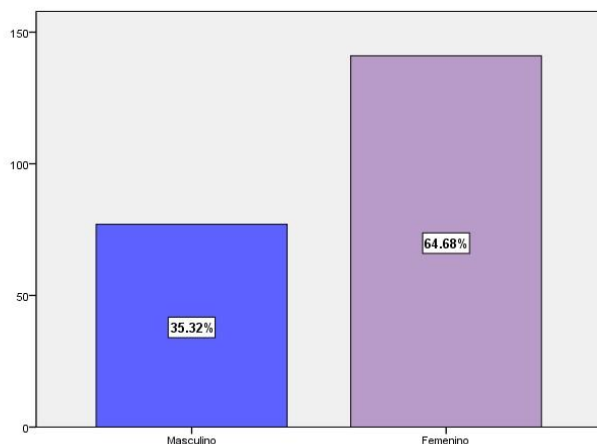
Análisis de Vulnerabilidad Social y Percepción

Gráfico 1. Porcentaje de personas en los repartos cercanos a la subcuenca de la ciudad de León.



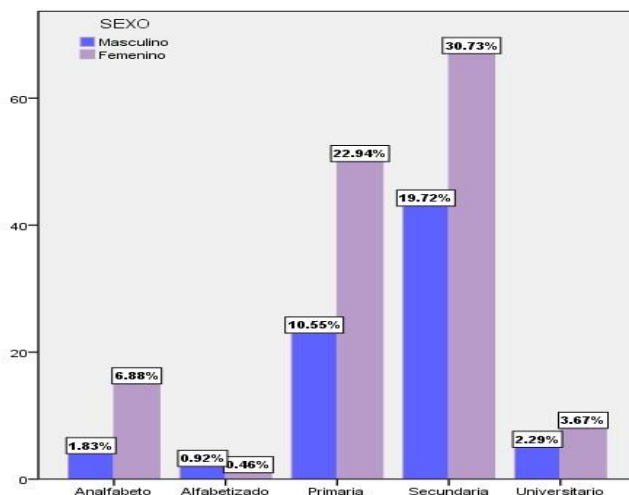
En el Gráfico 1. Se puede observar, la proporción de pobladores encuestados de todos los repartos en el estudio, El Reparto Héroes y Mártires de Zaragoza con el 24.31%, ubicado en un área, muy cercanos al río, con viviendas dentro de su cauce y con pendiente muy pronunciadas, expuestos, a riesgo ante inundación y deslizamientos, en este reparto, se encuestó a la mayoría de sus habitantes, seguido del Reparto San Carlos con el 23%.

Gráfico 2. Porcentaje de los encuestados por categoría de Sexo.



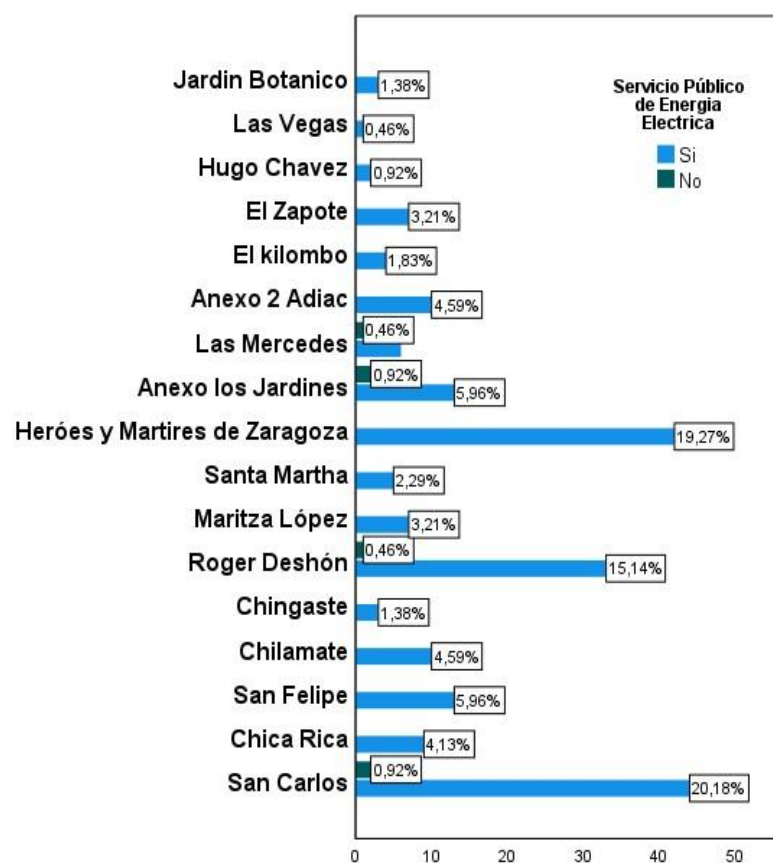
En el gráfico. 2. Se observa que la mayoría de los encuestados son del sexo femenino 64 % y 36% masculino.

Gráfico 3. Porcentaje de escolaridad por sexo.



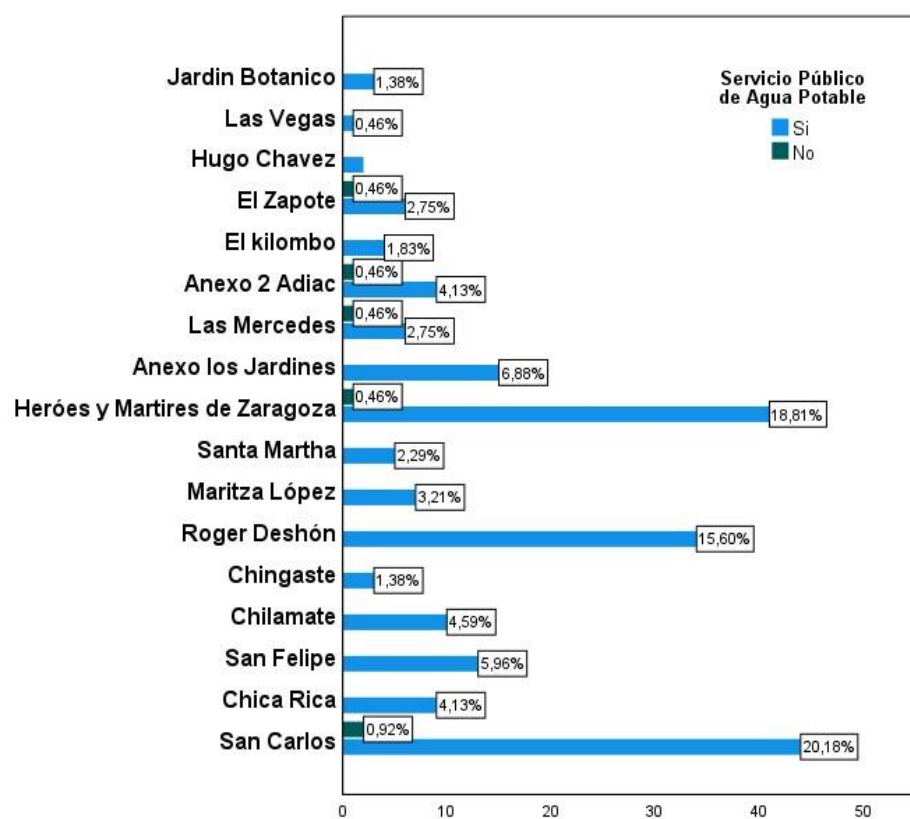
En el Gráfico 3. Se observa, que hay personas de ambos sexos, en todas las categorías de escolaridad, la mayoría ha alcanzado la secundaria 53.45%, las femeninas con 33.73% y 19.72% para los masculinos, seguida de la primaria 33.49% de los cuales el 22.94% para las femeninas y 10.55% para los masculinos, en menor porcentaje aproximadamente el 7% están los de nivel universitario.

Gráfico 4. Servicio público de energía eléctrica.



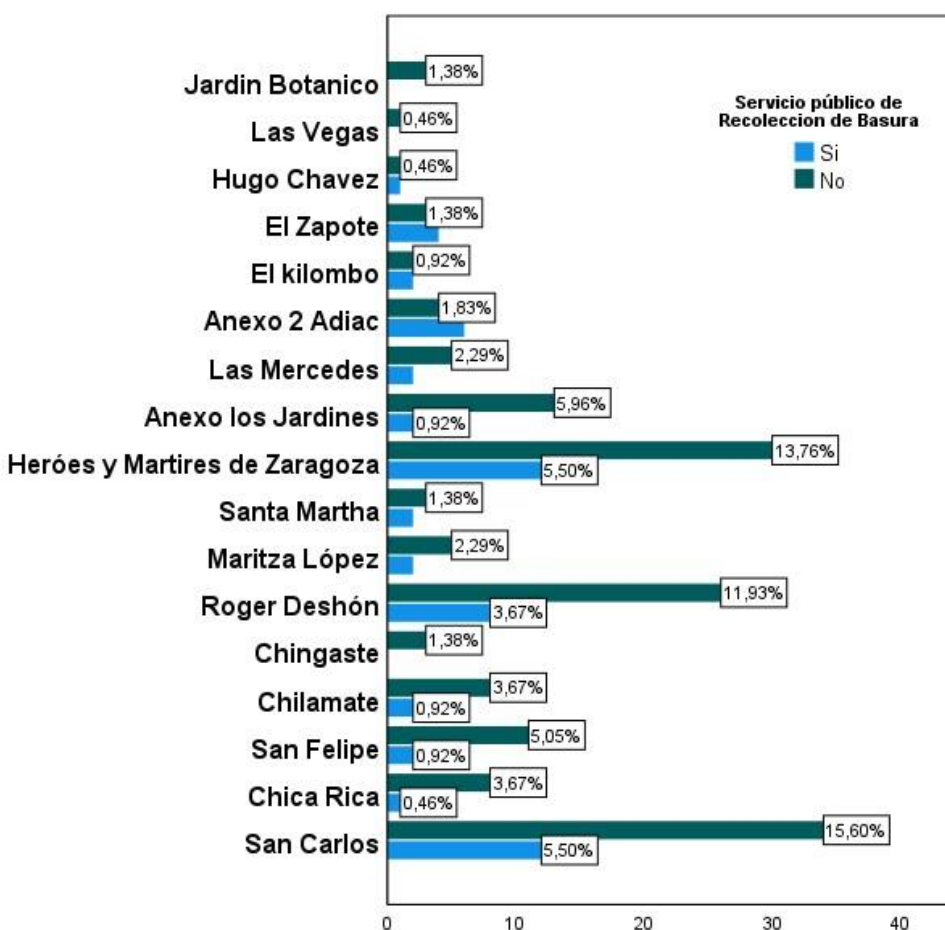
Se muestra que en todos los repartos hay servicio público de energía, pero en los repartos; Las Mercedes, Anexo los Jardines, Róger Deshon y San Carlos, hay sectores que no cuentan con este servicio público.

Gráfico 5. Servicio público de agua potable.



