

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

ESCUELA DE POSGRADO



UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS

TESIS:

**RIESGO DE DESASTRE POR PELIGRO DE INUNDACIÓN EN LA
MICROCUEENCA TINGOMAYO, DISTRITO DE LOS BAÑOS DEL INCA**

Para optar el Grado Académico de

MAESTRO EN CIENCIAS

**MENCIÓN: ORDENAMIENTO TERRITORIAL Y GESTIÓN DEL RIESGO
DE DESASTRES**

Presentada por:

ANA MARIA LEON ORTIZ

Asesor:

Dr. JUAN ESTEBAN GONZALES GARCÍA

Cajamarca, Perú

2025

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

1. Investigador:
Ana María Leon Ortiz
DNI: 74059582
Escuela Profesional/Unidad de Posgrado de la Facultad de Ciencias Agrarias. Programa de Maestría en Ciencias, Mención: Ordenamiento Territorial y Gestión del Riesgo de Desastres
2. Asesor: Dr. Juan Esteban Gonzales Garcia
3. Grado académico o título profesional
 Bachiller Título profesional Segunda especialidad
 Maestro Doctor
4. Tipo de Investigación:
 Tesis Trabajo de investigación Trabajo de suficiencia profesional Trabajo académico
5. Título de Trabajo de Investigación:
Riesgo de desastre por peligro de inundación en la Microcuenca Tingomayo, distrito de Los Baños del Inca
6. Fecha de evaluación: **17/03/2026**
7. Software antiplagio: **TURNITIN** URKUND (OURIGINAL) (*)
8. Porcentaje de Informe de Similitud: **10%**
9. Código Documento: **3117:568510577**
10. Resultado de la Evaluación de Similitud:
 APROBADO PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: **31/03/2026**

<i>Firma y/o Sello Emisor Constancia</i>	
 _____ Dr. Juan Esteban Gonzales Garcia DNI: 26702215	 _____ Dr. Wilfredo Poma Rojas DNI: 26719942

* En caso se realizó la evaluación hasta setiembre de 2023

COPYRIGHT © 2025 by
CARMEN ELIZABETH RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ
Todos los derechos reservados



PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Siendo las 10..... horas, del día 22 de diciembre del dos mil veinticinco, reunidos en el Aula IQ-206 de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, el Jurado Evaluador presidido por el **Dr. EDIN EDGARDO ALVA PLASENCIA**, **Dr. WILFREDO POMA ROJAS**, **M.B.A. SANTIAGO DEMETRIO MEDINA MIRANDA**, y en calidad de Asesor el **Dr. JUAN ESTEBAN GONZALES GARCÍA**, actuando de conformidad con el Reglamento Interno y el Reglamento de Tesis de Maestría de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, se dio inicio a la Sustentación de la Tesis titulada **“RIESGO DE DESASTRE POR PELIGRO DE INUNDACIÓN EN LA MICROCUENCA TINGOMAYO, DISTRITO DE LOS BAÑOS DEL INCA”**, presentada por la **Bachiller en Ingeniería Civil, ANA MARÍA LEÓN ORTIZ**.

Realizada la exposición de la Tesis y absueltas las preguntas formuladas por el Jurado Evaluador, y luego de la deliberación, se acordó... aprobar... con la calificación de disociate..... (17)..... la mencionada Tesis; en tal virtud, la **Bachiller en Ingeniería Civil, ANA MARÍA LEÓN ORTIZ**, está apto para recibir en ceremonia especial el Diploma que lo acredita como **MAESTRO EN CIENCIAS** Mención en **ORDENAMIENTO TERRITORIAL Y GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES**, de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ciencias Agrarias.

Siendo las 11:49.. horas del mismo día, se dio por concluido el acto.

.....
Dr. Juan Esteban Gonzales Garcia
Asesor

.....
Dr. Edin Edgardo Alva Plasencia
Jurado Evaluador

.....
Dr. Wilfredo Poma Rojas
Jurado Evaluador

.....
M.B.A. Santiago Demetrio Medina Miranda
Jurado Evaluador

DEDICATORIA

A Dios y la Virgen de Guadalupe, por haberme dado fuerzas para seguir adelante, a mis padres Pedro y Teresa quienes siempre me brindan su apoyo y amor incondicional; a los regalos más grandes de mi vida mis sobrinos Evolet, Ian, Alma, Zoe y Santiago que llegaron a mi vida como bendiciones, son mi motivación e inspiración para seguir creciendo; a mis hermanos Teresa, Pedro y Carlos, pilares de mi vida, ejemplo de compromiso y cariño inquebrantable, en cada paso siento su presencia y respaldo, y a mis cuñados Jaime, Astrid y Nataly, por sus sabios consejos, complicidad y compañía.

AGRADECIMIENTO

A mi padre Pedro Leon Rivera, por ser mi primer maestro, en la vida y en esta profesión, por sembrar en mí el amor por esta carrera, por enseñarme con paciencia, compartir tu pasión y tus conocimientos sin reserva, cada paso que doy lleva impresa tu influencia.

A mi madre Teresa Ortiz, por ser mi impulso constante, mi guía silenciosa, por tus sacrificios silenciosos y tu fuerza inquebrantable, este logro no es mío, es tuyo, porque sin tu perseverancia este camino habría sido imposible.

A mi asesor, Dr. Juan Esteban Gonzales García, quien ha sido mucho más que una guía académica, su paciencia, orientación, y dedicación en cada etapa de este proceso, han sido fundamentales en este trabajo.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
ÍNDICE GENERAL.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
LISTA DE ABREVIATURAS / SIGLAS	xiii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
CAPÍTULO I.	1
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO II.	5
MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Antecedentes de la Investigación	5
2.1.1. Internacional	5
2.1.2. Nacional	7
2.1.3. Local	9
2.2. Bases Teóricas	12
2.2.1. Cuenca y Microcuenca Hidrográfica –Unidad de Análisis	12
2.2.2. Inundación.....	15
2.2.3. Peligro por Inundación.....	18
2.2.4. Riesgo de Desastre por Inundación.....	28
2.2.5. Análisis Multicriterio y Método AHP	34
2.3. Definición de Términos Básicos.....	36

2.3.1. Riesgo de Desastre por Inundación.....	36
2.3.2. Peligro por Inundación.....	36
2.3.3. Vulnerabilidad frente a Inundación.....	36
2.3.4. Exposición.....	37
2.3.5. Inundación Pluvial Urbana.....	37
2.3.6. Microcuenca Hidrográfica.....	37
2.3.7. Condicionantes Físico – Territoriales del Peligro.....	37
2.3.8. Factor Desencadenante.....	37
2.3.9. Sistema de Información Geográfica (SIG).....	38
2.3.10. Proceso Analítico Jerárquico (AHP).....	38
CAPÍTULO III.....	39
MATERIALES Y MÉTODOS	39
3.1. Tipo y diseño de investigación	39
3.3. Área de Estudio	40
3.3.1. Ubicación Política.....	40
3.3.2. Ubicación Geográfica y Límites Naturales	41
3.3.3. Delimitación de la Microcuenca.....	43
3.3.4. Red Hidrográfica	45
3.3.5. Características Climáticas	45
3.3.6. Características Geológicas	46
3.3.7. Características Geomorfológicas	47
3.3.8. Características de las Pendientes	48
3.1.9. Características Socioeconómicas y Urbano–Territoriales	48
3.4. Materiales y Software Utilizados	50
3.4.1. Información Cartográfica y Modelo Digital de Elevación (MDE)	50

3.4.2. Bases Censales y Estadísticas.....	51
3.4.3. Series Hidrometeorológicas.....	52
3.4.4. Procesamiento cartografico usando Software Qgis.....	52
3.5. Técnicas y Procedimiento de Recolección y preparación de Datos:	53
3.5.1. Obtención de Información Secundaria Oficial	54
3.5.2. Preparación y Análisis de Datos Censales e Hidrometeorológicos.....	54
3.5.3. Reconocimiento y Verificación en Campo.....	56
3.6. Procesamiento, modelamiento y análisis de datos P-V-R.....	57
3.6.1. Procesamiento del Componente Vulnerabilidad.....	58
3.6.2. Procesamiento del Componente Peligro.....	61
3.6.3. Integración del Riesgo de Desastre.....	64
3.6.4. Criterios de Validación	66
CAPÍTULO IV.	68
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	68
4.1. Peligro de Inundación Pluvial	68
4.1.1. Régimen de Lluvias y Caudal Máximo Diario	68
4.1.2. Curvas Intensidad - Duración - Frecuencia (IDF).....	70
4.1.3. Indicador Hidrometeorológico Desencadenante del Peligro	71
4.1.4. Factores Físico - Territoriales Condicionantes del Peligro.....	71
4.1.5. Índice de Susceptibilidad a Inundación Pluvial	78
4.1.6. Niveles de Peligro de Inundación Pluvial	80
4.2. Vulnerabilidad Social y Constructiva	85
4.2.1. Indicadores de Vulnerabilidad Social	85
4.2.2. Indicadores de Vulnerabilidad Constructiva	86
4.2.3. Índice y Niveles de Vulnerabilidad.....	86

4.3. Riesgo de Desastre por Inundación	91
4.3.1. Integración del peligro y la vulnerabilidad ($R = P \times V$).....	91
4.3.2. Índice y Niveles de Riesgo de Desastre	92
4.3.3. Distribución Espacial del Riesgo de Desastre	94
4.3.4. Implicancias para la Gestión del Territorio y la Reducción del Riesgo	97
CAPÍTULO V.....	98
CONCLUSIONES	98
CAPÍTULO VI.....	100
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	100
CAPÍTULO VII.	107
ANEXOS.....	107

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Ubicación político-administrativa del distrito de Los Baños del Inca.....	41
Tabla 2 Coordenadas UTM y características generales de la microcuenca Tingomayo.....	41
Tabla 3 Límites naturales de la microcuenca Tingomayo.....	42
Tabla 4 Ponderación de los niveles de riesgo de desastres.....	65
Tabla 5 Valores finales del índice de peligro de inundación pluvial en la microcuenca Tingomayo.....	82
Tabla 6 Valores finales del índice de vulnerabilidad de inundación pluvial en la microcuenca Tingomayo.....	87
Tabla 7 Clasificación del índice de riesgo de inundación pluvial.....	94

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Caracterización de una cuenca hidrográfica.....	14
Figura 2 Clasificación de peligros originados por fenómenos naturales.....	19
Figura 3 Ubicación delimitación de la microcuenca Tingomayo.....	44
Figura 4 Serie histórica del caudal máximo diario (Qmax, 24 horas) en la microcuenca Tingomayo, 1981–2025.....	69
Figura 5 Curvas intensidad - duración - frecuencia (IDF) para Cajamarca.....	71
Figura 6 Red hidrográfica de la microcuenca Tingomayo.....	74
Figura 7 Unidades geológicas de la microcuenca Tingomayo.....	75
Figura 8 Unidades geomorfológicas de la microcuenca Tingomayo.....	76
Figura 9 Pendiente del terreno en la microcuenca Tingomayo.....	77
Figura 10 Susceptibilidad a inundación pluvial en la microcuenca Tingomayo.....	79
Figura 11 Peligro de inundación pluvial en la microcuenca Tingomayo.....	83
Figura 12 Vulnerabilidad a inundación pluvial en la microcuenca Tingomayo.....	88
Figura 13 Riesgo de desastre por inundación pluvial.....	96

LISTA DE ABREVIATURAS / SIGLAS

AHP: Analytic Hierarchy Process

ANA: Autoridad Nacional del Agua

CENEPRED: Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres

CENAPRED: Centro Nacional de Prevención de Desastres

CHIRPS: Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station Data

CR: Índice de consistencia (Consistency Ratio)

DEM/MDE: Modelo Digital de Elevación

IDF: Curva Intensidad–Duración–Frecuencia

INEI: Instituto Nacional de Estadística e Informática

INGEMMET: Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico

PDU: Plan de Desarrollo Urbano

PLANAGERD: Plan Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres

QGIS: Quantum Geographic Information System

Qmax: Caudal máximo

SIG: Sistema de Información Geográfica

SINAGERD: Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres

UNDRR: United Nations Office for Disaster Risk Reduction

SENAMHI: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú

PLANAGERD: Plan Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres

RESUMEN

El estudio tuvo como objetivo evaluar el nivel de riesgo de desastre ante inundaciones pluviales en la microcuenca Tingomayo, distrito de Baños del Inca, integrando los componentes de peligro y vulnerabilidad mediante el modelo $R = P \times V$. Se emplearon información cartográfica y un modelo digital de elevación procesados en QGIS, series de precipitación máxima, información hidrometeorológica y datos censales a nivel de manzana; los indicadores físico-territoriales y socio-constructivos fueron normalizados y ponderados con el método AHP. Los resultados muestran niveles de riesgo medio, alto y muy alto, sin áreas de riesgo bajo. El peligro de inundación pluvial se concentra en el tramo medio y bajo de la microcuenca Tingomayo, en el valle de Cajamarca, donde coinciden pendientes suaves, depósitos cuaternarios poco consolidados y limitada capacidad de drenaje. La vulnerabilidad es mayor en manzanas con alta densidad poblacional, predominio de población infantil y viviendas construidas con materiales sensibles a la humedad, como adobe, tapial y ladrillo. Se concluye que la combinación de estas condiciones físicas, demográficas y constructivas configura un escenario de riesgo de desastre significativo en los sectores urbanos próximos al cauce de Tingomayo, por lo que se requiere priorizar medidas de reducción del riesgo y ordenamiento territorial.

Palabras clave: Inundación pluvial, riesgo de desastre, peligro, vulnerabilidad, microcuenca Tingomayo.

ABSTRACT

The study aimed to assess the level of disaster risk from pluvial flooding in the Tingomayo micro-basin, district of Baños del Inca, by integrating hazard and vulnerability components through the $R = H \times V$ model. Cartographic information and a digital elevation model processed in QGIS were used, together with series of maximum precipitation, hydrometeorological records and block-level census data. Physical-territorial and socio-constructive indicators were normalized and weighted using the AHP method. The results show medium, high and very high levels of risk, with no areas classified as low risk. Pluvial flood hazard is concentrated in the middle and lower reaches of the Tingomayo micro-basin, in the Cajamarca valley, where gentle slopes, unconsolidated Quaternary deposits and limited drainage capacity converge. Vulnerability is higher in blocks with high population density, a predominance of children, and dwellings built with moisture-sensitive materials such as adobe, rammed earth and brick. It is concluded that the combination of these physical, demographic and construction conditions creates a significant disaster risk scenario in urban sectors located near the Tingomayo channel, making it necessary to prioritize risk reduction measures and territorial planning.

Keywords: Pluvial flooding, disaster risk, hazard, vulnerability, Tingomayo micro-basin

CAPÍTULO I.

INTRODUCCIÓN

Durante las últimas décadas, diversos informes internacionales han señalado que los desastres asociados a fenómenos hidrometeorológicos, especialmente las inundaciones, representan uno de los riesgos más frecuentes y costosos a escala global, tanto por el número de víctimas humanas como por las afectaciones económicas y ambientales que generan. En América Latina y el Caribe, este problema se agudiza por la alta exposición de asentamientos humanos en valles aluviales y microcuencas urbanizadas, donde la urbanización acelerada y no planificada ha favorecido la ocupación de zonas inundables con baja infraestructura de drenaje y servicios básicos, generando escenarios de riesgo de desastre crecientemente complejos (UNDRR, 2022). En el Perú, la Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y el PLANAGERD destacan a las inundaciones como uno de los peligros prioritarios y enfatizan la necesidad de contar con estudios de estimación del riesgo que sirvan de base para la planificación del territorio y la formulación de proyectos de inversión en reducción del riesgo (INDECI, 2022; PCM, 2022), sin embargo, la información disponible suele concentrarse en ámbitos regionales o cuencas mayores, mientras que las microcuencas espacios donde se materializan efectivamente los daños permanecen insuficientemente estudiadas debido a esta brecha entre la escala de la política y la escala en la que el riesgo se construye y experimenta constituye un reto persistente para la gestión del territorio.

Investigaciones recientes en ciudades de la región evidencian que la expansión urbana sobre áreas propensas a inundación, combinada con la vulnerabilidad socioeconómica de la población y la débil regulación del uso del suelo, incrementa significativamente la probabilidad y severidad de los desastres hidrometeorológicos (Quesada-Román, 2022) este enfoque coincide con la perspectiva contemporánea de la gestión del riesgo, consolidada a partir del Marco de Sendai 2015–2030, que concibe el riesgo no como el resultado exclusivo de un

fenómeno físico, sino como la interacción entre el peligro, la exposición y la vulnerabilidad (UNDRR, 2017, 2020, 2022). En consecuencia, el análisis del riesgo por inundación exige no solo estimar la intensidad y probabilidad de los eventos de lluvia, sino también caracterizar quiénes y qué se encuentran expuestos y en qué condiciones físicas y socioeconómicas se desarrollan; ello demanda articular información hidrometeorológica e hidrológica con datos territoriales y sociodemográficos, reconociendo el carácter construido y diferencial del riesgo.

La región Cajamarca, y en particular el distrito de Baños del Inca, evidencian esta problemática la expansión urbana sobre quebradas y zonas bajas, junto con pendientes moderadas y suelos con limitada infiltración, ha aumentado la exposición frente a inundaciones pluviales aunque esto solo haya impulsado iniciativas de drenaje y obras de protección, estas suelen ser fragmentarias y no se basan en evaluaciones integrales del riesgo a escala de microcuenca que articulen peligro, vulnerabilidad y exposición. En este contexto, la microcuenca Tingomayo se presenta como un caso representativo ya que se trata de un entorno urbano y periurbano en expansión, asentado sobre un espacio físicamente susceptible a inundaciones pluviales diversos estudios en zonas andinas señalan que la ocupación de fondos de valle, llanuras aluviales y áreas próximas a cauces incrementa de manera significativa la probabilidad de anegamientos y la concentración de escorrentía durante eventos de precipitación intensa (Pinos & Quesada-Román, 2022).

En Cajamarca, el Gobierno Regional (2020) y el CENEPRED (2023) han documentado episodios recurrentes de inundación en sectores urbanos asentados sobre depósitos cuaternarios poco consolidados, situación observable también en la microcuenca Tingomayo a pesar de ello, no existía una evaluación específica, integrada y espacialmente detallada del riesgo por inundación pluvial en este ámbito, lo cual limita la capacidad de priorizar intervenciones y orientar adecuadamente el desarrollo urbano, es por ello que surge la necesidad de responder la pregunta central de esta investigación: ¿Cuál es el nivel de riesgo de desastre por peligro de

inundación pluvial en la microcuenca Tingomayo, distrito de Baños del Inca? Y para poder responderla, se plantearon las siguientes preguntas específicas: ¿Cómo se caracteriza el peligro de inundación pluvial en función de las características físico-territoriales y del régimen de lluvias?, ¿Cuál es el nivel de vulnerabilidad social y constructiva de la población expuesta al peligro de inundación pluvial? y ¿Cómo se relacionan el peligro y la vulnerabilidad para estimar el nivel de riesgo de desastre e identificar implicancias para la gestión del territorio y la reducción del riesgo?

