

UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSERVACIÓN



Modelamiento hidráulico para la generación de escenarios de inundación en la parte baja de la microcuenca de Talgua, Catacamas, Olancho.

PROYECTO DE TESIS

Presentado como requisito parcial previo a la realización de trabajo de investigación

Por:

Marvin Iván Beltrán López

Catacamas, Olancho

Enero 2025

Modelamiento hidráulico para la generación de escenarios de inundación en la parte baja de la microcuenca de Talgua, Catacamas, Olancho.

Por:

Marvin Iván Beltrán López

MSc. Ramón León Canaca Calderón
Director de Tesis

TESIS

Presentado como requisito parcial para obtener el título de

INGENIERO EN GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RECURSOS NATURALES

Catacamas, Olancho

Enero 2025

ACTA DE SUSTENTACIÓN

DEDICATORIA

A **DIOS** y la **VIRGEN MARIA** por estar a mi lado e iluminarme en todo momento durante este proceso de aprendizaje y así culminar esta etapa de mi vida con éxito.

A mis queridos padres, **ROSA MARINA LOPEZ** y **MARVIN RAMÓN BELTRÁN**, quienes con su esfuerzo, ejemplo y amor incondicional me han brindado todo el apoyo necesario para alcanzar esta meta.

A mis hermanos **ELMER** y **VALERIA**, que este logro sea una fuente de inspiración para que sigan sus sueños con determinación, confianza y los motive a luchar por sus sueños con valentía y esfuerzo.

A mi novia, **KRISTELL MARTINEZ**, por su apoyo, paciencia y motivación, que me han impulsado a seguir adelante y no rendirme.

A mi **FAMILIA**, tíos y primos, por sus consejos y contribuir con un granito de arena para poder finalizar una de las etapas más importante de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

Mi gratitud infinita es a **DIOS** y la **VIRGEN**, por iluminar mi camino y estar siempre a mi lado, por darme fortaleza en los momentos difíciles, por brindarme sabiduría, entendimiento, y concederme la gracia de culminar esta meta más en mi vida con éxito.

A mis padres, cuyo esfuerzo, sacrificio y amor incondicional han sido el pilar fundamental en mi formación personal y profesional.

A mi novia, por ser un pilar fundamental en este recorrido, brindándome su apoyo incondicional, comprensión en los momentos más difíciles y una motivación constante que me impulsó a perseverar hasta alcanzar esta meta.

Al **M. Sc. RAMÓN LEÓN CANACA, PhD. JOSÉ TRINIDAD REYES, Lic. ABNER JASIEL TORRES**, por su guía, acompañamiento, sus consejos, por su valiosa colaboración y dirección en este trabajo, contribuyendo de manera significativa a mi aprendizaje y seguimiento académico.

A mi amigo y compañero **ABDI FREDERICK BORCK**, quien ha sido una mano amiga en todo momento. Su apoyo, solidaridad, motivación y valiosos consejos representaron un respaldo fundamental durante este proceso.

CONTENIDO

ACTA DE SUSTENTACIÓN	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
CONTENIDO	iv
LISTA DE TABLAS	vii
LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE ANEXOS	ix
RESUMEN.....	x
I. INTRODUCCION.....	1
II. OBJETIVOS	2
2.1. Objetivo General	2
2.2. Objetivos específicos.....	2
III. JUSTIFICACIÓN	3
IV. REVISION DE LITERATURA.....	4
4.1. Modelación hidráulica.....	4
4.1.1. Diferencia entre modelación hidrológica e hidráulica.....	5
4.1.2. Clasificación de los modelos hidráulicos	5
a) Modelos hidrodinámicos y CFD	5
b) Modelos físicos.....	6
4.1.3. Flujos a superficie libre	6
a) Flujo no permanente	6
b) Flujo permanente	7
4.2. Programas y software de modelización hidráulica e hidrodinámica	7
4.2.1. Modelos de estimación de inundaciones	8
a) Modelo unidimensional	8
b) Modelo bidimensional	8
4.2.2. <i>HEC RAS®</i>	9
4.2.3. Información básica requerida para la modelación hidráulica	9
a) Usos del suelo.....	9

c)	Secciones transversales	10
d)	Niveles de caudales y precipitaciones	11
e)	Coeficientes de Manning	11
4.3.	Microcuenca del río Talgua	15
4.4.	Inundaciones	18
4.4.1.	Inundaciones en Honduras	18
4.4.2.	Zonas de alta susceptibilidad a inundaciones	19
4.4.3.	Zona de susceptibilidad moderada a inundaciones.....	19
4.4.4.	Riesgo por inundaciones.....	20
4.4.5.	Clasificación de las inundaciones.....	21
a)	De acuerdo con el tiempo de respuesta de la cuenca.....	21
b)	De acuerdo con su origen	22
4.5.	Sedimentos	23
V.	MATERIALES Y METODOS	25
5.1.	Ubicación del sitio de estudio	25
5.1.1.	Características biofísicas del sitio de estudio	26
a)	Clima	26
b)	Pendiente	26
c)	Suelos	27
d)	Usos del suelo.....	27
5.2.	Materiales y equipo	28
5.3.	Enfoque metodológico	28
5.4.	Variables evaluadas	29
5.5.	Fase 1: Obtención de percepciones locales sobre inundaciones	29
5.5.1.	Aplicación de encuestas y entrevistas a los pobladores claves en áreas vulnerables	29
5.5.2.	Protocolo de observación	30
5.6.	Fase 2: Caracterización de sedimentos.....	31
5.6.1.	Definición del área de deposición de sedimentos.....	31
5.6.2.	Puntos de muestreo y obtención de muestras	32
5.6.3.	Análisis de laboratorio.....	34
a)	Granulometría.....	34
b)	Textura de los sedimentos.....	35
c)	Densidad aparente	35

5.7.	Fase 3. Modelamiento hidráulico	36
5.7.1.	Topografía.....	36
5.7.2.	Precipitaciones y caudales.....	36
5.7.3.	Geometría del río.....	39
5.7.4.	Coeficiente de Manning	39
VI.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	41
6.1.	Evaluación de vulnerabilidad a inundaciones según la percepción de los pobladores.....	41
6.1.1.	Análisis de resultados obtenidos en la aplicación de encuestas	41
6.1.2.	Análisis de resultados obtenidos en la aplicación de entrevistas.....	49
6.1.3.	Análisis de matrices de vulnerabilidad.....	51
6.2.	Caracterización de los sedimentos presentes en la llanura de inundación	54
6.2.1.	Análisis de los resultados de granulometría de sedimentos.....	55
6.2.2.	Análisis de los resultados de la textura de sedimentos	58
6.2.3.	Análisis de los resultados de densidad aparente	60
6.3.	Modelamiento hidráulico para la generación de escenarios de inundación	62
6.3.1.	Geometría del río.....	62
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	69
	ANEXOS	76

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Valores de coeficiente de rugosidad de Manning para secciones transversales.....	12
Tabla 2. Valores de rugosidad para llanuras o planicies de inundación.....	13
Tabla 3. Comparación de escala y denominación del tamaño de grano del suelo	24
Tabla 4. Variables e indicadores críticos evaluados en el protocolo de observación.....	31
Tabla 5. Series de tamices empleadas para el ensayo según la norma ASTM -422	34
Tabla 6. Series de tamices empleados para el análisis granulométrico	34
Tabla 7. Respuestas sobre los tipos de afectaciones reportados por los pobladores.....	41
Tabla 8. Causas que contribuyen a la intensidad de las inundaciones	42
Tabla 9. Factores que influyen en las posibles afectaciones por inundaciones según la percepción de los pobladores.....	44
Tabla 10. Áreas mayormente inundadas en la comunidad según la experiencia de los pobladores.....	45
Tabla 11. Medidas consideradas por los pobladores para enfrentar una posible inundación ...	46
Tabla 12. Percepción de los pobladores sobre la necesidad de evacuación ante una inundación	47
Tabla 13. Motivos mencionados por los encuestados para evacuar ante una inundación	48
Tabla 14. Matriz de vulnerabilidad según variables e indicadores	52
Tabla 15. Matriz de vulnerabilidad de las comunidades estudiadas	53
Tabla 16. Resultados del análisis granulométrico en los 14 tramos estudiados	56
Tabla 17. Resultados del análisis granulométrico por margen	58
Tabla 18. Resultados de la textura de los sedimentos en los 14 tramos estudiados.....	59
Tabla 19. Resultados de la textura de los sedimentos por márgenes del río.....	60
Tabla 20. Caudales máximos para los diferentes periodos de retorno.....	63

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación del flujo	7
Figura 2. Representación de las secciones de cálculo e ilustración de los valores de concentración y expansión de un puente	14
Figura 3. Mapa de ubicación de comunidades de la microcuenca del río Talgua	16
Figura 4. Mapa de vulnerabilidad en la microcuenca del río Talgua	17
Figura 5. Riesgos a deslizamientos en la microcuenca del río Talgua	17
Figura 6. Mapa de exposición a inundaciones en Honduras	20
Figura 7. Mapa de ubicación de la zona de estudio.....	25
Figura 8. Distribución espacial de puntos potenciales para el muestreo de sedimentos en la llanura de inundación.....	33
Figura 9. Recolección de submuestras en diferentes márgenes: a. Margen central y b. Margen derecho.....	33
Figura 10. Imágenes de comparación para valores de Manning en el centro del cauce.....	40
Figura 11. Curvas granulométricas de los 14 tramos estudiados.....	55
Figura 12. Curvas granulométricas por margen del río Talgua	57
Figura 13. Variación de la densidad aparente de los sedimentos en función de los 14 tramos	61
Figura 14. Representación del eje del cauce y la distribución de secciones transversales.....	63
Figura 15. Mapa de representación de la lámina de inundación para un periodo de retorno de 50 años.....	64
Figura 16. Mapa de representación de la lámina de inundación para un periodo de retorno de 100 años.....	65
Figura 17. Mapa de representación de la lámina de inundación para un periodo de retorno de 200 años.....	65

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Encuesta aplicada a pobladores de las comunidades	77
Anexo 2. Protocolo de entrevista semiestructurada para diagnosticar factores que contribuyen al éxito de las evacuaciones y la resiliencia en la comunidad ante inundaciones	82
Anexo 3. Protocolo de observación de vulnerabilidad de las comunidades ante inundaciones	83
Anexo 4. Valores de las constantes reducidas σ_N y Y_n en función del número de años de registro (N), utilizadas para la estimación de caudales máximos mediante el método de Gumbel	84
Anexo 5. Valores de $N \propto \delta m$ en función de $\emptyset$	85
Anexo 6. Matriz del protocolo de observación para la comunidad de Guanaja.....	82
Anexo 7. Matriz del protocolo de observación para la comunidad de La Unión.....	84
Anexo 8. Matriz del protocolo de observación para la comunidad de Riveras de Talgua	86
Anexo 9. Matriz del protocolo de observación para la comunidad de El Espino	88

Beltrán López, M. I. 2025. Modelamiento hidráulico para la generación de escenarios de inundación en la parte baja de la microcuenca de Talgua, Catacamas, Olancho. Informe final de investigación. Ingeniería en Gestión Integral de los Recursos Naturales. Universidad Nacional de Agricultura. Catacamas, Olancho, Honduras. 105 pág.

RESUMEN

El presente estudio se realizó en cinco comunidades de la parte baja de la microcuenca del río Talgua, abarcando un tramo de 14 kilómetros. El objetivo principal de la investigación fue analizar el comportamiento hidráulico del río Talgua desde las cuevas de Talgua hasta la comunidad del Carbón mediante el uso del programa HEC -RAS 6.6. Este sitio fue seleccionado por su historial de inundaciones y la presencia de comunidades expuestas en planicies adyacentes al cauce. Se realizó un análisis integral para poder establecer el comportamiento hidráulico del río, y para ello se recopiló información de percepciones comunitarias mediante encuestas y entrevistas, la caracterización de sedimentos en diferentes tramos del río y la modelación hidráulica considerando periodos de retorno de 50, 100 y 200 años. Para ello se integró herramientas SIG, análisis granulométrico y datos hidrológicos procesados en *HEC-HMS Y HEC RAS*. Los resultados evidencian que desde la percepción comunitaria los cultivos fueron identificados como los elementos más vulnerables (100% de las afectaciones en el Carbón y 47% en el Espino), seguidamente de las viviendas en el Espino (40%) y Riberas de Talgua con (37.5%). Los pobladores señalaron que la proximidad al cauce del río y la modificación del mismo incrementen la exposición y el riesgo frente a las inundaciones. En la caracterización de sedimentos, predominó la arena francosa con contenidos superiores al 76% en la mayoría de los tramos, aunque en sectores específicos se registraron texturas franco arenosas con incrementos de limo (hasta 25%) y arcilla (12%). Asimismo, la densidad aparente varió entre 1.40 g/cm³ en la parte alta y 1.30 g/cm³ en la baja, reflejando mayor retención de humedad en los tramos inferiores. Se identificó que el margen izquierdo del cauce es el más afectado, posiblemente debido a mayor acumulación de sedimentos finos en la mayoría de los tramos, lo que favorece la retención de agua y aumenta la probabilidad de saturación del suelo. Los caudales máximos estimados alcanzaron 186.83 m³/s para el periodo de retorno de 50 años, 203.17 m³/s para 100 años y 219.51 m³/s para 200 años. La cartografía de inundación evidencio que las áreas afectadas se mantienen constantes entre los tres escenarios, aumentando únicamente la profundidad del agua en las mismas zonas.

Palabras clave: Capacidad de respuesta, fotogrametría, modelación hidráulica, periodo de retorno, vulnerabilidad.

I. INTRODUCCION

De acuerdo con Scuderi *et al.* (2019), desde los comienzos de la historia, la humanidad ha evolucionado en un entorno hostil, conviviendo con eventos catastróficos o desastres naturales que generan impactos con diferente grado de severidad. Entre estos fenómenos, los desastres más comunes se incluyen a los huracanes, inundaciones, sequías, deslizamientos e incendios. De todos ellos las inundaciones se destacan como una de las catástrofes naturales que mayor número de víctimas humanas y pérdidas económicas ocasionan a nivel mundial.

Según Orrego (2013), Honduras, por su posición geográfica, está situado en la ruta de tormentas tropicales y huracanes, lo que lo posiciona como uno de los 20 países más vulnerables a nivel mundial en cuanto a inundaciones y el más vulnerable a los huracanes según datos del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). A lo largo de la historia el país ha sufrido grandes pérdidas humanas, sociales, económicas y ambientales significativas debido a estas amenazas hidrometeorológicas.

Entre los eventos hidrometeorológicos más relevantes se mencionan el huracán Fifi en 1974, el huracán Mitch en 1998 y fenómenos más recientes ocurridos en el año 2020 entre el 01 y el 16 de noviembre, cuando Honduras fue afectada por dos fenómenos consecutivos, el primero la depresión tropical Eta, seguida del huracán Iota, que ingresó como tormenta tropical (Honduras y Coordinación 2021). Más recientemente, en noviembre del 2024 la tormenta Sara que impacto al país dejando evidenciada la alta vulnerabilidad que tiene el país frente a estos fenómenos extremos.

En este sentido, la necesidad de prevenir pérdidas humanas y económicas por eventos de inundación ha llevado a la creación de modelos de simulación que permiten identificar la extensión de la lámina de inundación y así mismo predecir el impacto en la población y de esta forma tomar estrategias y alternativas para mitigar las pérdidas. En tal caso existen ciertos programas como *HEC- RAS®*, *HIDRO-BID®*, *MIKE FLOOD®*, *IBER®* entre otros, los cuales permiten simular eventos de inundación bajo diversos escenarios hidráulicos y climáticos.

Particularmente, el modelo *HEC- RAS®* se ha convertido en una herramienta ampliamente utilizada para los análisis hidráulicos de cauces abierto, ya que permite realizar cálculos unidimensionales y bidimensionales bajo régimen permanente y no permanente, proporcionando resultados confiables sobre velocidades, niveles de agua, y zonas susceptibles a inundaciones.

Debido a ello, el estudio se realizó con el objetivo de analizar el comportamiento hidráulico en la parte baja de la microcuenca del río Talgua utilizando el modelo *HEC-RAS®* 6.6 determinando las áreas más vulnerables a inundaciones bajo tres diferentes periodos de retorno. También se identificaron y cartografiaron las zonas inundables, con el fin de aportar insumos útiles a las autoridades para la implementación de lineamientos de gestión del riesgo en esta región.

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Analizar el comportamiento hidráulico del río Talgua desde las cuevas hasta la comunidad del Carbón mediante el uso del programa *HEC -RAS* 6.6.

2.2. Objetivos específicos

Identificar las zonas vulnerables a inundaciones según la percepción de los pobladores en comunidades adyacentes al río Talgua.

Caracterizar los sedimentos presentes en las llanuras de inundación del río Talgua.

Elaborar cartografía de las áreas propensas a inundación considerando periodos de retorno de 50,100 y 200 años.

III. JUSTIFICACIÓN

La microcuenca del río Talgua enfrenta una alta vulnerabilidad debido a los impactos tan recurrentes de los fenómenos naturales, especialmente de las inundaciones. Esta vulnerabilidad quedó evidenciada en los impactos causados por las tormentas Iota y Eta en el año 2020, donde se observaron grandes problemas debido a las inundaciones, afectando cultivos y todos los medios de vida de las personas aledañas al río, deslizamientos que obstruyeron vías de acceso y la pérdida de infraestructura básica; esto hace a la microcuenca una zona prioritaria de atención.

A pesar de la importancia de esta región para la economía local, existe una limitada información científica sobre el comportamiento hidráulico del río Talgua. Este vacío dificulta la planificación territorial y la implementación de medidas de mitigación y gestión de riesgos. En este sentido se realizó el modelamiento hidráulico de la zona baja de la microcuenca del río Talgua, mediante un enfoque que proporcionará una base para identificar áreas críticas y evaluar los riesgos de inundación.

Los resultados de este estudio no solo beneficiarán a las comunidades locales y a las autoridades municipales de Catacamas, sino que también contribuirá al desarrollo de estrategias de gestión de riesgos en la región y dimensionamiento de nuevos proyectos, como redes de alcantarillado, puentes, etc.

IV. REVISION DE LITERATURA

4.1. Modelación hidráulica

El sistema semejante reducido o simplificado es lo que llamamos modelo, frente a la realidad que llamamos prototipo. Los principios en que se basa este procedimiento incluyen las teorías de similitud hidráulica. En hidráulica, la modelación se usa para la simulación de situaciones reales que se producen en el prototipo y cuyo comportamiento se desea conocer; puesto que modelo y prototipo están ligados el uno con el otro, las observaciones y estudio del modelo constituyen la información necesaria para comprender la naturaleza del prototipo, debiendo para ello, estar ambos relacionados (Garcia 2015).

Entonces los modelos hidráulicos, se necesitan para la solución de problemas relacionados con las estructuras hidráulicas, fenómenos de infiltración o tramos de ríos y recientemente con el transporte de sedimentos. Los estudios en modelos de ríos son usados para resolver problemas de regulación de ríos o desarrollos hidroenergéticos, determinar el tiempo de desplazamiento de ondas de inundación por los cauces de los ríos, métodos para el mejoramiento de canales para la transmisión de inundaciones con menos riesgo de desbordamiento sobre las orillas (Garcia 2015).

De acuerdo con el Instituto de Hidrología Metereología y Estudios Ambientales de Colombia IDEAM (2018), la modelación hidráulica consiste en un procedimiento técnico que busca simular un fenómeno natural (mundo real) que, para el caso de interés, se enfoca en determinar el movimiento o dinámica del agua, utilizando modelos (simplificación) físicos y/o matemáticos.

4.1.1. Diferencia entre modelación hidrológica e hidráulica

Para enmarcar el contexto de la modelación de interés, se acostumbra hablar de modelación hidrológica e hidráulica (hidrodinámica), para lo cual, es importante distinguir para cada una de ellas su objetivo y alcance; para el caso de la modelación hidrológica, se tiene como objetivo principal estimar la cantidad (volumen) de agua que puede ingresar al sistema que se está estudiando, mientras que la modelación hidráulica busca determinar o representar cómo es el movimiento de la misma dentro del sistema; luego, toma importancia en esta segunda, tener control sobre las variables relevantes como lo son: el nivel (altura o profundidad de agua y velocidad o caudal (Galvis Castro 2019).

4.1.2. Clasificación de los modelos hidráulicos

Un modelo, físico o matemático, es una representación simplificada de un aspecto de la naturaleza y, en muchos casos, de las obras construidas en ella. La construcción de modelos no sólo es un método admitido, sino que es el que ha permitido el progreso de la ciencia (Felices 2003).

Según (Garcia 2015), para estudiar la mecánica de fluidos, y en particular el agua, se han utilizado estos modelos hidráulicos, los cuales simulan de manera cercana a la realidad el comportamiento del agua y se clasifican de dos formas:

a) Modelos hidrodinámicos y CFD

Los modelos hidrodinámicos son una herramienta matemática y computacional que simula el comportamiento del agua en movimiento, incluyendo variables como velocidad, nivel de agua y dirección de flujo. Estos modelos se basan en ecuaciones como la ecuación de Saint-Venant para describir el flujo del agua sobre la superficie del suelo y la ecuación de Richards para modelar el flujo del agua en el suelo (Saucedo *et al.* 2011).

Un Modelo numérico hidrodinámico asume que el fluido es agua, incompresible, bajo el efecto de la gravedad, régimen turbulento, rugoso e hidrostático (ejemplos: *HECRAS*®, *IBER*®, *RIVER2*®). Un Modelo de Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) es general y aplicable a cualquier fluido bajo cualquier condición física (ejemplo: *Flow-3D*®) (Galvis Castro 2019).

b) Modelos físicos

Estos modelos son una representación a escala del objeto real y cumple ciertas condiciones matemáticas de fin. Muchos de los fenómenos que ocurren en la naturaleza y dentro del campo de la hidráulica son tan complejos que no es fácil tratarlos únicamente con métodos matemáticos. De modo que es conveniente recurrir al empleo de técnicas experimentales.