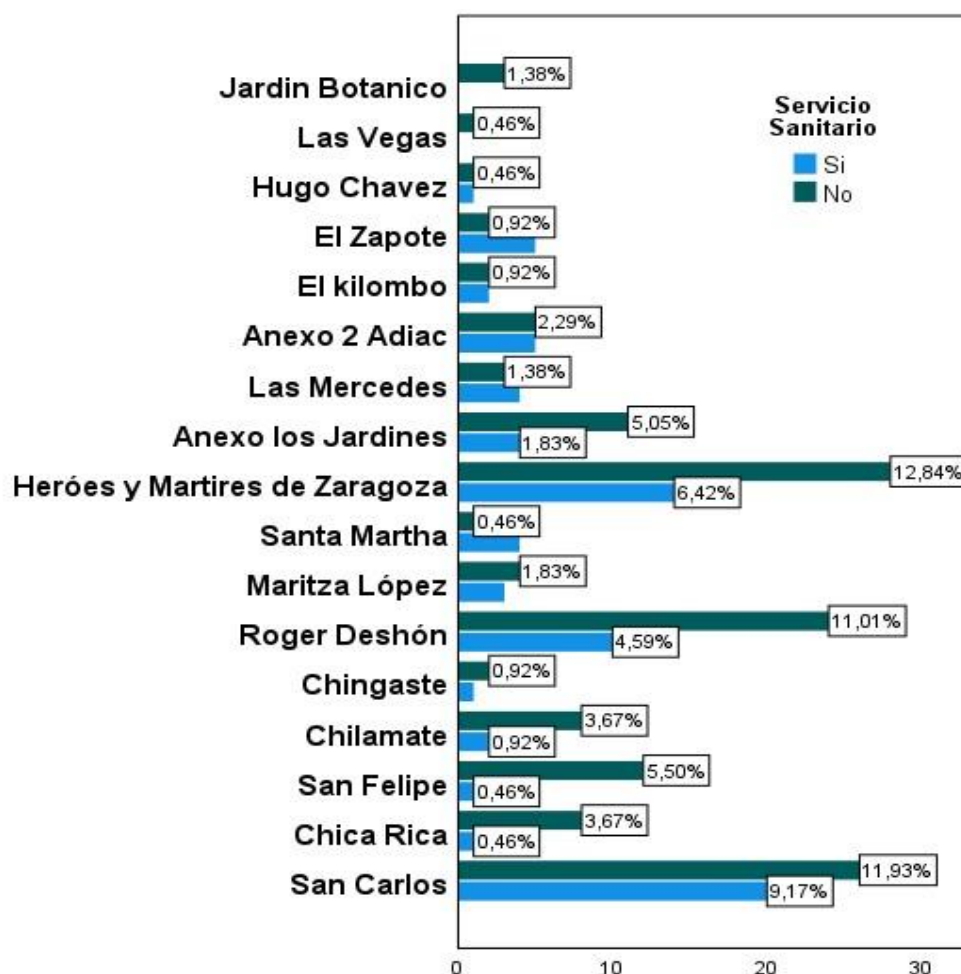
En todos los repartos encuestados se cuenta con el servicio público de agua, se muestra en un porcentaje menor al 1%, que hay viviendas de los repartos: El zapote, Anexo 2 Adiac, Las Mercedes, Héroes y Mártires de Zaragoza y San Carlos que no cuentan con el servicio de agua potable.

Gráfico 6. Servicio público de energía eléctrica.



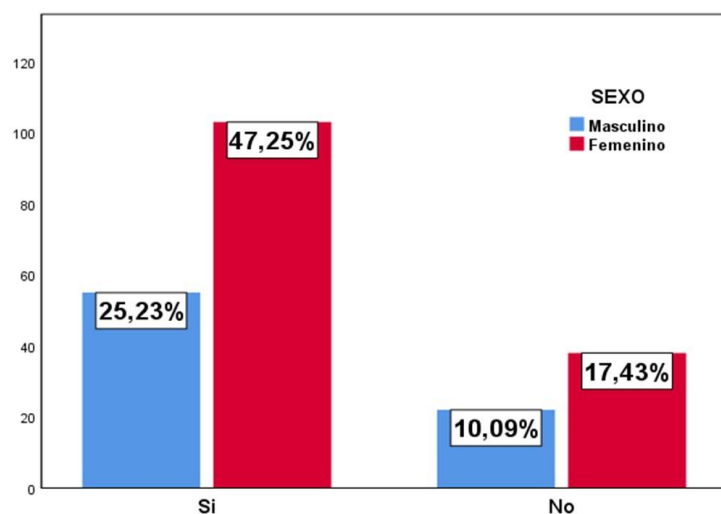
En el gráfico 6, se muestra que, en esos repartos, hay sectores que no llegan los camiones recolectores de basura y, por tanto, hay un porcentaje alto de los encuestados que aún no cuentan con ese servicio público.

Gráfico 7. Servicios sanitarios.



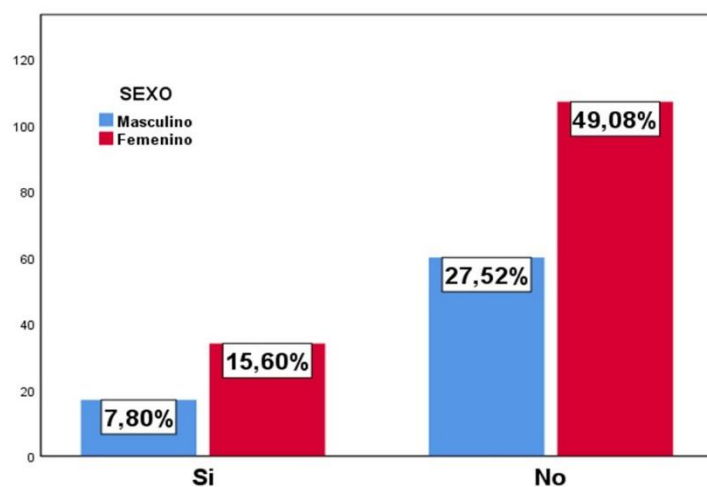
En el gráfico 7, se muestra que en los repartos la mayoría no cuentan con sanitarios en comparación a los que si cuentan con este servicio.

Gráfico 8. Sabe qué hacer en caso de una inundación.



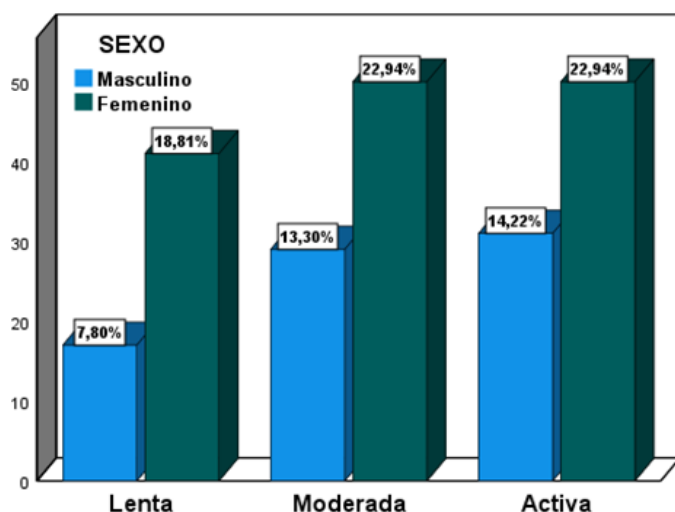
En el gráfico 8. Se observa que el 72,47% de los encuestados saben qué hacer en caso de una inundación en comparación con los que no saben con 27,52%.

Gráfico 9. Afectados por inundación.



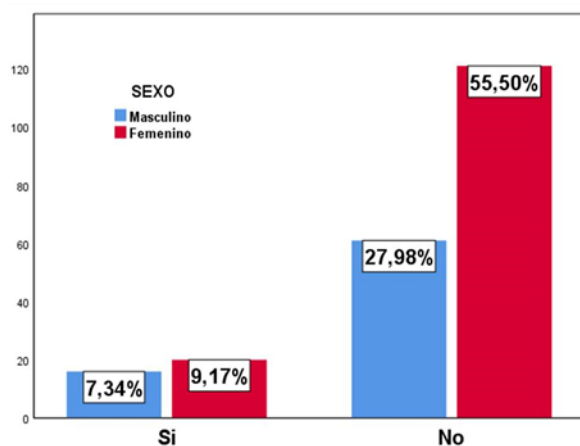
En el gráfico 9. Se observa, que el 23,4% de los encuestados han sido afectados por inundaciones y el 76,6% no fueron afectados por estos fenómenos naturales.

Gráfico 10. Capacidad de respuesta de la población ante inundación.



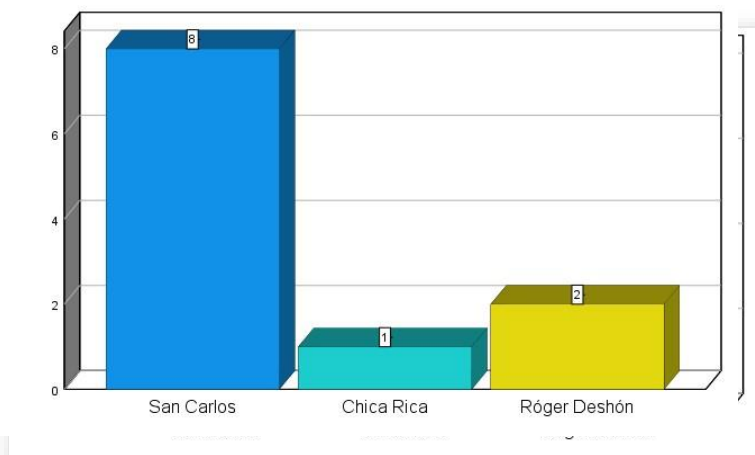
En el gráfico 10. Se observa, un 26,61% Lenta, 36,24% para Moderada y 37.16 para Activa, la capacidad de respuesta se observa que, de los habitantes encuestados, los que muestran una mayor capacidad de respuesta Moderada y Activa son las mujeres.

Gráfico 11. Desalojar la vivienda por inundación.



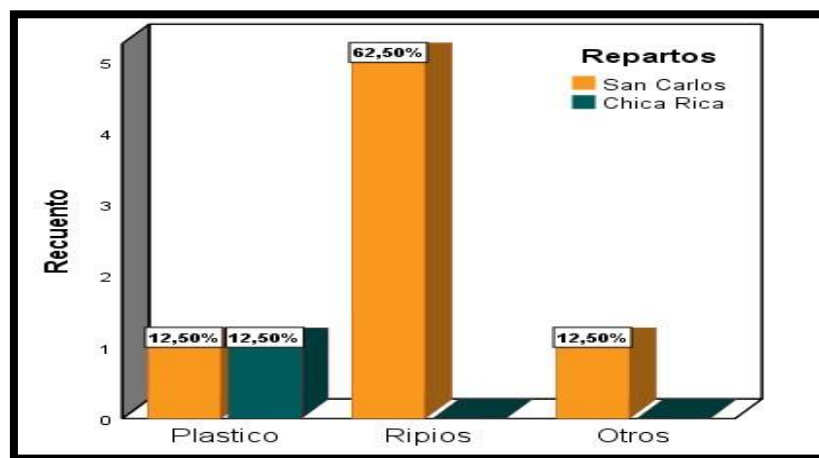
El gráfico 11. El 16,51% de ellos han tenido que desalojar su vivienda. Sin embargo, la mayor proporción 83,48% de habitantes no han sido afectados por inundaciones y no han tenido que desalojar su vivienda.