De acuerdo con ello, se formuló como hipótesis general que los niveles más altos de riesgo se concentran en el tramo medio y bajo de la microcuenca Tingomayo por la coincidencia entre elevada peligrosidad y alta vulnerabilidad social y constructiva. La hipótesis nula planteó que no existen diferencias significativas en los niveles de riesgo y que predominan valores bajos o medios. La hipótesis alternativa propuso que el riesgo se intensifica en sectores donde confluyen simultáneamente los valores más altos de peligro y vulnerabilidad (UNDRR, 2017, 2020).

La justificación del estudio responde a tres dimensiones, la primera la científica, contribuye al entendimiento del riesgo por inundación pluvial en microcuencas urbanas de montaña, integrando los componentes de peligrosidad, vulnerabilidad y riesgo bajo el modelo de $R = P \times V$. En la justificación metodológica, emplea Sistemas de Información Geográfica, análisis multicriterio (AHP), series hidrometeorológicas y datos censales a nivel de manzana, generando un enfoque replicable para contextos similares y en la justificación práctica, ofrece insumos técnicos para orientar intervenciones de drenaje, mejoramiento urbano y planificación territorial en concordancia con el SINAGERD.

El estudio tiene como objetivo general: Determinar el nivel de riesgo de desastre por peligro de inundación en la microcuenca Tingomayo y sus objetivos específicos son: Caracterizar el peligro de inundación pluvial en función de las características físico-territoriales

y del régimen de lluvias; evaluar el nivel de vulnerabilidad social y constructiva de la población expuesta al peligro de inundación pluvial; y analizar la relación entre el peligro y la vulnerabilidad para estimar el nivel de riesgo de desastre e identificar implicancias para la gestión del territorio y la reducción del riesgo.

CAPÍTULO II.

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la Investigación

2.1.1. Internacional

López y Hernández (2021) desarrollan un estudio en ciudades de Quintana Roo (México) con el objetivo de generar mapas de riesgo por inundación en zonas urbanas, el trabajo se basa en la metodología del CENAPRED para la elaboración de mapas de riesgo, integrando modelos hidráulicos con HEC-RAS y análisis espacial en SIG a partir de modelos digitales de elevación y datos de lluvia intensas, en su metodología combinan la delimitación de áreas inundables con la incorporación de variables de exposición (población e infraestructura urbana), clasificando el riesgo en categorías cualitativas; puesto que entre sus resultados destacan la identificación de franjas urbanas con alta probabilidad de inundación asociadas al crecimiento urbano no planificado y a la ocupación de zonas bajas mal drenadas; los autores concluyen que la cartografía de riesgo elaborada constituye un insumo clave para la planificación urbana y subrayan la necesidad de integrar “criterios de riesgo hidrometeorológico” en los instrumentos de ordenamiento territorial, a fin de restringir la expansión urbana en zonas susceptibles y priorizar obras de drenaje y protección.

Cantos et al. (2021) realizan un estudio comparativo sobre la cartografía de inundaciones en la planificación territorial en Argentina y España, con el propósito de analizar cómo los mapas de inundación se incorporan a los instrumentos de ordenación del territorio, mediante una revisión documental de normativa, planes territoriales y estudios de caso, los autores examinan escalas, criterios y usos de la cartografía de peligrosidad y riesgo, sus resultados muestran que, aunque se han producido avances en la generación de mapas de inundación, en la práctica estos se usan sobre todo como cartografía de peligro físico, sin

integrar de forma sistemática indicadores de vulnerabilidad social y exposición, ellos concluyen que existe una “brecha entre la disponibilidad de cartografía de inundaciones y su efectiva incorporación a la toma de decisiones urbanísticas”, lo que limita su potencial para prevenir la ocupación de espacios inundables y orientar políticas de gestión del riesgo a escala local.

Krvavica et al. (2023) proponen un marco metodológico para el mapeo de peligro y riesgo por inundaciones pluviales súbitas en la cuenca de Gospić, Croacia, en el marco de la Directiva de Inundaciones de la Unión Europea, el estudio utiliza un enfoque cuantitativo que combina modelos hidrológico-hidráulicos 2D, datos topográficos de alta resolución, SIG para estimar peligro, vulnerabilidad y riesgo, estos autores generaron mapas de peligro para distintos periodos de retorno y superpusieron información sobre edificaciones, población, red vial y elementos protegidos, cuantificando daños potenciales y población afectada para cada escenario, sus resultados evidencian que entre el 14 % y el 19 % del área de estudio podría inundarse en eventos de distinta probabilidad, con impactos económicos significativos, ellos concluyen que el enfoque propuesto mejora la precisión de los mapas oficiales y permite priorizar zonas de intervención, mostrando que la evaluación integrada de peligro, exposición y vulnerabilidad es esencial para apoyar la planificación del riesgo a nivel de cuenca.

Verdesoto (2024) desarrolla una tesis de maestría en la Amazonía norte del Ecuador con el objetivo de analizar cómo la vulnerabilidad social configura el riesgo de desastre frente a inundaciones en el contexto del cambio climático en las cuencas del Napo y Putumayo, su investigación adopta el modelo Presión y Liberación (PAR), combina el Método Analítico Jerárquico (AHP) con SIG y utiliza indicadores censales y socioambientales para construir un índice de vulnerabilidad social a escala de sectores censales, los resultados muestran que más de dos tercios de las unidades analizadas presentan niveles altos o muy altos de vulnerabilidad, asociados a pobreza, dependencia económica de actividades extractivas y baja capacidad

adaptativa; este trabajo concluye que los modelos de desarrollo insostenibles (extractivismo, deforestación, débil institucionalidad) crean “territorios estructuralmente inseguros”, y plantea que la gestión del riesgo debe abordar simultáneamente las dinámicas socioeconómicas y las amenazas hidrometeorológicas, no solo el peligro físico.

Quesada-Román (2025) proponen un método para el cálculo del riesgo de inundaciones a escala de cuencas y municipios en América Central, con el objetivo de clasificar los municipios de Honduras, El Salvador, Costa Rica y Panamá según niveles de riesgo, este estudio integra información secundaria sobre amenaza hidrometeorológica, exposición (población, infraestructura, cultivos) y vulnerabilidad socioeconómica, generando un índice de riesgo mediante procedimientos estadísticos y análisis espacial en SIG, estos resultados identifican 36 cuencas y numerosos municipios con riesgo alto o muy alto, caracterizados por la concurrencia de alta amenaza, alta exposición y altos índices de pobreza, los autores destacan la “escasez de cartografía de amenazas y análisis de riesgos” en la región y sostienen que su metodología ofrece una herramienta replicable para priorizar territorios en políticas de gestión del riesgo de inundaciones. Concluyen que la escala municipal constituye un nivel operativo clave para articular la información técnica con los procesos de planificación territorial y asignación de recursos.

2.1.2. Nacional

Arriola et al. (2022) , en su investigación tuvo por objetivo evaluar el riesgo de inundación empleando un sistema de información geográfica y modelamiento hidráulico en el río La Leche, Lambayeque, con fines de prevención a corto plazo, su investigación, de tipo aplicada y descriptiva, se desarrolló en un tramo de 18,2 km aguas abajo, considerado el más propenso a desbordes, se realizó mediante el uso de modelos hidráulicos, información hidrológica histórica y cartografía base, los autores delimitaron zonas de inundación para distintos caudales de diseño y las integraron en un entorno SIG, sobre el cual superpusieron

información de usos del suelo y elementos expuestos, sus resultados mostraron extensas áreas de la planicie de inundación con niveles de riesgo alto y muy alto, asociadas a la presencia de centros poblados, infraestructura vial y terrenos agrícolas con escasa protección estructural, es así que se concluyó que la combinación de modelamiento hidráulico y SIG permite identificar con precisión las áreas críticas y sustentar la priorización de medidas de prevención y mitigación, recomendando la actualización periódica de la cartografía de riesgo ante la variabilidad de las lluvias y la influencia de fenómenos como El Niño.

Reyes y Reyes (2022) realizaron una evaluación preliminar del riesgo por inundación pluvial en el barrio Nueva Florida de la ciudad de Huaraz, con el propósito de determinar y zonificar los niveles de riesgo a escala de barrio, esta investigación adoptó un enfoque cuantitativo, no experimental y transversal, aplicando la metodología de riesgo que combina peligro, vulnerabilidad y exposición; utilizaron información topográfica, registros de lluvia y trabajo de campo para caracterizar las condiciones físicas y antrópicas, y se construyeron mapas temáticos en SIG, estos resultados plasmados en el mapa de niveles de riesgo indican que el área estudiada presenta valores de riesgo muy alto (rango 0,770–0,212) y alto (rango 0,023–0,077), lo que evidencia una elevada concentración de viviendas y población en zonas susceptibles a inundación pluvial, como conclusión del estudio se señala que el nivel de riesgo identificado es inaceptable, por lo que se requieren acciones inmediatas y prioritarias de manejo del riesgo en el barrio, incluyendo intervenciones estructurales y no estructurales.

Muñoz y Yamunaque (2023) tuvieron como objetivo determinar el nivel de riesgo ante inundación fluvial aplicando la metodología CENEPRED en el sector Magllanal, Jaén, Cajamarca, este estudio, de enfoque cuantitativo y tipo básico, siguió los lineamientos del Manual para la Evaluación del Riesgo de Desastres de CENEPRED (2014), que estructura el análisis en tres componentes: peligrosidad, vulnerabilidad y riesgo, a partir de información topográfica, datos de precipitaciones y trabajo de campo, se identificaron los parámetros de

peligrosidad asociados a desbordes de la zanora Magllanal; seguidamente, se evaluó la vulnerabilidad de 68 lotes y viviendas considerando fragilidad física, grado de exposición y capacidad de respuesta, con estos insumos se clasificaron los niveles de peligro, vulnerabilidad y riesgo mediante matrices de combinación, obteniéndose que el 1,47 % de los lotes presenta riesgo muy alto, el 69,12 % riesgo alto y el 29,41 % riesgo medio frente a inundación fluvial, en consecuencia, las autoras concluyen que el sector Magllanal se encuentra, en términos generales, en un nivel de riesgo alto, y destacan que la metodología CENEPRED constituye una herramienta útil para articular el análisis técnico con la toma de decisiones locales en materia de inversión pública y gestión del riesgo.

Licla (2022) desarrolló una tesis de maestría en la UNMSM con el objetivo de determinar la influencia de las relaciones socio-ecológicas en el riesgo de inundación pluvial en el área urbana del distrito de Puquio, provincia de Lucanas, Ayacucho. El estudio caracterizó el sistema socio-ecológico urbano e identificó las interacciones entre servicios ecosistémicos y actividades antrópicas; posteriormente, calculó el riesgo de inundación pluvial mediante el Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) y aplicó la prueba de correlación de Spearman para evaluar el vínculo entre las relaciones socio-ecológicas y los niveles de riesgo. Sus resultados mostraron una correlación negativa moderada entre ambas variables, de modo que en los barrios con mayor desarrollo económico y social predomina un riesgo moderado, mientras que en los barrios con menor desarrollo se registra un riesgo alto; en consecuencia, se concluyó que la gestión del riesgo por inundación pluvial debe integrar no solo los factores físicos, sino también las dinámicas socio ecológicas y las desigualdades territoriales presentes en la ciudad.

2.1.3. Local

Peralta et al., (2024) publicaron un artículo científico en el que evalúa el riesgo de inundación fluvial por acción de la quebrada Machaypungo en la zona urbana de Cochabamba, provincia de Chota, Cajamarca, este artículo tiene un enfoque cuantitativo, utiliza información

hidrológica, topográfica y censal, así como cartografía temática procesada en SIG, para construir mapas de peligro (en función de caudales de diseño y condiciones geomorfológicas), vulnerabilidad (materiales de vivienda, densidad de ocupación, condiciones socioeconómicas) y riesgo, aplicando matrices de combinación entre peligro y vulnerabilidad; estos resultados muestran que amplios sectores de la ciudad se ubican en niveles de riesgo alto frente a inundaciones de la quebrada Machaypungo con coincidencia de alta peligrosidad y alta vulnerabilidad residencial, las investigadoras concluyen que la presencia de un riesgo alto generalizado exige la formulación de un plan de gestión del riesgo de inundación y destacan la utilidad de los productos cartográficos como soporte a la planificación urbana y a la priorización de inversiones en drenaje, protección de cauces y reducción de la vulnerabilidad social.

Abanto (2017) desarrolló una investigación en el sector sur de la ciudad de Cajamarca con el objetivo de evaluar el riesgo de inundación generado por eventos pluviales, empleando un modelo de gestión de aguas pluviales. El estudio utilizó el software Storm Water Management Model (SWMM), para lo cual se recopiló y procesó información meteorológica, catastral, topográfica y satelital necesaria para el modelamiento hidráulico e hidrológico del sistema de drenaje urbano. La simulación permitió analizar variables como velocidad, tirante de agua, capacidad y caudal en los conductos, determinándose que una proporción importante de la red supera la velocidad máxima segura, presenta sobrecarga y genera volúmenes significativos de inundación en varios nodos. Los resultados evidencian la existencia de un riesgo constante de inundación y anegamientos mientras no se controle adecuadamente la escorrentía superficial, por lo que el autor propone obras de mejora del drenaje pluvial como medida prioritaria de mitigación.

Malaver (2023) llevó a cabo una tesis de maestría en la ciudad de Cajamarca con el propósito de determinar el índice de vulnerabilidad total y el nivel de riesgo a inundación en el

caserío Bella Unión, ubicado en la margen del río San Lucas. La investigación, de tipo descriptivo y corte transversal, aplicó las metodologías propuestas por el Instituto Nacional de Defensa Civil y el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres, utilizando encuestas, fichas evaluativas e información de instituciones locales para ponderar indicadores físicos, sociales y económicos. A partir de estos insumos se calcularon los índices de vulnerabilidad, peligro y riesgo, obteniéndose valores de 0,756; 0,500 y 0,750 respectivamente, lo que ubica al sector en un nivel de riesgo alto frente a inundaciones pluviales. El estudio concluye que la combinación de alta vulnerabilidad social y exposición directa al cauce del río exige priorizar intervenciones de prevención y reducción del riesgo en Bella Unión.

Mendoza (2017) realizó un estudio en la quebrada Romero, ubicada en el distrito de Cajamarca, con el objetivo de evaluar el nivel de riesgo por inundación durante el periodo 2011–2016. La investigación se basó en el *Manual para la Evaluación de Riesgos Originados por Fenómenos Naturales* del Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres, desarrollando una metodología de tipo descriptivo apoyada en tablas e instrumentos del manual. Se recopiló información social, económica y ambiental mediante observación, obtención de datos meteorológicos, generación de mapas, selección aleatoria de viviendas y entrevistas a las familias aledañas a la quebrada. El análisis determinó que tanto la peligrosidad de la quebrada como la vulnerabilidad de la población son altas, por lo que el nivel de riesgo de inundación en el área de estudio se clasifica como alto. En base a estos resultados, el autor plantea medidas estructurales y no estructurales orientadas a reducir el riesgo existente en la franja marginal de la quebrada Romero.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Cuenca y microcuenca hidrográfica – Unidad de análisis

Concepto de cuenca, y microcuenca. Desde la perspectiva hidrológica, una cuenca se define como una unidad geográfica natural delimitada por una divisoria topográfica, conocida como *Divortium Aquarum*, siendo esta una línea imaginaria separa las cuencas vecinas y dirige el escurrimiento superficial generado por la precipitación hacia un punto de salida específico (Pezo, 2022), en este enfoque, la cuenca se entiende como un sistema físico y socioambiental interrelacionado, donde el relieve, los tipos de suelo, la cobertura vegetal y el uso del suelo condicionan tanto la generación de escorrentía como la ocurrencia de procesos hidromorfológicos tales como inundaciones, erosión y movimientos en masa (Cotler, 2013), en términos generales, la cuenca hidrográfica actúa como una estructura natural que capta el agua de lluvia y la canaliza hacia un río principal, integrando superficies que vierten el escurrimiento, como el suelo y los cauces naturales, el análisis a escala de microcuenca permite una mayor comprensión del relieve, el clima y el uso del suelo, lo cual resulta esencial para anticipar el comportamiento del agua en eventos extremos, esto viene a ser clave para la planificación de medidas orientadas a la reducción del riesgo, la prevención de daños y el ordenamiento territorial frente a amenazas hidrometeorológicas como las inundaciones (Herrera, 2022).

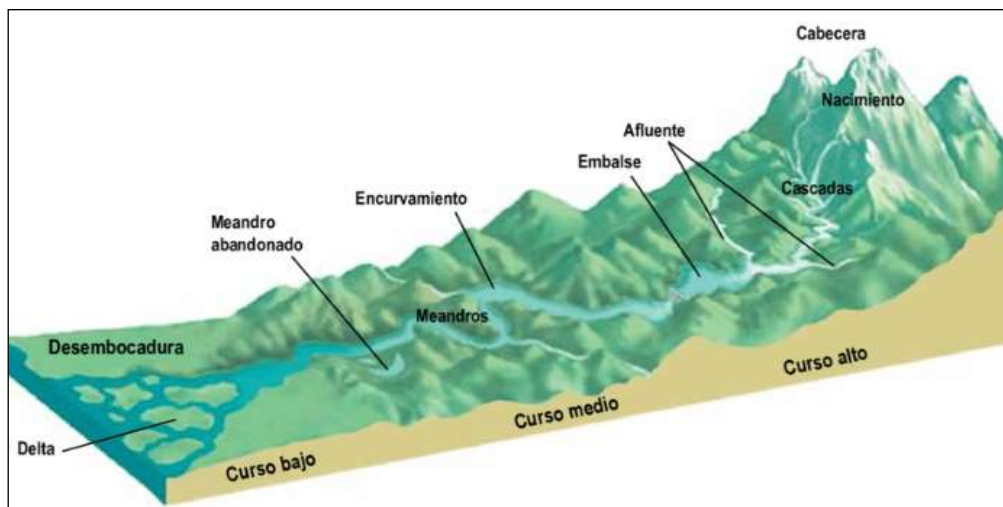
La jerarquización de cuencas reconoce que los sistemas de drenaje se organizan de manera ramificada como unidades de diferente orden y tamaño, todas regidas por el mismo principio: el escurrimiento converge hacia un colector de orden superior, en el Peru la Autoridad nacional del agua delimita y codifica las unidades hidrográficas, reconociendo cuencas principales (cuencas), unidades tributarias de menor tamaño (subcuencas) y unidades aún más pequeñas que drenan a quebradas o cursos de agua

locales que corresponden a microcuencas (Autoridad Nacional del Agua [ANA], 2015; INRENA–ANA, 2008), entendiéndose, así, como la unidad más pequeña dentro del sistema jerárquico de cuencas, delimitada por divisorias locales y organizada en torno a una red de drenaje de corto alcance <quebradas o arroyos>, en la microcuenca Tingomayo constituye una subunidad hidrográfica de menor escala cuya delimitación detallada permite analizar la distribución de los caudales, la respuesta del terreno ante eventos de precipitación intensa y la identificación de zonas con mayor vulnerabilidad a inundaciones (Carreño et al., 2023), siendo así que el análisis adquiere relevancia en entornos urbanos y periurbanos, donde los cambios en el uso del suelo (como la impermeabilización de superficies y la canalización de cauces) han modificado la respuesta hidrológica, incrementando la frecuencia y severidad de inundaciones localizadas (Pinos & Quesada-Román, 2022).