4.1.3. Flujos a superficie libre

El flujo de superficie libre se caracteriza por tener una interfaz entre el líquido y un gas (agua y aire atmosférico). Esto se refiere al movimiento de un fluido, generalmente agua, que se encuentra en contacto con la atmósfera y no está confinado por un contenedor sólido en la parte superior. Este tipo de flujo es característico de canales abiertos, ríos y otras superficies donde el líquido está expuesto al aire (Lorenzo *et al.* 2010).

Lorenzo *et al.* (2010), menciona que los flujos se pueden clasificar en función del tiempo, en función del espacio y características o propiedades de los fluidos.

a) Flujo no permanente

Las propiedades de un fluido y las características mecánicas del mismo serán diferentes de un punto a otro dentro de su campo, además estas características como la velocidad del caudal aumenta o disminuye con el tiempo, puede variar de un instante a otro. También es llamado como flujo no estacionario.

b) Flujo permanente

Se caracteriza porque las condiciones de velocidad de escurrimiento en cualquier punto no cambian con el tiempo, es decir que permanece constante. El flujo permanente es más simple de analizar que el no permanente, por la complejidad que le adiciona el tiempo como variable independiente.

Se dice que el flujo es permanente cuando los parámetros (tirante, velocidad y área, entre otros) no cambian con el tiempo, es decir, en una sección del canal en todos los elementos del flujo permanecen constante en todo momento (Paiz 2021).

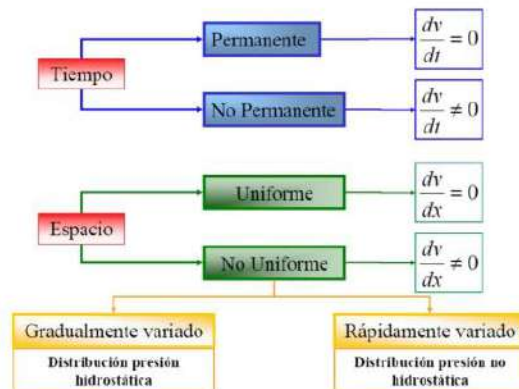


Figura 1. Clasificación del flujo

Fuente: Curso Hec RAS, Oliveros

4.2. Programas y software de modelización hidráulica e hidrodinámica

Actualmente, existe gran variedad de modelos comerciales de probado reconocimiento en 1D, entre los más reconocidos están los modelos *MIKE 11*®, *SOBEK*®, *ISIS*®, *HEC-RAS*®, entre otros. Entre ellos destaca el modelo *HEC-RAS*® del *Hydraulic Engineering Center* (HEC) del *U.S. Army Corps of Engineers*, por ser un *software* de dominio público, sencillo y de amplia difusión, que permite resolver la gran mayoría de problemas que podemos encontrar en sistema hidráulicos formados por un canal o una red abierta o cerrada de canales (Reyes Luna 2014).

4.2.1. Modelos de estimación de inundaciones

Según Alexander *et al.* (2015), existe una amplia variedad de modelos de simulación de inundaciones, algunos de ellos utilizan un enfoque en 1D y en 2D, y también existen otros que integran ambos modelos 1D-2D. La tecnología ha avanzado a un nivel en el que algunos programas presentan una imagen realista de la zona que se están investigando, ofreciendo una mejor perspectiva de las áreas que pueden ser inundadas. La calidad del simulador de inundaciones depende de su capacidad para describir el sistema físico, a partir de datos topográficos, ya que algunos *softwares* se apoyan mucho en programas topográficos.

De acuerdo con Hernández (2017), estos modelos pueden dividirse en 2 categorías:

a) Modelo unidimensional

En los métodos de una dimensión se considera el río como una línea, con una serie de puntos de cálculo que son las secciones transversales, de manera que la geometría del cauce es una propiedad de cada punto de cálculo o sección. Para utilizar estos métodos, se deben cumplir algunas hipótesis básicas que influyen los resultados del modelo, podemos mencionar que el flujo de agua se produce en el sentido del eje del río y es perpendicular a cada sección transversal; la cota y la velocidad del agua es constante en cada sección. El modelo más utilizado para métodos unidimensionales es el *HEC-RAS®*.

b) Modelo bidimensional

El río se representa como una malla formada por una serie de celdas poligonales que representan la topografía del cauce y llanuras de inundación. Dicha malla puede ser regular o irregular, estructurada o no estructurada. Dentro de este se pueden encontrar modelos como *IBER®*, el cual consta de un módulo hidrodinámico que permite la simulación bidimensional de cauces y en consecuencia posibilita la definición de zonas inundables, la delimitación de vías de intenso desagüe o en general la zonificación del dominio público hidráulico (Alexander *et al.* 2015).

4.2.2. HEC RAS®

Este modelo fue desarrollado por el Centro de *Ingeniería Hidrológica (Hydrologic Engineering Center)* del cuerpo de ingenieros de la Armada de los Estados Unidos de Norteamérica (*US Army Corps of Engineers*).

Reguera (2016), menciona que el modelo de *HEC-RAS®* se basa en ecuaciones diferenciales determinísticas, que al ser solucionadas permiten pronosticar la dinámica de los niveles de agua en los eventos hidrometeorológicos extremos de inundación, definiendo las cotas de inundación a través de perfiles transversales, simulando de manera aproximada el comportamiento de la dinámica del recurso hídrico y del cauce. La aplicación del modelo requiere información de entrada la geometría del canal, condiciones de contorno, información de cursos tributarios y características de rugosidad del canal.

Este modelo incluye un módulo que permite hacer el análisis del flujo unidimensional en régimen permanente y no permanente, que, aunque representa una simplificación importante del fenómeno de propagación de una avenida, en muchos casos es una aproximación suficientemente adecuada para predecir niveles de agua (Galvis 2019).

4.2.3. Información básica requerida para la modelación hidráulica

a) Usos del suelo

Se denomina a los usos de suelo como “la categorización de la superficie terrestre en distintas unidades según sus propiedades biofísicas, por ejemplo: superficie urbana, cultivos, zonas forestales, entre otros”. Interesa el conocimiento de los usos de suelo dentro de un modelo hidráulico, ya que según la tipología de actividad que se desarrolle cada suelo, y la composición de este, el terreno tendrá una mayor o menor rugosidad, que se determina mediante el parámetro de Manning (Rodríguez 2020).

b) Geología y sedimentos

En los estudios hidrológicos es importante conocer la geología del terreno dado que existe una estrecha relación de esta con las inundaciones, ya que determina las características de los márgenes del río influyendo en la manera que el agua interacciona con el terreno. Debido a ello la geología afecta la resistencia del terreno a la erosión, el tipo de sedimentos que se encuentran en los márgenes, y la estabilidad general del cauce (Rodríguez 2020).

De acuerdo con González *et al.* (2014), la composición de sedimentos de las orillas y el lecho del río, como rocas, arenas, arcillas o limos, afecta la resistencia a la erosión debido a que un cauce con roca sólida es más estable y menos susceptible a cambios rápidos, mientras que uno con materiales sueltos o sedimentos más finos es más vulnerable a ser erosionado. Además, estos sedimentos pueden determinar cuánta agua puede infiltrarse en el terreno. Los suelos permeables permiten una mayor infiltración, lo que puede reducir el volumen de escorrentía superficial y ayudar a mitigar inundaciones. Diferente a terrenos con suelos impermeables, como los de roca compacta o arcilla que contribuyen a un mayor flujo superficial y, por ende, aumentan el riesgo de inundación (Alfaro *et al.* 2020).

c) Secciones transversales

Se debe incluir no sólo la parte húmeda del río, si no la topografía de la parte seca, mínimo hasta los taludes u “hombros” y unos 50 metros a ambos lados de cada sección. Si las distancias a modelar son más de unos 50 kilómetros se requeriría levantar secciones cada dos o tres kilómetros de distanciamiento entre ellas. Si lo que se pretende modelar son unos pocos kilómetros, el distanciamiento entre secciones transversales levantadas en campo sería de 200 o 250 metros (IDEAM 2018).

d) Niveles de caudales y precipitaciones

Se debe disponer de datos de niveles y caudales tanto en la entrada, como en la salida del trayecto a modelar que sirvan de frontera para la modelación.

e) Coeficientes de Manning

El coeficiente de rugosidad, también conocido como n de Manning, es un parámetro utilizado en hidrología e ingeniería hidráulica para describir la resistencia al flujo en canales abiertos y conductos naturales o artificiales (Moreira *et al.* 2024). Este es un valor que representa la rugosidad del lecho del canal o la superficie por la que fluye el agua y afecta la velocidad con la que esta se mueve a través del canal, este va dependiendo según el tipo de superficie; los materiales con una superficie rugosa, como lechos de río con rocas grandes o vegetación, tienen valores de n más altos, ya que ofrecen mayor resistencia al flujo.

Debido a esto el modelo hidráulico con *HEC-RAS*® se requiere ingresar valores de Manning(n) tanto en simulaciones con flujo permanente y no permanente. Estos valores se modificarán basándose en la información de campo que se disponga, el comportamiento y las características del cauce (Materon *et al.* 2006 citado por Córdova *et al.* 2022).

Tabla 1. Valores de coeficiente de rugosidad de Manning para secciones transversales

a) Canales sin vegetación	Coeficiente
Sección transversal uniforme, alineación regular sin guijarros ni vegetación, en suelos sedimentarios finos	0,016
Sección transversal uniforme, alineación regular, sin guijarros ni vegetación, con suelos de arcilla duros u horizontes endurecidos	0,018
Sección transversal uniforme, alineación regular, con pocos guijarros, escasa vegetación, en tierra franca arcillosa	0,020
Pequeñas variaciones en la sección transversal, alineación bastante regular, pocas piedras, hierba fina en las orillas, en suelos arenosos y arcillosos, y también en canales recién limpiados y rastrillado.	0,0225
Alineación irregular, con ondulaciones en el fondo, en suelo de grava o esquistos arcillosos, con orillas irregulares o vegetación	0,025
Sección transversal y alineación irregulares, rocas dispersas y grava suelta en el fondo, o con considerable vegetación en los márgenes inclinados, o en un material de grava de hasta 150 mm de diámetro	0,030
Canales irregulares erosionados, o canales abiertos en la roca	0,030
(b) Canales con vegetación	
Gramíneas cortas (50-150 mm)	0,030-0,060
Gramíneas medias (150-250 mm)	0,030-0,085
Gramíneas largas (250-600 mm)	0,040-0,150
(c) Canales de corriente natural	
Limpios y rectos	0,025-0,030
Sinuosos, con embalses y bajos	0,033-0,040
Con muchas hierbas altas, sinuosos	0,075-0,150

Fuente: (Hudson 1997)

Tabla 2. Valores de rugosidad para llanuras o planicies de inundación

Planicies de inundación	Mínimo	Normal	Máximo
a) Pastizales, sin matorrales			
Pasto corto	0.025	0.030	0.035
Pasto alto	0.030	0.035	0.050
b) Áreas cultivadas			
Sin cultivo	0.020	0.030	0.040
Cultivo en línea maduros	0.025	0.035	0.045
Campos de cultivo maduro	0.030	0.040	0.050
c) Matorrales			
Matorrales dispersos, mucha maleza	0.035	0.050	0.070
Pocos matorrales y árboles, en invierno	0.035	0.050	0.060
Pocos matorrales y árboles, en verano	0.040	0.060	0.050
Matorrales medios a densos, en invierno	0.045	0.070	0.110
Matorrales medios a densos, en verano	0.070	0.100	0.160
d) Árboles			
Sauces densos, rectos y en verano	0.110	0.150	0.200
Terreno limpio, con troncos sin retoños	0.030	0.040	0.050
Igual que el anterior, pero con una gran cantidad de retoños	0.050	0.060	0.050
Gran cantidad de árboles, algunos troncos caídos, con poco crecimiento de matorrales, nivel del agua por debajo de las ramas	0.080	0.100	0.120
Igual que la anterior, pero con nivel de creciente por encima de las ramas.	0.100	0.120	0.160

Fuente: (Hudson 1997)

Otro valor importante para considerar, son los coeficientes de concentración y expansión en puentes. Es necesario concretar como se acerca, cruza y se aleja el flujo de acuerdo con el puente *US Army Corps of Engineers* (2010).

HEC- RAS utiliza cuatro secciones reales de cálculo próximas al puente (4 y 3) y las dos secciones aguas abajo (2 y 1). Las secciones 3 y 2 son utilizadas por el programa para incorporar la geometría del puente y las secciones 4 y 1 son de control de aproximación del flujo.

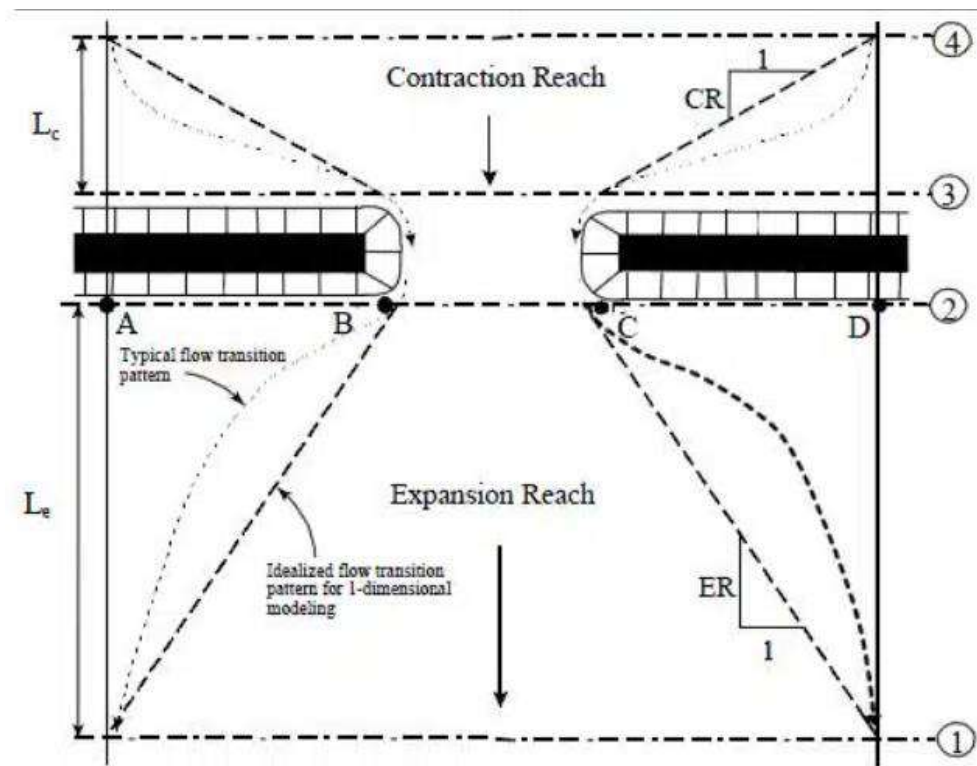


Figura 2. Representación de las secciones de cálculo e ilustración de los valores de concentración y expansión de un puente

Fuente: *US Army Corps of Engineers* (2010).

Los coeficientes de contracción y expansión del flujo son los que utiliza el modelo para determinar las pérdidas de energía de transición de dos secciones adyacentes. Los coeficientes son valores tabulados en el Hydraulic Reference Manual, normalmente, para los puentes se usan como coeficientes 0.3 para la contracción y 0.5 para la expansión. Estos coeficientes deben aplicarse a las secciones 4, 3 y 2 que definen el ámbito del puente (HidrojIng 2013).

4.3. Microcuenca del río Talgua

De acuerdo con Reyes Sandoval *et al.* (2006) la microcuenca del río Talgua es un caso representativo de condiciones de alta vulnerabilidad. La presencia de asentamientos humanos en zonas de alto riesgo, el uso excesivo de los recursos naturales, los altos niveles de pobreza, la construcción de viviendas con materiales muy frágiles y la falta de entendimiento antes los riesgos aumentan la vulnerabilidad y limitan significativamente la capacidad de gestión y acción necesaria para la prevención de desastres naturales.

Según Castañeda y Villatoro (2006), la red de drenaje de la microcuenca del río Talgua está conformada por cauces y pequeñas corrientes que confluyen en: Quebrada de Agua, río Seco y Quebrada el Pinabetal, que en conjunto conforman el colector principal del río Talgua formando la principal fuente de abastecimiento de agua potable para las 16 comunidades distribuidas; seis en la parte alta (figura 3) y 10 comunidades abajo, estas últimas fuera del área de la microcuenca, pero de igual manera su fuente de abastecimiento es la microcuenca del río Talgua. Sin embargo, gran parte de estas comunidades se encuentran vulnerables a fenómenos naturales tal como las inundaciones.

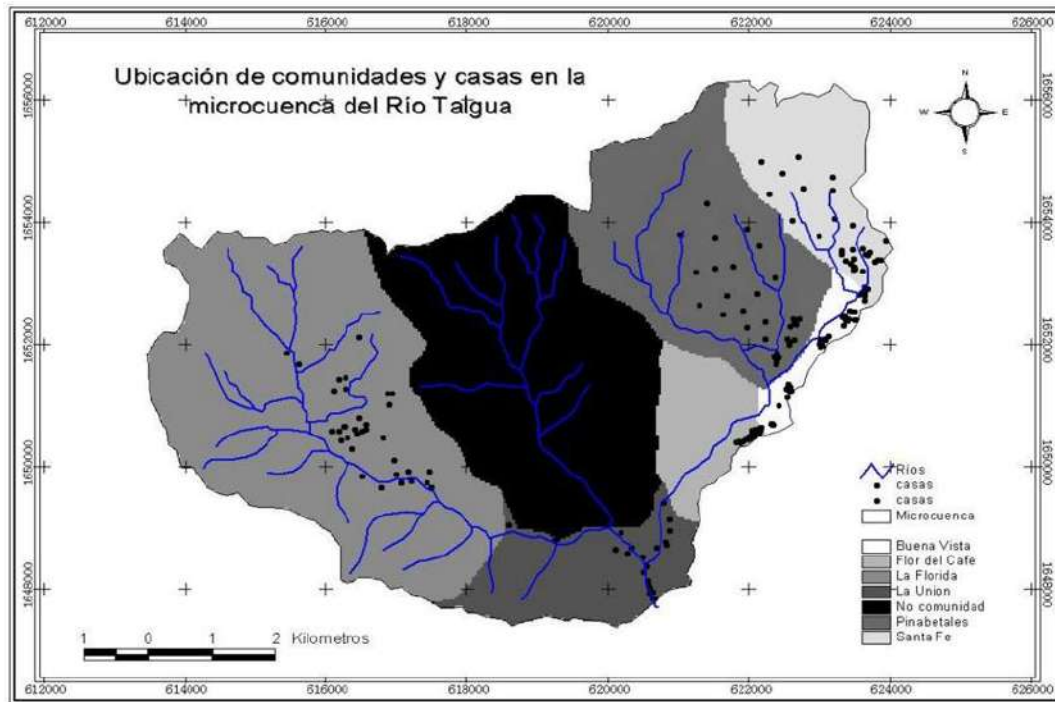


Figura 3. Mapa de ubicación de comunidades de la microcuenca del río Talgua

Reyes W. M. (2003), menciona que 66% del área de la microcuenca presenta un alto nivel de vulnerabilidad, el 8% en vulnerabilidad media y el 26% de la microcuenca presenta vulnerabilidad baja frente a los fenómenos naturales, como se presencia en la (figura 4). Cuando se integran las áreas vulnerables con los factores críticos, los hallazgos resaltan que el 20% del área de la microcuenca se encuentra en un nivel de riesgo bajo, el 27%, un nivel de riesgo medio y el 53% un nivel de riesgo alto (Figura 5).