Gráfico 12. Viviendas a 10 metros en relación con el Río Pochote.



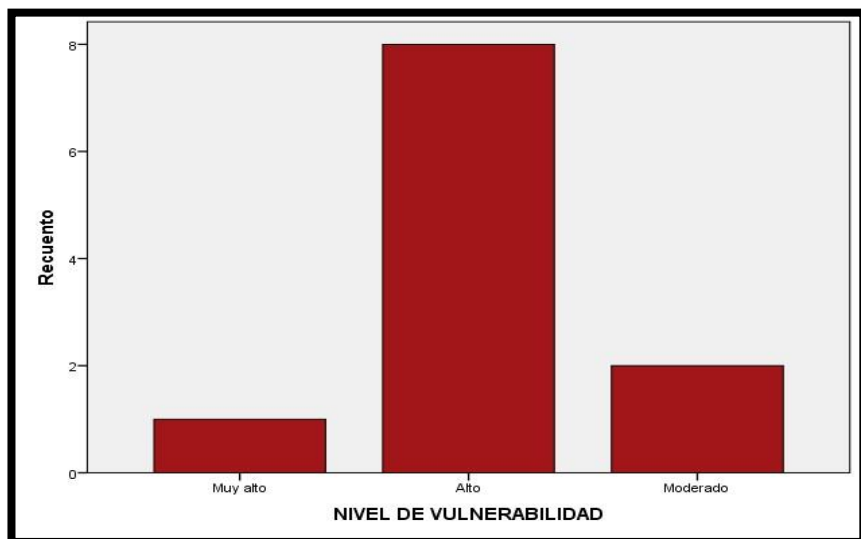
En el gráfico 10, se muestra que las viviendas de los Repartos; San Carlos, Chica Rica y Róger Deshón están a 10 m, más próximos al Río Pochote, lo que indica mayor exposición de los habitantes ante un desastre natural.

Gráfico 13. Material de construcción de las viviendas a 10 metros.



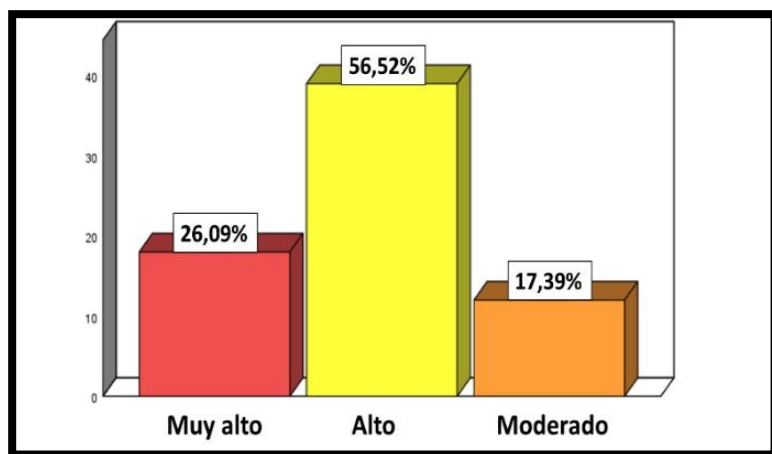
Se evidencia que el material predominante de las viviendas del Reparto San Carlos corresponde a Ripios con un 62,50% y en el Reparto Chica Rica es plástico con un 12,50%, se concluye que, al estar construidas las viviendas con estos materiales, no son capaces de enfrentar un desastre natural.

Gráfico 14. Nivel de vulnerabilidad de las casas ubicadas a 10 metros.



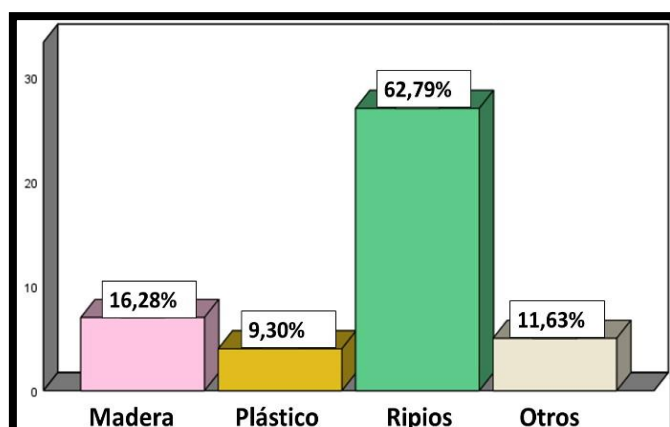
En el gráfico 12, se concluye que las viviendas ubicadas a 10 metros de la ribera del Rio Pochote tienen un alto nivel de vulnerabilidad ante una inundación.

Gráfico 15. Nivel de vulnerabilidad de las viviendas cercanas a 40 metros.



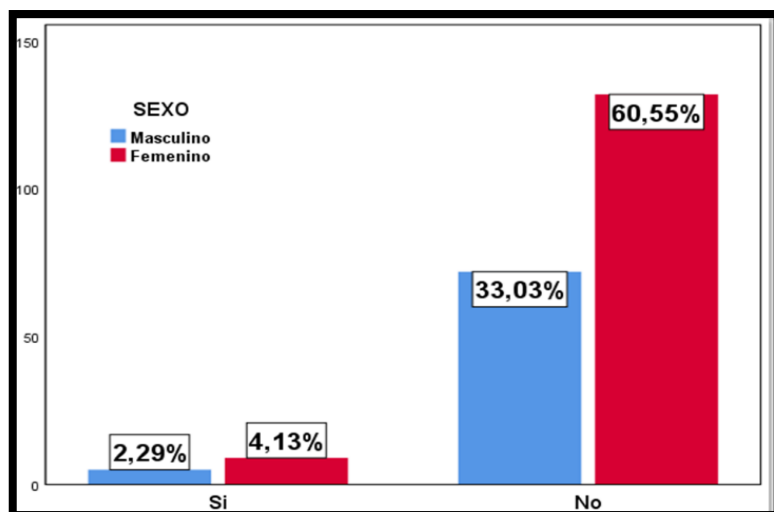
En el gráfico 13, se concluye que las viviendas ubicadas a 40 metros de la ribera del Rio Pochote tienen un alto nivel de vulnerabilidad ante una inundación con un 56,52%.

Gráfico 16. Material de construcción de las viviendas.



En el gráfico 14, se evidencia que el material predominante de las viviendas a 40 metros de distancia corresponde a Ripios con un 62,79%, seguido de madera con 16,28%, Otros tipos de materiales con 11,63% y Plástico con un porcentaje menor de 9,30%. Se concluye que, al estar construidas las viviendas con estos materiales, no serían capaces de enfrentar un desastre natural.

Gráfico 17. Uso de aplicación de alerta ante inundación.



En el gráfico 15, se indica que el 93,58% de los encuestados de ambos sexos no utilizan una aplicación de alerta ante inundaciones en su sector, siendo el restante 6,42% los que si utilizan alguna aplicación de este tipo en su sector.

TABLA DE CONTENIDO Y MAPAS

Tabla 1. Cantidad de pobladores por repartos en la ciudad de León.

Repartos	N_PERSONAS_VIVIENDA	C_NIÑOS	C_ADULTOS_MAYORES
	Suma	Suma	Suma
San Carlos	203	59	88
Chica Rica	42	13	24
San Felipe	51	20	26
Chilamate	67	20	29
Chingaste	10	2	2
Roger Deshón	154	54	54
Maritza López	32	11	15
Santa Martha	12	2	6
Heróes y Martires de Zaragoza	167	60	76
Anexo los Jardines	58	20	29
Las Mercedes	34	18	12
Anexo 2 Adiac	43	9	29
El kilombo	13	1	8
El Zapote	39	6	21
Hugo Chavez	10	4	5
Las Vegas	12	5	7
Jardin Botanico	16	8	6
Total	963	312	437

Se concluye que en los repartos de la ciudad de León que están las viviendas más próximas al río Pochote, se visitaron 218 viviendas. Se totalizó de forma general, que habitan 963 personas, de las cuales hay 312 niños y 437 adultos mayores.

ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD FÍSICA Y ESTRUCTURAL

En este estudio se analizaron distintas variables, que nos indican el nivel de vulnerabilidad, a los cuales están expuestos los habitantes que están viviendo en las orillas del río Pochote o dentro de su cuenca, para éste se tomaron en cuenta:

- Materiales de construcción de las viviendas
- Años de antigüedad de las viviendas
- Tipo de suelo
- Distancias de las viviendas del río
- Canales de corriente natural del río • Características del tipo de vegetación
- Tipo de Sedimentos.

Para el presente estudio, estas variables, servirán para obtener los Índices, información útil para medir los niveles de vulnerabilidad que existe, según este tipo de características, que servirán para con ello, identificar los niveles de mayor o menor vulnerabilidad en la que están estas viviendas y sus habitantes.

En el área de estudio se analizaron 218 viviendas que están ubicada a las orillas del río o dentro de su cuenca, de los cuales, se obtuvo los siguientes niveles de vulnerabilidad.

1. Materiales de construcción de las viviendas: Existen algunos materiales que por sus tipos, los hace más vulnerables tanto a inundaciones como a deslizamientos o cualquier tipo de amenazas que afecta a los habitantes, tales como; los que están contruidos por: adobe, plásticos, ripios entre otros, los cuales generan vulnerabilidad ante cualquier tipo de amenaza que afecta a los habitantes.

La escala que se utiliza para identificar el tipo de vulnerabilidad según materiales de construcción es:

Tabla 2. Materiales de Construcción de las viviendas.

Variable	Bajo 0 < V ≤ 0.25	Medio 0.26 < V ≤ 0.50	Alto 0.51 < V ≤ 0.75	Muy alto 0.76 < V ≤ 1
Materiales de construcción de las viviendas		0.42		

Materiales de construcción de las viviendas				Cálculo del Índice		
		Frecuencia	Porcentaje	% Frecuencia Peso		
	Adobe	0	0.00%	60.55%	132	79.92661
	Madera	20	9.20%	13.76%	30	4.12844
	Plástico	11	5.00%	8.72%	19	1.655963
	Ripios	83	38.10%	16.97%	37	6.279817
	Otros	18	8.30%		Suma	91.99083
	Adobe	15	6.90%		Índice	0.42
	Reforzado					
	Albañilería	15	6.90%			
	Albañilería confinada	19	8.70%			
	Concreto Armado	37	17.00%			
	Concreto	0	0.00%			
TOTALES		218	100.00%			

Material de construcción

Al realizar los cálculos según el tipo de material de construcción de las 218 viviendas, se pudo encontrar que el que tiene una muy alta vulnerabilidad dado que tienen 60.5% de ellas están construidas de tipos de materiales: ripios, madera, otros y plástico y un 13.76% tendrán una vulnerabilidad alta, el 8.72 % vulnerabilidad media y el 16.97% es de vulnerabilidad baja, para poder obtener el índice de vulnerabilidad global de estas viviendas se obtuvo un índice el cual es de 0.42 el cual nos indica que tienen una vulnerabilidad media.