Delimitación de microcuenca. La delimitación de una microcuenca implica identificar y trazar las divisorias de aguas (líneas imaginarias que separan las áreas de escurrimiento hacia diferentes exutorios) a partir de modelos digitales de elevación (DEM) y análisis topográfico en sistemas de información geográfica. Este proceso permite definir con exactitud el área de contribución de escorrentías, caracterizar la red de drenaje secundaria y determinar los sectores críticos donde se concentra el flujo durante eventos extremos. En la microcuenca Tingomayo, esta delimitación es esencial para segmentar el territorio en zonas de análisis, facilitar el muestreo de parámetros hidrológicos y orientar la planificación de medidas de mitigación (Chuquilla & Márquez, 2024).

Figura 1

Caracterización de una cuenca hidrográfica



Nota. Imagen adaptada de *Valoración de efectos e impactos de intervenciones de gestión, manejo y protección de áreas de recarga hídrica y de fuentes de agua en microcuencas: Experiencia de mancomunidades de municipios* (Saavedra & Heredia, 2015).

Red hidrográfica y características de drenaje. La red hidrográfica es un conjunto de ríos, quebradas y otras corrientes de agua que recorren una cuenca, desde los cauces más pequeños hasta el río principal, estos flujos están conectados y organizados de tal forma que permiten conducir el agua de lluvia hacia un punto de salida común lo que influye directamente en el comportamiento del agua dentro de la cuenca: determina qué tan rápido puede salir el agua acumulada y cómo responde el sistema ante lluvias intensas (Ordoñez, 2011)

Los procesos de drenaje superficial se activan cuando la precipitación supera la capacidad de infiltración y almacenamiento del suelo, generando escorrentía que se desplaza sobre las laderas y converge progresivamente en surcos, quebradas y cauces de mayor jerarquía hasta integrarse en la red principal, en la hidrología de cuencas describe este proceso como una transformación de la lluvia efectiva en caudal donde

intervienen de manera combinada las propiedades físicas del terreno (pendiente, litología, uso y cobertura del suelo) y las características geométricas de la red de drenaje (Cruz et al., 2015; Ordoñez, 2011); es así que en los análisis hidrológicos recientes muestran que en las cuencas de montaña suelen presentar las siguientes características pendientes pronunciadas, alta densidad de drenaje y lluvias intensas, lo cual genera respuestas hidrológicas rápidas, la respuesta a esto es el incremento significativo en los caudales pico y en el volumen de escorrentía superficial, lo que genera el incremento del riesgo de inundaciones y erosión (Rey-Valencia & Nájera, 2018; Jawale, 2025), por otro lado tenemos que en zonas urbanas, la red hidrográfica se superpone a una red de drenaje artificial donde interviene la mano del hombre es decir en las calles, cunetas, colectores y alcantarillas, estos actúan como adicionales a los cauces para las aguas pluviales, actualmente en la literatura hidrológica urbana y modelación de inundaciones pluviales coincide en que esta red influye significativamente en los tiempos de concentración, los caudales pico y la distribución espacial de las áreas susceptibles de inundación (Rey-Valencia & Zambrano, 2018; Wu et al., 2025). Desde este punto de vista, dicho estudio sostiene que la red de drenaje de la microcuenca Tingomayo es considerado tanto por su componente natural como urbano es un factor determinante para entender el proceso de generación y acumulación de la escorrentía superficial, y cómo este proceso influye en la caracterización de peligro y riesgo de desastres por inundación pluvial en el distrito de Baños del Inca.

2.2.2. Inundación

Concepto general de inundación. En la literatura especializada en hidrología y gestión del riesgo, la inundación se define, en términos generales, como el desbordamiento o acumulación temporal de agua sobre superficies que normalmente permanecen secas, ya sea por el rebalse de cauces o por la escorrentía superficial que se concentra en zonas

bajas (Cirella, 2018). Desde el enfoque de riesgo de desastres, este fenómeno se comprende como el resultado de la interacción entre un evento hidrometeorológico (como lluvias intensas, deshielos o mareas de tormenta) y las características físicas del territorio, tales como la topografía, la ocupación de zonas inundables o la capacidad de drenaje, pudiendo generar daños en la población, las viviendas y la infraestructura expuesta (UNGRD, 2020).

En entornos urbanos, diversos estudios resaltan que las inundaciones no son únicamente procesos hidrológicos, sino también fenómenos socio–territoriales, muy vinculados a factores como los cambios en el uso del suelo, la impermeabilización de superficies, deficiencias en los sistemas de drenaje y la ocupación de áreas vulnerables (Da Silva et al., 2022; Schön, 2022). En varias ciudades de América Latina, se ha comprobado que la expansión urbana sobre llanuras de inundación y la pérdida de suelos permeables aumentan tanto la frecuencia como la magnitud de los anegamientos, incluso en lluvias que antes no generaban mayores impactos (Da Silva et al., 2022; Valencia, 2024). Por ello, esta investigación asume la inundación como un proceso de anegamiento temporal provocado por la combinación de lluvias intensas y condiciones físico–territoriales desfavorables, que puede derivar en situaciones de riesgo cuando afecta a personas y bienes en la microcuenca Tingomayo.

Tipos de inundación. La clasificación más comúnmente empleada en la gestión del riesgo diferencia las inundaciones según su origen hidrológico, distinguiendo principalmente entre inundaciones fluviales e inundaciones pluviales (UNGRD, 2020; Huarancay, 2024).

Inundaciones fluviales. Se producen cuando el caudal de un río o quebrada supera la capacidad de su cauce y se desborda hacia zonas aledañas, ocupando tanto llanuras de inundación naturales como áreas urbanizadas construidas sobre ellas; estas están más

asociadas a procesos de crecida en cuencas de mayor tamaño y a la propagación y almacenamiento del caudal a lo largo del sistema fluvial (UNGRD, 2020; Reyes & Reyes, 2022).

Inundaciones pluviales. Es producto de precipitaciones intensas que sobrepasan la capacidad de drenaje de la superficie y de las redes de alcantarillado, generando escorrentía concentrada y acumulación de agua en áreas urbanas y periurbanas, ocurren por la acumulación directa de agua de lluvia en un sector específico, sin que necesariamente haya desborde de un cauce, se generan cuando la intensidad o duración de la precipitación supera la capacidad de infiltración del suelo y/o la capacidad hidráulica de los sistemas de drenaje, este tipo de eventos se relaciona con lluvias de alta intensidad y corta duración, que desencadenan respuestas rápidas en cuencas pequeñas o microcuencas, particularmente cuando hay abundantes superficies impermeables y deficiencias en la infraestructura de evacuación de aguas (Huarancay, 2024; UNGRD, 2020). En el entorno urbano, la literatura reciente describe las inundaciones pluviales urbanas como anegamientos superficiales provocados por lluvias intensas, cuyo impacto se ve incrementado por el crecimiento de zonas impermeables, la ocupación de cauces menores y las limitaciones de los sistemas de alcantarillado para evacuar el agua de forma eficiente (Castillo & Carvajal, 2023; Da Silva et al., 2022), estudios realizados en ciudades sudamericanas y en cuencas urbanas de Cuba demuestran que, cuando se combinan microcuencas de respuesta rápida, drenajes subdimensionados y una expansión urbana sin planificación adecuada, las inundaciones se vuelven frecuentes, incluso sin que los ríos principales lleguen a desbordarse (Castillo & González, 2023; Da Silva et al., 2022; IHOBE, 2023).

En el caso de microcuencas urbanas andinas como Tingomayo, la presencia de fuertes pendientes en ciertos sectores, tramos de cauces canalizados, áreas urbanizadas

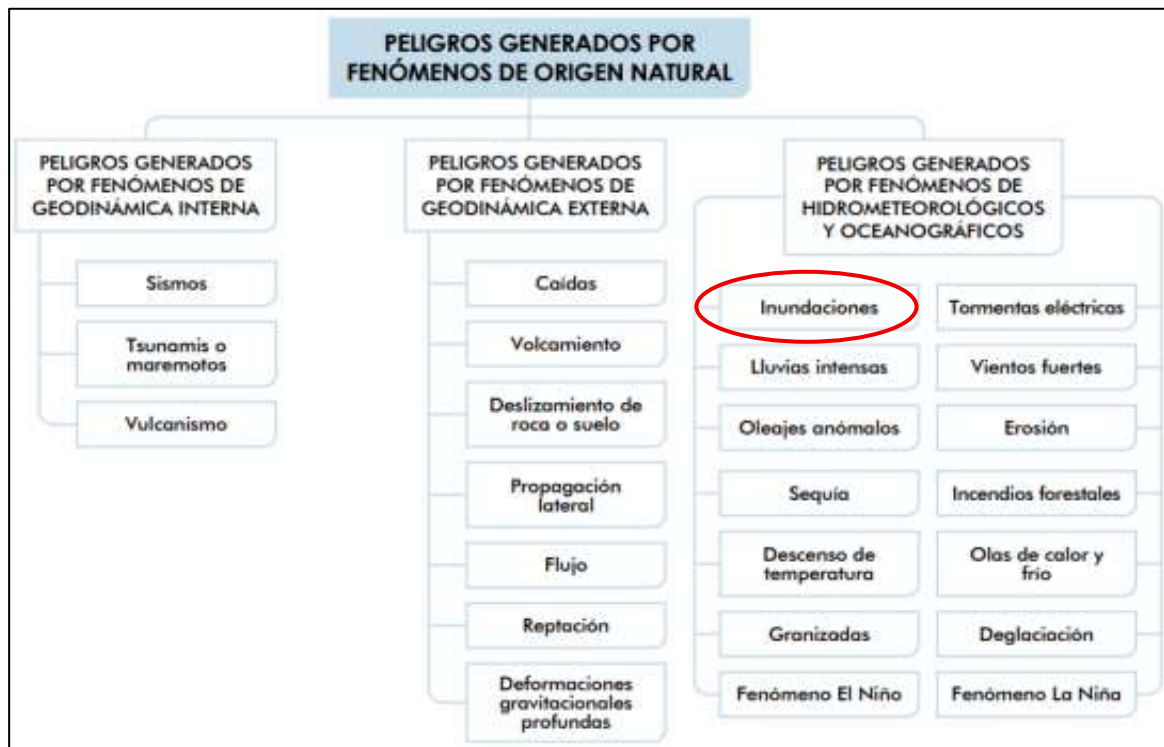
consolidadas y lluvias intensas concentradas en la temporada húmeda hacen que las inundaciones pluviales urbanas sean más probables que los desbordes fluviales de gran magnitud (Licla, 2022; Reyes & Reyes, 2022). Por ello, este estudio adopta la distinción entre inundaciones fluviales y pluviales establecida en los documentos técnicos de gestión del riesgo y respaldada por investigaciones recientes sobre inundaciones urbanas (UNGRD, 2020; Da Silva et al., 2022; Castillo & Carvajal, 2023), considerando a la inundación pluvial urbana como el principal mecanismo para conceptualizar el peligro que afecta a las viviendas en la microcuenca Tingomayo.

2.2.3. Peligro por inundación

Clasificación de peligro. La peligrosidad se clasifica de acuerdo con el origen de los fenómenos que la generan por un lado, se encuentran los peligros de origen natural, entre los que se incluyen aquellos asociados a la dinámica geológica interna o externa, así como los fenómenos hidrometeorológicos y oceanográficos mientras que por otro lado, existe una categoría distinta correspondiente a los peligros inducidos por actividades humanas (de origen antrópico), dentro de la cual se agrupan diversos eventos que resultan directamente de la intervención del ser humano sobre el entorno (CENEPRED, 2014).

Figura 2

Clasificación de peligros originados por fenómenos naturales



Nota. Imagen tomada de *Manual para la evaluación de riesgo originador por desastres naturales* (Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres [CENEPRED], 2014).

Concepto de peligro por inundación. El peligro por inundación se refiere a la posibilidad de que un evento hidrometeorológico cause el desborde de un río u otro cuerpo de agua, generando el anegamiento temporal de zonas habitadas o productivas. Este riesgo depende tanto de la intensidad de las lluvias como de la forma y características de la cuenca (Arteaga & Guamán, 2021). Por otro lado, Poma (2020) señala que este tipo de peligro puede medirse según la profundidad, velocidad, alcance y frecuencia del agua, lo cual resulta clave para su análisis dentro de la gestión del riesgo. Estas definiciones ayudan a entender y evaluar el peligro desde una mirada técnica y territorial.

Asimismo, el peligro por inundación es un fenómeno natural que varía según varios factores físicos, climáticos y del terreno. Debido a ello, depende de la intensidad de las lluvias, la capacidad del suelo para absorber agua, el tipo de vegetación y las condiciones del cauce. También, tiene un patrón cíclico que puede preverse según los registros hidrológicos de la zona, y sus efectos no se distribuyen de forma uniforme, ya que el impacto cambia según la forma del territorio. Es por ello que, se trata de un fenómeno complejo que debe analizarse a nivel de microcuenca para entenderlo con mayor precisión (Ordoñez, 2025).

En este contexto, el peligro por inundación se clasifica en fluvial, pluvial o costero. En relación a lo expuesto, este estudio se centra en la inundación pluvial, la cual implica el desbordamiento del caudal de un río o quebrada al superar la capacidad de su cauce, causando el anegamiento de zonas habitadas (CENEPRED, 2014). Asimismo, estas inundaciones suelen impactarse por lluvias intensas y prolongadas, especialmente durante fenómenos como El Niño. Las causas principales incluyen el aumento de la escorrentía superficial por pérdida de cobertura vegetal, la deforestación, la urbanización desordenada y cambios bruscos en el régimen pluviométrico. Además, estos factores reducen directamente la capacidad del sistema hidrológico para absorber o conducir el exceso de agua (Arteaga & Guamán, 2021).

Condiciones físico - territoriales del peligro. Los condicionantes físico-territoriales del peligro por inundación pluvial se definen como aquellos atributos relativamente estables del medio físico, es decir, los que modulan la respuesta hidrológica de una cuenca ante eventos de precipitación intensa (DGOT-MINAM, 2014; CENEPRED, 2014). En estudios recientes de inundaciones en cuencas y microcuencas de América Latina se observa que la geomorfología, la geología y la pendiente figuran de modo recurrente como los principales condicionantes físicos del peligro, sobre los cuales se

superponen factores desencadenantes (como precipitaciones extremas) y usos del suelo, los estudios describen que al elaborar mapas de susceptibilidad mediante análisis multicriterio muestran que unidades geomorfológicas como planicies aluviales y fondos de valle, litologías poco consolidadas, y laderas con fuerte inclinación concentran niveles altos o muy altos de susceptibilidad a inundación, debido a su limitada capacidad de drenaje, elevada energía del flujo y tendencia a acumular o canalizar escorrentía superficial (Vélez et al., 2023; Moretto et al., 2023; Molina et al., 2021).

En coherencia con este marco, la presente investigación considera a la geomorfología, la geología, litología y la pendiente como condicionantes físico-territoriales del peligro por inundación pluvial en la microcuenca Tingomayo y los integra en un índice de peligro a través de mapas temáticos, mediante reclasificación de categorías y ponderación mediante análisis multicriterio, siguiendo la lógica aplicada en estas experiencias previas (DGOT-MINAM, 2014; Molina et al., 2021; Vélez et al., 2023).

Geomorfología. Estudia las formas del relieve y los procesos que las configuran, que nos permite entender cómo se comporta la escorrentía en una cuenca, en casos de inundación, las unidades geomorfológicas planicies aluviales, terrazas, abanicos, fondos de valle, colinas o laderas influyen directamente en la capacidad de retención del agua, en la disipación del flujo y en los caminos que sigue la escorrentía, es por ello que su análisis es clave para evaluar el peligro por inundaciones (DGOT-MINAM, 2014; Moretto, 2023).

En distintas investigaciones de América Latina, se ha observado que geoformas bajas y cercanas a los cauces como valles o depresiones presentan alta susceptibilidad, mientras que elevaciones como terrazas altas o lomas tienden a ser menos vulnerables, siempre que la litología sea resistente, es así que, Moretto (2023) destaca que factores como la

altitud, la pendiente y la orientación de las laderas son claves para entender el comportamiento de las inundaciones.

Siguiendo este enfoque, el presente estudio incorpora la geomorfología como condicionante físico del peligro en la microcuenca Tingomayo, mediante la clasificación de unidades geomorfológicas según su nivel de susceptibilidad, en línea con las guías oficiales y estudios previos en cuencas andinas y de llanura (DGOT–MINAM, 2014; Moretto et al., 2023).

Geología. Es la naturaleza litológica y estructural de los materiales superficiales, influye de manera directa en procesos como la infiltración, la capacidad de conducción del agua, la resistencia mecánica y la respuesta frente a la saturación, en eventos de lluvia intensa, estas propiedades determinan en buena medida la generación de escorrentía superficial, por ejemplo, los materiales sueltos como limos, arcillas o depósitos aluviales, los cuales tienen baja resistencia a la erosión y favorecen procesos como el encharcamiento o la propagación de avenidas, en cambio en rocas ígneas o metamórficas, más compactas, ofrecen mayor resistencia estructural, aunque el grado de fracturamiento puede aumentar la infiltración local y modificar la dinámica hídrica (DGOT–MINAM, 2014; CENEPRED, 2014). Estudios recientes Molina et al. (2021) sobre “infraestructura natural” para la reducción del riesgo en los Andes muestra que la interacción entre litologías relevantes (rocas volcánicas fracturadas, depósitos coluviales y aluviales recientes) y la cobertura vegetal condiciona la capacidad de los paisajes para almacenar agua, atenuar picos de caudal y reducir el peligro de inundaciones aguas abajo, sintetizando evidencia de numerosos estudios de caso y concluyen que ciertas combinaciones litológicas y de suelos favorecen la infiltración y el almacenamiento hídrico, mientras que otras, más finas o compactas, tienden a generar mayor escorrentía superficial y, por tanto, mayor peligro de inundación, estas

conclusiones respaldan la inclusión de la geología–litología como una de las variables temáticas centrales en la estimación de la susceptibilidad física a inundaciones (Molina et al., 2021).

Bajo este enfoque, el presente estudio considera la geología–litología como un factor clave en la estimación del peligro por inundación pluvial en la microcuenca Tingomayo, se incorpora mediante una reclasificación de unidades geológicas según su grado de consolidación, textura y comportamiento frente a la infiltración y erosión, siguiendo los criterios establecidos en la guía de Piura y estudios recientes en cuencas andinas (DGOT–MINAM, 2014; Molina et al., 2021).

Pendiente: Factor clave en la dinámica de escorrentía, ya que regula la velocidad del flujo, el tiempo de concentración y la capacidad erosiva del agua, en general las laderas empinadas facilitan una rápida evacuación hacia los cauces, lo que incrementa los caudales pico y la energía del flujo en zonas bajas, en cambio, las superficies con poca pendiente tienden a retener el agua, favoreciendo anegamientos prolongados (Moretto et al., 2023; DGOT–MINAM, 2014).