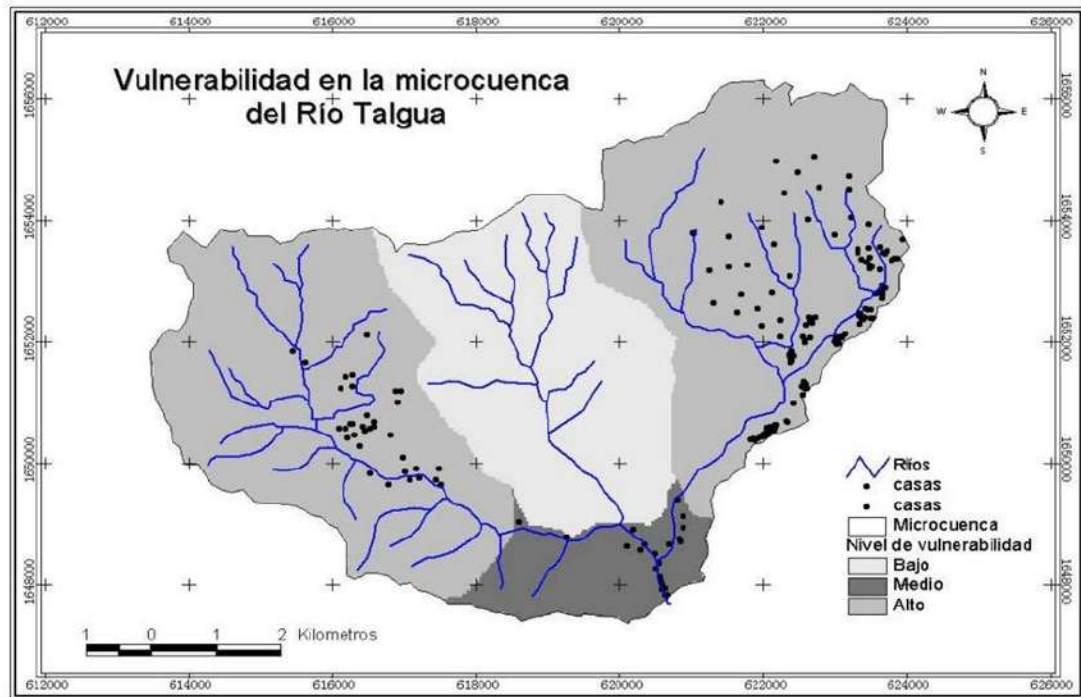


Figura 4. Mapa de vulnerabilidad en la microcuenca del río Talgua

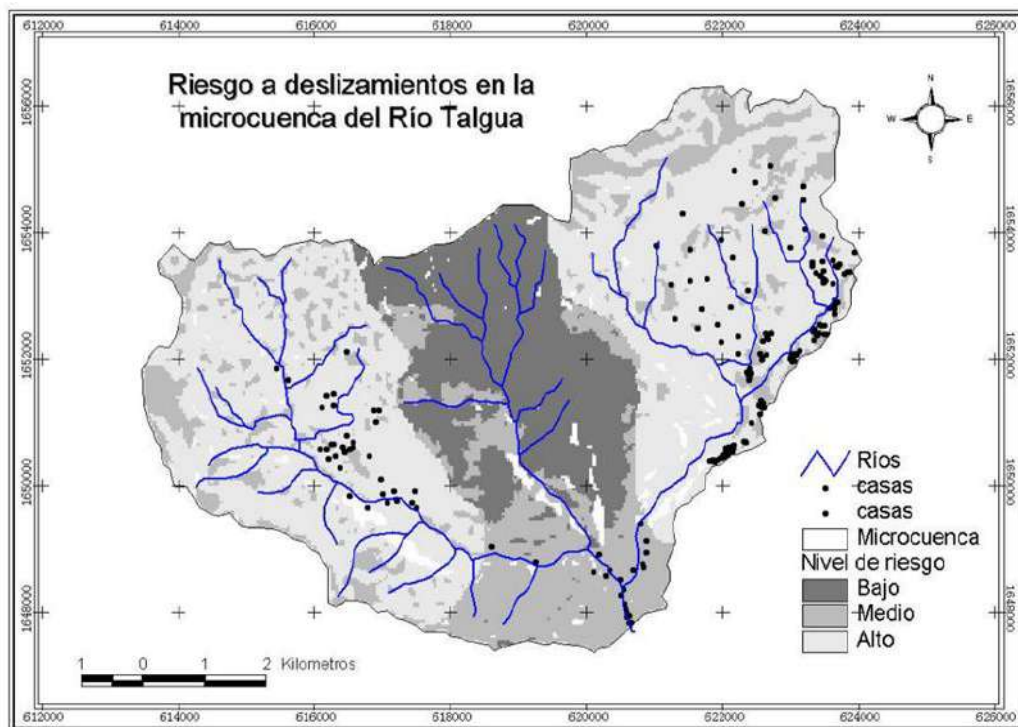


Figura 5. Riesgos a deslizamientos en la microcuenca del río Talgua

4.4. Inundaciones

Según Americanos (1993), “las inundaciones son el resultado de lluvias fuertes o continuas que sobrepasan la capacidad de absorción del suelo y la capacidad de carga de los ríos, riachuelos y áreas costeras, esto hace que un determinado curso de aguas rebalse su cauce e inunde tierras adyacentes.” Entre las causas más comunes de las inundaciones están las de carácter natural, como, por ejemplo: lluvias persistentes sobre una misma zona durante cierto lapso de tiempo, lluvias muy fuertes, aunque sea por tiempo corto, ascenso repentino de las mareas debido a tormentas, obstrucción de los cauces de ríos debido a derrumbes o sismos y rompimiento súbito de una gran represa, que puede darse por una sobrecarga en el aumento del caudal de las aguas, o por sismo (Americanos 2010).

4.4.1. Inundaciones en Honduras

Honduras es un país montañoso con estrechas franjas costeras abiertas al mar Caribe y al océano Pacífico situado en la ruta de tormentas tropicales y huracanes. Según datos del PNUD (2013), “el país es uno de los 20 más vulnerables del mundo en cuanto a inundaciones y el más vulnerable a los huracanes”. A lo largo de su historia, las graves consecuencias de las amenazas hidrometeorológicas han causado en Honduras enormes pérdidas humanas, sociales, económicas y ambientales. “En el último siglo, casi cinco millones de personas han resultado afectadas por los desastres naturales, los más dañinos han sido los 19 huracanes que han asolado la región, causando la muerte de casi 25 000 personas” (FAO 2020).

Honduras ha enfrentado diversas amenazas naturales, que provocaron 82 desastres entre 1970 y 2020, de los cuales 67 tuvieron causas hidrometeorológicas o climáticas, destacando los desastres generados por los huracanes Fifi en 1974 y Mitch en 1998, que causaron 8,000 y 14,000 muertes, respectivamente. Las tormentas e inundaciones se han hecho cada vez más frecuentes en el país. Entre ambos huracanes, ocurrieron seis tormentas, y entre el huracán Mitch y la tormenta tropical Eta y junto con el huracán Iota, ocurrieron 11 tormentas tropicales (Desarrollo 2021).

4.4.2. Zonas de alta susceptibilidad a inundaciones

El 12% del territorio del territorio hondureño es susceptible a inundaciones, según revela el último informe “Atlas climático y gestión de riesgo de Honduras” elaborado por el Instituto Hondureño de Ciencias de la Tierra (2012), este porcentaje es muy alto considerando que el 65% total de territorio de Honduras es montañoso (Hernandez 2022).

En Honduras las zonas susceptibles a inundaciones son aquellas cartografiadas (en el mapa geológico de Honduras) como cuaternario aluvial, con pendientes inferiores o iguales al 2% y situadas hasta 3 metros de altura por encima del cauce de los ríos, entre las zonas más vulnerables se encuentran: la costa atlántica, especialmente las zonas de Cortes, Colón y Atlántida, la costa del Pacífico, en particular los departamentos de Choluteca y Valle, el departamento de Gracias a Dios, El valle de Sula, en la zona norte de Honduras, debido a que sus planicies están cruzadas por dos de las cuencas más importantes del país, Tegucigalpa y Comayagüela, donde hay alrededor de 700 colonias susceptibles a daños por lluvias y también Catacamas, Olancho (UNAH 2020).

4.4.3. Zona de susceptibilidad moderada a inundaciones

Son aquellas zonas cartografiadas como cuaternario aluvial, con pendientes inferiores o iguales al 2% y situadas entre tres y diez metros de altura por encima del cauce de los ríos. Entre estas zonas se encuentran ciertas regiones a lo largo de la costa norte del país, principalmente en áreas cercanas al mar Caribe y en la parte nororiental, cerca de la frontera con Nicaragua, también se encuentran ciertas regiones en el sur del país, cercanas a la frontera con El Salvador y en algunas partes al oeste de la región central, cerca de la frontera con Guatemala (IHCIT 2012), y las zonas no inundables son aquellas que no cumplen con las características anteriores.

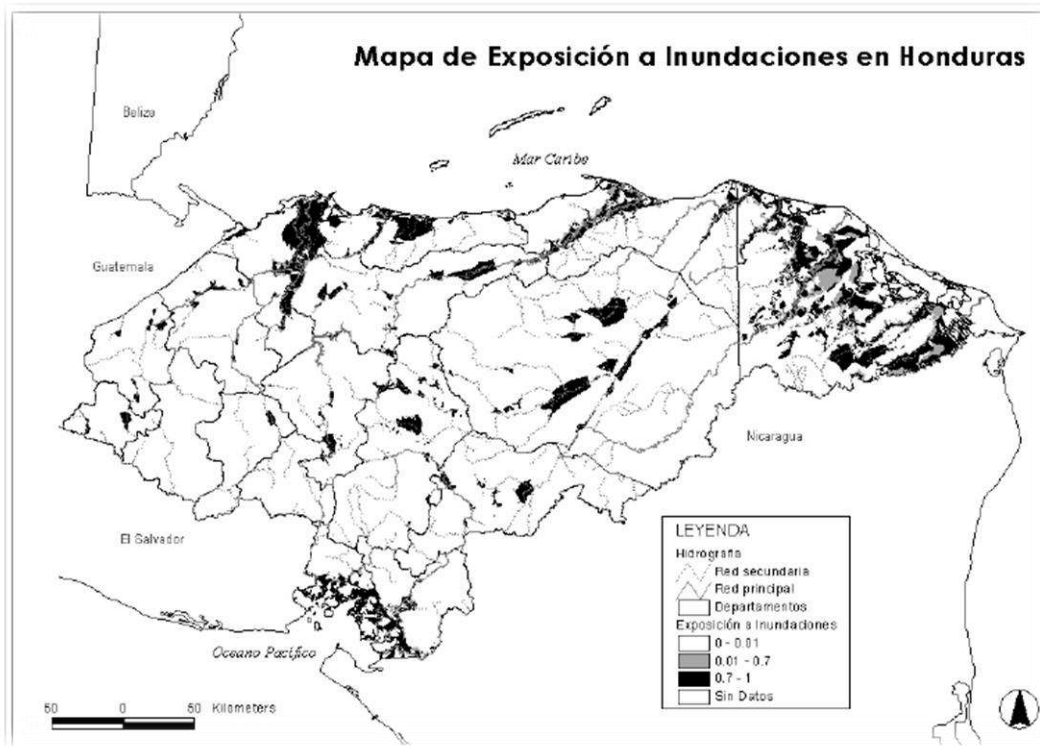


Figura 6. Mapa de exposición a inundaciones en Honduras

Fuente: (UNAH, 2020)

4.4.4. Riesgo por inundaciones

Según Morales *et al.* (2021), “las inundaciones representan el peligro de origen natural más frecuente en el planeta que mayor daños económicos y pérdidas humanas ocasiona”, estas consecuencias desastrosas suelen ser el resultado de una combinación de procesos interconectados, como la deforestación y los cambios en el uso de la tierra que desestabilizan el suelo, las infraestructuras humanas que impiden el drenaje natural del agua, los patrones meteorológicos, y los cambios en los asentamientos humanos, con más personas viviendo en zonas propensas a las inundaciones. En consecuencia, la capacidad de la naturaleza para absorber las lluvias torrenciales se debilita a medida que la acción humana degrada el medio ambiente y la intensidad de las precipitaciones aumenta (ACNUR 2024).

La amenaza de inundación está en función de la probabilidad de ocurrencia del evento y de su intensidad. La intensidad a su vez se puede definir en función de la profundidad y la velocidad del agua, así como de la duración de las inundaciones. Por tanto, la definición de amenaza por inundaciones (en función del daño potencial), debe tener en cuenta, tanto la probabilidad o frecuencia de ocurrencia de la inundación, como los niveles o altura del agua (IHCIT 2012).

4.4.5. Clasificación de las inundaciones

a) De acuerdo con el tiempo de respuesta de la cuenca

Los autores Guzmán y Muñoz (2019), señalan que la respuesta hidrológica de cuenca depende de diversas características geomorfológicas y fisiográficas. En cuencas con suelos permeables y cobertura vegetal densa tienden a retardar el flujo de agua, esto significa que en cuencas cuya respuesta hidrológica es lenta se generan avenidas en un tiempo relativamente largo es decir varias horas o días (García 2021), mientras que cuando la inundación se forma en poco tiempo (minutos o un par de horas) se llama inundación súbita, causando grandes desastres como pérdidas humanas y económicas. De acuerdo con lo mencionado existen dos grupos de inundaciones; inundaciones lentas e inundaciones rápidas (Americanos S. G. 2010).

1. Inundaciones dinámicas o rápidas

Estas se producen en ríos cuyas cuencas presentan fuertes pendientes (Abancay 2017). Las crecidas son repentinas y de corta duración, generando mayores daños en la población e infraestructura, debido a que el tiempo de reacción es prácticamente nulo. En esta la precipitación acumulada no supera los 80mm. produciéndose las llamadas *flash-floods* o inundaciones súbitas.

2. Inundaciones estáticas o lentas

Generalmente se producen cuando las lluvias son persistentes y generalizadas, producen un aumento paulatino del caudal y del río hasta superar su capacidad máxima de transporte, por lo que el río se desborda, inundando áreas planas cercanas al mismo, a estas áreas se les denomina llanuras de inundación.

b) De acuerdo con su origen

“Cuando se clasifican las inundaciones de acuerdo con su origen, se analiza los factores o condiciones que las desencadenan, lo cual ayuda a entender tanto sus causas como su comportamiento” (Floodup s.f.).

1. Inundaciones pluviales

Se produce por la acumulación de agua de lluvia en un determinado lugar o área geográfica sin que este fenómeno coincida necesariamente con el desbordamiento de un cauce fluvial. Este tipo de inundación se genera tras un régimen de lluvias intensas o persistentes, es decir, por la concentración de un elevado volumen de lluvia en un intervalo de tiempo muy breve o por la incidencia de una precipitación moderada y persistente durante un amplio período de tiempo sobre un suelo poco permeable.

2. Inundaciones fluviales

Causadas por el desbordamiento de los ríos y los arroyos. Es atribuida al aumento brusco del volumen de agua más allá de lo que un lecho o cauce es capaz de transportar sin desbordarse, durante lo que se denomina crecida (consecuencia del exceso de lluvias).

3. Inundaciones por operaciones incorrectas

La rotura de una presa, por pequeña que ésta sea, puede llegar a causar una serie de estragos no sólo a la población sino también a sus bienes, infraestructura y al medioambiente. También la obstrucción de cauces naturales o artificiales (obturación de tuberías o cauces soterrados) debida a la acumulación de troncos y sedimentos, puede provocar desbordamientos.

4.5. Sedimentos

Los sedimentos son materiales no consolidados que se generan durante los procesos de meteorización que sufren las rocas al estar expuestos a las condiciones ambientales; por lo tanto, las propiedades de los sedimentos se encuentran en función de la geología de la cuenca. Algunos procesos de meteorización fragmentan físicamente la roca sin modificar su composición original, mientras que otros la modifican químicamente dando lugar a nuevos minerales y a sustancias muy solubles en agua (Suarez *et al.* 2018).

El material resultante de los procesos de meteorización puede ser transportado por el agua, el viento o el hielo glacial, hasta los lugares donde sedimentan cuando la energía del medio de transporte disminuye (Tarbuck y Lutgens 2005 citado por Suarez *et al.* 2018).

De acuerdo con Huang (2006), una de las clasificaciones que admiten los sedimentos es la distinción entre cohesivos y no cohesivos, y aunque no existe una delimitación clara entre ellos, se considera no cohesivos a los sedimentos con tamaño de grano $>60\mu\text{m}$, mientras que aquellos $<2\mu\text{m}$ (arcillas) son generalmente cohesivos. Aunque los granos de tamaño más fino son considerados los más adherentes, los limos ($2\mu\text{m}$ - $60\mu\text{m}$) presentan propiedades aglutinantes debido a la presencia de las arcillas, por lo que en la práctica, limos y arcillas son considerados materiales cohesivos.

Sin embargo, Suarez *et al.* (2018), menciona que entre las clasificaciones de sedimentos existen diversas escalas que analizan el intervalo de tamaños sin tener en cuenta su comportamiento, algunas aplican criterios geométricos y otros logarítmicos (Tabla 3).

Tabla 3. Comparación de escala y denominación del tamaño de grano del suelo

Grados	Tipo	mm	Fracción	Micrón	Tamiz ASTM
Grava	Bloque	256			
	Guijón	64			5
	Guijarro	4			10
	Gránulo	2			
Arenas	Muy gruesa	1			18
	Gruesa	0,5	½	500	35
	Mediana	0,25	¼	250	60
	Fina	0,125	1/8	125	120
Limos	Muy fina	0,0625	1/16	62,5	230
	Grueso	0,031	1/32	31	
	Mediano	0,0156	1/64	15,6	
	Fino	0,0078	1/128	7,8	
Arcilla	Muy fino	0,0039	1/256	3,9	
		0,0020	1/512	2,0	P
		0,00098	1/1024	0,98	I
		0,00049	1/2048	0,49	P
		0,00024	1/4096	0,24	E
		0,00012	1/8192	0,12	T
		0,00006	1/16384	0,06	A

Fuente: (Perillo 2003)

El análisis granulométrico es una técnica ampliamente utilizada para caracterizar la distribución de tamaños de partículas en muestras de suelo (AASHTO 2021 citado por Gutiérrez 2023). Un análisis granulométrico ayuda en la comprensión de las características del suelo, como su origen, textura, y permeabilidad y susceptibilidad a erosión en inundaciones (Ovando y Araya 2018).

V. MATERIALES Y METODOS

5.1. Ubicación del sitio de estudio

El presente estudio se realizó en la parte baja de la microcuenca del río Talgua, Catacamas, Olancho, específicamente en un tramo de 14 km (desde la comunidad de La Unión, hasta el Carbón). Abarcando comunidades como: La unión Talgua, Guanaja, El Espino, La Universidad Nacional de Agricultura, El Sembrador y El Carbón.

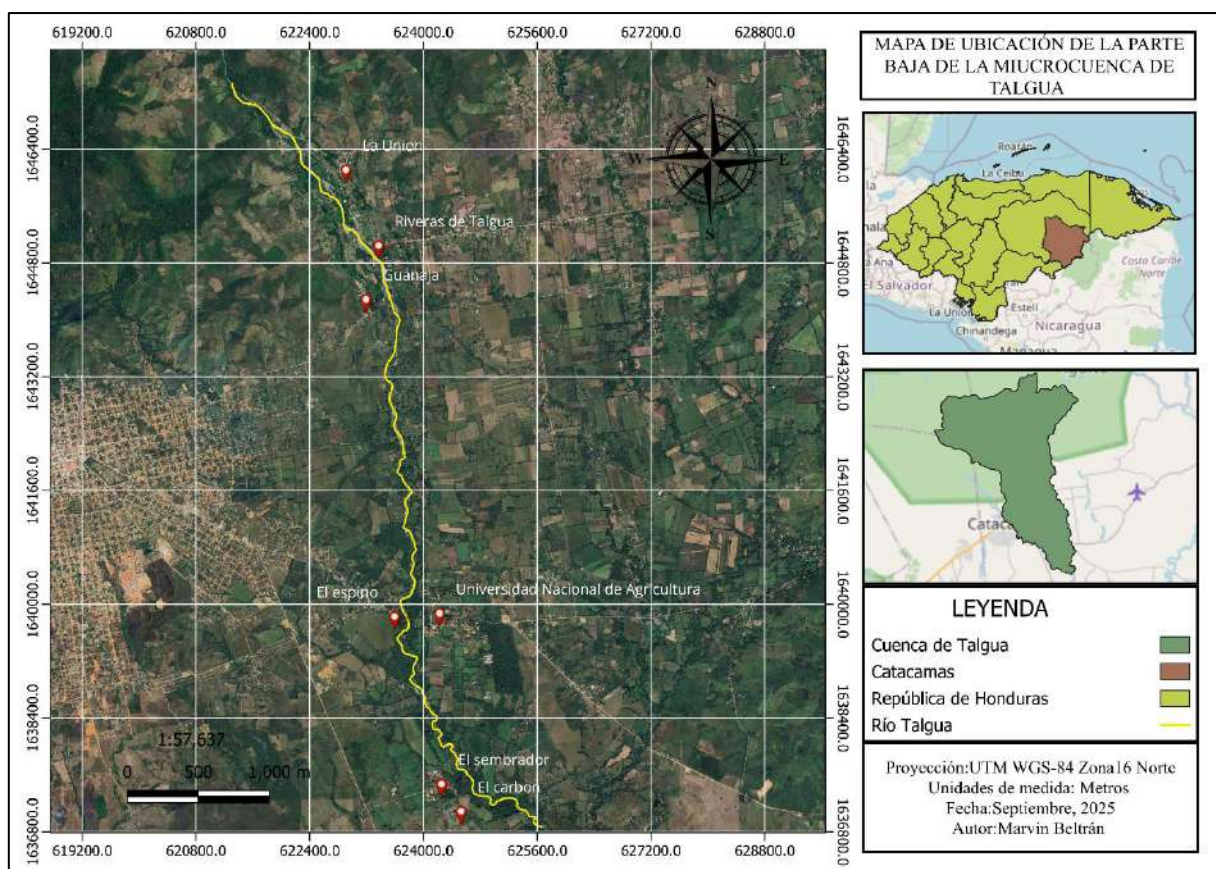


Figura 7. Mapa de ubicación de la zona de estudio

5.1.1. Características biofísicas del sitio de estudio

a) Clima

En la microcuenca predomina un clima variante lluvioso de altura (Reyes Sandoval y Serrano Rodríguez 2021), la precipitación promedio anual oscila entre los 1000 mm en la parte baja hasta los 2000 mm anuales en la parte alta. (Reyes W. M. 2003). La evapotranspiración potencial (ETP) anual se encuentra entre 1400 y 1600 mm y humedad relativa del 74%; los meses de junio y julio son los más lluviosos; febrero y marzo se identifican como los menos lluviosos. Según el análisis de los registros de los períodos de 1998-2019 y 2000-2015 de la estación climática de la ciudad de Catacamas, la precipitación media anual de la cuenca es de 1271 ± 209 mm (Reyes W. 2017).

La temperatura media anual se estima en 25.2 °C; marzo y abril son los meses más calientes que alcanzan temperaturas de 28 °C; en contraste, diciembre y enero son los meses más frescos al alcanzar 22 °C de temperatura media (Harris *et al.* 2020).

b) Pendiente

Las elevaciones dentro de la cuenca varían de 450 a 2350 m sobre el nivel del mar, el terreno es empinado con una pendiente media del 56% (Reyes 2017). Las alturas más frecuentes están comprendidas entre los 1300 y 1500 msnm abarcando un área de 1599 hectáreas equivalentes al 18.5 % del área total. Estas altitudes influyen en la hidrología de cuenca la cual presenta un alto potencial erosivo y rápido escurrimiento superficial, con moderado riesgo para concentrar el agua de precipitación en fenómenos extremos o lluvias torrenciales.

c) Suelos

Los suelos de toda la cuenca son Rendzina formados sobre sedimentos de material parental siliciclástico (92%) y plutónico (8%). Los suelos en la zona son mayormente arcillosos y francos arcillosos con mineralogía de tipo esmectítico, pudiendo desarrollarse, grietas (de uno a dos metros de profundidad) durante la estación seca. La geología está dominada por las rocas intrusivas del cretácico-terciario con una pequeña cantidad de pizarra, arenisca y carbón (Reyes 2017).