Tabla 3. **Años de Antigüedad de las viviendas.**

Variable	Bajo $0 < V \leq 0.25$	Medio $0.26 < V \leq 0.50$	Alto $0.51 < V \leq 0.75$	Muy alto $0.76 < V \leq 1$
Años de antigüedad de las viviendas		0.4		

Antigüedad de la vivienda			%	Cálculo del índice	
	N	%		Frecuencia	Peso
Mas de 50 años	24	11.01%	11.01%	24	2.642202
20 a 49 años	38	17.43%	17.43%	38	6.623853
3 a 19 años	128	58.72%	58.72%	128	75.15596
0 a 2 años	28	12.84%	12.84%	28	3.59633
TOTALES	218	100.00%		Suma	88.01835
				Índice	0.4

Años de antigüedad de las viviendas

Al realizar los cálculos según la antigüedad en la que están construidas las 218 viviendas se pudo encontrar que una media vulnerabilidad dado que tienen 58.73% de ellas están construidas entre 3 a 19 año, el 17.43% tendrán una vulnerabilidad alta, el 12.84 % tiene una vulnerabilidad baja y el 11.01% es de vulnerabilidad muy alta , para poder obtener el índice de vulnerabilidad global de estas viviendas según la antigüedad de las viviendas es de **0.40** el cual nos indica que tienen una vulnerabilidad **media**.

Tabla 4. **Tipo de Suelo.**

Variable	Bajo 0 < V ≤ 0.25	Medio 0.26 < V ≤ 0.50	Alto 0.51 < V ≤ 0.75	Muy alto 0.76 < V ≤ 1
Tipo de suelo		0.28		

Tipo suelo				%	Cálculo del índice	
		Frecuencia	Porcentaje		Frecuencia	Peso
	Rellenos	47	21.60%	22.94 %	50	11.4678899
	Depósitos Marinos	1	0.50%	37.61 %	82	30.8440367
	Pantanos	2	0.90%	12.39 %	27	3.3440367
	Depósitos de suelos finos	29	13.30%	27.06 %	59	15.9678899
	Arena de gran espesor	53	24.30%		Suma	61.6238532
	Granular fino y arcilloso	27	12.40%		Índice	0.28
	Suelos rocosos	59	27.10%			
TOTALES		218	100.00%			

Tipo de suelo

Al realizar los cálculos según el tipo de suelo en el que están construidas las 128 viviendas o están asentadas se pudo encontrar que se tiene una vulnerabilidad alta donde el 37.61% de ellas están construidas en suelos.

Depósitos finos y áreas de gran espesor, el 27.06% tendrán una vulnerabilidad baja donde estas están ubicadas en suelos rocosos, el 22.94% tiene una muy alta vulnerabilidad esto es debido en que están localizados en suelos depósitos marino, pantanos y rellenos y el 12.39 % tienen una media vulnerabilidad, después de obtener estos niveles se obtuvo un índice de vulnerabilidad global de esta categoría es de 0.28, siendo este calificado como Vulnerabilidad Media.

Tabla 5. **Distancia de las viviendas del río.**

Variable	Bajo $0 < V \leq 0.25$	Medio $0.26 < V \leq 0.50$	Alto $0.51 < V \leq 0.75$	Muy alto $0.76 < V \leq 1$
Distancias de las viviendas del río			0.73	

Marca de Clases	Frecuencia	%	Peso
1 a 75	184	84.40%	155.3028
76 a 150	27	12.39%	3.344037
151 a 225	4	1.83%	0.073395
226 a 300	3	1.38%	0.041284
Total	218	1	158.7615
		Índice	0.728264

Según las distancias donde están ubicadas las viviendas con respecto al ríos las cuales están construidas las 218 viviendas o están asentadas se pudo encontrar que se tiene una vulnerabilidad muy alta donde el 84.40 % de ellas están construidas a una distancia de 1 a 75 metros de distancia del río, el 12.39% tendrán una vulnerabilidad alta, donde

estas están ubicadas a una distancia de 76 a 150 metros, el 1.83% tiene una vulnerabilidad media esto es debido en que están localizados a 151 a 225 metros y solo el 1.38 % tienen una vulnerabilidad baja, después de obtener estos niveles se obtuvo un índice de vulnerabilidad global de esta categoría donde su valor es 0.72, siendo este calificado como Vulnerabilidad Muy alta.

Tabla 6. **Canal de corriente natural del río**

Variable	Bajo $0 < V \leq 0.25$	Medio $0.26 < V \leq 0.50$	Alto $0.51 < V \leq 0.75$	Muy alto $0.76 < V \leq 1$
Canal de corriente natural del río		0.27		

<i>Canales de corriente natural</i>		Frecuencia	Porcentaje	%	Frecuencia	<i>Cálculo del índice Peso</i>
	Con muchos	75	34.40%	36.24	79	28.62844
	arbustos altos	4		%		4
	Sinuosos		1.80%	27.52 %	60	16.51376 5
	Arbustos de Porte Medio	40	18.30%	15.14	33	4.995413
		17		%		4
	Matorrales Denso	3	7.80%	21.1	46	9.706422
				%		2
	Sinuosidad Baja		1.40%		Suma	59.84404 7
	Sinuosos, con	11	5.00%		Índice	0.27
	Embalses y Bajos	22				
	Parcialmente		10.10%			
	Desnudos de					

	Vegetación		
--	------------	--	--

Canales de corriente natural del río.

Al realizar el análisis según el canal de corriente natural del río, se encontró que se tiene una vulnerabilidad muy alta donde el 36.24% de ellas están con arbustos muy altos y presencia de sinuosidad, el 27.52% tienen una vulnerabilidad alta, donde existen arbustos de tamaño medio y baja sinuosidad, el 21.10% tiene una vulnerabilidad baja, esto es debido el canal está limpio escasa pendiente, y la mínima cantidad de desperdicios o basura, y la vulnerabilidad media esta es del 15.14% donde hay presencia de canal parcialmente desnudos, después de obtener estos niveles se obtuvo un índice de vulnerabilidad global de esta categoría donde su valor es **0.27**, siendo este calificado como Vulnerabilidad **media**.

Tabla 7. Características del tipo de vegetación.

Variable	Bajo $0 < V \leq 0.25$	Medio $0.26 < V \leq 0.50$	Alto $0.51 < V \leq 0.75$	Muy alto $0.76 < V \leq 1$
Características del tipo de vegetación		0.27		

Tipo vegetación				Cálculo Índice		
		Frecuencia	Porcentaje	%	Frecuencia	Pesos
	Bosque de Galerías Denso con árboles muy viejos	57	26.10%	33%	72	23.7798165
	Nula Vegetación de matorral en la ribera del río	14	6.40%	29%	64	18.7889908
	Riberas sin vegetación	1	0.50%	20%	43	8.48165138
	Bosques de Galería menos denso con árboles pocos viejos	43	19.70%	18%	39	6.97706422
	Mínima Vegetación de Matorral en la ribera del río	21	9.60%		Suma	58.0275229
	Ausencia de bosques de Galería	22	10.10%		Índice	0.27
	Mayor presencia de matorrales	21	9.60%			
	Bosque de Galería joven y dispersos	35	16.10%			
	Gran presencia de matorrales	4	1.80%			
TOTALES		218	100%			

Características del tipo de vegetación.

Al realizar análisis del tipo de vegetación que existe en el río, se encontró que se tiene una vulnerabilidad muy alta donde el 33% de ellas están con bosque de galería denso, riveras sin vegetación, el 29% tienen una vulnerabilidad alta, donde existen bosques de galerías menos densos con árboles poco viejos, el 20% tiene una vulnerabilidad baja esto es debido a la presencia de matorrales y ausencia de galería y solo el 18 % tiene baja vulnerabilidad donde hay bosque de galería muy joven y gran presencia de matorrales, después de obtener estos niveles se obtuvo un índice de vulnerabilidad global de esta categoría donde su valor es 0.27, siendo este calificado como Vulnerabilidad media.

Tabla 8. Tipo de Sedimentos.

		Frecuencia	Porcentaje	%	Frecuencia	Producto
	Mayor Cantidad de Sedimentos	51	23.40%	23.39%	51	11.93119
	Poca Cantidad de Sedimento	78	35.80%	35.78%	78	27.90826
	Mínima Cantidad de Sedimento	63	28.90%	28.90%	63	18.20642
	Nada Cantidad de Sedimento	26	11.90%	11.93%	26	3.100917
TOTALES		218	100%		Suma	61.14679
					Índice	0.28
Variable	Bajo 0< V≤0.25	Medio 0.26< V≤0.50	Alto 0.51< V≤0.75	Muy alto 0.76< V≤1		
Tipos de sedimentos		0.28				

Tipo de Sedimentos.

Al realizar análisis del tipo de sedimentos que existe en el río, se encontró que se tiene una vulnerabilidad alta donde el 35.78% de ellas están con poca cantidad de sedimentos , el 23.39% tienen una vulnerabilidad muy alta, donde existen mayor cantidad de sedimentos, el 28.90% tiene una vulnerabilidad media esto es debido a la presencia de mínima cantidad de sedimentos y solo el 11.93 % tuene baja vulnerabilidad donde no hay nada de sedimentos, después de obtener estos niveles se obtuvo un índice de vulnerabilidad global de esta categoría donde su valor es 0.28, siendo este calificado como Vulnerabilidad Media.

Tabla 9. Cálculo de Índice General.