Las metodologías oficiales de susceptibilidad física y los estudios recientes de inundaciones suelen reclasificar la pendiente en clases, por ejemplo, de 0–4 %, 4–15 %, 15–25 %, 25–50 % y > 50 % y le asignan valores crecientes de susceptibilidad, esto se debe a que una mayor inclinación se asocia con respuestas hidrológicas más rápidas y mayor energía de escorrentía, lo cual aumenta la peligrosidad, especialmente en los fondos de valle donde se acumula el flujo (DGOT–MINAM, 2014; Vélez, 2023)

En la microcuenca Tingomayo, la presencia de laderas inclinadas en cabeceras y vertientes medias, combinadas con zonas de menor pendiente en el fondo urbano, genera condiciones propicias para inundaciones pluviales, siendo esto el motivo de que la pendiente ha sido integrada como variable clave en el índice de peligro, a través de

su reclasificación por categorías de susceptibilidad y su ponderación junto con la geomorfología y la geología (DGOT–MINAM, 2014; Moretto et al., 2023; Vélez, 2023).

Factor desencadenante del peligro. Precipitación pluvial: En la metodología de evaluación del riesgo adoptada en el Perú, el factor desencadenante se refiere al evento o proceso puntual que activa la ocurrencia del peligro, a diferencia de los factores condicionantes, que corresponden a características relativamente estables del territorio, según el Manual de Evaluación de Riesgos de CENEPRED, esta distinción es clave para identificar adecuadamente las dinámicas de cada tipo de peligro natural (CENEPRED, 2014).

En el caso de la inundación pluvial, la precipitación intensa constituye el principal desencadenante, es decir cuando la lluvia supera la capacidad de infiltración del suelo y del sistema de drenaje, se produce escorrentía superficial que puede derivar en anegamientos, en investigaciones aplicadas en el país como los de Poma (2020) en Ayacucho y Huarancay (2024) en Huancayo aplican el enfoque de CENEPRED, diferenciando claramente entre los factores condicionantes (como la pendiente, la geología y la geomorfología) y la lluvia extrema como evento desencadenante. Adicionalmente, citamos Ccopi (2023) en el río Pampas, el cual destaca que variables como la intensidad, duración o volumen de precipitación permiten caracterizar con mayor precisión el peligro, que quiere decir que correcta definición del factor desencadenante es esencial para identificar escenarios de riesgo, sobre todo en territorios de respuesta hidrológica rápida.

Siguiendo este enfoque, la presente investigación considera a la precipitación intensa como factor desencadenante del peligro por inundación pluvial en la microcuenca Tingomayo, representándose mediante parámetros de intensidad, duración y

recurrencia de lluvias extremas en el distrito de Baños del Inca, y se integra junto con los condicionantes físico-territoriales en el índice de peligro, conforme a la metodología de CENEPRED y estudios afines en regiones altoandinas (Poma, 2020; Huaranccay, 2024; Ccopi, 2023).

Concepto de precipitación y ciclo hidrológico. En el ámbito de la hidrología, el término de precipitación se refiere a cualquier tipo de agua proveniente de la atmósfera que llega a la superficie terrestre en estado sólido o líquido como la lluvia, llovizna, nieve o granizo, desde la perspectiva del balance hídrico, la precipitación es la principal fuente de ingreso del ciclo del agua, además de ser una de las principales fuentes del abastecimiento del agua dulce para los ecosistemas continentales, la cual está asociada con el proceso de condensación de vapor de aguas en las nubes y su posterior retorno a la superficie. (OMM, 2020; OMM, 2025).

En el concepto del ciclo hidrológico entendido como un proceso sin final, de circulación continua del agua, entre la atmósfera y la superficie terrestre y el subsuelo, en el cual se dan lugar a fases tales como: la evaporación, la evapotranspiración, la condensación, la precipitación (que a su vez puede ser medida y observada en la estación de superficie mediante el pluviómetro), la infiltración e idealmente también el escurrimiento superficial y el flujo subterráneo, para al final, acabar de nuevo en la atmósfera, la precipitación es la manera en la que el agua que ha sido evaporada o transpirada vuelve nuevamente a los continentes, permitiendo así un balance de entradas-salidas que puede considerarse, además, la disponibilidad de agua que se puede observar en cada una de las cuencas (OMM, 2025; Gutiérrez et al., 2013; Zorrilla, 2024).

Debido a ello, el elemento constituido por la precipitación se posiciona como una variable esencial para generar caudales, así como para la aparición de eventos extremos tales como sequías e inundaciones; los modelos hidrológicos que utilizan para simular

o para la predicción del comportamiento de las cuencas deben necesariamente incorporar datos de precipitación, ya que la cantidad, la intensidad y su distribución tanto en el tiempo como en el espacio tienen un efecto directo en la cantidad de escurrimiento superficial y sobre la recarga de los acuíferos (González, 2017; OMM, 2020; Zorrilla, 2024). En el contexto de esta investigación en la microcuenca Tingomayo, asumimos la precipitación como el factor atmosférico clave que desencadena el escurrimiento superficial y, en interacción con las condiciones físico-territoriales del relieve y la urbanización, contribuye a configurar el peligro y el riesgo de desastre por inundación pluvial en el distrito de Baños del Inca.

Clases de precipitación e importancia hidrometeorológica. La precipitación se divide en tres tipos según el mecanismo que desencadena el ascenso del aire: convectiva se desarrolla a partir del intenso calentamiento de la superficie y la inestabilidad de la atmósfera, lo cual origina grandes corrientes de ascenso, nubes con importante desarrollo vertical y lluvias intensas, pero con escasa duración y escasa cobertura espacial (Huaranccay, 2024; Villalobos et al., 2019), orográfica o más conocida como precipitación convectiva consiste en una masa de aire húmedo que asciende al chocar con obstáculos topográficos del relieve, como pueden ser montañas y quebradas; cuando asciende, se enfría, generando la condensación del vapor de agua que da lugar a lluvias más persistentes en las laderas que se ubican en la zona de barlovento que está modulada por la orientación del relieve (Huaranccay, 2024) y la ciclónica o frontal se relaciona con la presencia de sistemas de baja presión e incluso con la colisión de masas de aire que presentan resaltos de temperatura y humedad, este tipo de lluvias suelen tener un amplio rango de extensión espacial, con intensidades ligeras a moderadas, y que se extienden durante varias horas (Huaranccay, 2024).

La importancia de estos tipos de precipitación en el análisis hidrometeorológico también queda reflejada en su utilización en la elaboración de las curvas Intensidad–Duración–Frecuencia (IDF), que permiten representar estadísticamente las lluvias extremas en función de la duración y el periodo de retorno, diferentes estudios han demostrado que las IDF son imprescindibles para el diseño de drenaje pluvial, para calcular caudales máximos y para determinar el peligro de inundaciones, ya que relacionan la intensidad de la lluvia con la probabilidad de ocurrencia de eventos extremos (Castillo et al., 2024; Mera et al., 2021; Montesinos, 2023). En cuencas tropicales y andinas, el cálculo de las curvas IDF a partir de registros de lluvias máximas de corta duración permite caracterizar el régimen de precipitaciones intensas tipo convectivo que están detrás de las inundaciones recurrentes y permite su utilización en modelos hidrológicos y planificación de medidas de mitigación (Castillo et al., 2024; Mera et al., 2021).

En este sentido, el presente estudio adopta la clasificación convectiva–orográfica–ciclónica, y reconoce la precipitación intensa como un fenómeno hidrometeorológico extremo, representado mediante curvas IDF, en línea con las propuestas de Huaranccay (2024), Villalobos (2019) y Castillo et al., (2024). Por ello, se toma como referencia estos enfoques para sustentar conceptualmente el rol de las diferentes clases de precipitación en la generación del peligro por inundación pluvial en la microcuenca Tingomayo.

Parámetros de la precipitación, intensidad, duración y recurrencia. En el marco metodológico propuesto por CENEPRED para la evaluación de peligros hidrometeorológicos, la precipitación intensa se considera el factor desencadenante principal en la ocurrencia de inundaciones pluviales, diferenciándose con claridad de los factores condicionantes del territorio (geomorfología, geología, pendiente)

(CENEPRED, 2014), dicho factor se caracteriza mediante tres parámetros cuantitativos: la intensidad de la lluvia (mm/h), su duración (minutos u horas) y el periodo de retorno (T, en años), los cuales permiten identificar niveles de peligrosidad de muy alto a bajo (CENEPRED, 2014), los cuales se integran mediante las curvas Intensidad–Duración–Frecuencia (IDF), herramienta estándar en hidrología aplicada para representar la probabilidad de lluvias extremas, elaboradas a partir de series históricas de máximos de precipitación y ajustadas mediante distribuciones estadísticas (Pérez, 2017).

Estudios aplicados con enfoque CENEPRED, como los de Poma (2020) y Huarancay (2024), emplean estos parámetros para estratificar la peligrosidad del territorio, relacionando lluvias intensas y frecuentes con escenarios de mayor peligro, en ese sentido, el presente estudio adopta los valores de intensidad, duración y recurrencia como descriptores del factor desencadenante en la microcuenca Tingomayo, integrándolos con los condicionantes físico-territoriales (geomorfología, geología y pendiente) en un índice de peligro por inundación pluvial, el cual luego se articula con la vulnerabilidad para el análisis del riesgo de desastre (CENEPRED, 2014)

2.2.4. Riesgo de desastre por inundación

En la literatura internacional se entiende el riesgo de desastre como la probabilidad de que una comunidad pierda vidas, sufra lesiones o experimente daños en sus bienes y medios de vida durante un periodo determinado, resultado de la interacción entre el peligro, la exposición, la vulnerabilidad y la capacidad de respuesta, es decir: no basta con que exista un fenómeno físico, sino que lo que importa es la probabilidad de pérdidas cuando esa amenaza impacta sobre una sociedad que presenta ciertos niveles de vulnerabilidad y de exposición (UNDRR, 2016; UNDRR, 2020; Pinos & Quesada-Román, 2022).

Dentro del marco normativo peruano en materia de gestión del riesgo de desastres, el Ley N° 29664 y su reglamento señalan que “riesgo de desastre” es la probabilidad de que la población y sus medios de vida sufran daños y pérdidas como consecuencia de su vulnerabilidad y del impacto de un peligro, dicho de otro modo, el riesgo surge de la combinación entre el nivel de peligro y las condiciones de vulnerabilidad de los elementos expuestos (PCM, 2011/2024; CENEPRED, 2020; PREDES, 2017).

Para el caso específico de la inundación pluvial, el riesgo de desastre por dicha inundación se define como la probabilidad de que la población, las viviendas y la infraestructura urbana de la Microcuenca Tingomayo sufran daños y pérdidas ante el impacto de lluvias intensas que superan la capacidad de drenaje natural y artificial, tomando en cuenta su nivel de exposición y sus condiciones de vulnerabilidad física, social y económica.

Componentes y dimensiones del riesgo de desastre. En la literatura más reciente sobre gestión del riesgo de desastres, se ha consolidado la idea de que el riesgo no es una cualidad inherente a los fenómenos naturales, sino el resultado de una compleja interacción entre el peligro , la vulnerabilidad y la exposición de los elementos susceptibles de sufrir daños, tanto el Marco de Sendai como la terminología adoptada por la UNDRR definen el riesgo de desastre como la probabilidad de que ocurran daños y pérdidas en la población, los bienes, los servicios o los ecosistemas, a partir de la confluencia entre la presencia de un fenómeno peligroso y las condiciones preexistentes de vulnerabilidad y exposición (UNDRR, 2017),este enfoque también ha sido asumido en el contexto peruano, el CENEPRED incorpora al definir el análisis de riesgos como un procedimiento técnico que permite identificar y caracterizar los peligros, evaluar las vulnerabilidades y establecer niveles de riesgo, con el propósito de orientar decisiones

informadas en la planificación territorial y en la formulación de inversiones públicas (CENEPRED, 2014; CENEPRED, 2024).

Desde esta perspectiva, el riesgo de desastre por inundación pluvial en la microcuenca Tingomayo puede desagregarse en tres componentes analíticos clave: el peligro (H), que hace referencia a la probabilidad de ocurrencia del fenómeno en este caso, una inundación con una determinada intensidad y frecuencia; la vulnerabilidad (V), entendida como el grado de susceptibilidad de la población y sus viviendas a sufrir impactos, según sus condiciones físicas, sociales y económicas; y la exposición (E), que se relaciona con la localización efectiva de personas, edificaciones e infraestructura dentro de las zonas con potencial de ser inundadas (UNDRR, 2017; CENEPRED, 2014).

Peligro (H) por inundación pluvial. En el ámbito de la gestión del riesgo, se entiende por peligro hidrometeorológico la probabilidad de que ocurra un fenómeno físico potencialmente dañino como lluvias intensas y desbordes asociados en un lugar determinado, con una intensidad y frecuencia específicas, durante un periodo de tiempo definido (CENEPRED, 2014; Comunidad Andina, 2018).

Cuando hablamos de inundaciones pluviales en zonas urbanas/rurales, el peligro está estrechamente ligado a la ocurrencia de lluvias de alta intensidad que superan la capacidad tanto del drenaje natural como del artificial en una microcuenca, es así que esta situación genera acumulaciones de agua, escurrimientos superficiales concentrados y anegamientos que afectan directamente a manzanas completas y viviendas (Pinos & Quesada-Román, 2022), en los manuales técnicos elaborados por CENEPRED establecen que, para determinar el nivel de peligrosidad, es necesario primero identificar el área de influencia del fenómeno, a partir de ello, se seleccionan parámetros clave como la intensidad, la magnitud y la recurrencia del evento, junto con el análisis

de factores condicionantes y desencadenantes que puedan favorecer su ocurrencia (CENEPRED, 2014; CENEPRED, 2024).

En los estudios más recientes sobre riesgo de inundación, se ha vuelto práctica común representar el peligro a través de índices o mapas de peligrosidad, estos productos combinan información sobre la geomorfología del terreno, las pendientes, los materiales geológicos y diversos parámetros de precipitación, la mayoría de veces se desarrollan con el apoyo de sistemas de información geográfica (SIG), y en muchos casos se complementan con enfoques de análisis multicriterio (Pinos & Quesada-Román, 2022).

En esta investigación, el peligro (H) asociado a la inundación pluvial se modela como un índice espacial que integra tanto condicionantes físico-territoriales como la geomorfología, la geología y la pendiente como el factor desencadenante principal: la precipitación pluvial intensa, esta aproximación sigue los lineamientos metodológicos establecidos en los manuales de evaluación de riesgo por inundaciones de CENEPRED, así como en estudios recientes desarrollados en cuencas y microcuencas de América Latina (CENEPRED, 2014; CENEPRED, 2024; Pinos & Quesada-Román, 2022).

Vulnerabilidad (V) por inundación pluvial. La vulnerabilidad se concibe como un proceso complejo y multidimensional, que refleja el grado en que personas, viviendas e infraestructura pueden ser afectadas por un fenómeno peligroso, según sus condiciones físicas, sociales, económicas e institucionales, diversos estudios en América Latina, especialmente aquellos centrados en riesgos climáticos e inundaciones, coinciden en que la vulnerabilidad no es estática: evoluciona con el tiempo, se acumula y se distribuye de manera desigual, influida por factores como la calidad de la vivienda, el acceso a servicios básicos, la pobreza, la organización comunitaria y la capacidad local de respuesta (González, 2019; Arcaya, 2021), es así que Cajigal y Maldonado

(2019) plantean índices integrados que combinan aspectos hidrogeológicos, socioeconómicos y de contramedidas, utilizando técnicas multicriterio y validación estadística, y al mismo tiempo, estudios urbanos recientes han desarrollado índices basados en variables como materiales de construcción, densidad de ocupación y acceso a servicios, integrados en plataformas SIG para generar mapas temáticos (Peralta et al., 2025).

En línea con estos planteamientos, esta investigación descompone la vulnerabilidad (V) en dos grandes dimensiones: una social, evaluada a través de indicadores como densidad poblacional por manzana y presencia de grupos sensibles, y otra económico-constructiva, representada mediante el número de viviendas por manzana y la calidad de materiales constructivos, esta estructura sigue las metodologías regionales aplicadas en estudios recientes, adaptadas al contexto específico de la microcuenca Tingomayo (CENEPRED, 2014; Cajigal & Maldonado, 2019; Peralta et al., 2025).

Exposición (E) en áreas inundables. La exposición se refiere a la presencia de personas, viviendas, infraestructura y servicios ubicados en áreas susceptibles a ser afectadas por fenómenos peligrosos, en los estudios sobre riesgo de inundaciones, la exposición suele estimarse mediante el conteo de población, edificaciones e infraestructuras ubicadas dentro de las zonas de peligro definidas, muchos trabajos combinan cartografía de peligro con datos censales y catastros, generando indicadores útiles para la planificación y priorización de intervenciones (Pinos & Quesada, 2022).

En esta investigación, la exposición (E) se define como la localización de población y viviendas dentro de las áreas identificadas con peligro de inundación pluvial en la microcuenca Tingomayo para su estimación, se superpone en un entorno SIG la cartografía de peligro con información oficial de manzanas y viviendas, permitiendo obtener conteos específicos por manzana, de esta manera esta estrategia se alinea con

los manuales metodológicos del CENEPRED y con experiencias recientes en contextos urbanos andinos (CENEPRED, 2014; 2024; Peralta et al., 2025).

Teoría y modelo conceptual del riesgo – Modelo clásico $R = P \times V$. El modelo clásico de riesgo formula el riesgo de desastre como el producto entre el peligro (P) y la vulnerabilidad (V), es decir, $R = P \times V$. En este enfoque, el peligro representa la probabilidad de que ocurra un fenómeno dañino con cierta intensidad, y la vulnerabilidad indica qué tan susceptibles son los elementos expuestos a sufrir daños, esta relación se ha convertido en una referencia básica ampliamente utilizada en manuales y guías de gestión del riesgo en América Latina y Europa (Narváez, 2019), la literatura académica actual, incluida aquella publicada en revistas indexadas como SciELO, mantiene esta expresión como una forma operativa para explicar cómo la interacción entre amenaza y vulnerabilidad da lugar al riesgo de desastre, esto aplicado tanto al riesgo sísmico como al hidrometeorológico, donde se demuestra que un incremento en cualquiera de los dos componentes aumenta proporcionalmente el riesgo (Blanco, 2012; Jorquera, 2014; Pardo, 2014; Durango, 2022).

Este modelo ha sido trasladado a la práctica a través de herramientas como matrices de riesgo e índices combinados, donde se cruzan niveles de peligro y vulnerabilidad expresados en clases o probabilidades, obteniendo así categorías cualitativas (muy alto, alto, medio, bajo) que orientan decisiones territoriales (INDECI, 2011; GORE Ucayali & USAID, 2012; CARE Perú, 2017).

No obstante, se reconoce que este enfoque simplifica la complejidad del riesgo, al no incorporar de forma explícita componentes como la exposición diferenciada o las capacidades adaptativas, por ello, se han propuesto formulaciones ampliadas como $R = f(A, V, E)$ o $R = A \times V/C$, que integran amenaza, exposición y capacidad de respuesta (Holguín & Guillemes, 2022; Ariza, 2025; UNDRR, 2017), sin embargo, estos autores

reconocen que, para escalas locales y fines operativos, el modelo clásico sigue siendo una herramienta válida si se complementa con análisis cualitativos (Durango, 2022).

En esa línea, este estudio adopta el modelo $R = P \times V$ como esquema operativo para la microcuenca Tingomayo, partiendo de un índice de peligro por inundación pluvial construido con variables físicas como geomorfología, pendiente, geología y precipitación, combinado con un índice de vulnerabilidad que integra dimensiones sociales y constructivas, esta integración permite estimar niveles de riesgo por manzana urbana, facilitando la zonificación y priorización de medidas de reducción del riesgo en el distrito de Baños del Inca (CENEPRED, 2014; Aponte, 2021).