Sin embargo Reyes Sandoval y Serrano Rodríguez (2021), mencionan que se han desarrollado en toda la extensión de la cuenca, suelos de la serie Sulaco (Su). Estos son suelos bien drenados formados sobre calizas o mármol, donde son frecuentes los afloramientos rocosos y los precipicios, ubicados en relieves escarpados con pendientes mayores al 60%. En general, estos suelos son de vocación forestal caracterizados por su fuerte pendiente y baja profundidad.

d) Usos del suelo

Según Reyes W. M (2003), el 60% del área cuenta con cobertura boscosa, entre bosque primario y secundario, principalmente bosque latifoliado. El 36% está utilizado en actividades agrícolas, principalmente café, maíz, frijol y en menor escala hortalizas (repollo, tomate y cebolla). Un 1.8% cuenta con cobertura tipo regeneración natural y menos del 2% es utilizado para la crianza de animales vacunos.

Según el mapa de cobertura y uso del suelo del país creado por (ICF 2018), el área superficial de la cuenca está cubierta por bosque latifoliado húmedo que abarca desde los 1200 msnm y representa aproximadamente el 72% del área total. Los cultivos de maíz, frijol, pastos y cafetales abarcan un 21% del área por debajo de los 1200 msnm en Río Seco y Quebrada de Agua, y por debajo de 1400 msnm en la Quebrada Pinabetales. El 7% restante está ocupada por pequeñas áreas de vegetación secundaria húmeda, vegetación secundaria decidua, y árboles dispersos fuera del bosque.

5.2. Materiales y equipo

Para el desarrollo de esta investigación se emplearon encuestas, entrevistas semiestructuradas, un protocolo de observación y mapas interactivos. Asimismo, se utilizó un dron Phantom 4 RTK junto con el programa *Agisoft Metashape*® para la generación del modelo digital del terreno (MDT). En la fase de muestreo de sedimentos se utilizó un barreno de tipo holandés, bolsas plásticas, cinta métrica, tamices, horno, y cilindros metálicos.

El modelamiento hidráulico se realizó mediante el programa *HEC RAS*® versión 6.6. Finalmente, los resultados obtenidos fueron cartografiados utilizando el *software QGIS*®.

5.3. Enfoque metodológico

El estudio tiene un enfoque de investigación mixta, ya que permite la exploración de la información recolectada (cualitativa/cuantitativa). La fase cuantitativa se basó en la recolección y análisis de datos numéricos (la granulometría, densidad aparente de los sedimentos, datos hidrológicos, hidráulicos y geométricos). Por su parte la fase cualitativa que integró la percepción de los pobladores ubicados en zonas vulnerables.

La investigación es de tipo descriptivo, ya que tiene como propósito describir características hidrológicas e hidráulicas, así mismo caracterizar los sedimentos presentes en la parte baja de la microcuenca del río Talgua.

5.4. Variables evaluadas

- Vulnerabilidad en base a la percepción de la población
- Granulometría
- Textura
- Densidad Aparente
- Caudales máximos
- Topografía
- Geometría del río
- Coeficiente de Manning

5.5. Fase 1: Obtención de percepciones locales sobre inundaciones

Se realizó giras de campo en comunidades ubicadas en la parte baja de la microcuenca del río Talgua, las cuales fueron previamente seleccionadas debido a su historial de afectaciones ante eventos de inundación. Las comunidades visitadas fueron: La Unión Talgua, Riberas de Talgua, Guanaja, El Espino y El Carbón.

5.5.1. Aplicación de encuestas y entrevistas a los pobladores claves en áreas vulnerables

Durante las visitas de campo se aplicaron 50 encuestas estructuradas (Anexo 1) a pobladores de las comunidades seleccionadas, con el objetivo de recopilar información sobre su percepción respecto a las causas, daños y pérdidas ocasionadas por inundaciones, particularmente en aspectos como infraestructura, cultivos y medios de vida.

La aplicación de las encuestas se realizó mediante el método no probabilístico bola de nieve, el cual fue elegido por su eficacia en contextos donde no se dispone de un marco muestral específico, tal como fue aplicado por Buchenrieder *et al.* (2021), en su estudio para la percepción de riesgo a inundación.

De manera complementaria se realizaron entrevistas semiestructuradas (Anexo 2) las cuales permitieron recopilar información sobre las obras de mitigación implementadas en cada comunidad, tales como bordos de contención, canales de drenaje, elevación de viviendas, entre otras acciones locales. Además, se indagó sobre la existencia y efectividad de protocolos de evacuación y la participación en sistemas de alerta temprana comunitarios, particularmente a través de los Comités de Emergencia Local (CODEL), para conocer la resiliencia de cada comunidad ante eventos meteorológicos.

Adicionalmente, se utilizaron mapas interactivos de cada comunidad, obtenidos de *Google Earth*® que incluyeron detalles como el cauce del río, zonas cultivadas, caminos y límites de cada comunidad evaluada. Con base en estos mapas se desarrollaron dinámicas participativas con los habitantes, quienes identificaron en los mismos las zonas que históricamente han sido afectadas por inundaciones.

5.5.2. Protocolo de observación

Con el propósito de identificar el grado de vulnerabilidad a inundaciones en cada zona. Para ello se hizo uso de un protocolo de observación in situ (Anexo 3), en el cual se evaluaron criterios como: tipo y condición de infraestructura, tipos de cultivos presentes, proximidad de viviendas y estructuras al cauce del río, asimismo, características topográficas como la elevación con respecto al nivel del río (Tabla 4).

Los datos obtenidos del protocolo de observación en conjunto con las respuestas proporcionadas en las entrevistas semiestructuradas fueron organizados en tablas de resumen por comunidad, a partir de las cuales se clasificaron los niveles de vulnerabilidad de cada variable evaluada. Esta clasificación se realizó con base en la metodología propuesta por Olga Lozano Cortijo (2008), que permite integrar variables sociales, ambientales y físicas para determinar el grado de vulnerabilidad de cada comunidad. Finalmente, se construyeron matrices de análisis que reflejan los niveles de vulnerabilidad por variable y comunidad.

Tabla 4. Variables e indicadores críticos evaluados en el protocolo de observación

Variable	Indicador crítico	Clasificación de vulnerabilidad
Infraestructura	Material de construcción	Muy alta: Adobe Alta: Madera- Media: Bloque, ladrillo
	Tipo de vía	Muy alta: Calle de tierra sin drenaje Alta: Calle de tierra con drenaje Media: Calle pavimentada o con buen drenaje
	Tipo de cultivo	Muy alta: Hortalizas y granos básicos Alta: Cultivos perennes y tubérculos Media: Pastos, frutales y cultivos industriales
Cultivos	Sistema de siembra	Muy alta: Siembra mediante hileras en zonas planas. Alta: Siembra en camellones o elevaciones leves- Media: Siembra en terrazas o zonas elevadas
	Método de irrigación	Muy alta: Por gravedad o canales abiertos cerca del río- Alta: Aspersión o goteo Media: No se irriga o técnicas controladas
	Distancia al cauce	Muy alta: Menor a 20 m Alta: Entre 20 y 40 m Media: Mayor a 40 m
Emplazamiento al borde del río	Barreras naturales	Muy alta: Sin barreras Alta: Barreras vegetales escasas- Media: Barreras naturales densas o taludes protectores
	Historial de inundaciones	Muy Alta: Inundaciones frecuentes y severas Alta: Ocasionales Media: Raras o históricamente no inundable
	Altura sobre el nivel del río	Muy alta: Menor a 2 m Alta: Entre 2 y 5 m Media: Mayor a 5 m

5.6. Fase 2: Caracterización de sedimentos

5.6.1. Definición del área de deposición de sedimentos

Para definir los sitios de muestreo, se elaboró una lámina de inundación preliminar con base en la percepción local obtenida con los mapas interactivos utilizados en la (Fase 1). Esta información fue fundamental para definir el área potencial de acumulación de sedimentos y orientar el diseño del muestreo hacia sitios representativos. La delimitación fue elaborada en *Google Earth Pro*®, y posteriormente importada en el programa *QGIS*® donde se georreferencio y se utilizó como base para definir el área de estudio.

5.6.2. Puntos de muestreo y obtención de muestras

Una vez definido el mapa del área de deposición de sedimentos, se estableció en *QGIS*® un diseño de muestreo sistemático espacial, mediante la generación de 14 secciones transversales perpendiculares al cauce del río, distribuidas a intervalos regulares de un kilómetro. Estas secciones se distribuyeron desde aguas arriba hacia aguas abajo, abarcando así un tramo de 14 kilómetros.

Con el apoyo del mapa previamente elaborado, se digitalizó en *QGIS*® una red de puntos potenciales de muestreo sobre la llanura de inundación. Los puntos fueron distribuidos a 100 metros de distancia entre cada uno por margen (derecho, izquierdo y centro) (Figura 8).

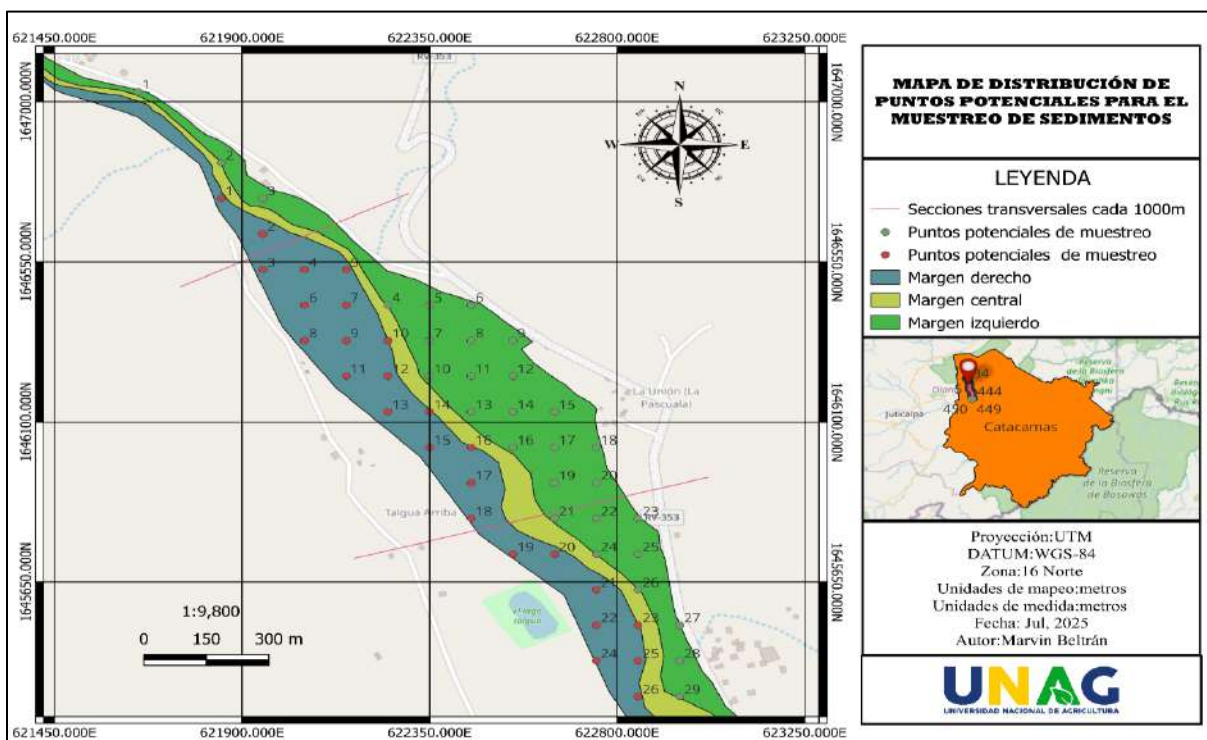


Figura 8. Distribución espacial de puntos potenciales para el muestreo de sedimentos en la llanura de inundación

Posteriormente, se seleccionaron al azar tres puntos por margen en cada una de las secciones transversales. Estos puntos representan el sitio de donde se recolectaron tres submuestras en el horizonte superficial (0 -30 cm). Cada una de estas submuestras fueron mezcladas mediante el método de cuarteo para formar una muestra compuesta por margen. Por tanto, se recolectaron tres muestras compuestas por cada sección transversal, dando un total de 42 muestras.

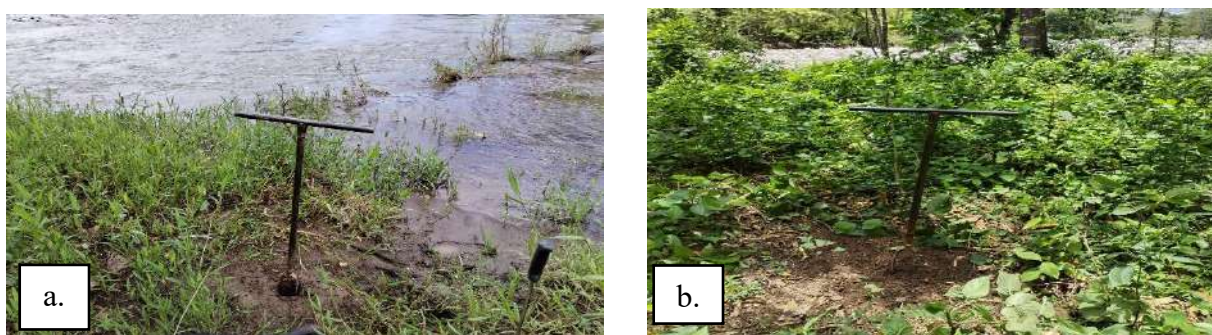


Figura 9. Recolección de submuestras en diferentes márgenes: a. Margen central y b. Margen derecho

5.6.3. Análisis de laboratorio

a) Granulometría

Este proceso se pretendía realizar mediante el análisis por tamizado según la norma ASTM D 422 utilizando una serie de tamices y mallas de dimensiones estandarizadas (Tabla 5).

Sin embargo, al momento de ejecutar la práctica en el laboratorio, no se contaba con todos los tamices necesarios. Debido a esta limitación, se utilizaron únicamente los tamices disponibles, los cuales permitieron clasificar los sedimentos hasta arenas finas (Tabla 6).

Tabla 5. Series de tamices empleadas para el ensayo según la norma ASTM -422

Tamaño (pulgadas)	Número de malla	Apertura (mm)
3 in	Nº 4	4.75 mm
2 in	Nº 10	2.00 mm
1 ½ in	Nº 20	0.850 mm
1 in	Nº 30	0.600 mm
¾ in	Nº 40	0.425 mm
½ in	Nº 60	0.250 mm
3/8 in	Nº 100	0.150 mm
¼ in	Nº 200	0.075 mm

Tabla 6. Series de tamices empleados para el análisis granulométrico

Tamaño (pulgadas)	Número de malla	Apertura (mm)
3 in	Nº 4	4.75 mm
2 in	Nº 10	2.00 mm
1 ½ in	Nº 18	1.00 mm
1 in	Nº 35	0.500 mm
½ in	Nº 60	0.250 mm

b) Textura de los sedimentos

La textura de los sedimentos fue determinada mediante el método hidrómetro de Bouyoucos (Anexo 4) con el objetivo de cuantificar las fracciones de arena, limo y arcilla.

Esta cuantificación se realizó mediante las siguientes fórmulas:

$$\%Arena = 100 - \frac{1era\ lectura\ corregida}{peso\ de\ la\ muestra} * 100$$

$$\%Arcilla = \frac{2da\ lectura\ corregida}{peso\ de\ la\ muestra} * 100$$

$$\%Limo = 100 - [\%Arena + \%Arcilla]$$

Los resultados obtenidos fueron clasificados utilizando el triángulo textural de USDA, lo cual permitió establecer la clase textural de cada muestra.

c) Densidad aparente

Para la determinación de la densidad aparente, se utilizó el método de cilindro metálico. Por cada sección transversal, se seleccionaron los tres mismos puntos por margen.

En cada uno de estos puntos se extrajo una muestra de los sedimentos utilizando cilindros con un volumen aproximado de 130 cm³. Las muestras fueron extraídas con cuidado para conservar su estructura natural, luego selladas y transportadas al laboratorio. Posteriormente se secaron en un horno a 105 °C por 24 horas. Por último, se calculó la densidad aparente (Da) usando la fórmula:

$$Densidad\ aparente = \frac{Masa\ del\ suelo\ seco}{Volumen\ de\ la\ muestra}$$

En total, se recolectaron nueve muestras por sección transversal (tres por margen), dando un total de 126 muestras. La densidad aparente se determinó para cada muestra de forma individual. Posteriormente, se calculó el promedio de las tres réplicas por margen, lo que permitió obtener un valor representativo de densidad aparente por margen en cada sección.

5.7. Fase 3. Modelamiento hidráulico

El modelamiento hidráulico fue desarrollado bajo un enfoque unidimensional considerando un flujo permanente con régimen mixto para cada uno de los periodos de retorno establecidos.

A partir de este modelamiento se evaluaron diversas variables hidráulicas, hidrológicas y topográficas que permitieron caracterizar el comportamiento del flujo a lo largo del cauce mediante distintos escenarios.

5.7.1. Topografía

La topografía del área de estudio se obtuvo mediante fotogrametría utilizando el dron Phantom 4 RTK, con el propósito de obtener un orto mosaico y un modelo digital de elevación (DEM).

Por tanto, se realizaron 40 misiones fotogramétricas, cubriendo las 14 secciones transversales establecidas anteriormente, de igual manera se tomó en cuenta el área de inundación según la percepción de los pobladores obtenida en la (Fase 1). Las imágenes capturadas fueron procesadas mediante el *software Agisoft Metashape Professional®*, mediante el cual se generó el orto mosaico y el modelo digital de elevación (DEM).

5.7.2. Precipitaciones y caudales

Los datos de precipitación, correspondientes a registros diarios de la estación meteorológica de Catacamas, fueron proporcionados por el Centro Nacional de Estudios Atmosféricos, Oceanográficos, y Sísmicos (CENAOS).

La información proporcionada corresponde a un periodo de 21 años, comprendido entre enero de 2004 a diciembre de 2024.

Para la transformación de la precipitación a escorrentía (caudal) se implementó un modelo hidrológico en el programa *HEC -HMS®*. Esto se realizó utilizando el método de número de curva (CN) del Servicio de Conservación de Suelos (SCS) para estimar la escorrentía directa, y el método del Hidrograma Unitario del SCS para simular el hidrograma de salida. Esta configuración se aplicó siguiendo la metodología propuesta por (Romero y Patino 2024).

El número de curva (CN) fue calculado para el área de estudio en el *software QGIS®*, mediante la herramienta *Global Curve Number Calculator* del complemento *ArcGeek Calculator*. El tiempo de retraso (*lag time*) se calculó de igual manera en este complemento obteniendo el parámetro morfométrico (tiempo de concentración de Kirpich) del cual se utiliza el 60 % del mismo.

Una vez obtenidos los datos de escorrentía se calcularon los caudales de diseño para cada periodo de retorno utilizando el método de Gumbel.

Según el método de Gumbel para calcular el caudal máximo para un periodo de retorno determinado se usa la siguiente ecuación:

$$Q_{max} = Q_m - \frac{\delta_Q}{\delta_N} (Y_n - \ln T)$$

Donde:

Q_{max} : caudal máximo para un periodo de retorno determinado en m^3/s .

N : número de años de registro.

Q_i : Caudales máximos anuales registrados en m^3/s .

Q_m : Caudal promedio en m^3/s .

T : periodo de retorno.

σ_N , Y_n : constantes en función de N (Anexo 4)

σ_q : desviación estándar de los caudales.

Para calcular el intervalo de confianza, es decir, aquellos valores dentro del cual puede variar el caudal máximo dependiendo del registro disponible se hace lo siguiente:

Si $\emptyset = 1 - 1/T$ varía entre 0.20 y 0.80, el intervalo de confianza se calcula con la fórmula:

$$\Delta Q = \mp \sqrt{N \varphi \delta_m \frac{\delta q}{\delta_N \sqrt{N}}}$$

Siendo:

N : número de años de registro.

$N \propto_N$: Constante en función de $\emptyset$. (Anexo 5)

N : Constante en función de N .

q : Desviación estándar de los caudales.

Si $\emptyset > 0.90$, se calcula de la siguiente manera:

$$\Delta Q = \mp \frac{1.14 \delta_Q}{\delta_N}$$

El caudal máximo para un cierto periodo de retorno será igual al caudal máximo, más el intervalo de confianza.

Quedando:

$$Q_d = Q_{max} + \Delta Q$$

5.7.3. Geometría del río

La creación de la geometría unidimensional en el RAS Mapper de *HEC -RAS®* se realizó de acuerdo con la metodología planteada por (Pérez Rodríguez 2020). Dentro del programa se hizo uso de cuatro elementos fundamentales:

- **Rivers:** Esta parte corresponde al eje longitudinal central del río. Se trazó una línea en el medio del cauce, en dirección al flujo, de la forma más exacta posible, ya que es una referencia dentro del programa para el cálculo de las ecuaciones de energía entre secciones.
- **Bank Lines:** corresponde a los márgenes del cauce estudiado. Se trazó de forma aproximada acotando la sección central del río, a ambos lados de la línea *rivers*.
- **Flow Paths:** corresponde a la línea que atraviesa el centro de gravedad de las trayectorias de flujo de la inundación. Estos se establecieron teniendo en cuenta el límite de la lámina de inundación en eventos pasados.
- **Cross Sections:** corresponde a las secciones transversales del modelo. Estas líneas se trazaron de forma perpendicular a los *flow paths*, y al eje longitudinal del río.

5.7.4. Coeficiente de Manning

El coeficiente (n) de Manning se estableció teniendo en cuenta las características físicas del río y de los márgenes (derecha e izquierda), a través de una visita técnica de la zona de estudio y según lo propuesto por el método del Servicio de Conservación de Suelos de Estados Unidos, similar al método de *Cowan* en función de las tablas de Ven Te Chow (Tabla 1 y 2).