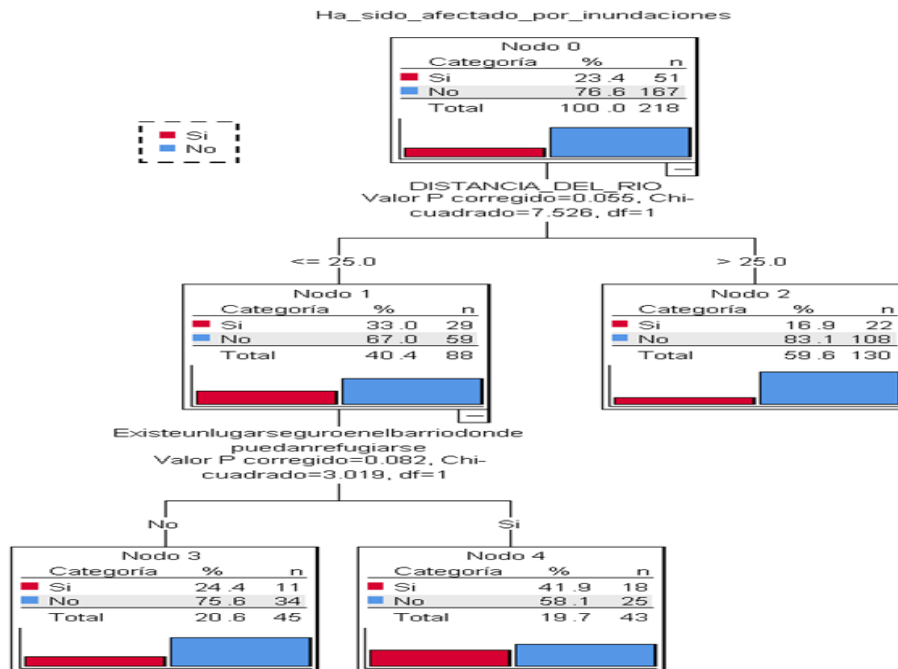
Característica		Índice
Material		0.42
Antigüedad de la Vivienda		0.40
Tipo de Suelo		0.28
Canales de Corriente		0.27
Sedimentos		0.28
Tipo de Vegetación		0.27
Distancia de las Viviendas al Río.		0.72
Índice General		0.44

Variable	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto
	$0 < V \leq 0.25$	$0.26 < V \leq 0.50$	$0.51 < V \leq 0.75$	$0.76 < V \leq 1$
Riesgo General		0.44		

Al realizar el análisis del indicador general de la investigación; tomando en cuenta los índices calculados anteriormente de las características de las viviendas, el tipo de suelo, los canales de corriente natural, la sedimentación, el tipo de vegetación y la distancia de las viviendas en relación al río, después de haber calculado y obtenido estos índices se calculó un índice de vulnerabilidad general de esta categoría donde su valor es fue de (0.44), siendo este calificado como Vulnerabilidad Media en nuestra tabla de 4 niveles.

Árbol de decisión

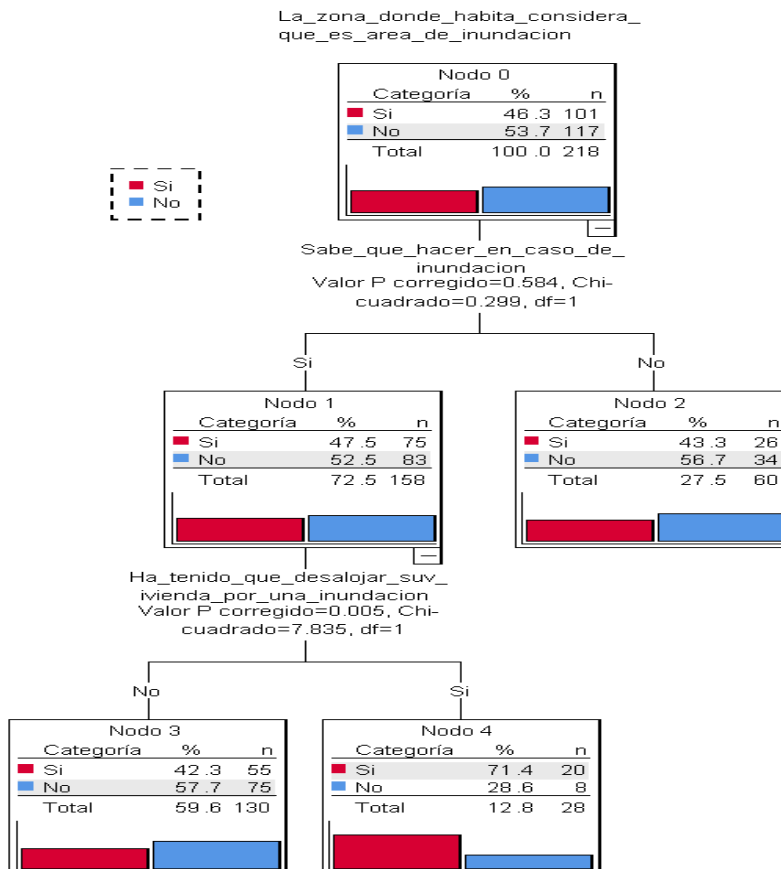
Tabla 10. Ha sido afectado por inundaciones.



El árbol de decisión muestra cómo distintos factores influyen en la afectación por inundaciones: Nodo raíz (0): De los 218 casos totales, el 23.4% se ve afectado por inundaciones. Nodo 1: En zonas a 25 m o menos del río (88 casos), el 33% sufre inundaciones. Esta relación es estadísticamente significativa ($p = 0,055$). Nodo 2: En zonas a más de 25 m del río (130 casos), solo el 16.9% está afectado, lo que indica menor riesgo. Nodo 3: Dentro de los que están a ≤ 25 m sin área de refugio, el 24.4% está afectado. Nodo 4: Dentro de los que están a ≤ 25 m con área de refugio, el 41.9% está afectado ($p = 0.082$), mostrando que la disponibilidad de refugio también influye. La proximidad al río es el principal factor de riesgo, y la presencia o ausencia de un refugio seguro también afecta la probabilidad de sufrir inundaciones.

Árbol de decisión

Tabla 11. La zona donde habita considera que es área de inundaciones



El árbol de decisión presentado analiza si la zona donde se habitaba se considera una zona afectada por inundación, basado en un total de 218 casos en el nodo raíz (Nodo 0). De estos, el 46.3% (101 casos) se clasifican como "Sí" (afectados), y el 53.7% (117 casos) como "No" (no afectados), con un porcentaje total del 100.0%. La primera división se realiza según el conocimiento de haber inundado en caso de inundación, con un valor p corregido de 0.584 y un valor Chi-cuadrado de 0.296 (df = 1). En el Nodo 1, donde se sabe que hubo inundación, el 47.5% (74 de 156 casos) están afectados, y el 52.5% (82

casos) no lo están, representando el 72.5% del total. En el Nodo 2, donde no se sabe, el 43.3% (27 de 62 casos) están afectados, y el 56.7% (35 casos) no lo están, cubriendo el 27.5% restante.

Una segunda división en el Nodo 1 evalúa si se tuvo que desalojar la vivienda por una inundación, con un valor p corregido de 0.835 y un valor Chi-cuadrado de 0.043 ($df = 1$). En el Nodo 3, donde no hubo desalojo, el 42.3% (55 de 130 casos) están afectados, y el 57.7% (75 casos) no lo están, constituyendo el 59.6% del total. En el Nodo 4, donde sí hubo desalojo, el 71.4% (19 de 28 casos) están afectados, y el 28.6% (8 casos) no lo están, representando el 12.8% del total. Este análisis sugiere que el conocimiento de inundaciones previas y la necesidad de desalojo son factores relevantes, aunque con asociaciones estadísticas débiles, en la percepción de una zona como afectada por inundaciones.

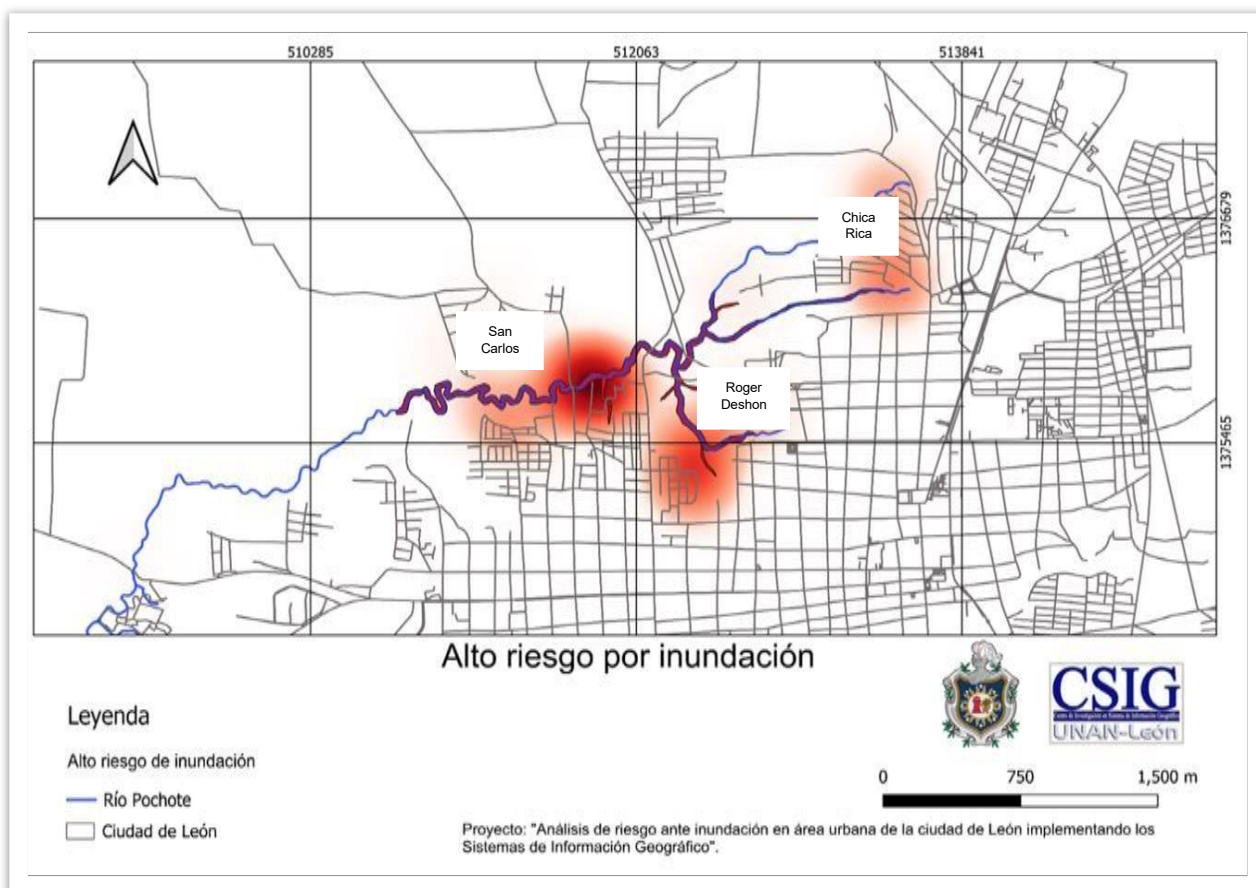
Análisis de Vulnerabilidad Ambiental y Geoespacial.

Resultados Geográficos

Mapa 1. Localización de las viviendas cercanas al río Pochote.



Mapa 2. Mapa de Calor de zonas de alto riesgo por inundación en el Río Pochote de la ciudad de León.