2.2.5. Análisis multicriterio y método AHP

Durante la última década, la combinación del análisis multicriterio (MCDA) con los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se ha consolidado como una de las metodologías más efectivas para la cartografía de peligro y riesgo por inundaciones, esta integración permite construir índices compuestos al combinar factores físicos, ambientales y socioeconómicos representados como capas espaciales, la literatura especializada reporta resultados consistentes y replicables al aplicar esta metodología, destacando el Proceso Analítico Jerárquico (AHP) como una de las técnicas más utilizadas por su transparencia al documentar los pesos asignados a cada factor (Pimenta, 2025), siendo así con el enfoque adoptado en esta investigación, el riesgo de desastre se conceptualiza como el producto del nivel de peligro (P) y la vulnerabilidad (V), es decir, $R = P \times V$, esta formulación ha sido ampliamente adoptada en planes nacionales de gestión del riesgo, donde los mapas de peligro se construyen a partir de variables físicas e hidrometeorológicas, y los de vulnerabilidad a partir de indicadores sociales y constructivos, esta combinación da lugar a los mapas de riesgo, que orientan

la planificación y la intervención en el territorio (National Disaster Management Plan, 2023).

En esta tesis, se emplea el análisis multicriterio y el método AHP tanto para estimar el índice de peligro por inundación pluvial como el índice de vulnerabilidad, los cuales se integran posteriormente para construir el índice de riesgo de desastre en la microcuenca Tingomayo.

Fundamentos del procesamiento analítico jerárquico (AHP). El Proceso Analítico Jerárquico (AHP), desarrollado por Thomas Saaty, es una técnica robusta de decisión multicriterio que permite estructurar problemas complejos de forma jerárquica, esta estructura incluye: un objetivo general en este caso, estimar el riesgo de desastre por inundación pluvial, criterios principales como el peligro y la vulnerabilidad, y subcriterios asociados, como geomorfología, pendiente, intensidad de lluvias, población expuesta y condiciones constructivas (Nantes, 2018; Darko et al., 2019).

La lógica del AHP se basa en comparaciones por pares, donde cada criterio se valora respecto a los demás utilizando una escala de importancia relativa, comúnmente de 1 a 9, a partir de estas comparaciones se construye una matriz, de la cual se deriva un vector de prioridades que representa los pesos asignados a cada factor, la validez de estos juicios se verifica mediante el índice y la razón de consistencia (CR), considerándose aceptables valores de CR menores a 0,10 (Darko et al., 2019).

En el caso específico del riesgo por inundaciones, múltiples investigaciones confirman que el AHP permite combinar de manera efectiva factores como pendiente, distancia a cauces, uso del suelo, tipo de suelo y precipitación para construir índices continuos de susceptibilidad o peligro, los cuales se representan luego en mapas temáticos, esta capacidad de jerarquización sistemática justifica su aplicación en esta investigación,

donde el AHP proporciona la base formal para ponderar los factores de peligro y vulnerabilidad definidos para la microcuenca Tingomayo (Pimenta et al., 2025).

2.3. Definición de términos básicos

2.3.1. Riesgo de desastre por inundación

Se entiende como la posibilidad de que ocurran daños o pérdidas en la población, las viviendas y la infraestructura urbana - rural, como resultado de la interacción entre el peligro generado por lluvias intensas y las condiciones de vulnerabilidad de los elementos expuestos, este enfoque sigue el modelo de análisis operativo $R = P \times V$, utilizado oficialmente en el Perú y alineado con los lineamientos internacionales promovidos por la UNDRR (UNDRR, 2017; CENEPRED, 2014).

2.3.2. Peligro por inundación

Se refiere a la probabilidad de que se presente un evento de inundación provocado principalmente por lluvias intensas que superan la capacidad del terreno y del sistema de drenaje, generando anegamientos de distinta profundidad y extensión, este tipo de peligro forma parte del grupo de fenómenos hidrometeorológicos reconocidos por el SINAGERD y por organismos internacionales como la UNDRR (UNDRR, 2020; CENEPRED, 2014).

2.3.3. Vulnerabilidad frente a inundación

Agrupar las condiciones físicas, sociales, económicas y ambientales que hacen a una población o a sus bienes más propensos a sufrir daños ante una inundación, incorpora desde deficiencias en la infraestructura y materiales de construcción, hasta la falta de servicios básicos y capacidades locales para responder a emergencia, la definición adoptada sigue los lineamientos metodológicos del CENEPRED y los estándares de la UNDRR (UNDRR, 2017; CENEPRED, 2014).

2.3.4. Exposición

Hace referencia a la ubicación de personas, viviendas, equipamientos y servicios dentro de zonas con potencial de inundación, se puede cuantificar por la cantidad de habitantes y viviendas por manzana dentro del área delimitada (UNDRR, 2017; UNDRR, 2024).

2.3.5. Inundación pluvial urbana

Tipo de inundación que ocurre por lluvias intensas que exceden la capacidad de infiltración del suelo y de los sistemas de drenaje urbano, generando acumulación de agua en calles, viviendas y espacios públicos, no requiere necesariamente el desborde de un río y es común en ciudades andinas con urbanización acelerada (Pinos & Quesada, 2022).

2.3.6. Microcuenca hidrográfica

Subunidad de una cuenca mayor, definida con el mismo criterio de divisorias de agua, su análisis permite una comprensión más detallada de las relaciones entre el uso del suelo, los procesos hidrológicos y los riesgos en zonas más acotadas, como las áreas urbanas andinas (Braz et al., 2020).

2.3.7. Condicionantes físico – territoriales del peligro

Son las características propias del territorio como la forma del relieve, el tipo de suelo, la pendiente y el grado de urbanización que influyen en la forma en que se generan y propagan las escorrentías, afectando el comportamiento de la lluvia en superficie (CENEPRED, 2014; Quesada, 2021).

2.3.8. Factor desencadenante

Se identifica como las precipitaciones intensas que, por su volumen y duración, superan los niveles normales del clima local y activan los procesos físicos que llevan a la inundación (CENEPRED, 2014; Pinos & Quesada, 2022).

2.3.9. Sistema de información geográfica (SIG)

Tecnología que permite el análisis espacial de datos georreferenciados, se utiliza para superponer capas de información sobre peligro, vulnerabilidad y exposición, generando mapas de riesgo por inundación pluvial con alto nivel de detalle (Pinos & Quesada, 2022).

2.3.10. Proceso analítico jerárquico (AHP)

Herramienta desarrollada por Thomas Saaty que permite descomponer problemas complejos en una jerarquía de criterios y subcriterios, asignando pesos mediante comparaciones por pares utilizado para evaluar y ponderar factores de riesgo con respaldo metodológico sólido (Saaty, 1980; Darko et al., 2019).

CAPÍTULO III.

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Tipo y diseño de investigación

La investigación se enmarca en el enfoque cuantitativo, porque se basa en la medición y análisis de variables físicas, hidrometeorológicas y socioeconómicas, así como en la modelación espacial mediante Sistemas de Información Geográfica para estimar índices de peligro, vulnerabilidad y riesgo de desastre por inundación pluvial en la microcuenca Tingomayo.

De acuerdo con la finalidad del estudio, se trata de una investigación aplicada, ya que busca generar productos concretos (mapas temáticos, parámetros e insumos técnicos) que contribuyan a la gestión del riesgo de desastres y a la planificación urbano-territorial en el distrito de Los Baños del Inca, el alcance es descriptivo–explicativo: descriptivo, porque caracteriza los niveles de peligro, vulnerabilidad y riesgo en la microcuenca; y explicativo, porque analiza cómo los condicionantes físico-territoriales y las condiciones socio-constructivas se relacionan con la distribución espacial del riesgo.

El diseño de investigación es no experimental y de corte transversal, dado que no se manipulan las variables de estudio, sino que se observan tal como se presentan en el territorio, en un período de análisis definido, integrando información secundaria (cartográfica, censal e hidrometeorológica) y datos obtenidos mediante trabajo de gabinete y campo.

3.2. Población y unidad de análisis

La población objetivo de la investigación está constituida por las áreas urbanas y periurbanas comprendidas dentro del ámbito de la microcuenca Tingomayo, en el distrito de Los Baños del Inca, que incluyen las viviendas y la población expuesta al peligro de inundación pluvial sobre esta población se busca estimar los niveles de peligro, vulnerabilidad y riesgo de desastre.

Para el trabajo empírico, la población de estudio está dada por la totalidad de las manzanas urbanas cartografiadas dentro del polígono de la microcuenca Tingomayo, las cuales disponen de información censal y cartográfica suficiente para el cálculo de los indicadores dado que el número de manzanas es manejable y el propósito central es obtener una representación espacial completa del riesgo a escala de microcuenca, no se recurrió a muestreo, sino que se trabajó con el universo de unidades espaciales disponibles (estudio de tipo censal).

En consecuencia, la unidad de análisis principal es la manzana urbana, en la que se agregan los indicadores de vulnerabilidad social y constructiva (población, grupos etarios, materiales predominantes de la vivienda, acceso a servicios, etc.) y se asignan los valores del índice de peligro derivados del análisis hidrológico y del modelo multicriterio en etapas específicas de la caracterización constructiva se utiliza la vivienda como unidad básica de observación, pero la evaluación e integración del riesgo se realiza y representa cartográficamente a nivel de manzana, lo que permite comparar de manera homogénea los resultados en toda la microcuenca.

3.3. Área de estudio

3.3.1. Ubicación política

Esta investigación se lleva a cabo en la microcuenca Tingomayo, situada en el distrito de Los Baños del Inca, dentro de la provincia y región de Cajamarca, en la sierra norte del Perú, desde el punto de vista administrativo, el área de estudio se encuentra bajo la jurisdicción de la Municipalidad Distrital de Los Baños del Inca, entidad encargada de la gestión urbana, la provisión de servicios básicos y la planificación del desarrollo local.

Por otro lado, en términos político-administrativos, la microcuenca se encuentra dentro del área de influencia directa del distrito de Baños del Inca, se observa una creciente expansión urbana, caracterizada por el desarrollo de zonas residenciales y de infraestructura que, en los

últimos años, ha avanzado hacia las zonas media y baja de la microcuenca Tingomayo, y futuramente irá avanzando para las zonas altas.

Tabla 1

Ubicación político-administrativa del distrito de Los Baños del Inca

Distrito	Provincia	Departamento	País
Los Baños del Inca	Cajamarca	Cajamarca	Perú

3.3.2. Ubicación geográfica y límites naturales

La microcuenca Tingomayo se ubica en la zona central del valle de Cajamarca, dentro de los límites del distrito de Los Baños del Inca, se encuentra en la sierra norte del Perú, en cuanto a su altitud, el área de estudio se sitúa dentro del rango característico de este distrito, con elevaciones que oscilan entre los 2,656 y 2,892 metros sobre el nivel del mar, este espacio forma parte de un valle interandino, donde el relieve se eleva gradualmente hacia las zonas altas de las cuencas circundantes.

En este contexto, la microcuenca Tingomayo abarca principalmente las zonas media y baja del relieve, precisamente donde se han desarrollado las áreas urbanas y periurbanas del distrito, es en estas franjas donde el escurrimiento superficial, originado en las laderas, tiende a concentrarse y dirigirse hacia el cauce principal de la red hídrica, lo que resalta la importancia de esta zona en la dinámica hidrológica local.

Tabla 2

Coordenadas UTM y características generales de la microcuenca Tingomayo

Coordenadas del Centroides de la Microcuenca			
Este (X)	Norte (Y)	Altura Aprox.	Extensión Aprox.
782320.1710	9206710.8850	2680 m.s.n.m	4.617 Km ²

Tabla 3*Límites naturales de la microcuenca Tingomayo*

Límites Naturales			
Puntos Cardinales	Descripción	Este (X)	Norte (Y)
Norte	Crestas montañosas que definen la divisoria superior de la microcuenca Tingomayo con la cuenca vecina al norte.	782879.6401 m	9207587.4012 m
Sur	Crestas montañosas que definen la divisoria superior de la microcuenca Tingomayo, marcando la transición con cuencas adyacentes.	783320.5721 m	9205673.2921 m
Este	Pendientes y laderas que descienden hacia el este que delimitan la microcuenca Tingomayo de la microcuenca del Mashcon	783985.7501 m	9206877.5921 m
Oeste	Lomadas y cuchillas que marcan la divisoria entre la microcuenca Tingomayo y los escurrimientos secundarios del flanco poniente.	780272.7400 m	9206898.2600 m

3.3.3. Delimitación de la microcuenca

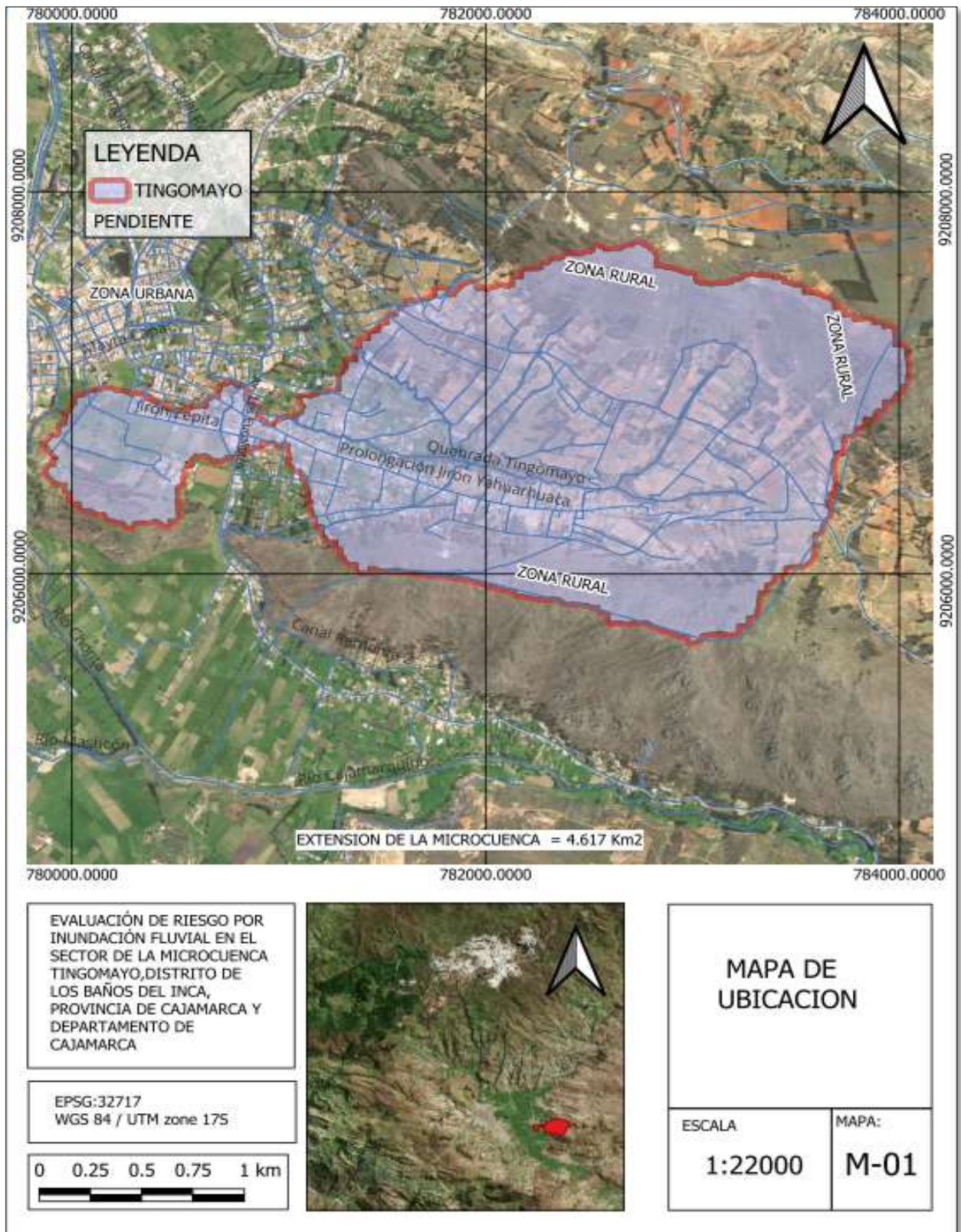
La delimitación de la microcuenca Tingomayo se llevó a cabo mediante un análisis hidrológico dentro de un entorno de Sistema de Información Geográfica (QGIS), utilizando como base principal un Modelo Digital de Elevación (MDE) con una resolución adecuada para representar de forma precisa tanto las zonas urbanas como periurbanas del distrito de Los Baños del Inca, el objetivo principal de esta etapa fue identificar con claridad el área que aporta escorrentía superficial al cauce de Tingomayo, de manera que los análisis de peligro, vulnerabilidad y riesgo se desarrollaran sobre una unidad hidrológica técnicamente coherente; el procedimiento se inició con la proyección del MDE al sistema de coordenadas UTM (datum WGS 84, zona 17S) y su recorte a un polígono preliminar que abarcaba la zona de estudio, a partir de esta superficie, se aplicaron distintas herramientas de análisis hidrológico disponibles en QGIS y sus módulos complementarios.

El primer paso fue el relleno de depresiones, con el fin de eliminar irregularidades que pudieran interrumpir el flujo natural del agua, después, se generó el modelo de dirección de flujo, que asigna a cada celda la trayectoria potencial del escurrimiento en función de la pendiente, y posteriormente se elaboró el modelo de acumulación de flujo útil para identificar las zonas donde el agua tiende a concentrarse de manera natural.

El segundo paso fue que, con base en este último modelo, se determinó el punto de salida o exutorio, ubicado en la parte baja del sistema de drenaje, el cual marca el cierre hidrológico de la microcuenca a partir de este punto se aplicó la herramienta de delimitación de cuencas, obteniendo así el polígono que representa con fidelidad la extensión real de la microcuenca Tingomayo, cuya superficie es aproximadamente de 4,62 km² (4 617 451.42 m²). Este polígono se incorporó al mapa general de ubicación del área de estudio (M-01).

Figura 3

Ubicación y delimitación de la microcuenca Tingomayo



3.3.4. Red hidrográfica

Una vez delimitada la microcuenca Tingomayo, se procedió a definir y caracterizar su red hidrográfica, considerando que esta estructura organiza el escurrimiento superficial y juega un papel clave en la dinámica de las inundaciones pluviales dentro del área de estudio, la red fue generada inicialmente a partir del modelo de acumulación de flujo obtenido del MDE procesado en QGIS, lo que permitió identificar los trayectos preferenciales del agua y delinear las principales líneas de drenaje que convergen hacia el cauce central de Tingomayo, este trazado preliminar fue sometido a un proceso de ajuste cartográfico, mediante la superposición con información oficial como la red hidrológica y las curvas de nivel, y el análisis de imágenes satelitales de alta resolución, es así que fue posible afinar la ubicación de los cauces naturales, reconocer tramos de carácter estacional y detectar sectores donde la red presenta alteraciones asociadas a la intervención humana, ya sea por canalizaciones, transformaciones del uso del suelo o rellenos que modifican el patrón original del drenaje, además como parte de la validación, se realizó un reconocimiento en campo que permitió observar directamente elementos clave de la red hidrográfica, incluyendo tramos canalizados, quebradas de menor escala, colectores pluviales urbanos y zonas donde se evidencian modificaciones recientes en el escurrimiento superficial, estas observaciones fueron fundamentales para confirmar el sentido general del flujo, identificar interrupciones o desvíos en la red natural y señalar puntos donde la infraestructura existente podría no responder adecuadamente ante eventos de lluvia intensa.