Se elaboró un mapa de valores de rugosidad del terreno, tomando como referencia el ortomosaico generado anteriormente. Dicho mapa permitió asignar de forma espacial los coeficientes de rugosidad, considerando las características de uso y cobertura del suelo observadas en el área de estudio. De igual manera se estableció el “n” de Manning del cauce principal del río, de acuerdo al soporte de comparación de imágenes fotográficas del libro “*Roughness characteristics of natural channels*”, donde se identificó que el río Talgua tiene características similares con el río Boundary Creek.



(USGS 1967)

Río Boundary Creek. $n=0.073$



río Talgua

Figura 10. Imágenes de comparación para valores de Manning en el centro del cauce

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Evaluación de vulnerabilidad a inundaciones según la percepción de los pobladores

6.1.1. Análisis de resultados obtenidos en la aplicación de encuestas

Tabla 7. Respuestas sobre los tipos de afectaciones reportados por los pobladores

	La Unión	Riveras de Talgua	Guanaja	El Espino	El Carbón
N° de encuestados	13	8	15	9	5
Inundación vivienda o infraestructura	34.5%	47.1%	41.4%	43%	0%
Perdidas de cultivos	28%	29.4%	34.5%	36%	71.1%
Derrumbe de vivienda	7%	0%	0%	7.1%	0%
Perdida de alimentos	14%	23.5%	21%	14.3%	0%
Perdida de animales productivos	17.2%	0	3.5%	0	29%

El análisis demuestra que las afectaciones más recurrentes asociadas a eventos de inundación, según la percepción de los encuestados, corresponden a inundación de vivienda o infraestructura y pérdidas de cultivos. En el primer caso, las mayores incidencias se registran en la comunidad Riveras de Talgua con un 47.1% de las afectaciones reportadas, seguido por El Espino con un 43% y la comunidad de Guanaja con un 41.4%, lo que evidencia que estas comunidades presentan una mayor exposición a eventos extremos que afectan directamente las estructuras

habitacionales y comunitarias. Por el contrario, en la comunidad del Carbón no se reportaron inundaciones, lo que indica una menor exposición de las viviendas frente a este tipo eventos.

En cuanto a las pérdidas de cultivos, el caso más crítico se presenta en la comunidad de El Carbón, donde un 71% de las respuestas reportan esta afectación. Además, esta misma comunidad presenta un 29% de pérdidas de animales productivos, lo que resalta su alta vulnerabilidad productiva. No obstante, aunque en menor proporción, las demás comunidades también experimentan afectaciones en la agricultura. En el Espino, un 36% de las respuestas indicaron pérdidas de cultivos, mientras que en Riveras de Talgua este valor alcanzó el 29% y en La Unión un 28%. Estos porcentajes evidencian que la afectación a la agricultura y los medios de vida está presente en toda la zona de estudio, lo que presenta una gran amenaza para la estabilidad alimentaria y economía de los hogares.

Reyes y Serrano (2021) mencionan que, la microcuenca de Talgua enfrenta esta problemática relacionada a factores como la agricultura migratoria, el uso intensivo del suelo sin prácticas de conservación, el desarrollo de actividades de subsistencia en tierras no aptas para cultivos, la deforestación, la quema y el sobrepastoreo; alterando el ciclo del agua y la vegetación, incrementando la vulnerabilidad en la zona. Concordando con la información obtenida.

Tabla 8. Causas que contribuyen a la intensidad de las inundaciones

	La Unión	Riveras de Talgua	Guanaja	El Espino	El Carbón
Nº de encuestados	13	8	15	9	5
Causas antropogénicas	56%	54.5%	47.1%	46.7%	80%
Causas naturales	28%	36.4%	35.3%	33.3%	20%
La no adopción de medidas	17%	9.1%	17.6%	20%	0

Los resultados obtenidos manifiestan que, según la percepción de los encuestados, las causas de origen antrópico son las que inciden mayormente en la intensidad de las inundaciones en la mayoría de las comunidades evaluadas.

La comunidad con el valor más alto es El Carbón donde 80% de las respuestas señalaron a las causas antrópicas como determinantes. En segundo lugar, se encuentra La Unión con un 56% seguidamente por El Espino con un 46.7%. Estos datos reflejan que, en estas comunidades, la población percibe que las acciones humanas como la deforestación en la parte alta de la microcuenca, la extracción de material del río, el cambio de uso de suelo y desvió del cauce desempeñan un papel determinante en la magnitud de las inundaciones, ya que modifican el entorno natural y reducen la capacidad de los ecosistemas.

Esto coincide con lo señalado por (Talavera y Canales 2008), quienes afirman que la mayoría de las microcuencas en Honduras, sufren de procesos de deforestación, transformación de uso de suelo y mal manejo de la cuenca, lo que favorecen a la erosión acelerada, la sedimentación en los cauces y llanuras, contribuyendo de esta manera a la intensidad y frecuencia de las inundaciones.

Con respecto a las causas naturales señaladas por los encuestados, como la intensidad de las lluvias y la pendiente del terreno, se reconocen como condiciones inherentes al entorno físico de las comunidades. Algunos pobladores también mencionaron que las inundaciones siempre han existido y que simplemente son procesos naturales. Sin embargo, aunque estas condiciones sean permanentes, su interacción con cambios recientes de origen humanos como los mencionados anteriormente, junto con la no adopción de medidas preventivas (la falta de acciones e implementación de obras de protección y la organización comunitaria) pueden ampliar notablemente los efectos de las lluvias, dejando a las comunidades más expuestas y con menor capacidad de respuesta ante un evento extremo.

Tabla 9. Factores que influyen en las posibles afectaciones por inundaciones según la precepción de los pobladores

Comunidades	La Unión	Riveras de Talgua	Guanaja	El Espino	El Carbón
N° de encuestados	13	8	15	9	5
Ubicación de vivienda o infraestructura en zona baja	24%	37%	31%	38%	0%
Modificación del cauce del río	12%	32%	19.4%	13%	60%
Cercanía de vivienda o infraestructura al cauce del río	32%	21.1%	28%	44%	0%
Mal estado de la vivienda	0%	11%	8.3%	6.3%	0%
Acumulación de desechos y escombros	20%	0%	14%	0%	40%
Estado de redes de alcantarillado	12%	0%	0%	0%	0%

Los datos obtenidos demuestran que los factores percibidos con mayor influencia en las posibles afectaciones por inundaciones son, en primer lugar, la ubicación de viviendas o infraestructuras en zonas bajas, destacando El Espino con un 38% de las respuestas, Riveras de Talgua representa un 37% y Guanaja con un 31%, donde los encuestados reconocen que su localización geográfica incrementa la exposición a las crecidas máximas del río. El segundo factor más relevante es la modificación del cauce del río, con el valor más alto para la comunidad de El Carbón con un 60% de las respuestas, seguidamente por Riveras de Talgua que representa un 32% y Guanaja con un 28 %, lo que refleja que la alteración del flujo natural del agua es percibida como un elemento crítico.

Otro factor relevante es la cercanía de viviendas o infraestructuras al cauce del río, donde sobresalen la comunidad de El Espino con un 44% de las respuestas obtenidas, La Unión con 32%, seguidamente de Guanaja con un 28%, evidenciando que la proximidad directa a los cauces de los ríos sigue siendo de alto riesgo en la percepción comunitaria, como lo menciona (Aragón 2014).

Tabla 10. Áreas mayormente inundadas en la comunidad según la experiencia de los pobladores

Comunidades	La Unión	Riveras de Talgua	Guanaja	El Espino	El Carbón
Nº de encuestados	13	8	15	9	5
Viviendas e instalaciones	34.2%	37.5%	35%	40%	0%
Carreteras	29%	18.75%	30.2%	13.3%	0%
Redes de abastecimiento	11%	0%	5%	0%	0%
Cultivos	26.3%	43.75%	30.2%	47%	100%

Los resultados evidencian que el principal elemento percibido como vulnerable ante las inundaciones son los cultivos, destacando la comunidad de El Carbón donde el 100% de las respuestas reportaron únicamente dicha afectación, seguidamente El Espino con 47% y Riberas de Talgua representa el 43.75% de las respuestas obtenidas. Esto representa que la vulnerabilidad agrícola en estas comunidades es alta. Está situación puede explicarse debido a que la economía local se basa principalmente en la agricultura de subsistencia. Donde sus áreas de cultivos se sitúan principalmente en planicies de inundación o cercas de las riberas del río.

En cuanto a viviendas e instalaciones, destacan El Espino con un 40% de las respuestas obtenidas, en segundo lugar, Riveras de Talgua con un 37.5%, seguidamente de Guanaja presentando el 35 %. Este patrón está vinculado a la ubicación de las edificaciones en áreas propensas a inundarse ya sea por su proximidad al cauce del río o por la deficiencia de la planificación urbana. Es relevante mencionar el caso de La Unión que representa el 34.2 % de las respuestas, donde los pobladores mencionan que las inundaciones en viviendas no provienen directamente del río Talgua, si no de dos cauces secundarios que atraviesan la comunidad, uno de ellos utilizado como carretera. Esta ocupación inadecuada del espacio del drenaje natural compromete la capacidad de las obras de drenaje, provocando anegamientos rápidos en este sector.

Tabla 11. Medidas consideradas por los pobladores para enfrentar una posible inundación

Comunidades	La Unión	Riveras de Talgua	Guanaja	El Espino	El Carbón
N° de encuestados	13	8	15	9	5
Mantenerse informado	26%	25%	14.0%	29.2%	55.6%
Asegurar muebles y equipos	17.1%	21%	16.3%	21%	0%
Asegurar alimentos, medicamentos	14.3%	21%	19%	8.3%	0%
Asegurar la evacuación	29%	29.2%	30.2%	8.3%	0%
Proteger animales productivos y domésticos	11.4%	4.2%	12%	21%	44.4%
Proteger instalaciones de salud y educación	3%	0%	9.3%	13%	0%

El análisis de los resultados demuestra que la medida de prevención más mencionada para enfrentar posibles inundaciones es mantenerse informado, donde la comunidad de El Carbón representa el 55.6% de las respuestas, le sigue El Espino con un 29.2% y la Unión un 26%. Esto da a conocer una alta percepción de los pobladores en cuanto a la importancia de la información temprana para tomar decisiones preventivas, dando un reconocimiento significativo de la alerta y la comunicación como estrategia clave para reducir riesgos.

Tal como lo señalan (del Granado *et al.* 2016), mencionando la importancia en implementar Sistemas de Alerta Temprana (SAT) comunitarios, ya que estos permiten transmitir información clara y oportuna que facilita la toma de acciones para evitar o reducir el riesgo y preparar una respuesta efectiva.

En este contexto, la evacuación se posiciona como una medida complementaria y directamente dependiente de la efectividad de los SAT. En los resultados obtenidos esta acción preventiva alcanza valores similares en Guanaja con un 30.2%, Riveras de Talgua 29.2%, lo que refleja que estas 3 comunidades priorizan la protección de la vida humana y movilizarse en caso de emergencia, esto debido al resultado de experiencias previas de afectaciones por crecidas del río.

Tabla 12. Percepción de los pobladores sobre la necesidad de evacuación ante una inundación

Comunidades	La Unión	Riveras de Talgua	Guanaja	El Espino	El Carbón
N° de encuestados	13	8	15	9	5
Si	84.6%	87.5%	86.7%	33.3%	0%
No	15.4%	12.5%	13.3%	22.2%	100%
No Sabe	0%	0%	0%	44.4%	0

Los resultados demuestran que la evacuación ante un evento de inundación es considerada altamente necesaria en comunidades como Riveras de Talgua con un 87.5% de las respuestas obtenidas, seguidamente de Guanaja representando un 86.7% y La Unión con un 84.6%. Esto refleja una alta conciencia del riesgo y exposición de estas comunidades, debido a experiencias previas con eventos de este tipo, lo que ha fortalecido la percepción de que evacuar constituye una medida indispensable para la protección de la vida y la reducción de pérdidas materiales.

Sin embargo, en la comunidad de El Carbón el 100% de las respuestas obtenidas indican que no consideran necesaria la evacuación. Este resultado evidencia una baja percepción de vulnerabilidad, debido a que la comunidad esta ubica lejos del cauce del río, lo que a su vez ha influenciado la ausencia de experiencias de inundaciones.

Tabla 13. Motivos mencionados por los encuestados para evacuar ante una inundación

	La Unión	Riveras de Talgua	Guanaja	El Espino	El Carbón
Nº de encuestados	13	8	15	9	5
Proteger su vida y de familiares	53%	58.3%	48.1%	60%	0
Proteger su vivienda y objetos	21.1%	25.0%	22.2%	20%	0
Porque la casa está en mal estado	0.0%	17%	11.1%	20%	0
La zona queda incomunicada	26.3%	0%	19%	0%	0

Los resultados evidencian que la razón principal que motiva a los encuestados para evacuar, se relaciona con la protección de su vida y de los familiares, resaltando los valores más altos en las comunidades como El Espino, donde se obtuvo un 60 % de las respuestas en comparación con las otras alternativas, seguidamente de Riveras de Talgua con 58.3 %, y La Unión con un 53%. Coincidiendo con estudios sobre percepción de riesgo donde señalan que la vida humana es priorizada frente a pérdidas materiales (Cortador 2014).

En segundo lugar, se observa que los encuestados también consideran importante proteger su vivienda y sus objetos obteniendo entre el 20 y 25% de las respuestas en las mayorías de las comunidades, lo que refleja un apego y conciencia de los daños en sus viviendas.

De igual manera en Riberas de Talgua con un 17% de las respuestas obtenidas y Guanaja con un 20%, mencionan que el mal estado de la vivienda influye como razón para evacuar frente a un evento de inundación, reflejando la sensibilidad física en la que se encuentran dichas comunidades.

6.1.2. Análisis de resultados obtenidos en la aplicación de entrevistas

La discusión de los resultados obtenidos a partir de las entrevistas realizadas en las comunidades se organiza en tres apartados principales, de acuerdo a las preguntas planteadas. Primeramente, se analiza el historial de inundaciones y la percepción del riesgo, seguidamente, se examinan las prácticas y obras de mitigación identificadas. Por último, se presentan las experiencias sobre la existencia de un protocolo de evacuación y la organización comunitaria, historial de inundaciones y percepción del riesgo.

Los pobladores de las comunidades mencionaron que en los últimos 30 años han enfrentado varias inundaciones significativas, siendo la más recordada la ocasionada por el huracán Mitch en el año 1998. Ellos relataron que “durante esos días el río Talgua alcanzo niveles nunca antes vistos, arrasando viviendas, cultivos y dejando a la mayoría de las comunidades incomunicadas”. Muchos recuerdan que la magnitud de la inundación era tal que el río se llevó animales, cosechas completas, viviendas y terrenos.

Posteriormente, los entrevistados mencionaron otros eventos de inundación que han causado desastres en las comunidades, entre ellos la tormenta tropical 16 en el año 2008, que generó fuertes lluvias y pérdidas en viviendas y cultivos. Asimismo, recordaron que en julio de 2019 se presentó otra inundación la cual dejó incomunicadas a las comunidades de La Unión y Riberas de Talgua, debido a que el río destruyó el puente que conducía hacia estas zonas.

Seguidamente los huracanes Eta e Iota en el año 2020, igualmente causando daños en la infraestructura de dichas comunidades, incluyendo el derrumbe de la carretera que conduce hacia la Unión. Más recientemente la tormenta Sara en el año 2024 volvió a provocar crecidas que afectaron viviendas y vías de acceso.

La recurrencia de estos eventos refuerza la percepción de que el río Talgua representa una amenaza constante, la cual se manifiesta incluso en fenómenos de menor magnitud en comparación con el huracán Mitch. Además, los pobladores mencionaron una característica particular del río la cual es su marcada estacionalidad ya que durante la época seca el cauce llega a quedar completamente sin agua, mientras que en la época lluviosa incluso con precipitaciones moderadas el caudal aumenta de manera peligrosa. Estas condiciones reflejan que, incluso con precipitaciones moderadas, los pobladores perciben una alta vulnerabilidad y mantienen un estado de alerta constante ya que no se sienten seguros al vivir cerca del río Talgua.

a) Prácticas y obras de mitigación identificadas

En relación con las prácticas de mitigación, los pobladores señalaron algunas acciones que se han realizado a nivel familiar para proteger sus viviendas y sus cultivos. Algunas de estas son: elevar el nivel de las viviendas para reducir la entrada de agua durante las crecidas, así como reforzar paredes y techos con materiales más resistentes, también mencionaron colocar costales rellenos de arena alrededor de sus terrenos. Con respecto a los cultivos varias personas entrevistadas mencionaron que han optado diversificar sus parcelas mediante cultivos permanentes como aguacate, limón entre otros, junto con granos básicos con el fin de reducir la pérdida total ante estos eventos.

En el ámbito comunitario en todas las comunidades se destacó la construcción de bordos mediante dragado del río. Esta obra lo realiza la municipalidad de Catacamas. Sin embargo, los entrevistados reconocieron una problemática asociada a estas obras: la extracción del material de los mismos bordos por parte de algunos pobladores lo que debilita la estructura y disminuye la efectividad de esta medida.

Asimismo, se mencionó la implementación de muros de contención como otra obra de mitigación importante. En la comunidad del Espino se observaron ejemplares de este tipo de infraestructura, un caso que mencionaron algunos de los entrevistados fue el de la Universidad Nacional de Agricultura, donde se ha construido un muro de contención para reducir los impactos de las crecientes del río.

b) Protocolos de evacuación y organización

Los entrevistados señalaron que en la mayoría de las comunidades no existen sistemas formales de alerta temprana. Los pobladores mencionaron que las familias toman la decisión de evacuar de manera tardía cuando el impacto de la inundación ya es evidente. Solo en las comunidades de Guanaja y Riberas de Talgua se identificó la existencia de un mecanismo básico de monitoreo, asociado al puente que cuenta con marcas de colores verdes, amarillos y rojas, las cuales sirven como referencia visual del nivel del río. Sin embargo este sistema no está vinculado a un protocolo formal de comunicación o evacuación.

Respecto a la organización comunitaria, únicamente en la comunidad de La Unión se reportó la existencia de un Comité de Emergencia Local (CODEL), no obstante, los pobladores mencionaron que este comité no representa funciones claras y se encuentra prácticamente inactivo. Los entrevistados coincidieron en que la mayoría de la ayuda y la coordinación durante una evacuación proviene de los propios pobladores, quienes se organizan para ayudar a las familias más afectadas.

6.1.3. Análisis de matrices de vulnerabilidad

Además de la información recopilada mediante las encuestas y las entrevistas, se aplicó un protocolo de observación en cada comunidad con el fin de registrar de manera directa las condiciones de infraestructura, vías de acceso, actividades productivas y la ubicación de asentamientos humanos. Este instrumento permitió contrastar los relatos de los pobladores con lo observado en campo. La información obtenida a partir del protocolo se organizó en tablas

resúmenes con las variables e indicadores observadas en campo (Anexo 6). También se realizaron matrices que facilitan la clasificación de la vulnerabilidad en niveles (muy alto, alto y medio), lo que permitió realizar una comparación de la vulnerabilidad de cada comunidad estudiada.

a) Matriz de resumen de protocolo de observación en las comunidades

Esta matriz permitió sintetizar las condiciones de vulnerabilidad de las comunidades evaluadas, considerando tres variables principales: infraestructura, cultivos y emplazamientos al borde del río.

Tabla 14. Matriz de vulnerabilidad según variables e indicadores

Comunidad	Vulnerabilidad ante inundaciones según variables e indicadores			Nivel de vulnerabilidad
	Infraestructura	Cultivos	Emplazamiento al borde del río	
Guanaja	Alto	Muy alto	Muy alto	Muy alto
Riberas Talgua	Alto	Muy alto	Muy alto	Muy alto
La Unión	Alto	Muy alto	Alto	Alto
El Espino	Medio	Alto	Alto	Alto
El Carbón	Medio	Muy alto	Alto	Medio

En términos generales la infraestructura representa un grado de vulnerabilidad alto, ya que si bien la mayoría de viviendas e infraestructuras son construidas con materiales más resistentes como bloques, ladrillos y cemento, aún persisten estructuras de adobe y láminas de zinc, las cuales son altamente frágiles frente a las crecidas del río Talgua. De igual manera los cultivos constituyen una de las variables más críticas, ya que la mayoría de las familias en las comunidades depende de la agricultura de subsistencia y ubican sus parcelas en zonas bajas, cercanas al cauce del río, lo que causa la pérdida recurrente en cada evento de inundación y aumenta la vulnerabilidad económica de los pobladores.

Finalmente, se identificó el emplazamiento de viviendas e infraestructuras al borde del río como el factor de mayor exposición, debido a que este incrementa directamente el riesgo de las afectaciones. La proximidad al cauce sumada a la poca efectividad de obras de protección convierte este aspecto en uno de los principales determinantes de la vulnerabilidad en la población.

b) Matriz de vulnerabilidad por comunidad

Tabla 15. Matriz de vulnerabilidad de las comunidades estudiadas

Comunidad	Nivel de vulnerabilidad		
	Muy alta	Alta	Media
La Unión			
Riveras de Talgua			
Guanaja			
El Espino			
El Carbón			

Las comunidades de Riveras de Talgua y Guanaja se clasificaron con un nivel de vulnerabilidad de muy alto, lo cual está asociado a su proximidad al cauce del río, la frecuencia de crecidas que afectan las viviendas e infraestructuras, concordando con la información proporcionada en las encuestas y entrevistas, donde los pobladores mencionaron puentes y carreteras colapsados. En estas comunidades se ha desarrollado una medida particular de monitoreo del nivel del río pintando una columna de referencia con franjas de color verde, amarillo y rojo. Esta práctica, aunque sencilla refleja de vigilancia local que permite alertar a los pobladores ante crecimientos súbitos del caudal del río. Sin embargo, más allá de esta acción las comunidades siguen careciendo de planes de evacuación o estrategias de mitigación permanentes.

Seguidamente, la comunidad de La Unión y El Espino se clasificaron con un nivel de vulnerabilidad alto. Reportando afectaciones recurrentes en viviendas, infraestructuras y cultivos según lo expresado en las encuestas, entrevistas y confirmado con el protocolo de observación. En ambas comunidades se identificaron ciertas condiciones físicas desfavorables, como viviendas inundadas, calles sin drenaje y cultivos cercanos al cauce del río, lo que incrementa la exposición a inundaciones. Aunque en la comunidad de La Unión se mencionó la existencia de un CODEL, este se encuentra prácticamente inactivo, mientras que en El Espino las medidas de prevención son limitadas y más individuales que colectivas.