Mapa 3. Delimitación de la cuenca del Río Pochote de la ciudad de León

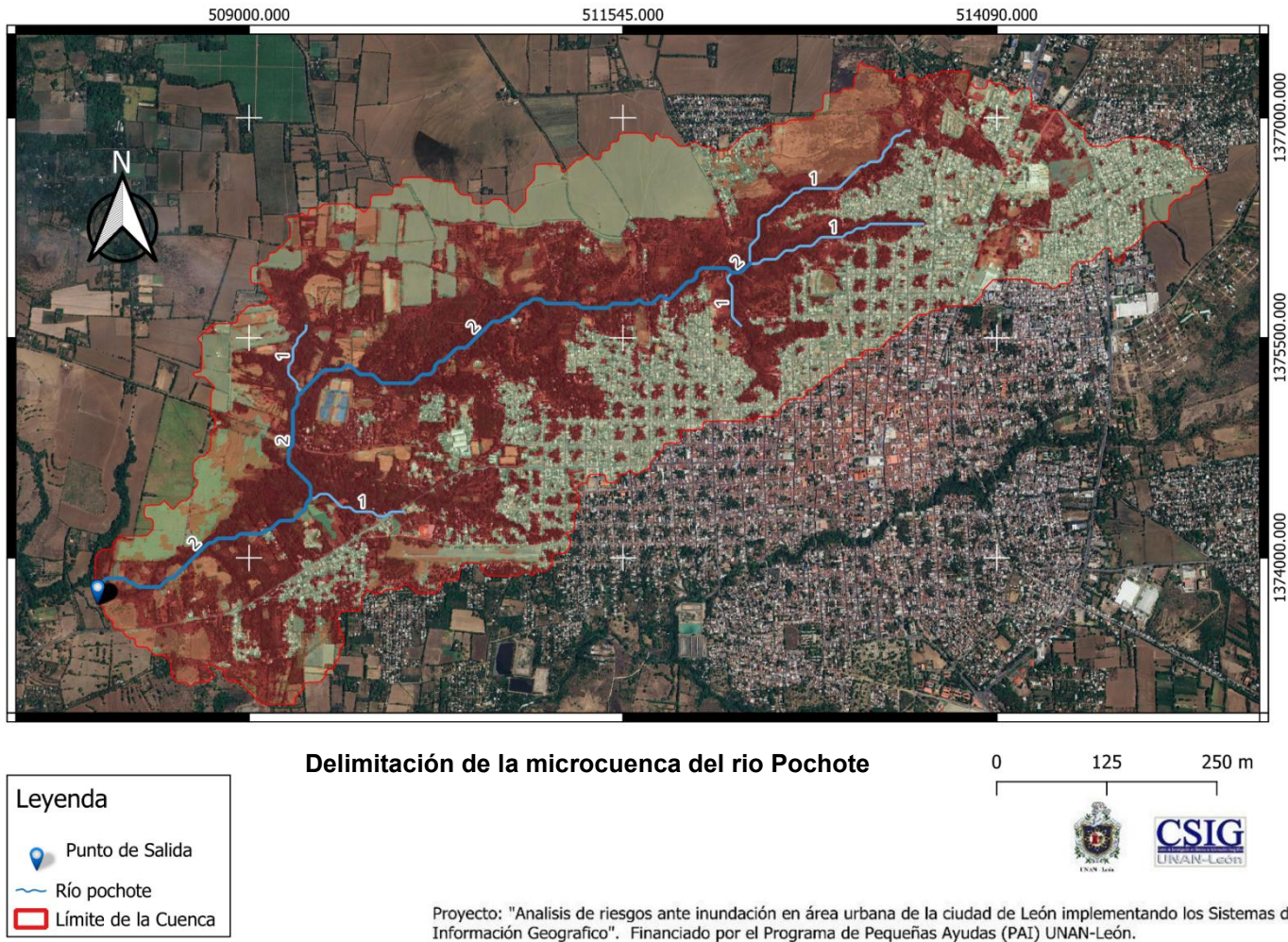


Tabla 12 Parámetros generales

PARAMETROS MORFOMÉTRICOS GENERALES				
No.	Parámetro	Fórmula y descripción	Referencia	Valor Km
1	Área de la microcuenca (A , km²)	Área total de la microcuenca de aportación	Schumm (1956)	14.22
2	Perímetro de la microcuenca (P , km)	Longitud de la línea divisoria que rodea la microcuenca	Schumm (1956)	23.46

3	Longitud de la microcuenca (Lb, km)	<i>Distancia entre la salida y el punto de descarga de la microcuenca</i>	Cruz-Romero, Gaspari, Rodríguez, Carrillo y Téllez (2015)	8.05
---	--	---	---	------

La tabla presenta los parámetros básicos de una microcuenca de **14.22 km²** de área, con un perímetro de **23.46 km** y una longitud de **8.05 km**. Estos datos son esenciales para caracterizar su tamaño y forma. El área total, el perímetro que la delimita y la longitud desde su punto más alejado hasta la salida son valores clave para futuros análisis hidrológicos y para comprender cómo se comporta el flujo del agua dentro de la cuenca

Tabla 13 Parámetros de la forma.

PAR AMETROS MORFOMÉTRICOS DE LA FORMA				
No.	Parámetro	Fórmula y descripción	Referencia	Valor
4	Factor de forma (R_f)	$R_f = A / (Lb)^2$	Horton (1932)	0.2192
5	Relación de elongación (R_e)	$R_e = (2 / Lb) * (A / \pi)^{0.5}$	Schumm (1956)	0.5283
6	Relación de circularidad (R_c)	$R_c = 4\pi * (A / P^2)$	Miller (1953)	0.3248
7	Constante de compacidad (C_c)	$C_c = 0.2821 * (P / A^{0.5})$	Horton (1945)	1.7547

Los parámetros de forma de la microcuenca, como el Factor de forma (R_f) de 0.2192, la Relación de elongación (R_e) de 0.5283, la Relación de circularidad (R_c) de 0.3248 y la Constante de compacidad (C_c) de 1.7547, indican de manera consistente que la cuenca tiene una forma alargada y poco compacta. Esta configuración geométrica es favorable, ya que su forma alargada hace que sea menos propensa a sufrir inundaciones repentinas o crecidas, dado que el agua tardará más en concentrarse en el punto de salida.

Tabla 14 Parámetros del relieve.

PARAMETROS MORFOMÉTRICOS DEL RELIEVE				
No.	Parámetro	Fórmula y descripción	Referencia	Valor
1	Altitud mínima (h , $msnm$)	Elevación mínima de la microcuenca	Horton (1932)	49
2	Altitud máxima (H , $msnm$)	Elevación máxima de la microcuenca	Horton (1932)	136
3	Desnivel (R , $msnm$)	$R = H - h$	Horton (1932)	87
4	Relación de relieve (Rh)	$Rh = R / Lb$	Schumm (1956)	10.80

Relieve de la Microcuenca

Los parámetros de relieve de la microcuenca, con un desnivel de 87 m entre la altitud máxima (136 msnm) y mínima (49 msnm), junto con una relación de relieve (Rh) de 10.80, indican que el terreno es bastante pronunciado. Este desnivel significativo y las pendientes empinadas implican que el agua fluirá a gran velocidad, lo que aumenta el riesgo de erosión del suelo.

Aplicación Móvil

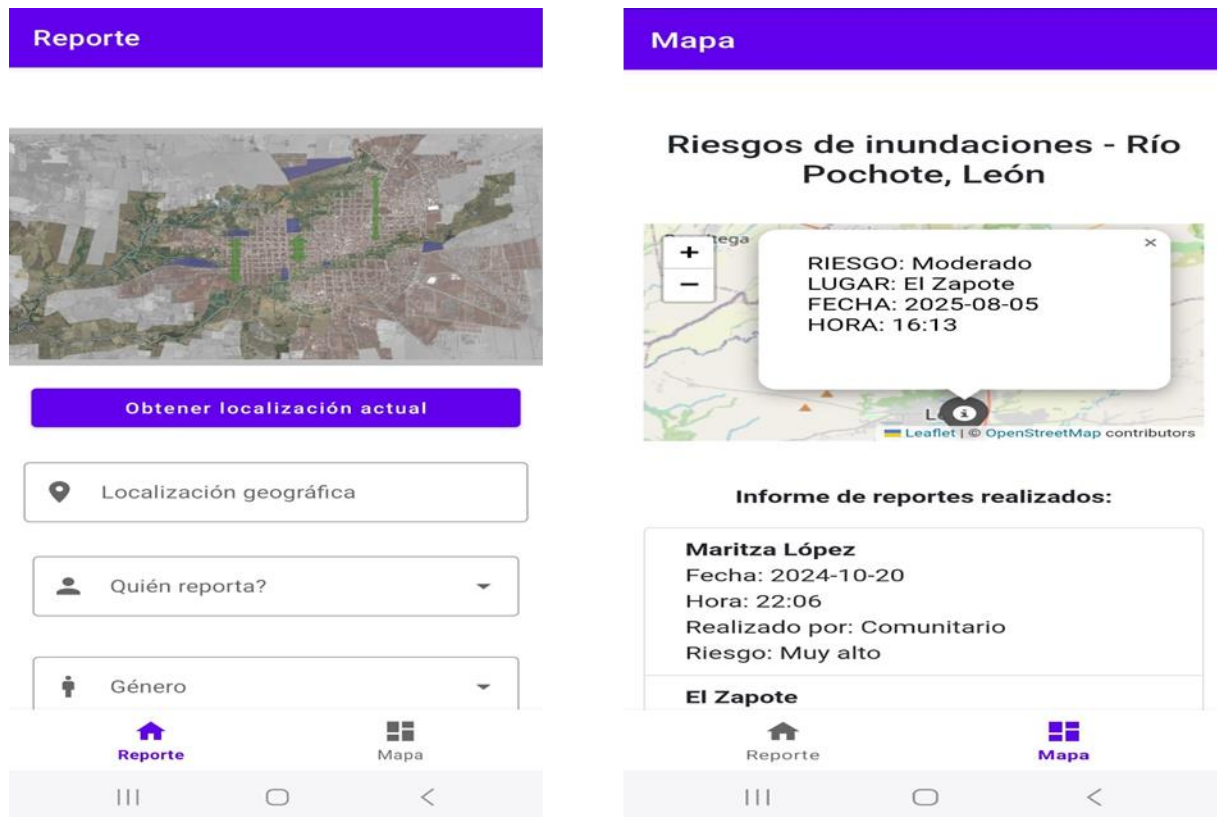


Ilustración 1. Aplicación móvil

La aplicación móvil les permite a los usuarios (que viven a la orilla del río) enviar los siguientes datos, una base de datos que se encuentran en la nube.

1. Las coordenadas geográficas desde donde se está haciendo el reporte (latitud y longitud) esto se logra utilizando el GPS del móvil de la persona.
2. Quien hace el reporte puede ser un líder o un comunitario.
3. Género de la persona que hace el reporte.
4. El lugar de donde se hace el reporte.
5. La fecha en la que se hace el reporte (el usuario solo necesita la fecha en el calendario de la aplicación).

6. La hora en la que se hace el reporte.
7. seleccionar el tipo de riesgo que puede ser alto, muy alto, moderado y bajo.
8. en observaciones el usuario tiene la opción de agregar algún comentario.
9. después de ingresar los datos podemos enviarlos.

Tiene otra pestaña donde cuenta con un mapa conteniendo los puntos geográficos donde se han hecho informe. El mapa es interactivo ya que se puede obtener la información de un determinado informe. La aplicación fue desarrollada para dispositivos Android y el administrador es el que tiene acceso a toda la información. Para el desarrollo de la aplicación móvil se utilizó Android y lenguaje de programación java en código de la lógica de la aplicación. Una vez desarrollada la aplicación se distribuye por medio de un archivo comprimido que tiene la extensión APK. Para el uso de la aplicación es indispensable el uso de internet a través de una conexión inalámbrica o datos móviles.