3.3.5. Características climáticas

Para la caracterización climática de la microcuenca Tingomayo se empleó la información oficial del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), basada en el método de Clasificación Climática de Warren Thornthwaite según esta clasificación, el Perú posee 38 tipos de clima, resultado de la interacción de diversos factores climáticos y de su

posición geográfica en el trópico, atravesado por la cordillera de los Andes, que configura una fisiografía compleja a partir del visor de climas del SENAMHI (2020) se identificó que el distrito de Los Baños del Inca, donde se ubica la microcuenca Tingomayo, corresponde al tipo “semiseco con humedad abundante todas las estaciones del año, templado” (C (r) B’), en función de esta tipología se adoptaron como parámetros climáticos de referencia rangos de temperatura máxima entre 21 °C y 25 °C, temperatura mínima entre 7 °C y 11 °C y precipitación anual aproximada entre 700 mm y 2 000 mm, lo que define un clima semiseco, templado y con humedad abundante durante todo el año, condiciones favorables para la generación de escorrentía superficial e inundaciones pluviales en la microcuenca Tingomayo.

3.3.6. Características geológicas

La caracterización geológica de la microcuenca Tingomayo tuvo por objetivo generar una capa temática que represente las unidades litológicas relevantes para el análisis de susceptibilidad a inundación pluvial, se utilizó la cartografía geológica digital del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET), disponible en la plataforma GeoCatmin, correspondiente al Mapa Geológico del Perú para el ámbito de Cajamarca, las coberturas geológicas fueron descargadas en formato vectorial, importadas al entorno QGIS, reproyectadas al sistema UTM WGS 84 zona 17S y recortadas al polígono delimitado de la microcuenca.

Sobre esta base se efectuó una reclasificación litológica con fines operativos, agrupando las unidades originalmente mapeadas en clases con comportamiento similar frente a la infiltración, la saturación y la generación de escurrimiento superficial, tomando como referencia la leyenda del mapa geológico y los criterios de la Zonificación Ecológica y Económica de la región Cajamarca a cada clase litológica se le asignó un código y un valor ordinal que expresa su contribución relativa a la susceptibilidad a inundación pluvial.

La capa geológica reclasificada se generó en formato ráster, con resolución equivalente al MDE, y se incorporó como una de las variables físico-territoriales del índice de susceptibilidad a inundación pluvial.

3.3.7. Características geomorfológicas

La caracterización geomorfológica de la microcuenca Tingomayo se elaboró con el propósito de identificar y cartografiar las unidades de relieve que condicionan la generación y la concentración de escorrentía superficial este procedimiento integró el uso del Modelo Digital de Elevación (MDE), imágenes satelitales de alta resolución y la tipología de formas del terreno empleada en evaluaciones de peligros geológicos en la región de Cajamarca por parte de INGEMMET y CENEPRED.

En una primera etapa, a partir del MDE se generaron en QGIS productos derivados como mapas de sombreado, curvas de nivel y capas de pendiente y curvatura, que permitieron resaltar divisorias, fondos de valle y cambios de pendiente.

En una segunda etapa con los insumos con los insumos y la cartografía oficial disponible se realizó una interpretación geomorfológica mediante edición vectorial en QGIS se delimitaron las principales unidades del relieve presentes en la microcuenca, siguiendo la nomenclatura de los estudios regionales (por ejemplo, montañas y colinas estructurales, lomadas, vertientes o piedemontes aluvio-lacustres), es así que a cada unidad geomorfológica se le asignó un código y se estructuró una leyenda operativa, ordenando las unidades según su papel en la generación y concentración de escorrentía superficial.

La geomorfológica resultante se transformó a formato ráster, con la misma resolución que el MDE, y se integró como uno de los factores del índice de susceptibilidad a inundación pluvial.

3.3.8. Características de las pendientes

El análisis de las pendientes en la microcuenca Tingomayo tuvo como finalidad cuantificar la inclinación del terreno y generar una capa temática que sirva como insumo directo en la modelación de la escorrentía superficial y de la susceptibilidad a inundación pluvial.

A partir del Modelo Digital de Elevación (MDE) utilizado en el estudio, se aplicó en QGIS la herramienta Slope del módulo de análisis de terreno, obteniéndose un mapa continuo de pendientes expresadas en grados este producto fue sometido a una revisión básica de calidad, verificando la coherencia de los valores obtenidos con la topografía de la zona (curvas de nivel y perfiles altimétricos) y la ausencia de artefactos derivados de errores en el MDE.

Para su uso en el modelo, la pendiente se reclasificó en cinco rangos de inclinación, de acuerdo con criterios empleados en estudios de riesgo por movimientos en masa y en documentos técnicos de ordenación de cuencas se pudo incorporar esta variable al modelo la cual se reclasificó en cinco rangos en grados ($^{\circ}$): $0-15^{\circ}$, $15-25^{\circ}$, $25-35^{\circ}$, $35-45^{\circ}$ y $>45^{\circ}$, cabe señalar que esta gradación no es arbitraria: diversos estudios de amenaza por movimientos en masa emplean puntos de quiebre similares (15° , 25° , 35° y 45°) para diferenciar tipos de relieve, como ocurre en la formulación del POMCA (Plan de Ordenamiento Territorial y Manejo de Cuenca Hidrográfica) del río Luisa en Colombia, donde se establecen clases sucesivas de pendiente asociadas a categorías desde “ondulado” hasta “muy escarpado”, es por ello que se adoptó la misma estructura de cinco rangos, reclasificando el mapa de pendientes en QGIS, la capa resultante de pendientes categorizadas, con la misma resolución espacial que el MDE, se incorporó como uno de los factores físico-territoriales del índice de susceptibilidad a inundación pluvial.

3.1.9. Características socioeconómicas y urbano-territoriales

El análisis de las características socioeconómicas y urbano-territoriales de la microcuenca Tingomayo se realizó a partir de fuentes oficiales, entre ellas el Censo Nacional

de Población y Vivienda 2017, así como diversos instrumentos de planificación urbana y ambiental del distrito de Los Baños del Inca y del gobierno regional de Cajamarca (INEI, 2018; Municipalidad Distrital de Los Baños del Inca, 2021; GORE Cajamarca, 2017), en términos generales, esta microcuenca forma parte del frente de expansión urbana de la ciudad de Cajamarca, evidenciando una ocupación heterogénea donde se combinan zonas residenciales consolidadas, nuevas urbanizaciones y sectores periurbanos aún vinculados a usos agrícolas y de pastizales.

La población asentada en este ámbito se caracteriza por vivir, en su mayoría, en viviendas unifamiliares de uso residencial, es aquí donde predomina las construcciones con materiales mixtos como cemento, ladrillo y adobe, aunque en las áreas periféricas persiste una presencia considerable de edificaciones con técnicas constructivas tradicionales, en lo que respecta al acceso a servicios básicos, el casco urbano presenta una cobertura relativamente alta de agua potable, electricidad y alcantarillado, sin embargo, estas condiciones no se replican en los sectores de expansión ni en varios asentamientos periurbanos, donde aún existen limitaciones importantes, particularmente en cuanto al drenaje pluvial, que en muchos casos es deficiente o inexistente (INEI, 2018; Municipalidad Distrital de Los Baños del Inca, 2021), generando que, durante lluvias intensas, la escorrentía superficial circule libremente por las vías, acumulándose en zonas bajas del entramado urbano.

Desde el punto de vista del uso del suelo, la microcuenca presenta una clara transición rural-urbana, en ella conviven terrenos dedicados a actividades agrícolas y de pastoreo con nuevas lotizaciones y equipamientos urbanos, muchos de los cuales se han desarrollado sobre el fondo de valle y el piedemonte aluvio-lacustre descritos en los análisis geomorfológicos y geológicos previos, según lo señalado en la Zonificación Ecológica y Económica (ZEE) de la región Cajamarca, estos entornos presentan una alta susceptibilidad natural a procesos de

inundación y anegamiento, riesgos que se agravan en contextos de crecimiento urbano no planificado y sin una adecuada infraestructura de drenaje (GORE Cajamarca, 2017).

En este escenario, la expansión urbana sobre suelos con condiciones físicas vulnerables, sumada a una marcada heterogeneidad en los tipos de edificación y a deficiencias estructurales en el manejo de aguas pluviales, configura un contexto de elevada exposición y vulnerabilidad frente a la ocurrencia de inundaciones pluviales, a partir de la información censal y de los instrumentos de planificación mencionados, se construyeron indicadores a nivel de manzana (densidad poblacional, materiales predominantes de la vivienda, acceso a servicios básicos, entre otros), que fueron normalizados y utilizados en el componente de vulnerabilidad social y constructiva del modelo, cuya metodología se detalla en la sección

3.4. Materiales y software utilizados

3.4.1. Información cartográfica y modelo digital de elevación (MDE)

Para el desarrollo del presente estudio se recurrió a información cartográfica oficial proporcionada por diversas entidades nacionales, la cual fue complementada con datos geoespaciales de acceso libre y productos elaborados en entornos de Sistemas de Información Geográfica (SIG), la delimitación de la microcuenca, el análisis físico-territorial y el modelamiento del peligro se basaron en capas geográficas que permiten caracterizar de forma adecuada el territorio de Tingomayo, y que, además, sirvieron como insumo fundamental para las etapas posteriores de análisis del riesgo, para el insumo altimétrico principal fue un Modelo Digital de Elevación (MDE) ALOS PALSAR, con una resolución espacial de 12,5 metros, este modelo fue descargado de bases satelitales de libre acceso y procesado utilizando el software QGIS, gracias a su nivel de detalle fue posible representar con precisión las variaciones del relieve, a partir de este MDE se generaron diversos productos derivados esenciales para el estudio, como los mapas de pendientes, dirección y acumulación de flujo, así como la delimitación hidrológica de la microcuenca Tingomayo también se integraron capas

cartográficas oficiales correspondientes a geología, geomorfología, hidrografía, curvas de nivel y uso del suelo, estas capas provienen de fuentes reconocidas como el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET), la Autoridad Nacional del Agua (ANA) y el Gobierno Regional de Cajamarca (INGEMMET, 2020; ANA, 2015; GORE Cajamarca, 2017), adicionalmente se analizaron imágenes satelitales de alta resolución, que permitieron verificar rasgos del relieve, identificar cambios recientes en la cobertura del suelo y validar elementos territoriales clave para la modelación del riesgo, también es importante señalar que toda la información geoespacial fue reprocesada, corregida y ajustada al sistema de coordenadas UTM, zona 17S, con datum WGS 84.

3.4.2. Bases censales y estadísticas

La caracterización socioeconómica y constructiva de la microcuenca Tingomayo se sustentó en las bases de datos del Censo Nacional de Población, Vivienda y Comunidades 2017 del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), se trabajó a nivel de manzana censal, seleccionando variables vinculadas a la población, al material predominante de paredes, techos y pisos de las viviendas y al acceso a servicios básicos, esta información fue organizada en hojas de cálculo y posteriormente vinculada a la cartografía censal en QGIS, con el fin de construir los indicadores del componente de vulnerabilidad social y constructiva (INEI, 2018).

De manera complementaria, se incorporaron estadísticas y cartografía temática de la Zonificación Ecológica y Económica de la región Cajamarca y del Plan de Desarrollo Urbano del distrito de Los Baños del Inca, que aportaron información sobre uso actual del suelo, dinámicas de expansión urbana y estructura del sistema de asentamientos (GORE Cajamarca, 2017; Municipalidad Distrital de Los Baños del Inca, 2021); la coherencia de estos datos con la realidad territorial se verificó de forma cualitativa durante las visitas de campo, mediante la observación de tipologías constructivas, patrones de ocupación y condiciones del entorno físico.

En conjunto, las bases censales y estadísticas constituyen el soporte cuantitativo del componente de vulnerabilidad ya que a partir de ellas se derivan los indicadores socioeconómicos y constructivos, que luego se normalizan, se ponderan mediante el método AHP y se integran en el cálculo del índice de vulnerabilidad presentado en los apartados siguientes.

3.4.3. Series hidrometeorológicas

Para la caracterización de las lluvias asociadas a los eventos de inundación pluvial en la microcuenca Tingomayo se utilizaron series hidrometeorológicas oficiales del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), correspondientes a registros de precipitación diaria y precipitación máxima en 24 horas de estaciones ubicadas en el ámbito de influencia de la ciudad de Cajamarca y sus zonas periurbanas (SENAMHI, 2023).

Las series fueron descargadas en formato digital y organizadas en hojas de cálculo para su posterior procesamiento, que incluyó la obtención de precipitaciones máximas en 24 horas, análisis de datos dudosos y la utilización de curvas Intensidad–Duración–Frecuencia (IDF) para Cajamarca.

Estos datos constituyen el insumo hidrometeorológico básico del estudio como representación de las lluvias intensas que actúan como factor desencadenante del peligro de inundación pluvial.

3.4.4. Procesamiento cartográfico usando software Qgis

El procesamiento de la información espacial y estadística se llevó a cabo principalmente en el entorno del Sistema de Información Geográfica QGIS, utilizando una versión estable reciente (3.30.3), la cual nos permitió gestionar bases cartográficas, realizar análisis hidrológicos sobre el Modelo Digital de Elevación ALOS de 12,5 metros de resolución, generar mapas temáticos y elaborar las salidas cartográficas finales del estudio, se utilizaron tanto herramientas nativas de QGIS como complementos especializados, aplicados en tareas como

el cálculo de pendientes, la determinación de la dirección y acumulación de flujo, la delimitación de cuenca, mapas como geología, geomorfología, pendiente, y gracias a esto la reclasificación de variables y el cruce espacial entre las capas de peligro, vulnerabilidad para el producto final riesgo.

En paralelo, el análisis y organización de los datos censales, constructivos e hidrometeorológicos se realizó mediante hojas de cálculo en Microsoft Excel, es así que se llevaron a cabo procesos de tabulación, depuración de datos, cálculo de frecuencias, obtención de estadísticas básicas y construcción de matrices de indicadores. Asimismo, se aplicaron las ponderaciones derivadas del método de Análisis Jerárquico de Procesos (AHP), estructurando archivos clave como matrices de peligro y vulnerabilidad, y tablas de apoyo para su posterior integración en el SIG, también es importante señalar que se utilizaron visores y servicios de mapas en línea, que facilitaron la revisión de imágenes satelitales de alta resolución, herramientas especialmente útiles para la verificación visual de coberturas, usos del suelo y rasgos geomorfológicos relevantes en el área de estudio.

Es importante señalar que la combinación de QGIS y Excel permitió integrar de forma efectiva la información cartográfica, censal e hidrometeorológica en un flujo de trabajo coherente, esta integración resultó clave para la construcción de los índices de peligro, vulnerabilidad y riesgo, así como para la elaboración de los mapas temáticos.

3.5. Técnicas y procedimiento de recolección y preparación de datos:

El proceso de recolección de datos en este estudio combinó diversas estrategias metodológicas orientadas a integrar información secundaria oficial, insumos cartográficos y estadísticos procesados, así como observaciones cualitativas realizadas en campo, estas técnicas permitieron articular datos geospaciales, hidrometeorológicos y socioeconómicos esenciales para la construcción de los componentes de peligro, vulnerabilidad y riesgo en la microcuenca Tingomayo.

3.5.1. Obtención de información secundaria oficial

Para el desarrollo del estudio se utilizaron fuentes de información secundaria provenientes de entidades oficiales del Estado peruano, entre ellas:

- Bases censales del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI).
- Registros de precipitación diaria y máxima del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI).
- Cartografía geológica, geomorfológica e hidrológica del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET).
- Información territorial generada por el Gobierno Regional de Cajamarca y la Municipalidad Distrital de Los Baños del Inca.
- Lineamientos metodológicos del Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED).

Cabe señalar que se realizó una consulta específica al Área de Tributación de la Municipalidad de Los Baños del Inca, con el propósito de contar con un referente actualizado de la población aproximada y de la dinámica reciente de expansión urbana dentro del ámbito de estudio, lo que permitió contextualizar y contrastar los datos censales oficiales.

Los lineamientos de CENEPRED orientaron el enfoque conceptual y la estructura del modelo de análisis Peligro–Vulnerabilidad–Riesgo (P–V–R) aplicado en este trabajo en conjunto, estas fuentes proporcionaron insumos oficiales, actualizados y verificables para caracterizar el territorio, las condiciones socioeconómicas de la población y el comportamiento pluviométrico relevante para la evaluación del riesgo de inundación pluvial.

3.5.2. Preparación y análisis de datos censales e hidrometeorológicos

Los datos censales utilizados provienen del Censo Nacional de Población y Vivienda 2017 del INEI y fueron trabajados a nivel de manzana censal. El procesamiento se organizó en las siguientes etapas:

Primera etapa - Selección de variable: Las bases originales se descargaron y reorganizaron en hojas de cálculo, seleccionando únicamente las variables relevantes para el componente de vulnerabilidad, entre ellas: material predominante de paredes, techos y pisos de las viviendas, número de ocupantes por vivienda, acceso a servicios básicos y características del patrón de ocupación urbana.

Segunda etapa - Codificación y reclasificación: Las variables seleccionadas fueron codificadas y reclasificadas en categorías operativas más manejables desde el punto de vista analítico, agrupando, por ejemplo, los materiales constructivos según su resistencia estructural estimada. Esta transformación facilitó su incorporación en las matrices de indicadores elaboradas para el estudio.

Tercera etapa - Agregación y construcción de matrices: Una vez depurada y clasificada la información, los datos se agregaron por manzana censal y se sistematizaron en matrices construidas en Excel. En estas matrices se calcularon porcentajes, frecuencias relativas y otros indicadores sintéticos por unidad territorial, que luego alimentaron directamente los procesos de normalización y ponderación del componente de vulnerabilidad, así como su posterior vinculación con las capas espaciales en QGIS.

Cuarta etapa - Preparación de datos hidrometeorológicos: Se trabajaron los registros de precipitación diaria y máxima en 24 horas proporcionados por el SENAMHI, organizándolos en un archivo Excel que consolida los valores de lluvia máxima anual disponibles para la zona de estudio. Para complementar la información instrumental puntual y ampliar la comprensión del comportamiento espacial y temporal de las precipitaciones, se incorporaron también datos de la base CHIRPS (Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data), que ofrece estimaciones satelitales de precipitación en formato de rejilla.

Los datos CHIRPS correspondientes al ámbito de la microcuenca se utilizaron como línea base para contrastar la variabilidad interanual y verificar la coherencia general de la serie

instrumental de SENAMHI. Sobre estas series se efectuó un control de calidad hidrometeorológico que incluyó la verificación de la continuidad de los registros, la revisión de la coherencia temporal entre años consecutivos y la identificación de datos dudosos o atípicos, que fueron analizados y, de ser necesario, excluidos o ajustados siguiendo criterios básicos de consistencia.