Mientras tanto, la comunidad de El Carbón, presenta menor vulnerabilidad con una clasificación media. Debido a una menor vulnerabilidad física al no presentar inundaciones directas en viviendas, sin embargo, muestra una alta vulnerabilidad productiva, con grandes pérdidas en cultivos y animales. A diferencia de las comunidades más expuestas no se identificaron mecanismos de prevención, lo que refleja que la comunidad está orientada a la reacción que a la prevención.

6.2. Caracterización de los sedimentos presentes en la llanura de inundación

En esta sección se presentan los resultados de la caracterización de los sedimentos presentes en la llanura de inundación, considerando la granulometría, textura y densidad aparente de las muestras analizadas. Estos parámetros permitieron comprender la distribución de las partículas (arena, limo y arcilla), así también propiedades físicas del suelo que influyen en la infiltración, retención de la humedad, y la compactación.

6.2.1. Análisis de los resultados de granulometría de sedimentos

Los resultados del análisis granulométrico (Figura 11) representa la distribución del tamaño de las partículas de sedimento a lo largo de 14 tramos evaluados comenzando desde la parte alta hacia aguas abajo.

a) Resultados de análisis granulométrico por tramos

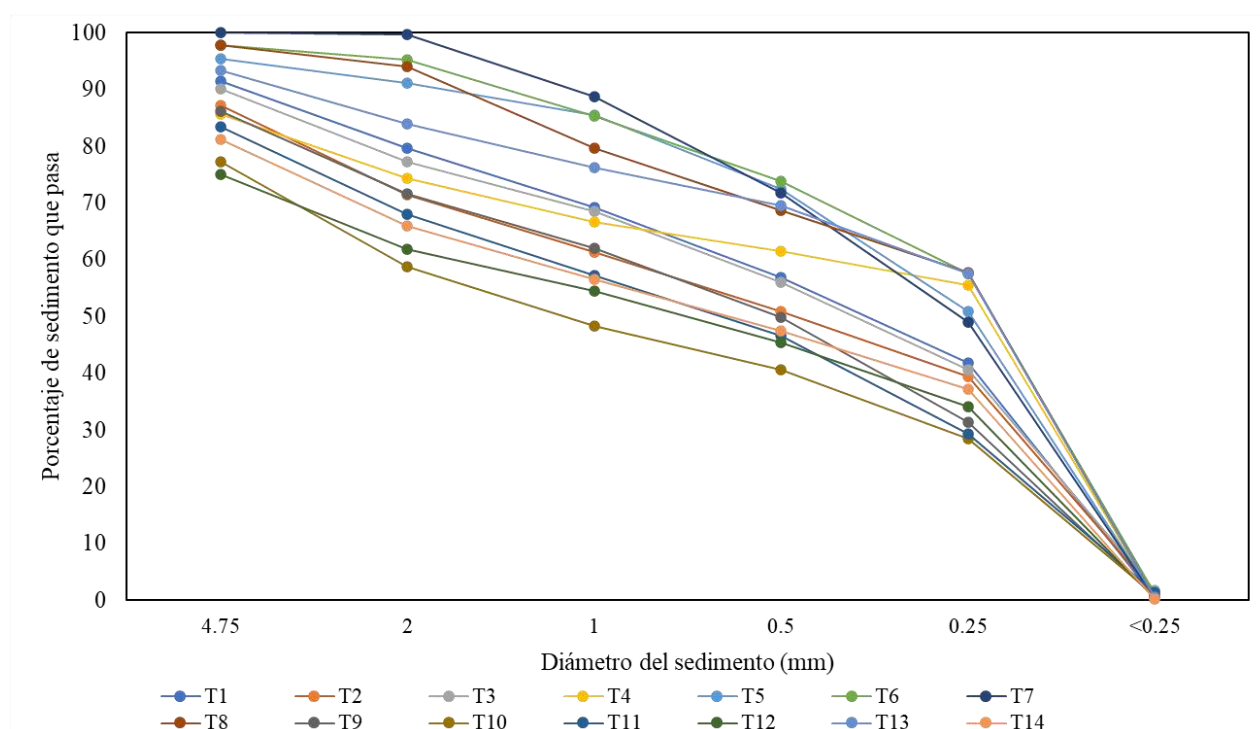


Figura 11. Curvas granulométricas de los 14 tramos estudiados

Tabla 16. Resultados del análisis granulométrico en los 14 tramos estudiados

Tramo	% de sedimento que pasa por tamiz					
	4.75(mm)	2(mm)	1(mm)	0.5(mm)	0.25(mm)	<0.25(mm)
T1	91.46	79.72	69.24	56.92	41.84	0.58
T2	87.2	71.53	61.37	50.9	39.36	1.48
T3	90.11	77.3	68.5	56.06	40.56	1.8
T4	85.66	74.35	66.74	61.46	55.52	0.63
T5	95.36	91.14	85.54	72.44	50.83	0.48
T6	97.87	95.18	85.35	73.82	57.59	1.21
T7	100	99.67	88.73	71.8	48.98	0.46
T8	97.9	93.99	79.66	68.79	57.74	0.47
T9	86.26	71.68	62.09	49.91	31.33	0.53
T10	77.23	58.83	48.4	40.7	28.54	0.83
T11	83.42	68.07	57.25	46.6	29.35	1.45
T12	75.13	61.94	54.58	45.34	34.11	0.31
T13	93.35	83.90	76.30	69.59	57.65	0.61
T14	81.19	66.05	56.54	47.44	37.25	0.19

Los resultados obtenidos evidencian que los sedimentos de las llanuras de inundación están dominados por fracciones arenosas con una proporción de limos y arcillas. Los tramos T4 (55.52%), T5 (50.83%), T6 (57.59%), T7 (48.98%), T8 (57.74%) y T13 (57.65%), representan los mayores porcentajes de sedimentos que pasan por el tamiz de 0.25 mm, lo que indica que predominan partículas de arenas finas y limos. Este comportamiento corresponde a condiciones de menor energía hidráulica, donde la reducción de la velocidad del flujo favorece la deposición de partículas pequeñas, tal como lo señala (Knighton 2014).

Sin embargo los tramos T9 (31.33%) , T10 (28.54%) y T11(29.53%), presentan los valores mas bajos de sedimentos que pasan sobre un tamiz de 0.25 mm, lo que desmutra una mayor proporcion de arenas medias y gruesas. Esta condicion esta asociado debido a la cercania al cauce del río, donde predominan condiciones de mayor energía hidráulica, capaces de arrastar y depositar sedimentos de mayor tamaño coincidiendo con (Velez y Cataño 2016).

Es posible identificar tramos con granulometría relativamente homogénea, como se indica en la (Tabla 16). El tamaño de los sedimentos en las llanuras de inundación está condicionado principalmente por la pendiente, la cercanía al cauce del río y la presencia de meandros, ya que en los márgenes cóncavos la corriente adquiere mayor velocidad tendiendo a erosionar y transportar sedimentos más gruesos, mientras que en los márgenes convexos la disminución de la energía favorece la deposición de partículas más finas concordando con (Nadal *et al.* 2013).

b) Resultados de análisis granulométrico por margen

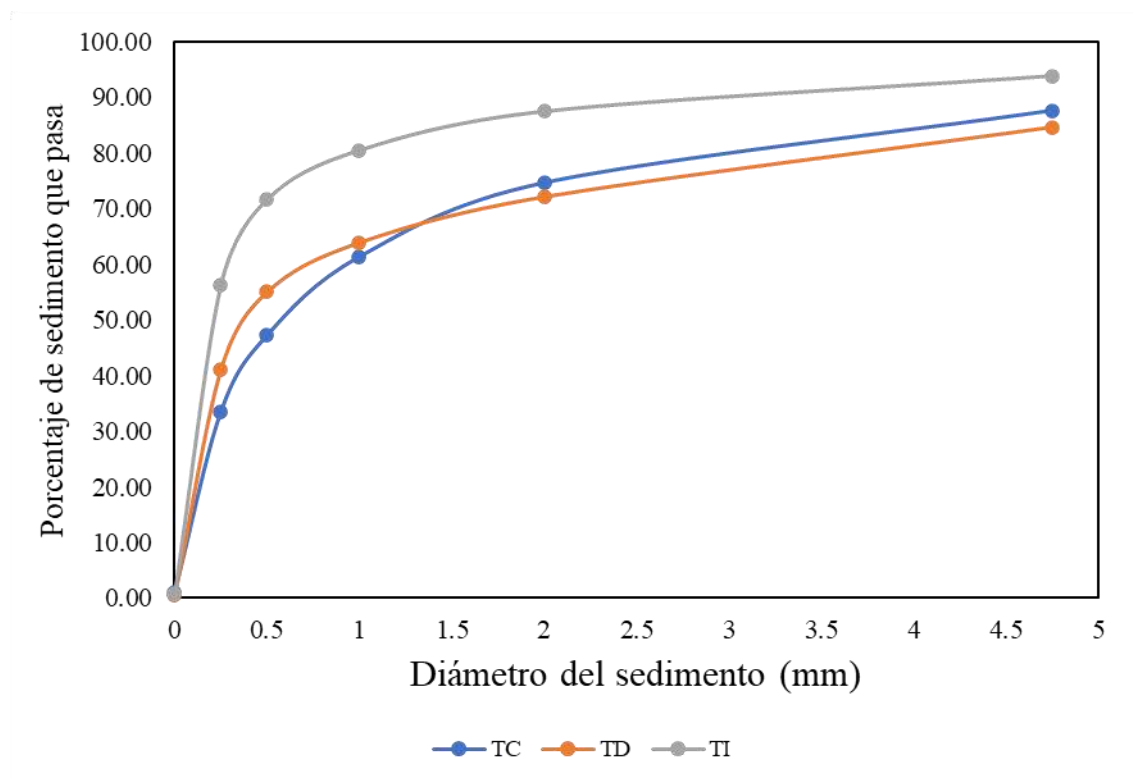


Figura 12. Curvas granulométricas por márgenes del río Talgua

Tabla 17. Resultados del análisis granulométrico por márgenes

Tramo	% de sedimento que pasa por tamiz					
	4.75 (mm)	2(mm)	1(mm)	0.5(mm)	0.25(mm)	<0.25(mm)
TC	87.63	74.65	61.34	47.23	33.47	1.05
TD	84.68	72.14	63.93	55.06	41.09	0.54
TI	93.86	87.49	80.50	71.66	56.29	0.77

El análisis granulométrico por márgenes muestra diferencias claras en la distribución de los tamaños de sedimentos. El margen izquierdo (TI), obtuvo los valores donde predomina el material más fino, con un 56.29 % pasando el tamiz de 0.25 mm y hasta el 71.66% con un diámetro menor que 0.5 mm lo que indica una mayor proporción de arenas finas y limos. En segundo lugar, el margen derecho (TD) demuestra una composición granulométrica con un 41.09% de sedimento que pasa por el tamiz de 0.25 mm, predominando arenas medias (0.5 -1 mm con 55.06- 63.93%).

Sin embargo, el punto intermedio del transecto (TC) presenta un comportamiento intermedio, con un 33.47% pasando por el tamiz de 0.25 mm. Los resultados muestran la distribución de los sedimentos de menor diámetro en los márgenes del río y de mayor tamaño en la parte del cauce del río quedando evidenciado la relación de la energía del flujo con respecto al diámetro de los sedimentos.

6.2.2. Análisis de los resultados de la textura de sedimentos

a) Resultados de textura de 14 tramos del río

Los resultados muestran que en los sedimentos de la llanura de inundación predomina la textura arena francosa, aunque en algunos sectores se observa una transición hacia texturas más finas, como el franco arenoso. Este patrón coincide con lo descrito por (FAO 1988), donde señalan que en áreas aluviales suelen presentarse texturas gruesas que en determinados sectores se gradúan hacia texturas más finas

Los tramos T1, T4, T5, T6, T7, T12, T13 y T14 (Tabla 18), presentan una textura gruesa (arena francosa), con contenidos de arena superiores al 76% y proporciones bajas de limos y arcillas ($\leq 15\%$ en la mayoría de los tramos). Esta condición refleja ambientes de alta energía del flujo, donde se depositan mayormente arenas con muy poca retención de partículas finas.

Sin embargo, los tramos T2, T3, T8, T9, T10 y T11 presentan una textura franco arenosa, con un porcentaje de arena entre el 63 y el 76%, donde se refleja incrementos en limos y arcillas que alcanzan valores entre 20 a 25 % de limo y hasta un 11 a 12 % de arcilla. Esta textura implica condiciones de mayor capacidad de retención de humedad y moderada infiltración (Pioneer 2014), lo que indica que bajo condición de saturación, estos sectores son más susceptibles a procesos de inundaciones.

Tabla 18. Resultados de la textura de los sedimentos en los 14 tramos estudiados

Muestra	Arena	Limo	Arcilla	Textura
T1	80.9	10.7	8.4	Arena Francosa
T2	76.3	16.0	7.7	Franco arenoso
T3	70.3	23.3	5.7	Franco arenoso
T4	80.3	14.7	5.1	Arena Francosa
T5	86.6	8.3	5.1	Arena Francosa
T6	81.3	12.4	6.3	Arena Francosa
T7	79.9	13.3	6.8	Arena Francosa
T8	74.1	16.3	7.1	Franco arenoso
T9	67.4	21.0	11.6	Franco arenoso
T10	63.1	25.2	11.7	Franco arenoso
T11	70.5	18.9	10.7	Franco arenoso
T12	77.6	15.1	7.3	Arena Francosa
T13	79.5	14.9	5.6	Arena Francosa
T14	76.6	16.8	6.6	Arena Francosa

b) Resultados de textura por márgenes del río

Al comparar estos resultados de la textura por margen (izquierdo, derecho y centro) con la granulometría, se observa una correspondencia clara. En el margen izquierdo (TI), la granulometría mostró los mayores porcentajes de partículas finas (56.29 % <0.25 mm), lo cual coincide con la clase textural franco arenosa presentado los valores más altos de limo y arcilla, evidenciando un ambiente de menor energía hidráulica que favorece la acumulación de estas

partículas finas. Por el contrario, en la zona intermedia del transecto (TC), los resultados granulométricos mostraron un comportamiento intermedio, con 33.47 % de partículas menores a 0.25 mm, lo cual coincide con una textura de arena francosa, que refleja el balance entre transporte y deposición en esta sección.

Tabla 19. Resultados de la textura de los sedimentos por márgenes del río

Tramo	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Clase textural
TC	79.7	14.9	5.4	Arena francosa
TD	76.6	16.6	6.8	Franco arenoso
TI	72.3	17.1	10.4	Franco arenoso

6.2.3. Análisis de los resultados de densidad aparente

Resultados de la densidad aparente de los 14 tramos del río

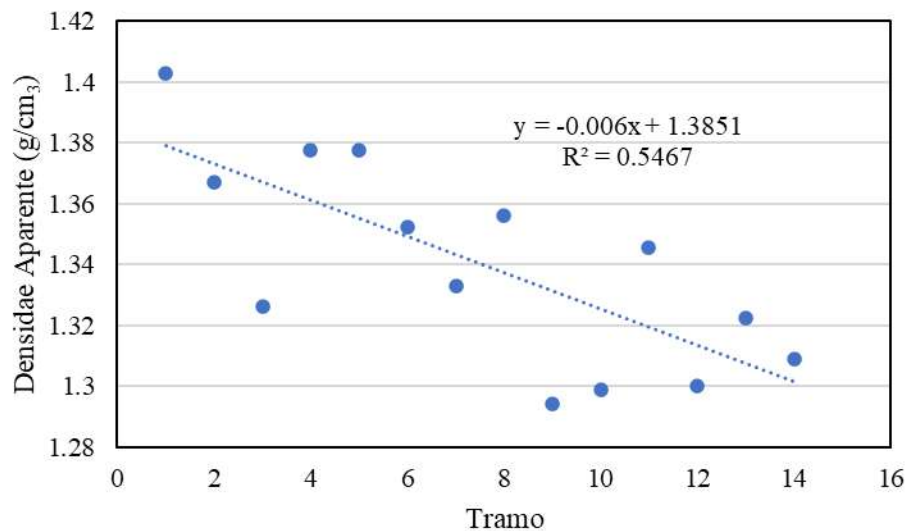


Figura 13. Variación de la densidad aparente de los sedimentos en función de los 14 tramos

Los resultados de la densidad aparente presentan una tendencia decreciente a lo largo de los tramos ($y = -0.006x + 1.385$, $R^2 = 0.5467$), representando que conforme se avanza desde la parte alta hacia aguas abajo, los sedimentos presentan una menor densidad aparente. En los tramos ubicados en la zona alta, se registraron valores de hasta 1.40 g/cm^3 , lo que refleja la presencia de arenas gruesas y francas.

Por el contrario, en los tramos bajos los valores de densidad aparente disminuyeron hasta aproximadamente 1.30 g/cm^3 , lo que refleja un aumento en la proporción de limos y arcillas. Estos materiales más finos tienden a depositarse en zonas donde la energía del flujo es menor, lo que reduce la densidad aparente y aumenta la capacidad de retención de humedad del suelo.

6.3. Modelamiento hidráulico para la generación de escenarios de inundación

6.3.1. Geometría del río

El tramo estudiado tiene una longitud de 3400 metros, en la cual se ubicaron 27 secciones transversales a una distancia entre ellas de 130 a 150 m. La sección más pequeña tiene una distancia de 140 m con respecto al cauce y la más ancha tiene 400 m. Las variaciones de longitud (ancho) entre secciones se dieron por las siguientes razones:

Las llanuras de inundación se extendieron más en la parte izquierda (aguas arriba hacia aguas abajo) del tramo estudiado siguiendo la línea de flujo.

Algunas secciones transversales se extendieron a esa distancia porque en tiempos de inundación ha sido su nivel de alcance de la lámina de agua.

En la parte derecha del tramo estudiado siguiendo la línea de flujo, las secciones transversales fueron más cortas debido a que se presentan elevaciones pronunciadas.

Las secciones transversales también se establecieron teniendo en cuenta los meandros, las cuales se cambiaron de dirección con el objetivo de evitar traslapes entre ellas.

Para tener una mejor definición del cauce y de las llanuras de inundación.

Para hacer un mejor análisis de la simulación del programa, se presenta una vista del tramo del río estudiado, donde se visualiza de manera espacial el eje del cauce y las secciones transversales distribuidas a lo largo del mismo.

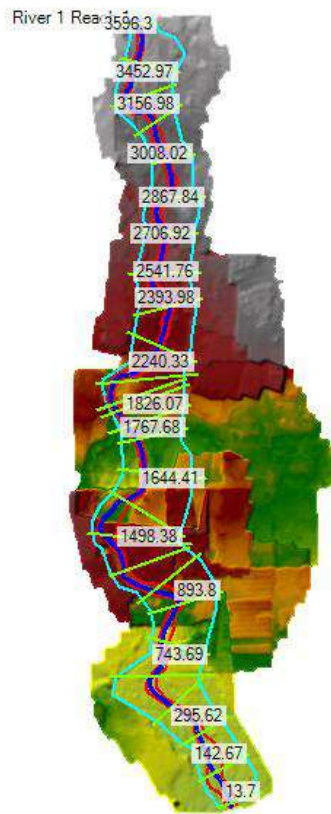


Figura 14. Representación del eje del cauce y la distribución de secciones transversales

6.3.2. Caudales máximos por periodo de retorno

Los caudales máximos obtenidos mediante el método de Gumbel y que se utilizaron para el análisis de unidimensional de flujo permanente son los siguientes:

Años	Caudal (m ³ /s)
TR50	186.83
TR100	203.17
TR200	219.51

Tabla 20. Caudales máximos para los diferentes periodos de retorno

6.3.3. Mapas de escenarios de inundación para los distintos periodos de retorno

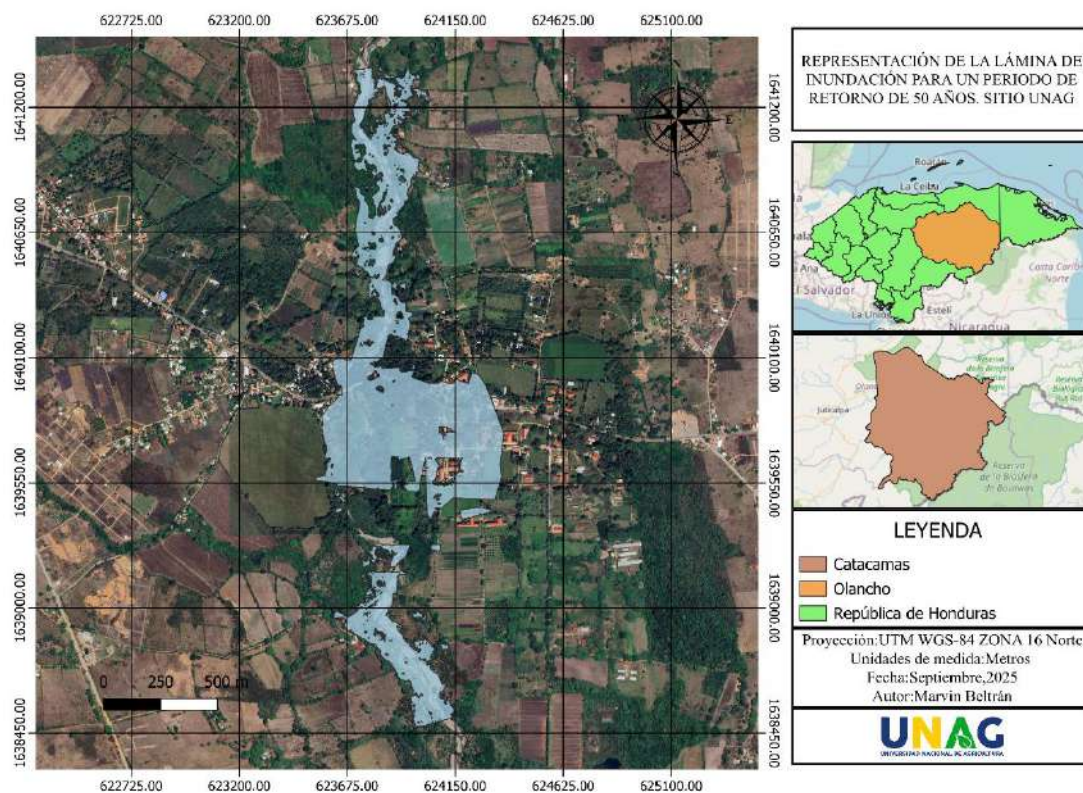


Figura 15. Mapa de representación de la lámina de inundación para un periodo de retorno de 50 años