IX. CONCLUSIONES

- La capacidad de las poblaciones encuestadas es lenta de la población, moderada y activa mediante el grado de riesgo que perciben.
- Al realizar en el área de influencia a 10 m y 40 m, en ambos lados del río, se observan que; 8 casas y 26 casas respectivamente, que se encuentran en riesgo.
- El material de las viviendas de los pobladores cerca de la rivera del río Río Pochote en su mayoría es de Ripios, seguidos de madera, plástico, otros
- Las personas encuestadas por sexo fueron de un 35.32% Masculino, 64.68% Femenino.
- Las personas cercanas al río Pochote respondieron que el grado de percepción de riesgo de sus viviendas en general es 46.3% de vulnerabilidad.
- Las personas que respondieron que saben qué hacer en caso de una inundación fueron de: 47.25% encuestados Femeninos, y el 27.23% del género Masculino y un 17.43 no saben qué hacer ante una inundación.
- El 41.9% de las personas cerca de la ribera del río, buscan refugiarse en zonas altas, seguido de la iglesia y colegios.
- El 90% del área del Río Pochote, tiene bascosidad, matorral y bosque de galería.
- Aunque la mayoría de los residentes tienen acceso a un lugar seguro en caso de inundación, un 58.1% no cuenta con esta opción, lo que destaca una brecha en la preparación comunitaria.
- Aunque la mayoría de la comunidad reconoce el riesgo de inundaciones en su área, es crucial seguir educando a todos los residentes sobre los riesgos específicos y las medidas preventivas para mejorar la preparación y reducir la vulnerabilidad.
- La afectación del 23.4% de los encuestados por inundaciones subraya la necesidad de desarrollar e implementar estrategias de gestión del riesgo y asistencia para los afectados, mientras se continúa preparando a la población para futuros eventos.

- **Reacción a Lluvias Intensas:** Con su tamaño moderado, la microcuenca puede responder rápidamente a lluvias fuertes, aumentando el riesgo de crecidas rápidas.
- **Forma y Flujo de Agua:** La forma alargada de la microcuenca ayuda a distribuir el flujo de agua de manera gradual, reduciendo picos de crecida y favoreciendo la recarga subterránea.
- **Permeabilidad del Suelo:** La estructura irregular de la microcuenca sugiere un suelo más permeable, lo cual permite una mejor infiltración y menos escorrentía directa hacia el río.
- **Pendientes y Erosión:** Las pendientes moderadas aumentan la velocidad de escurrimiento y el riesgo de erosión, por lo que es necesario implementar medidas de conservación de suelo.

X. RECOMENDACIONES

- Se recomienda brindar charla de prevención ante una inundación.
- Es crucial diseñar e implementar estrategias de gestión del riesgo y asistencia para los afectados por inundaciones, y al mismo tiempo, mantener programas de preparación para la población en general para enfrentar futuros eventos.
- Se deben intensificar los esfuerzos educativos para asegurar que todos los residentes comprendan los riesgos y las medidas preventivas adecuadas, garantizando una preparación efectiva y disminuyendo la vulnerabilidad general.
- Mantener los cause cercanas a las viviendas limpio de desechos.
- Si habitan cerca de laderas o barrancas, elaborar un plan de evacuación e identifica los lugares seguros.
- Salir de inmediato de la casa si se está cerca de una ladera por precaución a un deslizamiento.
- Brindar un mantenimiento continuo de los puentes y caminos, cercanos del Río Pochote.
- Evitar cruzar los ríos crecidos en tiempos de invierno.
- Acatar las instrucciones del personal capacitado ante este tipo de desastre.
- Hacer una evacuación inmediata de la vivienda, a pesar de la altura de la vivienda, cuando este subiendo el Río Pochote.
- Crear nuevas rutas de evacuación ante una inundación del Río Pochote en los 12 barrios.
- Una mayor actividad de las instituciones de defensa civil, como la policía Nacional de León, bomberos, Cruz Roja, etc.
- Es esencial establecer refugios seguros en las áreas que carecen de ellos y mejorar la preparación para emergencias en la comunidad para garantizar que todos los residentes estén adecuadamente protegidos.

XI. Cronograma de estudio.

[illegible]

XII. ANEXOS



Proyecto: ANÁLISIS DE RIESGOS ANTE INUNDACIÓN EN ÁREA URBANA DE LA CIUDAD DE LEÓN

IMPLEMENTANDO LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICO.

Cuestionario dirigido a pobladores de León, año 2023

Estimado poblador: El motivo del presente sondeo es recopilar información en referencia a inundaciones sobre la percepción del riesgo ante el comportamiento de las crecidas del Río Pochote; así mismo diagnosticar las capacidades y vulnerabilidades físicas y sociales del sector. Esta información es anónima, por favor responde a cada inciso marcando con X o completando de forma expresa; de antemano gracias por tu información brindada y opinión.

Encuestador: _____ N° GPS: Coordenadas: X: Y: Altura:

Sección I. Datos Demográficos:

1. Sexo: ☐ femenino ☐ masculino 2. Barrio: _____ 3. Edad en años: _____
4. Escolaridad: _____ 5. N° Personas en Vivienda: _____ 6. Cantidad de niños (0- 14 años) _____
7. Cantidad de Adultos mayores: _____ 8. Servicios básicos: ☐ Energía Eléctrica ☐ Agua Potable
☐ Alcantarillado
- Sanitario ☐ Recolección Basura ☐ Otro: _____
-

Sección II. Característica de la construcción de la vivienda: (Marque con una x la respuesta de selección) **A0**.

Localización de vivienda en relación con Cuerpo de Agua (Distancia en metros): _____

1. Material predominante de la edificación							
Características	valor	Características	valor	Características	valor	Características	valor
1. Adobe ()	4	7. Adobe reforzado ()	3	9. Albañilería confinada ()	2	10. Concreto armado ()	1
2. Madera ()		8. Albañilería ()				11. Acero ()	
3. Plástico ()							
4. Ripios ()							
5. Otros ()							

2. Antigüedad de la vivienda							
Características	valor	Características	valor	Características	valor	Características	valor
1. Más de 50 años ()	4	2. de 20 a 49 años ()	3	3. de 3 a 19 años ()	2	4. de 0 a 2 años ()	1

3. Tipo de suelo							
Características	valor	Características	valor	Características	valor	Características	valor
1. Rellenos ()	4	4. Depósitos de suelo finos ()	3	6. Granular fino y arcilloso ()	2	7. Suelos rocosos ()	1
2. Depósitos Marinos ()		5. Arena de gran espesor ()					
3. Pantanos ()							

A1. Determinación de la vulnerabilidad de la vivienda:

A2. Calificación del nivel de

Vulnerabilidad

1 2 3 Suma

--	--	--	--

Nivel	Rango	Marque con una X según A1
Muy alto	Mayor a 10	
Alto	Entre 6 a 10	
Moderado	Entre 3 a 6	
Bajo	Entre 1 a 3	

Sección III. Características del riesgo de obstrucción de caudal de agua de río. (Marque con una X la respuesta de selección)

1. Canales de corriente natural							
Características	valor	Características	valor	Características	valor	Características	valor
1. Con mucha Arbustos altos. ()	4	3. Arbustos de porte medio ()	3	6. Sinuosos, con embalses y bajos ()	2	8. Limpios y rectos ()	1
2. Sinuosos ()		4. Matorrales densos ()		7. Parcialmente desnudo de vegetación ()		9. Escasa pendiente ()	
		5. Sinuosidad Baja ()				10. Mínima cantidad de objetos basura ()	
2. Sedimentos							
Características	valor	Características	valor	Características	valor	Características	valor
1. Mayor cantidad de sedimentos ()	4	2. Poca cantidad de sedimentos ()	3	3. Mínima cantidad de sedimentos ()	2	4. Nada cantidad de sedimentos ()	1
3. Tipo de vegetación							
Características	valor	Características	valor	Características	valor	Características	valor

1. Bosques de galería denso con árboles muy viejos ()	4	4 Bosques de galería menos denso con árboles poco viejos ()	3	6. Ausencia de Bosques de galería ()	2	8. Boques de galería joven y disperso ()	1
2. Nula vegetación de matorral en la ribera del río ()		5. Mínima vegetación de matorral en la ribera del río ()		7. Mayor presencia de matorrales ()		9. Gran presencia de matorrales ()	
3. Ribera sin vegetación ()							

A1. Determinación de la vulnerabilidad de la vivienda:
Vulnerabilidad

A2. Calificación del nivel de

1 2 3 Suma

--	--	--	--

Nivel	Rango	Marque con una X según A1
Muy alto	Mayor a 10	
Alto	Entre 6 a 10	
Moderado	Entre 3 a 6	
Bajo	Entre 1 a 3	

Sección IV: Conocimiento sobre inundaciones. (Marque con una X la respuesta de selección)

Preguntas	Respuesta	
	SI	NO
1. ¿Sabe usted que son las inundaciones? (si responde SI pasar a la pregunta 1.a)		
2. ¿La zona donde habita considera que es área de inundación?		
3. ¿Ha sido afectado por inundaciones?		
4. ¿Sabe qué hacer en caso de una inundación?		

5. ¿Ha tenido que desalojar su vivienda por una inundación?		
6. ¿Conoce si existen rutas de evacuación ante una inundación en su sector?		
7. ¿Existe un lugar seguro en el barrio donde usted y sus familiares puedan refugiarse ante una inundación? (si responde SI pasar a la pregunta 7.a)		
8. ¿Ha recibido capacitación y/o orientación sobre cómo actuar ante inundaciones? (si responde SI pasar a la pregunta 8.a, 8.b, 8.c, 8.d)		
Vulnerabilidad de comunicación		
9. ¿Posees teléfono celular?		
10. ¿Tienes correo electrónico?		
11. ¿Tienes Grupo WhatsApp de brigadas ante riesgo naturales?		
12. ¿Utiliza alguna aplicación de prevención ante riesgos naturales?		

Preguntas vinculadas al cuadro de conocimientos sobre inundaciones.