Con la serie depurada se organizó la información necesaria para la elaboración de las curvas Intensidad–Duración–Frecuencia (IDF) de Cajamarca en una hoja de cálculo específica, donde se estructuraron las intensidades estimadas para diferentes duraciones y períodos de retorno. En conjunto, la preparación y análisis de los datos censales e hidrometeorológicos tuvo como propósito disponer de bases numéricas limpias, organizadas y técnicamente consistentes.

3.5.3. Reconocimiento y verificación en campo

El reconocimiento en campo se desarrolló con la finalidad de validar la coherencia entre la información secundaria (cartográfica, censal e hidrometeorológica) y las condiciones reales observadas en la microcuenca Tingomayo, el trabajo se realizó de manera cualitativa en sectores representativos del ámbito urbano y periurbano, priorizando zonas donde se identificaron posibles acumulaciones de escorrentía, áreas de pendiente baja, tramos de la red hidrográfica y sectores con ocupación reciente.

Durante el recorrido se verificaron las condiciones físicas del territorio, incluyendo el estado y continuidad de la red hidrográfica y drenajes naturales, puntos de confluencia de escorrentía y zonas de acumulación, presencia o ausencia de infraestructura de drenaje pluvial (cunetas, alcantarillas, alcantarillado y canales informales); y los sectores con evidencias de anegamientos pasados, erosión local o sedimentación.

Asimismo, se verificaron de manera cualitativa las tipologías constructivas predominantes, el nivel de consolidación urbana, la presencia de viviendas vulnerables o materiales mixtos y la disponibilidad visible de servicios básicos, lo cual permitió contrastar

los datos censales provenientes del INEI, esta verificación fue complementada con la información proporcionada por el Área de Tributación de la Municipalidad de los Baños del Inca, que permitió contextualizar la densidad poblacional y la dinámica de ocupación en sectores donde el crecimiento urbano ha sido reciente.

Con el fin de garantizar la precisión espacial de la cartografía utilizada, durante el trabajo de campo se capturaron puntos georreferenciados mediante GPS diferencial, los cuales sirvieron para contrastar la ubicación real de vías, cauces, red hidrográfica, y zonas de descarga, estos puntos fueron posteriormente comparados con la cartografía procesada en QGIS, facilitando la corrección de desplazamientos menores y asegurando la georreferenciación adecuada de las capas base.

El reconocimiento se complementó con un registro fotográfico que documenta zonas críticas, puntos de acumulación de escorrentía, tramos erosionados y áreas de ocupación urbana sensibles, constituyendo un insumo complementario para la validación visual de los resultados obtenidos en los componentes peligro, vulnerabilidad y riesgo.

Todo lo redactado anteriormente tiene como objetivo asegurar la coherencia espacial y contextual entre los datos secundarios y las condiciones reales del territorio, validando la red hidrográfica, las áreas críticas, la ocupación urbana y la georreferenciación de las capas, fortaleciendo así la confiabilidad del modelo P-V-R aplicado en la microcuenca Tingomayo.

3.6. Procesamiento, modelamiento y análisis de datos P-V-R

El procesamiento y análisis de datos tuvo como objetivo central la construcción del modelo R-P-V ($\text{Riesgo} = \text{Peligro} \times \text{Vulnerabilidad}$) en el ámbito de la microcuenca Tingomayo. A partir de los insumos recolectados y estructurados en las etapas anteriores tanto información cartográfica como bases estadísticas se procedió a definir los indicadores representativos de cada componente del modelo. En esta etapa se aplicaron procesos de normalización de variables, lo que permitió estandarizar sus escalas y facilitar la comparabilidad entre distintos

factores, con el fin de otorgar un peso relativo a cada variable en función de su influencia sobre el fenómeno analizado, se empleó el método de Análisis Jerárquico de Procesos (AHP), el cual permitió establecer ponderaciones diferenciadas para cada criterio, esta ponderación se basó en el juicio experto y en el análisis comparativo entre indicadores, garantizando una evaluación más precisa y contextualizada del riesgo, es así que una vez obtenidos los valores ponderados, se integraron en el entorno del Sistema de Información Geográfica (QGIS), con la finalidad de obtener índices espaciales de peligro, vulnerabilidad, y riesgo de inundación.

3.6.1. Procesamiento del componente vulnerabilidad

El componente vulnerabilidad se construyó con el propósito de identificar las condiciones sociales, económicas y constructivas que incrementan el nivel de afectación potencial ante un evento de inundación pluvial en la microcuenca Tingomayo es por ello que se diseñó un modelo jerárquico estructurado en dimensiones, factores, parámetros e indicadores, cuyo procesamiento incluyó la normalización de variables, la asignación de pesos mediante el método Analytic Hierarchy Process (AHP), y la integración espacial en el entorno SIG (QGIS) toda la información se organizó, normalizó y ponderó utilizando la matriz la cual constituye la base del análisis.

La vulnerabilidad se organizó en dos grandes dimensiones:

- Dimensión social, orientada a caracterizar la población expuesta y sus condiciones de fragilidad.
- Dimensión económica, constructiva, enfocada en las características físicas de las viviendas y su capacidad de resistencia.

Cada dimensión se desglosó en dos factores analíticos, siguiendo el marco conceptual de la gestión del riesgo:

- La exposición, siendo el grado en que la población y sus viviendas se encuentran dentro del área susceptible a ser afectada.

- La fragilidad con condiciones internas que incrementan la susceptibilidad al daño, como precariedad estructural o limitaciones en el acceso a servicios básicos.

A su vez, cada factor se compuso de parámetros específicos, derivados de los datos censales y estadísticos disponibles para la microcuenca los parámetros incluidos, según lo establecido fueron:

- Población total expuesta por manzana
- Grupos etarios vulnerables (niños menores de 5 años y adultos mayores)
- Acceso a agua potable
- Acceso a desagüe
- Número total de viviendas expuestas
- Material predominante de las paredes
- Material del piso

Normalización de indicadores. Para permitir la integración de variables heterogéneas, todos los indicadores fueron normalizados mediante el método Min–Max, expresado como:

$$X_{norm} = \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}}$$

Este procedimiento se aplicó a:

- Población expuesta.
- Grupos etarios vulnerables.
- Número de viviendas.
- Clasificadores de acceso a agua y desagüe.
- Valores ordinales de material predominante de paredes y pisos

Asignación de ponderaciones mediante AHP. Una vez normalizados los indicadores, se procedió a la ponderación jerárquica mediante el método AHP (Analytic Hierarchy Process) este proceso incluyó:

- a) *Elaboración de Matrices de Comparación por Pares.* Por cada nivel jerárquico dimensiones, factores y parámetros se construyeron matrices cuadradas comparando la importancia relativa entre elementos, utilizando la escala de Saaty (1–9).
- b) *Obtención de Pesos (Pprm) y Verificación de Consistencia.* De cada matriz se extrajo el autovector principal, cuya normalización produjo los pesos de cada dimensión, factor y parámetro, la razón de consistencia (CR) se calculó en todas las matrices y se verificó que se mantuviera dentro de los valores aceptables (CR < 0.1), garantizando la coherencia del juicio experto.

Los pesos finales (Pprm) quedaron registrados en hojas Excel los cuales se aplican posteriormente a cada indicador normalizado.

Integración del índice de vulnerabilidad. El índice de vulnerabilidad se obtuvo mediante una integración jerárquica, siguiendo la estructura:

$$V = \sum (Pprm_i \cdot X_{norm,i})$$

Dónde:

$Pprm_i$ = peso AHP del indicador, parámetro o factor

$X_{norm,i}$ = valor normalizado del indicador

V = índice final de vulnerabilidad para cada unidad espacial

La integración del índice de vulnerabilidad se llevó a cabo en cuatro fases.

1. Cálculo de vulnerabilidad por parámetro: Multiplicando cada indicador normalizado por su peso correspondiente.

2. Agregación por factores (Exposición y Fragilidad): Combinando los parámetros normalizados ponderados.
3. Cálculo por dimensión (Social y Económica–constructiva): Aplicando los pesos derivados del nivel jerárquico superior.
4. Construcción del índice final de vulnerabilidad: Representa el nivel relativo de susceptibilidad de cada manzana frente a la inundación pluvial.

Los valores finales obtenidos para cada unidad espacial fueron exportados en formato tabular desde Excel para su incorporación en QGIS.

Vinculación al entorno SIG y generación del índice espacial. Una vez obtenido el índice numérico de vulnerabilidad en Excel se integraron los valores a la capa espacial de manzanas censales mediante un campo de identificación común, el índice quedó registrado en un nuevo atributo (por ejemplo, *VULNERABILIDAD*), esta operación permitió visualizar la distribución espacial de la vulnerabilidad en el entorno SIG. Este índice fue reclasificado en niveles cualitativos (muy alto, alto, medio y bajo), lo que facilitó la representación en el Mapa de Vulnerabilidad (M-05).

3.6.2. Procesamiento del componente peligro

El componente peligro de inundación pluvial se construyó a partir de la integración de los factores condicionantes del terreno geomorfología, geología y pendiente y de los factores desencadenantes hidrometeorológicos e hidrológicos, derivados de la precipitación extrema y del caudal máximo asociado este componente representa la probabilidad de que ocurra un evento de inundación pluvial en la microcuenca Tingomayo, considerando tanto la predisposición física del territorio como la severidad de los eventos de lluvia.

Construcción del índice de susceptibilidad. En una primera etapa se elaboró el índice de susceptibilidad, el cual expresa la predisposición del terreno a acumular o conducir

escorrentía, independientemente de la presencia de lluvias extremas este índice se obtuvo a partir de los factores condicionantes.

a) Definición y reclasificación de categorías. Las unidades de geomorfología, geología y los rangos de pendiente fueron organizados en categorías que representan distintos niveles de susceptibilidad cada categoría fue evaluada según su contribución relativa al proceso de inundación pluvial, por ejemplo; las planicies aluviales, los depósitos cuaternarios y las pendientes suaves fueron clasificadas como altamente susceptibles; las lomadas, las pendientes moderadas y los depósitos coluviales se asociaron a susceptibilidad media; las formaciones rocosas sedimentarias y las pendientes fuertes se clasificaron con susceptibilidad baja.

b) Normalización de indicadores (Pdsc). Los valores ordinales asignados a cada categoría fueron normalizados a una escala común (0–1), generando los indicadores Pdsc (“peso del descriptor”) lo cual permitió comparar categorías entre factores distintos y garantizó una base homogénea para la ponderación.

c) Obtención de pesos AHP (Pprm). La importancia relativa de cada factor condicionante se determinó mediante el método Analytic Hierarchy Process (AHP) para ello, se construyó una matriz de comparación por pares entre los tres factores, calculándose los pesos globales (Pprm) y verificándose la razón de consistencia (CR), asegurando la validez del juicio experto. Los pesos finales (Pprm) fueron incorporados en las hojas Excel.

d) Vinculación de indicadores normalizados a las capas SIG. Los valores Pdsc para cada categoría se unieron (join) a las capas de geomorfología, geología y pendiente en QGIS, de modo que cada unidad espacial (manzana o polígono) quedó asociado a sus atributos normalizados según el tipo de relieve, material geológico y rango de pendiente.

e) *Cálculo del índice de susceptibilidad.* Con los indicadores normalizados y los pesos AHP, se calculó el índice de susceptibilidad para cada unidad espacial mediante una combinación lineal ponderada en la calculadora de campos de QGIS, aplicando la expresión:

$$\text{Susceptibilidad} = P_{prm_{Geom}} \cdot P_{dsc_{Geom}} + P_{prm_{Geo}} \cdot P_{dsc_{Geo}} + P_{prm_{Pend}} \cdot P_{dsc_{Pend}}$$

Construcción del índice de peligro. Una vez obtenido el índice de susceptibilidad, se incorporó el factor desencadenante, compuesto por la precipitación extrema y el caudal máximo característico de la microcuenca.

a) *Indicadores hidrometeorológicos e hidrológicos.* Los datos de precipitación máxima se derivaron de las series de lluvia intensa, las curvas Intensidad – Duración - Frecuencia (IDF) de Cajamarca y el cálculo del caudal característico. A partir de estos insumos, se construyó un indicador desencadenante que expresa la severidad conjunta de la lluvia y del caudal esperado en el cauce principal.

b) *Normalización del factor desencadenante.* La intensidad de lluvia como el caudal fueron normalizados a una escala 0–1, generando valores Pdsc para cada clase del factor desencadenante.

c) *Integración final del índice de peligro.* El índice de peligro se calculó combinando el índice de susceptibilidad (70 %) con el indicador desencadenante (30 %), en coherencia con las ponderaciones AHP la expresión general utilizada fue:

$$\text{Peligro} = 0.70 \cdot \text{Susceptibilidad} + 0.30 \cdot \text{Precipitación/Caudal}$$

Este índice continuo fue posteriormente reclasificado en cuatro niveles cualitativos (bajo, medio, alto, muy alto), constituyendo la base para el Mapa de Peligro por Inundación (M-07).

3.6.3. Integración del riesgo de desastre

La integración del riesgo se realizó siguiendo el marco conceptual del modelo P–V–R, según el cual el riesgo de desastre es el resultado de la interacción entre el peligro (probabilidad y severidad del evento) y la vulnerabilidad (susceptibilidad interna de la población y sus viviendas) este proceso buscó obtener un índice espacial continuo que exprese el nivel relativo de afectación potencial ante una inundación pluvial en la microcuenca Tingomayo.

Armonización de insumos espaciales. Antes del cálculo del riesgo, los índices de peligro (P) y vulnerabilidad (V) se homogeneizaron en QGIS:

- Ambos fueron vinculados a la misma capa base de unidades espaciales (manzanas censales).
- Se verificó que los atributos utilizados (campos *PELIGRO* y *VULNERABILIDAD*) estuvieran normalizados entre 0 y 1, garantizando la compatibilidad de escalas.
- Se revisó que no existieran valores nulos o vacíos, corrigiendo discordancias mediante la actualización manual o el recálculo de expresiones.

Esta armonización aseguró que ambos índices pudieran integrarse de manera coherente en la operación final de riesgo.

Cálculo del índice de riesgo. El cálculo del riesgo se realizó aplicando la forma multiplicativa tradicional del modelo:

$$R = P \times V$$

Dónde:

R = Es el valor de riesgo por unidad espacial.

P = Es el índice continuo de peligro obtenido de la combinación del índice de susceptibilidad con el factor desencadenante (precipitación–caudal).

V = Es el índice continuo de vulnerabilidad derivado del modelo jerárquico social–económico.

La multiplicación se ejecutó en QGIS mediante la calculadora de campos, generando un nuevo atributo (RIESGO) en la capa espacial esta operación permite que el riesgo aumente únicamente cuando ambos componentes (P y V) presentan valores elevados, en coherencia con el marco conceptual de la gestión del riesgo.

Clasificación del índice de riesgo (criterio metodológico según CENEPRED). Para la clasificación cualitativa del índice de riesgo se adoptaron los rangos establecidos por el Manual para la Evaluación de Riesgos originados por Fenómenos Naturales – Segunda Versión, elaborado por CENEPRED (2014). Este manual propone cuatro niveles de riesgo definidos a partir de intervalos numéricos del índice R.

Tabla 4

Ponderación de los niveles de riesgo de desastres

Niveles de riesgo	Ponderación
Riesgo muy alto	$0.68 \leq R < 0.253$
Riesgo alto	$0.018 \leq R < 0.068$
Riesgo medio	$0.005 \leq R < 0.018$
Riesgo bajo	$0.001 \leq R < 0.005$

Nota. Valores de riesgo adaptados del *Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales* (Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres [CENEPRED], 2014).

Estos rangos constituyen el marco metodológico oficial adoptado para la estratificación del riesgo en la microcuenca Tingomayo su empleo garantiza que la clasificación aplicada en el análisis espacial sea consistente con la normativa técnica nacional vigente en materia de evaluación del riesgo de desastres.

3.6.4. Criterios de validación

La validación del modelo de riesgo se planteó como un procedimiento orientado a verificar la coherencia conceptual y territorial de los índices de peligro, vulnerabilidad y riesgo generados en el estudio. Para tal fin, se definieron los siguientes criterios metodológicos:

- Análisis de correspondencia espacial del peligro. se analizará como se relaciona el mapa de peligro con las características físico-territoriales relevantes de la microcuenca, como unidades geomorfológicas, tipos de material superficial, rangos de pendiente y proximidad a cauces y drenajes, con el fin de corroborar los niveles más elevados de peligro se ubiquen en zonas que según la literatura y la lógica hidrológica, presentan mayor predisposición a la inundación pluvial.
- Revisión de coherencia socioeconómica-constructiva de la vulnerabilidad. se analizará la consistencia entre los valores del índice de vulnerabilidad y las características socioeconómicas y constructivas de cada zona, verificando que el modelo refleje adecuadamente las condiciones asociadas a exposición y fragilidad (material predominante de paredes y pisos, densidad de viviendas, disponibilidad de servicios básicos, grupos etarios vulnerables, entre otros).
- Validación hidrológica del modelo de peligro. se contrastarán los resultados del modelo con la configuración de la red hidrográfica y los patrones de escorrentía superficial derivados del MDE, verificando que las zonas de acumulación y los tramos del cauce que presentan cambios de pendiente correspondan con los niveles más elevados del índice de peligro.
- Verificación mediante observaciones de campo. se usarán puntos georreferenciados obtenidos mediante GPS y el registro fotográfico realizado en la microcuenca para contrastar la ubicación de zonas críticas, como áreas de encharcamiento, sectores con deficiencias de drenaje y viviendas expuestas en el fondo del valle. Estos elementos

metodológicos permitirán comprobar la coherencia global del modelo P–V–R antes de su interpretación final. Los resultados detallados de esta validación se presentan en el Capítulo IV.

CAPÍTULO IV.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo al primer objetivo específico “Caracterizar el peligro de inundación pluvial en función de las características físico-territoriales y del régimen de lluvias”, se explica:

4.1. Peligro de inundación pluvial

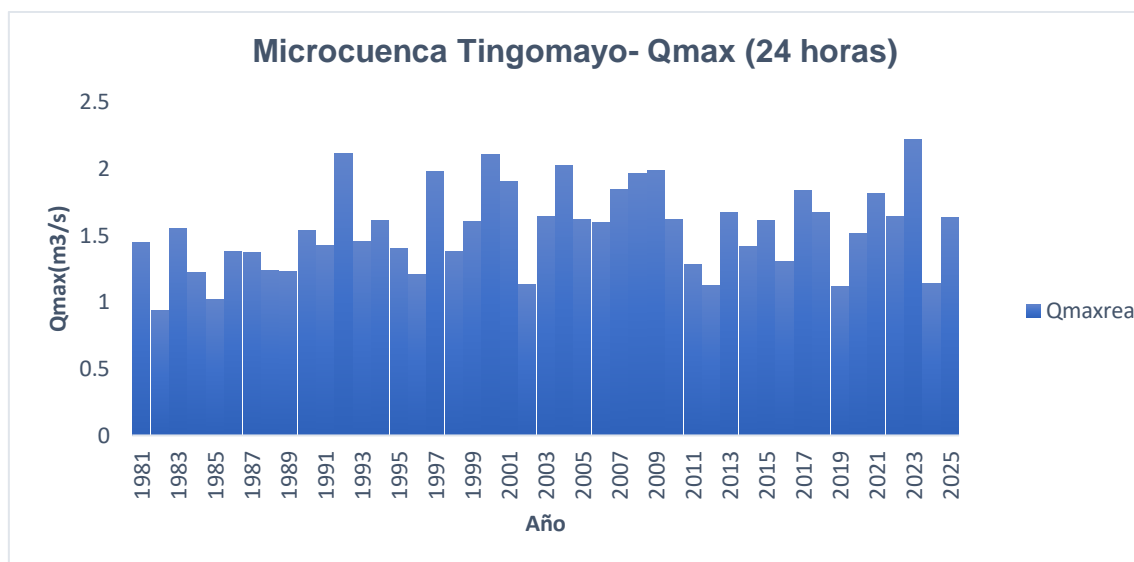
4.1.1. Régimen de lluvias y caudal máximo diario

La serie hidrometeorológica procesada para la microcuenca Tingomayo comprende los registros anuales de precipitación máxima en 24 horas (P24h) y el caudal máximo calculado para dicho evento (Q_{max}), correspondientes al período 1981–2025, esta serie constituye la base para el análisis de los factores desencadenantes del peligro de inundación pluvial, en coherencia con el enfoque hidrometeorológico.