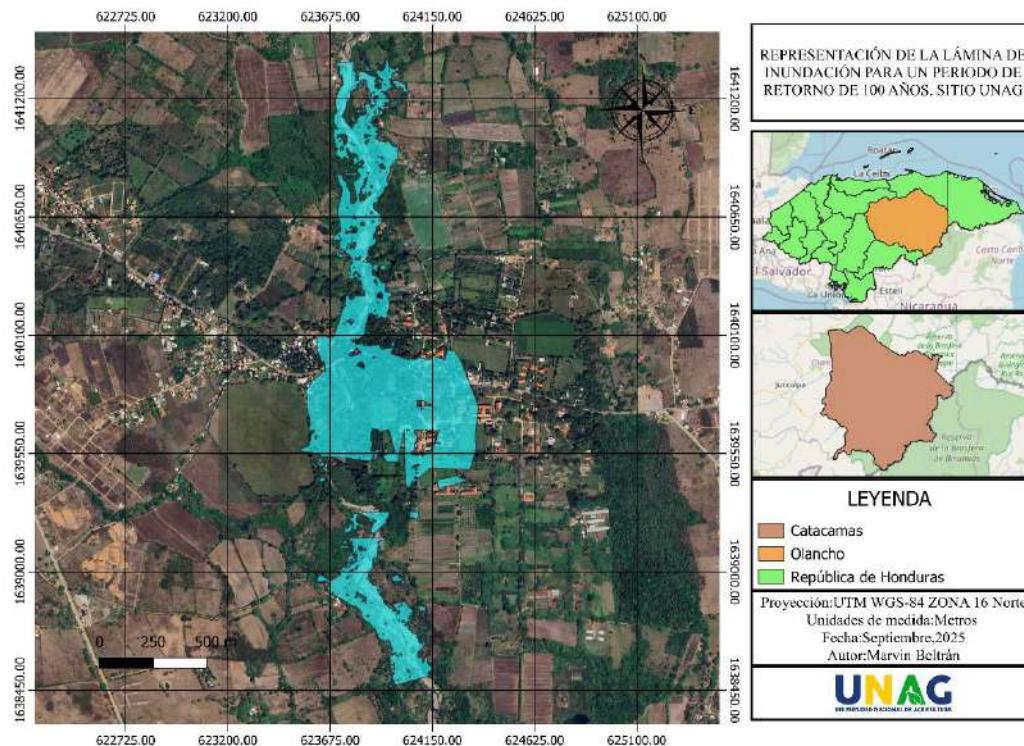


Figura 16. Mapa de representación de la lámina de inundación para un periodo de retorno de 100 años

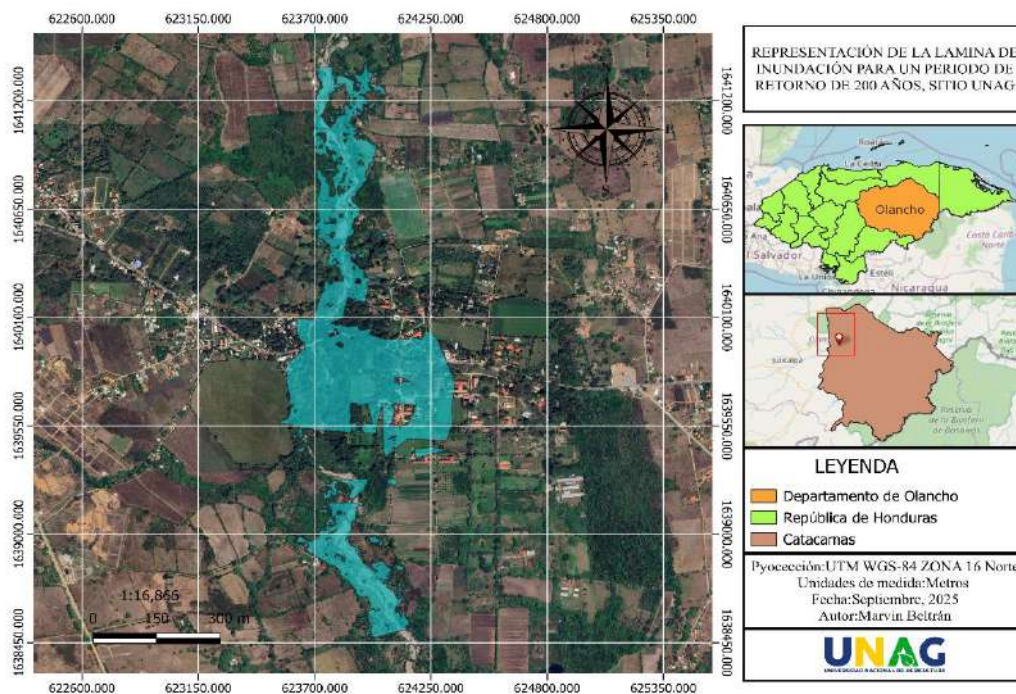


Figura 17. Mapa de representación de la lámina de inundación para un periodo de retorno de 200 años

Los resultados obtenidos en los mapas de inundación para los periodos de retorno de 50, 100 y 200 años muestran que la lámina de inundación se mantiene prácticamente constante en los tres escenarios, ya que no se evidencian aumentos significativos en la cobertura. Esto representa que la dinámica hidráulica del río en el sector estudiado responde a una condición de saturación alcanzada desde el caudal de 50 años, de manera que los caudales mayores incrementan únicamente la profundidad de la lámina de agua en las mismas zonas.

También se identificó que el margen más afectado corresponde al izquierdo del cauce, donde la lámina de agua se extiende con mayor frecuencia e intensidad. Esta situación está relacionada con las características de los sedimentos, ya que en esta zona se encuentra en el tramo nueve al tramo 11 los cuales tienen mayor presencia de partículas finas, lo que influye en la retención e infiltración del agua, causando la saturación del suelo y así influyendo en las inundaciones.

CONCLUSIONES

La vulnerabilidad atribuible a las comunidades evaluadas corresponde a la falta de adopción de medidas de mitigación, al igual que la falta de capacitación en alertas tempranas ante eventos naturales, la poca o nula organización comunitaria o comité de emergencia local CODEL.

Las actividades antrópicas desarrolladas en la parte alta de la microcuenca, como la deforestación y el cambio de uso de suelo, contribuyen a intensificar la vulnerabilidad en la parte baja al favorecer la erosión, el arrastre de sedimentos y el incremento de la escorrentía superficial de los afluentes que tributan al río Talgua.

RECOMENDACIONES

Implementar medidas de mitigación estructurales (gaviones) para las áreas más vulnerables a inundación como ser La Universidad Nacional de Agricultura, en la comunidad de El Espino, Guanaja y Riberas de Talgua y la adopción de infraestructura resiliente.

Implementar medidas de mitigación no estructurales como un Sistema de alerta temprana SAT (estaciones meteorológicas), intervención prioritaria en la parte alta de la microcuenca por medio de un plan de reforestación (SAF, obras y prácticas de conservación del suelo).

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Castañeda Sosa, S. I., & Villatoro Zamora, F. U. (2006). *Evaluación ecológico - hidrológica del plan de*. TESIS, Universidad Zamorano. Obtenido de <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/ceefd917-b74f-4d58-be35-31187f9a82f9/content>
- Lozano Cortijo, O. (2008). *Metodología para el analisis de vulnerabilidad y riesgo ante inundaciones y sismos, de las edificaciones en centros urbanos*. PREDES, Perú. Obtenido de <https://www.eird.org/plataforma-tematica-riesgo-urbano/recopilacion-de-articulos/olga-lozano.pdf>
- Abancay, M. d. (2017). *cálculo del nivel de riesgo ante inundaciones en la quebrada de Ullpuhuaycco; urbanizaciones pueblo joven Centenario, San José etapa i y ii, Villa Ampay, La granja - Américas, urbanización magisterial, urbanización Micaela Bastidas ii etapa, urbanización*. Informe de gestión de riesgos, ABANCAY - PERÚ. Obtenido de https://sigrid.cenepred.gob.pe/docs/PARA%20PUBLICAR/OTROS/CALCULO%20DE%20RIESGO%20DE%20INUNDACION%20HULLPUHUAYCCO_Abancay.pdf
- ACNUR, O. d. (2024). *INUNDACIONES CAUSADAS POR LA CRISIS CLIMATICA PROVOCAN NUEVOS DESPLAZAMIENTOS*. Porto Alegre, Brasil. Obtenido de <https://www.acnur.org/noticias/historias/inundaciones-causadas-por-la-crisis-climatica-provocan-nuevos-desplazamientos#:~:text=El%20calentamiento%20global%2C%20con%20cambios,au menten%20en%20frecuencia%20y%20magnitud.>
- Alexander, E., Battikk, M., Castillo, C., Mendoza, A., Poveda, J., & Vásquez, E. (2015). MÉTODOS NUMÉRICOS PARA LA PREDICCIÓN DE INUNDACIONES. *Revista de iniciación Científica RIC*, 1(1). Obtenido de <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/ric/article/view/345>
- Alfaro, I., Chavez, J., Cuestas, I., Mejía, C., & Landaverde, M. (2020). Estudio sobre infiltración y su relación con la geología del Área Metropolitana de San Salvador, El Salvador. *Revista Geológica de América Central*(63), 40-57. doi:<https://doi.org/10.15517/rgac.v63i0.43401>
- Americanos, O. d. (1993). *Manual Sobre el Manejo de Peligros Naturales en la Planificación para el Desarrollo Regional Integrado*. Washington, D.C. Obtenido de <https://www.oas.org/dsd/publications/unit/oea65s/begin.htm#Contents>

- Americanos, S. G. (2010). *Manual para el Diseño, Instalación, Operación y Mantenimiento de Sistemas Comunitarios de Alerta Temprana ante Inundaciones*. COPECO. Departamento de Desarrollo Sostenible. Obtenido de <https://dipecholac.net/docs/herramientas-proyecto-dipecho/honduras/Guia-SAT-Inundaciones.pdf>
- Aragón Durand, F. (2014). *Inundaciones en zonas urbanas de cuencas en América Latina*. ZURICH. Perú: Soluciones Practicas. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/369332446_Inundaciones_en_zonas_urbanas_de_cuencas_en_America_Latina_por_Dr_Fernando_Aragon-Durand
- Arreguín-Cortés, F. I., López-Pérez, M., & Marengo-Mogollón, H. (2016). Las inundaciones en un marco de incertidumbre climática. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 7(5), 5-13.
- Buchenrieder, G., Brandl, J., & Roland Balgah , A. (2021). The Perception of Flood Risks: A Case Study of Babessi in Rural Cameroon. *International Journal of Disaster Risk Science*, 12, 1-21. Obtenido de <https://link.springer.com/article/10.1007/s13753-021-00345-7?>
- CONACYT, F. M. (2008). *Manejo sustentable de Cuencas*. México: Gobierno del Estado de Veracruz.
- Córdova Mendoza, P., Barrios Mendoza, T. O., Zuzunaga Morales, R., & Córdova Barrios, I. C. (2022). *ANALISIS HIDRÁULICO DEL FLUJO DE CUENCAS NATURALES Y CANALES ARTIFICIALES MEDIANTE EL PROGRAMA HEC-RAS*. Guayaquil, Ecuador: Centro de Investigación y Desarrollo Ecuado.
- Cortador , S., Ceniza, K., & Emrich, C. (Noviembre de 2014). The geographies of community disaster resilience. *Global Environmental Change*, 29, 65-77. doi:<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.08.005>
- COTECNO. (2024). *COTECNO*. doi:<https://www.cotecno.cl/granulometria-analisis-granulometrico-suelos/>
- del Granado, S., Stewart, A., Borbor , M., & Franco, C. (2026). *Sistema de alerta temprana para inundaciones: Analisis comparativos de tres paises latinoamericanos*. Instituto de Estudios Avanzados en Desarrollo. Obtenido de <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/177355/1/wp2016-03.pdf?>
- del Río Santana, O., Gómez Córdova, F., López Carrillo, N. V., Saenz Esqueda, J. A., & Espinoza Fraire, A. T. (2020). Análisis comparativo de levantamiento topográfico tradicional y tecnología de Drones. *Revista de Arquitectura e Ingeniería*, 14(2), 1-10. Obtenido de https://www.redalyc.org/journal/1939/193963490001/html/#redalyc_193963490001_ref7
- Desarrollo, B. I. (2021). *Evaluación de los efectos e impactos de la tormenta tropical Eta y el huracán Iota en Honduras*. Obtenido de

<https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/91034cc8-b36b-4dd0-aeda-ddf90e655d15/content>

- Engineers, U. A. (2010). *HEC-RAS River Analysis System*. Obtenido de https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documentation/HEC-RAS_4.1_Reference_Manual.pdf
- FAO. (2020). *EN TIERRA SEGURA DESASTRES NATURALES Y TENENCIA DE LA TIERRA*. Obtenido de <https://www.fao.org/4/i1255b/i1255b01.pdf>
- Felices, A. (2003). Los modelos como herramientas valiosas para el diseño hidraulico. *Ciclo de conferencias*. Obtenido de http://biblioteca.uns.edu.pe/saladocentes/archivoz/curzoz/modelos_hidraulicos_de_rocha.pdf
- Floodup. (s.f.). *Floodup*. Obtenido de Floodup: http://www.floodup.ub.edu/clasificacion/#:~:text=Se%20pueden%20clasificar%20seg%C3%BAn%20las,lluvias%20d%C3%A9biles%20durante%20muchos%20d%C3%A9Das)
- Galvis Castro, Z. E. (2019). *Determinación de zonas de inundación mediante el modelo hidráulico unidimensional Hec-RAS, en la cuenca media del rio Pamplonita, tramo la don Juana, norte de Santander*. TESIS , Panplona. Obtenido de http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co:8080/jspui/bitstream/20.500.12744/8528/1/Galvis_2019_TG.pdf
- Garcia. (2015). *Modelacion Hidraulica*. Obtenido de https://www.academia.edu/7409852/CAPITULO_2_MODELACI%C3%93N_HI
- García, P. (2021). *DISEÑO DE UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA PARA PREVENCIÓN DE INUNDACIONES EN LA ZONA DE YAUTEPEC, MORELOS*. TESIS , Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Jiutepec, Morelos. Obtenido de http://repositorio.imta.mx/bitstream/handle/20.500.12013/2283/T_107.pdf
- González Clemente, O. J., Bezada Díaz, M., Millán Boadas, Z., & Manuel Carrera, J. (Diciembre de 2014). Caracterización de las arenas y arcillas minerales de los depósitos de canal y planicie de inundación del río Portuguesa, Venezuela. *Scielo*(85). doi:<https://doi.org/10.14350/rig.35291>
- Gutiérrez Rodríguez, W. (2023). Ensayo granulométrico de los suelos mediante el método del tamizado. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(2). doi:https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i2.5834
- GUZMÁN-HUERTA, A., & MUÑOZ-VILLERS, L. E. (2019). RESPUESTA HIDROLÓGICA DE UNA CUENCA DE BOSQUE TROPICAL HÚMEDO DE MONTAÑA Y SU ASOCIACIÓN CON EVENTOS METEOROLÓGICOS, MÉXICO. *ResearchGate*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/354150655_ID-

135_Respuesta_hidrologica_de_una_cuenca_de_bosque_tropical_humedo_de_montan
a_y_su_asociacion_con_eventos_meteorologicos_Mexico

Harris, I., J. T., Jones, P., & Lister, D. (2020). Version 4 of the CRU TS . *Scientific Data*,
<https://doi.org/10.1038/s41597-020-0453-3>.

Hernandez Romero , P., & Patino Gomez, C. (30 de Julio de 2024). Manual para el uso del
modelo hidrológico HEC-HMS 4.10. *ResearchGate*, 40. Obtenido de
[https://www.researchgate.net/publication/382652489_MANUAL_PARA_EL_USO_D
EL_MODELO_HIDROLOGICO_HEC-
HMS_410_HYDROLOGIC_MODELING_SYSTEM_HEC-HMS](https://www.researchgate.net/publication/382652489_MANUAL_PARA_EL_USO_D
EL_MODELO_HIDROLOGICO_HEC-
HMS_410_HYDROLOGIC_MODELING_SYSTEM_HEC-HMS)

Hernandez, V. (9 de Septiembre de 2022). *I am Puerto Cortes hn* . Obtenido de I am Puerto
Cortes hn: [mpuertocortes.hn/2022/09/09/el-mapa-de-honduras-cuenta-con-18-
departamentos-los-cuales-conectan-con-3-paises-de-centroamerica/](http://mpuertocortes.hn/2022/09/09/el-mapa-de-honduras-cuenta-con-18-
departamentos-los-cuales-conectan-con-3-paises-de-centroamerica/)

Hernández-Uribe, R. H., Barrios-Piña, H., & Ramírez, A. (Junio de 2017). Análisis de riesgo
por inundación: metodología y aplicación a la cuenca Atemajac. *SCielo Tecnologia y
Ciencia del Agua*, 8(3). doi:<https://doi.org/10.24850/j-tyca-2017-03-01>

HidrojIng. (25 de Febrero de 2013). *HidrojIng*. Obtenido de HidrojIng:
[https://www.hidrojing.com/definir-correctamente-un-
viaducto/#:~:text=Los%20coeficientes%20de%20contracci%C3%B3n%20y,en%20el
%20Hydraulic%20Reference%20Manual.&text=Estos%20coeficientes%20deben%20a
plicarse%20a,definen%20el%20%C3%A1mbito%20del%20puente.](https://www.hidrojing.com/definir-correctamente-un-
viaducto/#:~:text=Los%20coeficientes%20de%20contracci%C3%B3n%20y,en%20el
%20Hydraulic%20Reference%20Manual.&text=Estos%20coeficientes%20deben%20a
plicarse%20a,definen%20el%20%C3%A1mbito%20del%20puente.)

Honduras, E. d., & Coordinación, O. d. (2021). *Honduras: Tormentas Tropicales Eta e Iota*.
Informe de Situación, Tegucigalpa. Obtenido de
[https://reliefweb.int/report/honduras/honduras-tormentas-tropicales-eta-e-iota-informe-
de-situaci-n-no-9-al-9-de-
marzo#:~:text=Cubre%20el%20periodo%20del%2004,09%20de%20marzo%20de%20
2021.&text=Entre%20el%2001%20y%20el,en%20diversas%20%C3%A1reas%20del
%20pa](https://reliefweb.int/report/honduras/honduras-tormentas-tropicales-eta-e-iota-informe-
de-situaci-n-no-9-al-9-de-
marzo#:~:text=Cubre%20el%20periodo%20del%2004,09%20de%20marzo%20de%20
2021.&text=Entre%20el%2001%20y%20el,en%20diversas%20%C3%A1reas%20del
%20pa)

Huang, J., Hilldale, R., & Greimann, B. (2006). *Cohesive Sediment Transport, en:
Reclamation Managing Water in the West (Ed.): Erosion and Sedimentation Manual*.

ICF. (2018). *Mapa Cobertura Forestal de Honduras*. Instituto de Conservación Forestal .
Obtenido de <http://geoportal.icf.gob.hn/geoportal/main>

IDEAM. (2018). *Protocolo de modelacion hidrologica e hidraulica* . Bogota.