1.a ¿Podría definir en propias palabras que es inundación?: _____

7.a Identifique el lugar de refugio (detalle): _____

8.a ¿Quién le ha capacitado y/o orientado ante inundaciones (especifique)? _____

8.b Organismos presentes involucrados de forma activa:

Centros educativos ☐ Centro de Salud ☐ Casa Comunal ☐ Organismos religiosos ☐

Otro ☐: _____

8c. Organizaciones de Defensa Civil presentes: _____

8d. Describa el procedimiento a seguir ante inundaciones:

_____ **9.** En caso de inundación, califique la capacidad de respuesta de la población: Lenta ☐
Moderada Activa ☐

10. ¿Nos podría narrar su experiencia ante una inundación vivida? Año en que ocurrió el evento: _____

Sección VI: Niveles de Riesgo ante inundaciones. (Marque con una x la respuesta de selección)

	1	2	3	4	5
	Muy baja	Baja	Moderada	Alta	Muy Alta
Preguntas	1	2	3	4	5
1. Grado de exposición que percibe usted que tienen los habitantes de su comunidad.					
2. Grado de riesgo que considera usted, se vive en su comunidad ante inundaciones.					
3. Grado de riesgo que tiene su comunidad ante inundación provocada por el Río Chiquito					
4. Grado de riesgo de licuefacción del terreno que tiene su comunidad ante una inundación					

Sección VII: Vulnerabilidad ante inundaciones (MARQUE CON UNA X LA RESPUESTA DE SELECCIÓN)

	1	2	3	4	5
	Excelente	Muy buena	Regular	Mala	Muy mala
Preguntas	1	2	3	4	5
1. Consistencia de la infraestructura de su vivienda para resistir ante una inundación					
2. Los núcleos familiares están preparados ante una inundación					
3. Articulación entre instituciones, organismos y comunitarios locales, de forma efectiva					
4. Los Organismos de defensa civil se involucran de forma activa ante una inundación					
5. La fortaleza de su núcleo familiar es consistente ante inundaciones, según grupos de edades					

Sección VIII. Califique Vulnerabilidad según amenaza

Según su criterio a cuál de las amenazas se considera mejor preparado esto enumerándolo de mayor grado de importancia 1 y hasta el menor grado de importancia 7.

Sismicidad		Huracanes		Inundaciones		Deslizamientos		Incendios		Sequias		Tolvaneras	
------------	--	-----------	--	--------------	--	----------------	--	-----------	--	---------	--	------------	--

Anexos: Observaciones

Por favor detalla en las líneas siguientes información adicional sobre Riesgo ante inundaciones u otros riesgos.

XIII. REFERENCIAS

Hernández-Uribe, R. E., & Ramírez, A. I. (2017). Análisis de riesgo 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>

Arranz Lozano, M. M. A. L. (2008). El riesgo de inundaciones y la vulnerabilidad en áreas urbanas. Análisis de casos en España. *Estudios Geográficos*, 69(265), 385–416. <https://doi.org/10.3989/estgeogr.0417>

SINAPRED, (2005). Guía Nacional para el Funcionamiento de los Comités Municipales para la Prevención, Mitigación y Atención Desastres (COMUPRED). Sinapred.org. <https://www.preventionweb.net/files/15491>

Balica, S. F. & Wright, N. G. (2013). Parametric and physically based modelling techniques for flood risk and vulnerability assessment: A comparison. *Environmental Modelling & Software*, 41, 84–92. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2012.11.002>

Igarza, L. M. Z. (2018). Resiliencia urbana ante inundaciones por intensas lluvias en contribución al desarrollo urbano equilibrado. *Arquitectura y Urbanismo*, XXXIX (1), 39–50

Hernández-Uribe & Ramírez, A. I. (2017). *Análisis de riesgo por inundación: metodología y aplicación a la cuenca Atemajac*. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 8(3), 5–25. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2017-03-01>

Bueno, Morales Torres, A., & Altarejos García. (2013, 30 de octubre). *Metodología completa y cuantitativa de análisis del riesgo de inundación en zonas urbanas*. Editorial Universitat Politècnica de València. <http://hdl.handle.net/10251/70681>

Alcocer-Yamanaka, V. H., Rodríguez-Vare & Albornoz-Góngora, P. M. (2016). Metodología para la generación de mapas de riesgo por inundación en zonas urbanas. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 7(5), 33–55. <https://www.scielo.org.mx/pdf/tca/v7n5/2007-2422-tca-7-05-00033.pdf>

I.Escuder Bueno, U. P. D. V. (2014). Universitat Politècnica de València. *Ingeniería del agua*, 18(1), ix. <https://doi.org/10.4995/ia.2014.329>

Nicaragua Investiga, (2022, junio 21). *Estos son los puntos más vulnerables durante el invierno en Nicaragua*. <https://nicaraguainvestiga.com/nacion/81797-zonas-riesgo-nicaragua-invierno-2022>

SINAPRED, (2015). Guía de funcionamiento de los Comités Municipales para la Prevención, Mitigación y Atención de Desastres (COMUPRED). Managua: SINAPRED.<https://www.preventionweb.net/files/15491>

Choudhari, M., Nigam, & Workineh, M. (2021). Análisis morfométrico de la cuenca El Salto, Durango, México. *Tecnología y Ciencias del Agua*, <https://www.scielo.org.mx/scielo>.

ACCA, (2024, mayo 31). SIG en la gestión de recursos hídricos. BibLus. <https://biblus.accasoftware.com/es/sig-en-la-gestion-de-recursos-hidricos/> Cezón, J. P. A., & Batanero, C. (2019). EVALUACIÓN DE CONOCIMIENTOS SOBRE GRÁFICOS ESTADÍSTICOS Y CONOCIMIENTOS DIDÁCTICOS DE FUTUROS PROFESORES.

CIFRC, (2025) *¿Qué es un desastre? I IFREC*. [https:// www.ifrc.org](https://www.ifrc.org).

EIRD. (2004). *Quiero aprender*. <https://www.eird.org/fulltext/ABCDesastres/teoria/desastres.htm>

ESRI. (2007). *Modelos digitales de elevación—Conceptos relacionados | Documentación*.<https://learn.arcgis.com/es/related-concepts/digitalelevation-models.htm>

Furukawa, C. T., Shapiro, G. G, & Bierman, C. W. (1984). Learning and behaviour problems associated with theophylline therapy. *Lancet (London, England)*, 1(8377), 621. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(84\)91010-9](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(84)91010-9)

Laura F, Z. (2020, septiembre 22). *¿Qué es una inundación?* [Text]. iAgua; iAgua. <https://www.iagua.es/respuestas/que-es-inundacion>

MITECO. (2022). *Objetivos de los Planes de Gestión del Riesgo de Inundación*.
https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/gestion-de-los-riesgos-deinundacion/planes-gestion-riesgosinundacion/objetivos_planes_gestion_ri.html

Montes, S. S. S., Molina-Blancas, E. J., & Guevara-Romero, M. L. (2022). Análisis espacial del riesgo de inundación a través de Sistemas de Información Geográfica: Caso sector Hacienda-Margarita, Puebla. *Ciencia Nicolaita*, 86, Article 86. <https://doi.org/10.35830/cn.vi86.629>

Ospina Gutiérrez, L. M., Soto Mejía, J. A., & Escobar, J.W. (2015). Metodología para la detección de determinismo y no linealidad en series temporales financieras. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, 38(3), 191-199.

Pallauta, J. D., Gea, M. M., Batanero, C., & Arteaga, P. (2021). Significado de la tabla estadística en libros de texto españoles de educación secundaria. *Bolema: Boletim de Educação Matemática*, 35(71), 1803-1824.
<https://doi.org/10.1590/1980-4415v35n71a26>

PNACC. (2025, enero 15). *Riesgo, Amenaza, Exposición | Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible*. <https://archivo.minambiente.gov.co/index.php/plannacional-de-adaptacion-al-cambio-climatico-pnacc/riesgo-amenazaexposicion>

Riccardi, G. (2013). *Aplicación de un modelo hidrológico-hidráulico para el pronóstico de niveles de agua en tiempo real*.
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222013000100004

Willys Duarte, G. (2021, enero). *Análisis de riesgo por inundaciones en zona urbana de la ciudad de Tijuana*.
<https://repositorioinstitucional.uabc.mx/server/api/core/bitstreams/8bd60451->

Igarza, Z & Libys M. (2018). Resiliencia urbana ante inundaciones por intensas lluvias en contribución al desarrollo urbano equilibrado. *Arquitectura y Urbanismo*. <https://www.redalyc.org/journal/3768/376858935004/html/>

Castillo, Q. R. (2017). Modelo morfométrico para determinar áreas susceptibles a procesos de ladera. Obtenido de <https://doi.org/10.14350/rig.57318>

INETER & SINAPRED, G. de la R. de N. (2018). Portal de Mapas Interactivos de Vulnerabilidades y Amenazas Naturales. <https://www.ineter.gob.ni/geoportales/vulnerabilidades-amenazas/index.html>

EMDC, N. I. (2022). Los puntos más vulnerables durante el invierno en Nicaragua. <https://nicaraguainvestiga.com/nacion/81797-zonas-riesgo-nicaragua-invierno-2022/>, abril 29 del 2022

Toro Ibacache, M. V. Soto. & Suazo Galdames, I. C. (2010). Morfometría geométrica y el estudio de las formas biológicas: de la morfología descriptiva a la morfología cuantitativa. *International Journal of Morphology*, <https://doi.org/10.>

Ríos, Ceppi, Meléndez, K., & Molero. (2013). Cambio climático, fenómenos meteorológicos extremos y análisis de riesgos. *Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 106(1-2), 147–156. <https://rac.es/ficheros/doc/01106.pdf>

Ogura, A., & Soares Macedo, E. (2005). *Procesos y riesgos geológicos*. En II Curso Internacional de aspectos geológicos de protección ambiental (pp. 112–138). Instituto de Investigaciones Tecnológicas de São Paulo (IPT).

Ramírez, A., Ortiz, Z. (2011). Gestión de riesgos tecnológicos basada en ISO 31000 e ISO 27005 y su aporte a la continuidad de negocios. En: *Ingeniería*, Vol. 16, No. 2, pág. 56-66

Rojas, Mardones, M., Arumí,, & Aguayo, M. (2014). Una revisión de inundaciones fluviales en Chile, período 1574–2012: causas, recurrencia y efectos geográficos.

Revista de Geografía Norte Grande, (57), 177–192. <https://doi.org/10.4067/S0718-34022014000100012>

Ruiz Rivera, N. (2012). La definición y medición de la vulnerabilidad social. Un enfoque normativo. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, 77, 63–74. <https://doi.org/10.14350/riq.31016>

Vázquez Delgado, J. A. (2014). *Modelos probabilísticos*. Universidad de Málaga. Repositorio Institucional RIUMA. <https://riuma.uma.es/xmlui/bitstream/handle>

Pacheco, E. (2017). *Modelos determinísticos con demanda constante* Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM). HTTP<https://app.goalproject.co/storage>

Ayuso, J. L., Peña, A., & Montesinos, M. P. (1994). *Estimación del hidrograma unitario. Estudio comparativo de cuatro métodos lineales*. Ingeniería del Agua, 1(2), 21-32. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/118413/2635>.

Dirección General del Observatorio de Amenazas y Recursos Naturales. (2017). *Informe nacional del estado de los riesgos y vulnerabilidades*. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador. <https://srt.snet.gob.sv/tallerdivulgacion>

Toro Ibacache, Manríquez Soto, G., & Suazo Galdames, I. (2010). Morfometría geométrica y el estudio de las formas biológicas: De la morfología descriptiva a la morfología cuantitativa. <https://doi.org/10.4067/S0717-95022010000400001>

Escuela de Postgrado – Universidad Nacional de Ingeniería. (2018, 29 de abril). *Prevención y mitigación de desastres*. <https://epp.uni.edu.pe/index.php/2018/04/29/prevencion-y-mitigacion-de-desastres/>