IHCIT, I. H. (2012). *ATLAS*. Tegucigalpa: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
HONDURAS. Obtenido de <https://ihcit.unah.edu.hn/productos/atlas-climatico/>

Knighton, D. (2014). *Fluvial forms y processes*. Routledge.
doi:<https://doi.org/10.4324/9780203784662>

- Lorenzo , E., Bellon, D., & Lopez, G. (2010). Conceptos generales para flujo a superficie libre. *udelaR*. Obtenido de https://www.academia.edu/3855016/CONCEPTOS_GENERALES_PARA_FLUJOS_A_SUPERFICIE_LIBRE_Curso_de_Hidrolog%C3%ADa_e_Hidr%C3%A1ulica_Aplicadas_Conceptos_B%C3%A1sicos_de_Flujos_a_Superficie_LibreCurso_de_Hidrolog%C3%ADa_e_Hidr%C3%A1ulica_Aplicadas_Conceptos_B%C3
- McGlade, J., Bankoff, G., Abrahams, J., & Cooper-Knock, S. (2019). *Informe de evaluación mundial sobre la reducción del riesgo de desastres*. Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres, Ginebra. Obtenido de <https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/10087200/>
- Mora, J. C. (2008). Inundaciones. *Ciencias de la Tierra para la Sociedad*(3), 13-14.
- Moreira-Intriago, S. D., Vélez Carranza, D. A., & Valencia-Zambrano, X. H. (Marzo de 2024). Determinación del coeficiente de rugosidad de Manning en un tramo del río. *Polo del conocimiento*, 9(3). doi:DOI: <https://doi.org/10.23857/pc.v9i3.6890>
- N.W. Hudson. (1997). *Medición sobre el Terreno de la Erosión del Suelo y de la Escorrentía*. Boletín de Suelos de la FAO - 68, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO, Ampthill, Bedford. Obtenido de <https://www.fao.org/4/T0848S/t0848s00.htm#Contents>
- Nadal , E., Lana , N., Garcia Ruiz , J., & Santiago, B. (2013). Erosión en paisajes mediterráneos: Cambios y retos de futuro. *ELSEVIER*, 194, 20-36. doi:<https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2013.05.023>
- Navarro Racines , C. E., Monserrate Rojas, F. A., Llanos Herrera, L., Obando Bonilla, D., & Córdoba Sánchez , J. M. (2018). *Desarrollo de los escenarios climáticos de Honduras y módulo académico de capacitación*. CIAT-PNUD-Dirección Nacional de Cambio Climático de MiAmbiente. Obtenido de <https://bit.ly/2SyhSHI>
- Orrego, J. C. (2013). *Construyendo Reliciencia en Honduras*. PNUD, Honduras. Obtenido de https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/migration/hn/Documento_Sintesis_Impprimir.pdf
- Ovando, C., & Araya, R. (2028). *Informe análisis granulométrico*. Obtenido de https://www.academia.edu/36856973/Informe_Analisis_Granulometrico
- Paiz , A. (2021). *Flujo permanente y no permanente*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/528458949/FLUJO-PERMANENTE-Y-NO-PERMANENTE>
- Pérez Morales, A., Gil Guirado, S., & Quesada García , A. (2021). ¿Somos todos iguales ante una inundación? Análisis de la vulnerabilidad social en el litoral mediterráneo español. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*(88). doi:<https://doi.org/10.21138/bage.2970>

- Pérez Rodríguez, A. (2020). *Estudio hidrológico e hidráulico del río Viar en el entorno de Cantillana*. TESIS , Escuela Técnica Superior de Ingeniería , Universidad de Sevilla, Sevilla. Obtenido de <https://idus.us.es/items/600e5d1f-f075-4877-a596-f0f5827ab4cd>
- Reguera, R. E. (2016). *ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD DE INUNDACIÓN EN LA CIUDAD DE MISANTLA, VER. PROYECTO DE INTERVENCIÓN PROFESIONAL , UNIVERSIDAD VERACRUZANA , BOCA DEL RÍO, VERACRUZ*. Obtenido de https://www.uv.mx/veracruz/miaplicada/files/2021/07/Tesis_Raul-Efren-Ibanez-Reguera.pdf
- Reyes Luna , A. (2014). *Modelación de flujo no permanente en sistemas hidráulicos con HEC-RAS. Aplicación al sistema de canales y lagos de Texcoco*. TESIS , Mexico D.F. Obtenido de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/6985>
- Reyes Sandoval, J., & Serrano Rodríguez, A. (noviembre-diciembre de 2021). Análisis morfométrico y biofísico en la cuenca del río talgua, Honduras. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 5(6). doi:https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v5i6.1214
- Reyes Sandoval, W. M. (2003). *Vulnerabilidad a desastres naturales, determinación de áreas críticas y propuesta de mitigación en la microcuenca del Rio Talgua, Catacamas, Olancho*. Turrialba, Costa Rica: CATIE. Obtenido de https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/5365/Natural_disasters_vulnerability.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Reyes Sandoval, W., Jiménez , F., Faustino, J., & Velásquez, S. (2006). Vulnerabilidad y áreas críticas a deslizamientos en la microcuenca del río Talgua, Honduras. *Recursos Naturales y Ambiente*(48), 103-110. Obtenido de https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/6927/Vulnerabilidad_y_areas_criticas.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Reyes, W. M. (2017). *Landscape heterogeneity and complexity: implications for terrestrial*. Tesis de doctorado, North Carolina State University. Obtenido de <https://repository.lib.ncsu.edu/server/api/core/bitstreams/72a3645f-ae5a-4dae-af45-53fef0b4ddf4/content>
- Rodríguez, A. P. (2020). *Estudio hidrológico e hidráulico del río Viar en el entorno de Cantillana*. TESIS, Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Sevilla. Obtenido de <https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/93329/fichero/TFG-3329+PÉREZ+RODRÍGUEZ%2C+ALBERTO.pdf>
- Saucedo, H., Zavala, M., & Fuentes, C. (2011). Modelo Hidrodinamico completo para riego con melgas. *Tecnología y Ciencias del Agua*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/3535/353531973002.pdf>
- Scuderi, C., Postiglione, R., Riccardi, G., & Stenta, H. (2019). CARACTERIZACIÓN DE DESASTRES NATURALES Y TECNOLÓGICOS CON ÉNFASIS EN DESASTRES

HIDROLÓGICOS. *Cuadernos del CURIHAM*, 25, 65-79. Obtenido de <https://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/242/2421204008/html/index.html>

- Suarez , P., Orfeo, O., & Vega, M. (2018). Introducción al estudio de sedimentos fluviales de llanura. *Extensionismo Innovación y Transferencia Tecnológica*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/326889366_Introduccion_al_estudio_de_sedimentos_fluviales_de_llanura
- Talavera Williams, C., & Canales Aguilar, S. (2008). *La gestión de riesgos contra inundaciones y el cambio climatico en Honduras*. CONTECNICA S.A. Obtenido de <https://media.odi.org/documents/3480.pdf>
- Tamayo Tamayo, M. (1998). El proceso de la investigación científica. En F. d. investigación, *Manual de la evaluación de proyectos* (págs. 98-100). México: Limusa.
- Tarbuck, E., & Lutgens, F. (2005). *Ciencias de la Tierra. Una introducción a la geología física* (8va ed.).
- UNAH, U. d. (2020). *Exposición a inundaciones y movimientos en masa para Honduras*. Boletín Especial, Tegucigalpa, Honduras. Obtenido de <https://www.unah.edu.hn/dmsdocument/10500-boletin-especial-sobre-inundaciones-y-movimientos-de-masa-en-honduras-pdf>
- Velez, J., & Cataño, S. (2016). Modelo conceptual agregado de transporte de sedimentos para cuencas de montaña en Antioquia- Colombia. *Boletín de Ciencias de la Tierra*. doi:10.15446/rbct.n39.52888

ANEXOS

Anexo 1. Encuesta aplicada a pobladores de las comunidades

UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSERVACIÓN
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS HIDROMETEREOLÓGICAS

Enunciado: La presente encuesta tiene como finalidad realizar un diagnóstico para conocer la vulnerabilidad a inundaciones según la percepción de los pobladores de las comunidades adyacentes al río Talgua.

Nombre del encuestado:

Comunidad: _____ Fecha: _____

1. ¿Ha tenido usted o su familia afectaciones por alguna inundación? Debe marcar una opción.		
Si ☐	No ☐	No sabe ☐

Si la respuesta es afirmativa responda la pregunta 2, si es negativa pase a la pregunta 3.

2. ¿Podría decir que tipo de afectación tuvo? <i>Puede marcar varias opciones</i>	
Inundación de la vivienda ☐	Pérdida de cultivos ☐
Derrumbe parcial o total de la vivienda ☐	Pérdida de alimentos ☐
Pérdida de animales productivos o domésticos ☐	Muertes por ahogamiento ☐
Acumulación de basura ☐	

Otras:

3. ¿Qué causas considera usted pueden incidir en que la inundación por lluvias sea más intensa? *Puede marcar varias opciones.*

Causas antropogénicas ☐ Causas naturales ☐

La no adopción de medidas
por parte de la población ☐

Otra: ¿Cuáles?

4. De los siguientes factores ¿Cuáles son los que más influyen en las posibles afectaciones que pudieran sufrir usted y su familia ante las inundaciones? *Puede marcar varias opciones*

Relieve, ubicación de su vivienda ☐ Modificaciones del cauce del río ☐
en zona baja

Cercanía de su vivienda al curso ☐ Mal estado de la vivienda ☐
del río

Acumulación de desechos sólidos ☐ Estado de las redes de alcantarillado
y escombros

Otros:

5. ¿Tiene usted conocimiento de las áreas que se inundan en su comunidad?

Si ☐

No ☐

No sabe ☐

6. ¿Podría señalar que áreas se han inundado mayormente en la comunidad según su experiencia? *Puede marcar varias opciones.*

Viviendas e instalaciones ☐

Carreteras ☐

Redes de abastecimiento ☐

Cultivos ☐

7. Ante el aviso de ciclón tropical (huracán o tormenta), ¿qué medidas ha considerado necesarias para enfrentar una posible inundación por intensas lluvias? *Puede marcar varias opciones*

Mantenerse informado ☐

Asegurar muebles, equipos y vivienda ☐

Asegurar alimentos, medicamentos ☐

Organizar la evacuación en caso necesario ☐

y otras provisiones necesarias

Proteger animales productivos y ☐

Proteger instalaciones de salud, educación ☐

mascotas

almacenes y otros recursos importantes

Otros:

8. ¿Considera que, ante la ocurrencia de un evento de esta naturaleza, usted y su familia deben evacuarse?			
Si	☐	No	☐
		No sabe	☐
En caso de decir no, ¿Por qué?			

9. ¿Podría decir por qué considera que deben evacuarse? <i>Puede marcar varias opciones</i>	
Para proteger su vida y de sus Familiares	☐
Para proteger su vivienda y objetos personales	☐
Porque la casa está en mal estado y no hay seguridad	☐
Porque la zona queda incomunicada	☐
Otras, ¿Cuáles?	

10. ¿Porque construyo su vivienda o sistema de producción en esta zona? <i>El encuestador deberá de escribir la respuesta proporcionada por el encuestado</i>

11. ¿Tiene alguna sugerencia, propuesta o criterio que permita disminuir los efectos negativos de la inundación por intensas lluvias? *El encuestador deberá de escribir la respuesta proporcionada por el encuestado*

Anexo 2. Protocolo de entrevista semiestructurada para diagnosticar factores que contribuyen al éxito de las evacuaciones y la resiliencia en la comunidad ante inundaciones

- Saludo y presentación personal
- Consideraciones personales
 - Consentimiento y voluntariedad
 - Explicación del porqué, y para que la información obtenida con la entrevista

Factores que contribuyen al éxito de las evacuaciones y la resiliencia en la comunidad ante inundaciones

- 1) ¿En qué año ha experimentado inundaciones significativas en su comunidad?
- 2) ¿Qué recuerda sobre la inundación más grande que ha presenciado en su comunidad?
- 3) ¿Qué tan rápido sube el nivel del agua del río durante una lluvia intensa?
- 4) ¿Qué tan seguro se siente al vivir cerca del río Talgua, considerando las inundaciones?
- 5) ¿Qué prácticas de mitigación de riesgo ante una inundación realiza usted o su familia?
- 6) ¿Existen obras de mitigación en su comunidad, como muros de contención, drenajes o reforestación de cuencas? ¿Quién las ha construido y mantienen en buen estado?
- 7) ¿Existe un protocolo de evacuación en la comunidad? En caso afirmativo, ¿cómo se comunica y quién lo coordina?
- 8) ¿Tienen identificadas rutas de evacuación y albergues seguros? ¿Están en condiciones adecuadas para su uso?
- 9) ¿Cómo se activa la alerta ante una posible inundación? ¿Hay un sistema de monitoreo (lluvias, niveles de ríos, alertas oficiales, etc.)?
- 10) ¿La comunidad cuenta con un CODEL (Comité de Emergencia Local)? En caso afirmativo, ¿cuáles son sus funciones y qué tan activo es?
- 11) En situaciones de evacuación, ¿qué factores han facilitado una respuesta efectiva y cuáles han representado desafíos?
- 12) ¿Cómo se organizan las familias y la comunidad en caso de emergencia? ¿Existen líderes comunitarios o brigadas específicas?}

Anexo 3. Protocolo de observación de vulnerabilidad de las comunidades ante inundaciones

UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSERVACIÓN
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS HIDROMETEREOLÓGICAS

Nombre de la comunidad: _____ Fecha: _____

**PROTOCOLO DE OBSERVACIÓN DE VULNERABILIDAD DE LAS
COMUNIDADES ANTE INUNDACIONES**

VARIABLE	VULNERABLE		GRADO DE VULNERABILIDAD			CRITERIO TÈCNICO
	SI	NO	BAJO	MEDIO	ALTO	

Anexo 4. Valores de las constantes reducidas σ_n y $\bar{Y}_n$ en función del número de años de registro (N), utilizadas para la estimación de caudales máximos mediante el método de Gumbel

Vs Record Length (n)

n	$\bar{Y}_n$	σ_n	n	$\bar{Y}_n$	σ_n	n	$\bar{Y}_n$	σ_n
8	0.4843	0.9043	35	0.5403	1.1285	64	0.5533	1.1793
9	0.4902	0.9288	36	0.5410	1.1313	66	0.5538	1.1814
10	0.4952	0.9497	37	0.5418	1.1339	68	0.5543	1.1834
11	0.4996	0.9676	38	0.5424	1.1363	70	0.5548	1.1854
12	0.5035	0.9833	39	0.5430	1.1388	72	0.5552	1.1873
13	0.5070	0.9972	40	0.5436	1.1413	74	0.5557	1.1890
14	0.5100	1.0095	41	0.5442	1.1436	76	0.5561	1.1906
15	0.5128	1.0206	42	0.5448	1.1458	78	0.5565	1.1923
16	0.5157	1.0316	43	0.5453	1.1480	80	0.5569	1.1938
17	0.5181	1.0411	44	0.5458	1.1499	82	0.5572	1.1953
18	0.5202	1.0493	45	0.5463	1.1519	84	0.5576	1.1967
19	0.5220	1.0566	46	0.5468	1.1538	86	0.5580	1.1980
20	0.5236	1.0628	47	0.5473	1.1557	88	0.5583	1.1994
21	0.5252	1.0696	48	0.5477	1.1574	90	0.5586	1.2007
22	0.5268	1.0754	49	0.5481	1.1590	92	0.5589	1.2020
23	0.5283	1.0811	50	0.5485	1.1607	94	0.5592	1.2032
24	0.5296	1.0864	51	0.5489	1.1623	96	0.5595	1.2044
25	0.5309	1.0915	52	0.5493	1.1638	98	0.5598	1.2055
26	0.5320	1.0961	53	0.5497	1.1653	100	0.5600	1.2065
27	0.5332	1.1004	54	0.5501	1.1667	150	0.5646	1.2253
28	0.5343	1.1047	55	0.5504	1.1681	200	0.5672	1.2360
29	0.5353	1.1086	56	0.5508	1.1696	250	0.5688	1.2429
30	0.5362	1.1124	57	0.5511	1.1708	300	0.5699	1.2479
31	0.5371	1.1159	58	0.5515	1.1721	400	0.5714	1.2545
32	0.5380	1.1193	59	0.5518	1.1734	500	0.5724	1.2588
33	0.5388	1.1226	60	0.5521	1.1747	750	0.5738	1.2651
34	0.5396	1.1255	62	0.5527	1.1770	1000	0.5745	1.2685

Anexo 5.Valores de $N \propto \delta_m$ en función de $\emptyset$

$\emptyset$	$\sqrt{N \propto \delta_m}$
0.01	(2.1607)
0.02	(1.7894)
0.05	(1.4550)
0.10	(1.3028)
0.15	1.2548
0.20	1.2427
0.25	1.2494
0.30	1.2687
0.35	1.2981
0.40	1.3366
0.45	1.3845
0.50	1.4427
0.55	1.15130
0.60	1.5984
0.65	1.7034
0.70	1.8355
0.75	2.0069
0.80	2.2408

Anexo 6. Matriz del protocolo de observación para la comunidad de Guanaja

Comunidad	Variable	Indicador	Clasificación	Observaciones	Vulnerabilidad
Guanaja	Infraestructura	Material de construcción	En esta comunidad la mayoría de viviendas su material de construcción es de bloque y cemento, se observó 3 casas de adobe y 4 casas de láminas de zinc.	Al momento de ocurrir inundaciones la mayoría de casas cercanas a los negocios de tamalitos son inundadas, ocasionando la evacuación de los pobladores.	Alta
		Tipo de vía	La comunidad cuenta con carretera pavimentada y drenaje	Aunque se cuente con drenaje la carretera es igualmente inundada.	Alta
	Cultivos	Tipo de cultivo	Predominan cultivos de hortalizas como repollo y cebolla, además se cultiva en gran proporción granos básicos como maíz y frijol. También se observaron cultivos de aguacate y limón en menor proporción.		Muy alta
		Sistema de siembra	El sistema de siembra que mayormente se implementa en los cultivos en esta comunidad, es siembra mediante hileras en zonas planas.		Muy alta
		Método de irrigación	El método más utilizado en la comunidad es el sistema de riego por gravedad, haciendo canales desde el río Talgua hasta sus parcelas.		Muy Alta
	Emplazamientos al borde del río	Distancia al cauce	Aproximadamente 9 casas se encuentran a una distancia menor o igual a 50m metros de		Alta

			distancias con respecto al cauce del río.		
		Barreras naturales o artificiales	No se presentan barreras naturales, la vegetación en la llanura de inundación es escasa. Sin embargo, se realizan bordos artificiales mediante actividades de dragado.		Muy alta
		Historial de inundaciones	En la comunidad se han presentado inundaciones frecuentes y severas.		Muy alta
		Altura sobre el nivel del río	Gran parte de la comunidad se encuentra a una altura menor a 5 metros sobre nivel del río.		Alta

Anexo 7. Matriz del protocolo de observación para la comunidad de La Unión

Comunidad	Variables	Indicador	Clasificación	Observaciones	Vulnerabilidad
La Unión Talgua	Infraestructura	Material de construcción	Se observaron 3 casas de adobe, 1 de madera y la mayoría son de bloques con cemento.		Media
		Tipo de vía principal	La comunidad cuenta con una carretera principal y drenaje en buen estado.	Esta carretera principal es inundada debido a que hay 2 cauces que atraviesan longitudinalmente el poblado y uno de este es utilizado como carretera. Se presentan deslizamientos en la parte alta de la comunidad, lo que provoca la acumulación de material en la parte baja obstruyendo el drenaje.	Alta
	Cultivos	Tipo de cultivos	En la comunidad predominan los cultivos de granos básicos como frijol y maíz, de igual manera hortalizas como repollo.		Muy alta
		Sistema de siembra	El sistema de siembra que mayormente se implementa en los cultivos en esta comunidad, es siembra mediante hileras en zonas planas.		Muy alta

		Método de irrigación	El método más utilizado en la comunidad es el sistema de riego por gravedad, haciendo canales desde el río Talgua hasta sus parcelas.		Muy alta
	Emplazamiento al borde del río	Distancia al cauce del río	3 casas en la parte alta en el área de estudio, se encuentran a una distancia aproximada de 30 metros, las demás viviendas se encuentran a distancias mayores de 50 metros con respecto al cauce del río.	Los dos cauces que atraviesan la comunidad inundan aproximadamente 28 casas, incluyendo la iglesia católica y el centro de salud.	Alta
		Barreras naturales o artificiales	En la comunidad se observó que se han realizados bordos en la parte más baja, de igual se observó moderada vegetación como barrera protectora.	Los habitantes mencionan que, durante las inundaciones, los bordos existentes no resultan muy efectivos, ya que el río arrastra fácilmente el material con el que están contruidos.	Alta
		Historial de inundaciones	En la comunidad se han presentado inundaciones frecuentes y severas.		Muy alta
		Altura sobre el nivel del río	La mayor parte de la comunidad se ubica en una zona alta, mientras que en la parte baja se localizan algunas viviendas, predominando en esta área los cultivos agrícolas.		Media

Anexo 8. Matriz del protocolo de observación para la comunidad de Riveras de Talgua

Comunidad	Variable	Indicador	Clasificación	Observaciones	Vulnerabilidad
Riveras de Talgua	Infraestructura	Material de construcción	La mayoría de las infraestructuras son de bloques y cemento, sin embargo, se encuentran 4 casas de adobe y dos casas de lámina.	Las infraestructuras presentan problemas de inundación interna durante eventos extremos, lo que genera la necesidad de evacuación por parte de los habitantes.	Alta
		Tipo de vía	La comunidad cuenta con una carretera pavimentada, además de calles de tierra que disponen de sistemas de drenaje.		Alta
	Cultivos	Tipo de cultivo	Los cultivos predominantes son cocos y maíz mayormente.		Alta
		Sistema de siembra	El sistema de siembra que mayormente se implementa en los cultivos en esta comunidad, es siembra mediante hileras en zonas planas.		Muy alta

		Método de irrigación	El método más utilizado en la comunidad es el sistema de riego por gravedad, haciendo canales desde el río Talgua hasta sus parcelas.		Muy alta
	Emplazamientos al borde del río	Distancia al cauce del río	La mayoría de las casas se encuentran a una distancia menor de 50 metros.	Se observó una construcción de una gasolinera a un área con un riesgo muy alto.	Alta
		Barreras naturales o artificiales	No se presentan barreras naturales, la vegetación en la llanura de inundación es escasa. Sin embargo, se realizan bordos artificiales mediante actividades de dragado.		Muy alta
		Historial de inundaciones	En la comunidad se han presentado inundaciones frecuentes y severas.		Muy alto
		Altura sobre el nivel del río	La comunidad se encuentra a una altura menor que 4 metros sobre el nivel del río.		Muy alto

Anexo 9.Matriz del protocolo de observación para la comunidad de El Espino

Comunidad	Variable	Indicador	Clasificación	Observaciones	Vulnerabilidad
El Espino	Infraestructura	Material de construcción	La mayoría de infraestructura es de ladrillos y bloques		Media
		Tipo de vía	Cuenta con la carretera principal, pero en la comunidad las calles y callejones son de tierra sin drenaje.		Muy alta
	Cultivos	Tipo de cultivo	Se cultivan mayormente granos básicos como maíz y frijol.		Muy alta
		Sistema de siembra	El sistema de siembra que mayormente se implementa en los cultivos en esta comunidad, es siembra mediante hileras en zonas planas.		Muy alta
		Método de irrigación	El método más utilizado en la comunidad es el sistema de riego por gravedad, haciendo canales desde el río Talgua hasta sus parcelas.		Muy alta

	Emplazamientos al borde del río	Distancia al cauce	Se encuentran casas e infraestructuras a distancias iguales o menores a 30 metros.		Muy alta
		Barreras naturales o artificiales	Cuenta con pocas barreras naturales o vegetación densa, sin embrago se cuenta con muros de contención y bordos realizados con actividades de dragados.		Alta
		Historial de inundaciones	Se presentan inundaciones ocasionales sin muchos daños.		
		Altura sobre el nivel del río			