En este apartado se tiene los siguientes parámetros ya calculados, tales como el P24h (mm), que es la precipitación máxima diaria anual; coeficiente de escorrentía (C), que es el valor constante aplicado (0.65), asociado al régimen de escurrimiento superficial del sector; área de aporte de 4 617 500 m² (según delimitación hidrológica de la microcuenca); el QCALmax (m³/s) que es el caudal máximo obtenido mediante la fórmula de escorrentía superficial y $Q_{maxreal}$ (m³/s) igual al caudal adoptado después del ajuste hidrológico aplicado en la hoja de cálculo.

Figura 4

Serie histórica del caudal máximo diario (Q_{max} , 24 horas) en la microcuenca Tingomayo, 1981–2025



Nota. Datos obtenidos de la estación Augusto Weberbauer del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI, 2023).

El gráfico de barras incluido muestra una variabilidad interanual marcada, con años donde el caudal máximo se incrementa notoriamente, reflejando episodios de precipitación diaria intensa, esta variabilidad es relevante para el análisis del peligro de inundación pluvial, porque evidencia que la microcuenca responde de manera rápida a lluvias intensas, generando picos de caudal muy superiores al comportamiento medio, capaces de sobrepasar la capacidad hidráulica del cauce y de la infraestructura de drenaje.

A partir de la serie procesada de caudales máximos en 24 horas se calculó el caudal de diseño $Q_{max}(24\text{ h})$, que se adoptó como valor representativo para el escenario de modelamiento del peligro, teniendo un valor obtenido es

$$Q_{max} = 2.21614184 \text{ m}^3/\text{s}$$

Esto constituye al factor desencadenante hidrológico central incorporado posteriormente en el índice de peligro (ver Sección 4.1.3), la selección de este Q_{max} se sustenta

en que representa adecuadamente la magnitud de los eventos de lluvia que históricamente han generado los mayores aportes de esorrentía en la microcuenca. En síntesis, los resultados hidrológicos evidencian un régimen de lluvia diaria máxima altamente variable, la presencia de años con eventos extremos capaces de movilizar caudales significativos, así como un valor de Q_{max} (24 h) adoptado que permite representar un escenario crítico coherente con los objetivos de estimación del peligro de inundación pluvial.

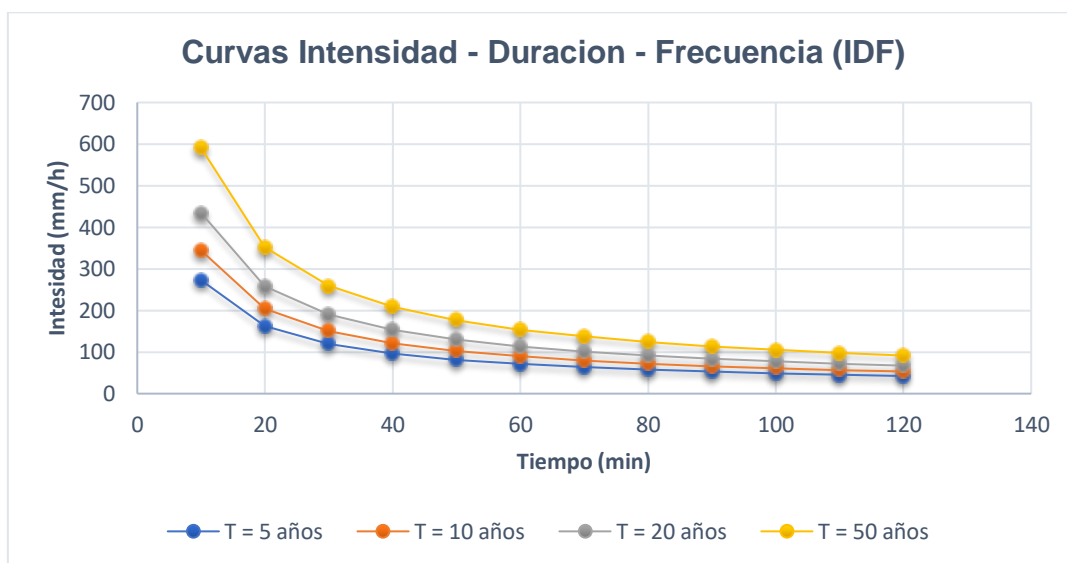
4.1.2. Curvas intensidad - duración - frecuencia (IDF)

Las curvas intensidad – duración - frecuencia (IDF) permiten caracterizar el comportamiento de la precipitación extrema en la región Cajamarca para distintas duraciones y períodos de retorno, en la Figura 9, donde se presentan las curvas obtenidas a partir del procesamiento realizado en el archivo Excel seleccionando los períodos de retorno de 5, 10, 20 y 50 años por ser los más representativos en los estudios de diseño hidrológico. La gráfica muestra el comportamiento típico de estos eventos, tales como intensidades más altas se registran en duraciones cortas y las intensidades disminuyen conforme aumenta el tiempo de lluvia para un mismo tiempo de duración, las intensidades incrementan conforme el período de retorno es mayor.

Estas curvas permiten validar la consistencia hidrometeorológica del evento de precipitación máxima diaria utilizado en la estimación del caudal Q_{max} en la microcuenca Tingomayo, si bien las curvas IDF no se incorporan directamente al cálculo del índice de peligro, sí constituyen un insumo fundamental para verificar que el escenario hidrológico adoptado es coherente con los extremos regionales de precipitación.

Figura 5

Curvas intensidad - duración - frecuencia (IDF) para Cajamarca



Nota. Se seleccionaron periodos de retorno de 5, 10, 20 y 50 años porque representan rangos de recurrencia típicos en la estimación de eventos extremos en cuencas urbanas y periurbanas de escala similar a la microcuenca Tingomayo, estos valores permiten caracterizar tanto lluvias frecuentes de intensidad moderada ($T = 5-10$ años) como eventos de mayor severidad asociados a escenarios críticos usados en la planificación del drenaje pluvial y la evaluación de riesgos ($T = 20-50$ años). La inclusión de este rango equilibrado de recurrencias facilita comparar la precipitación diaria extrema empleada en el cálculo del caudal Q_{max} (véase Sección 4.1.1) con los patrones regionales de intensidad obtenidos mediante el análisis IDF, asegurando coherencia hidrológica entre los insumos del modelo; en consecuencia, la selección de estos periodos de retorno contribuye a validar que el escenario hidrometeorológico adoptado para la microcuenca Tingomayo se encuentre dentro de los límites razonables de variabilidad extrema para la región Cajamarca.

4.1.3. Indicador hidrometeorológico desencadenante del peligro

El indicador hidrometeorológico desencadenante integra dos componentes fundamentales: la magnitud de la precipitación extrema y la respuesta hidrológica de la

microcuenca Tingomayo frente a dicho evento este indicador sintetiza la severidad hidrometeorológica capaz de originar la inundación pluvial y constituye un insumo directo para la construcción del índice de peligro.

En primer lugar, se determinó la intensidad máxima de lluvia para un período de retorno de 50 años, cuyo valor asciende a 136.56 mm/h, obtenida a partir de la Figura 5 IDF de la estación Cajamarca, este valor representa el evento crítico adoptado como escenario de diseño para evaluar la dinámica hidrológica extrema de la microcuenca.

En segundo lugar, con base en dicha intensidad y considerando las características fisiográficas y geomorfológicas del área de estudio, se estimó el caudal máximo de respuesta ($Q_{max} = 2.21614184 \text{ m}^3/\text{s}$), el cual refleja la capacidad de la microcuenca para generar escorrentía frente a un evento de lluvia de alta severidad.

Estas dos variables se integraron en un solo indicador ya que la intensidad y el caudal se expresan en unidades y escalas diferentes, ambas variables fueron normalizadas en un rango común de 0–1 mediante una estandarización tipo min–max esta normalización permitió que cada parámetro aportara proporcionalmente al indicador, evitando que su peso relativo estuviera condicionado por diferencias de magnitud.

Posteriormente, los valores normalizados de intensidad extrema y caudal máximo fueron combinados directamente, asignando igual peso a cada componente, podemos justificar su integración en:

- La intensidad representa la agresividad del evento pluviométrico.
- El caudal expresa la respuesta hidrológica inducida por dicha intensidad.

La combinación de ambos factores permitió construir un indicador hidrometeorológico desencadenante que refleja simultáneamente la severidad de la lluvia y la rapidez de la respuesta de la cuenca.

En este apartado podemos ver el comportamiento del indicador y relación con el peligro ya que el resultado mostró valores predominantemente altos y relativamente homogéneos en el ámbito de estudio, lo cual se explica por:

- La baja variabilidad espacial de la precipitación extrema en la microcuenca.
- La forma alargada de la cuenca.
- Las pendientes descendentes hacia el fondo del valle.
- La presencia de materiales cuaternarios poco consolidados, que favorecen la concentración de escorrentía.

La uniformidad de los valores normalizados incrementa la influencia de los factores de susceptibilidad en la determinación del peligro final, amplificando la peligrosidad en las zonas donde las condiciones geomorfológicas propician acumulación de agua.

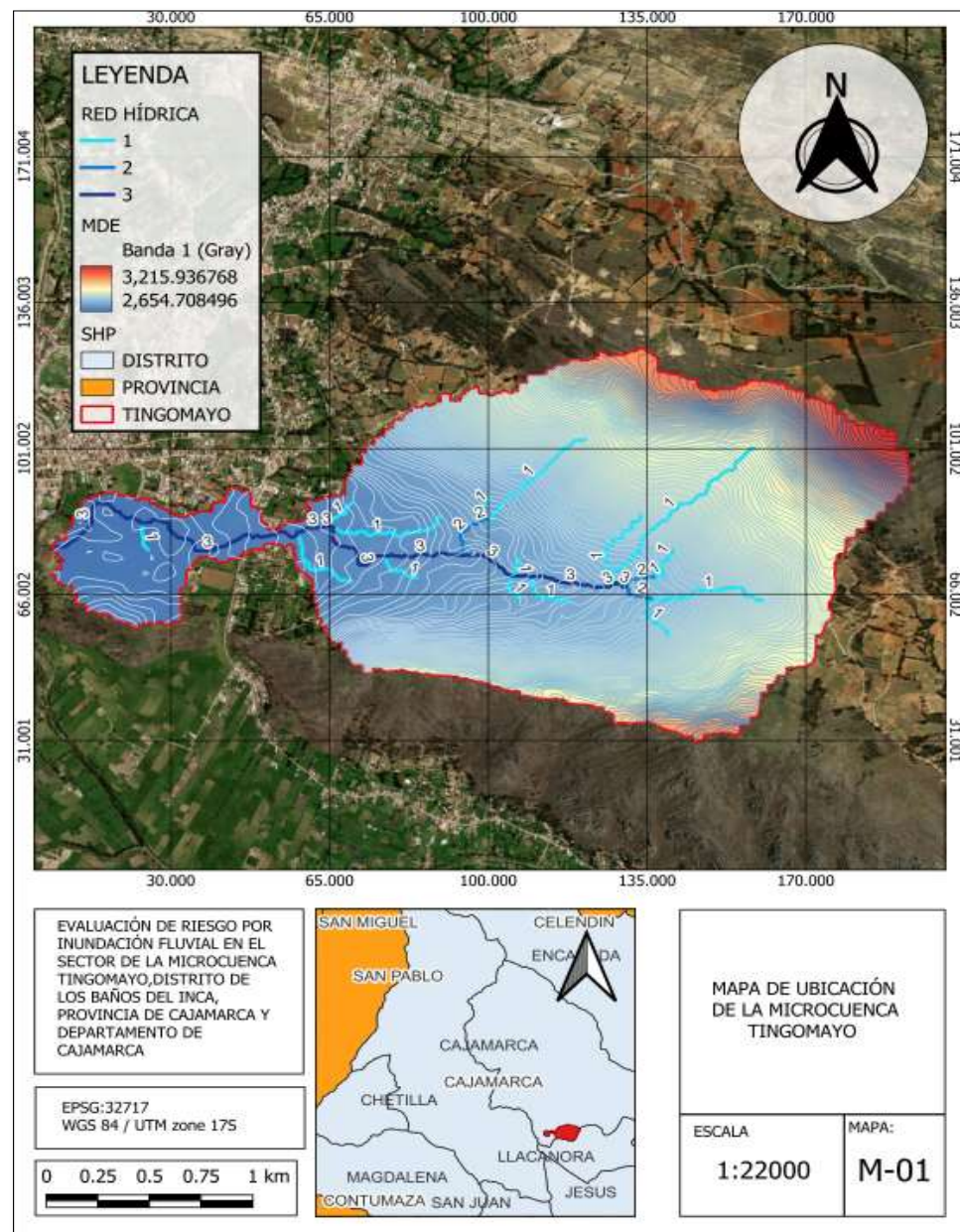
En conjunto, el comportamiento del indicador hidrometeorológico desencadenante confirma que un evento de lluvia extrema en la microcuenca Tingomayo tiene alta probabilidad de generar escorrentía significativa, elevando sustancialmente el nivel de peligro de inundación pluvial, especialmente en los sectores ubicados en la parte baja del valle.

4.1.4. Factores físico - territoriales condicionantes del peligro

Los factores físico-territoriales condicionan directamente la generación y concentración de la escorrentía superficial en la microcuenca Tingomayo y, por tanto, el nivel de peligro de inundación pluvial. En este estudio se consideraron como factores principales la red hidrográfica, las unidades geológicas, las unidades geomorfológicas y la pendiente del terreno. La representación espacial de estos elementos permite identificar zonas con mayor susceptibilidad a la acumulación de agua, a la inestabilidad de laderas y a la obstrucción natural del drenaje. En conjunto, estos factores permiten interpretar de manera integrada el comportamiento hidrológico de la microcuenca y sustentar la evaluación del peligro de inundación pluvial.

Figura 6

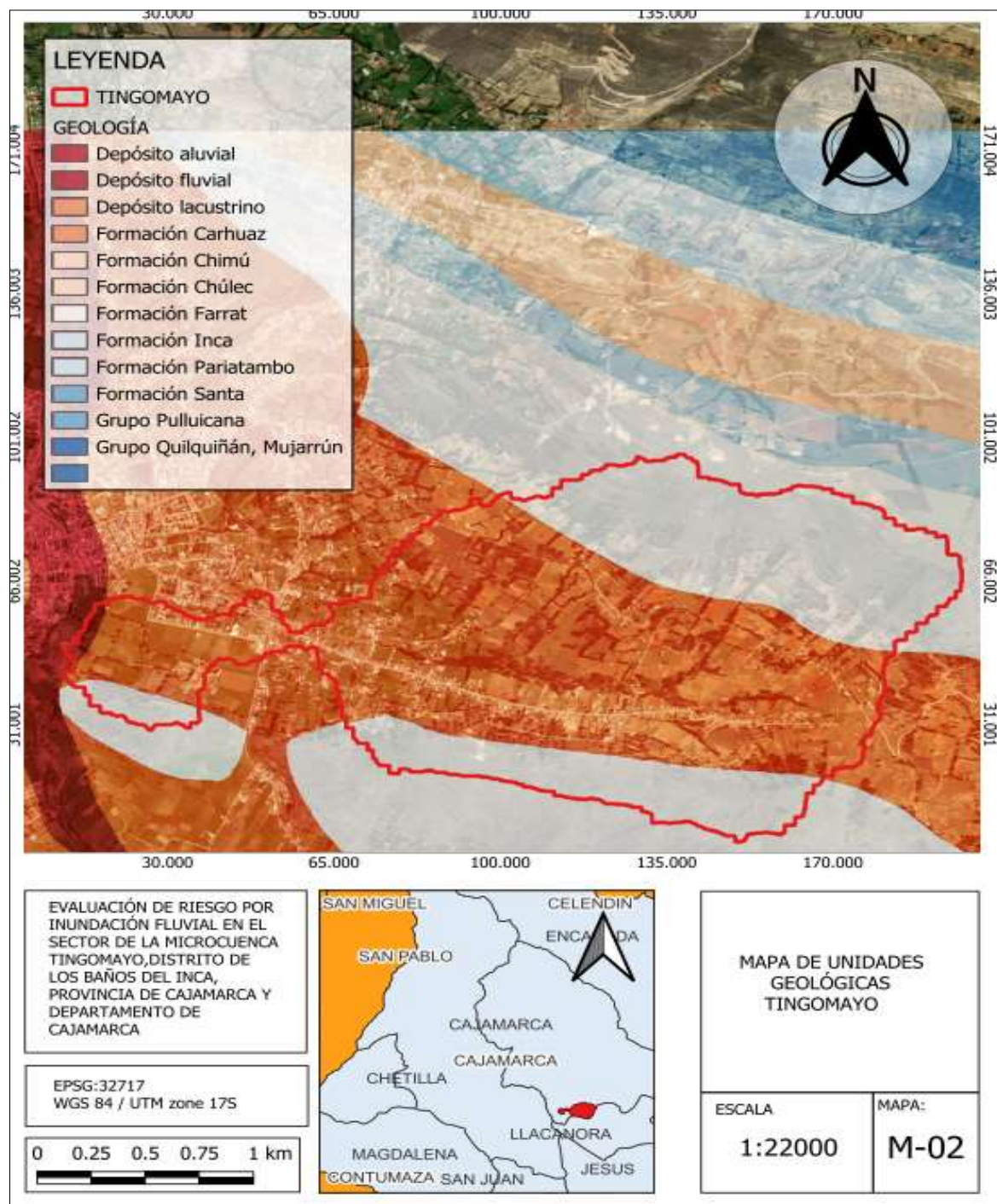
Red hidrográfica de la microcuenca Tingomayo



Nota. La red principal (categoría 1) actúa como eje de drenaje longitudinal de la microcuenca, concentrando el mayor volumen de escorrentía y funcionando como colector natural del sistema; las redes secundarias (categoría 2) se desarrollan en las laderas intermedias, drenando áreas de tamaño medio, y las redes terciarias (categoría 3) están asociadas a zonas de menor aporte hídrico y a microdrenajes generados por el relieve local, siendo más evidentes en sectores con pendientes suaves o en áreas de escurrimiento lateral.

Figura 7

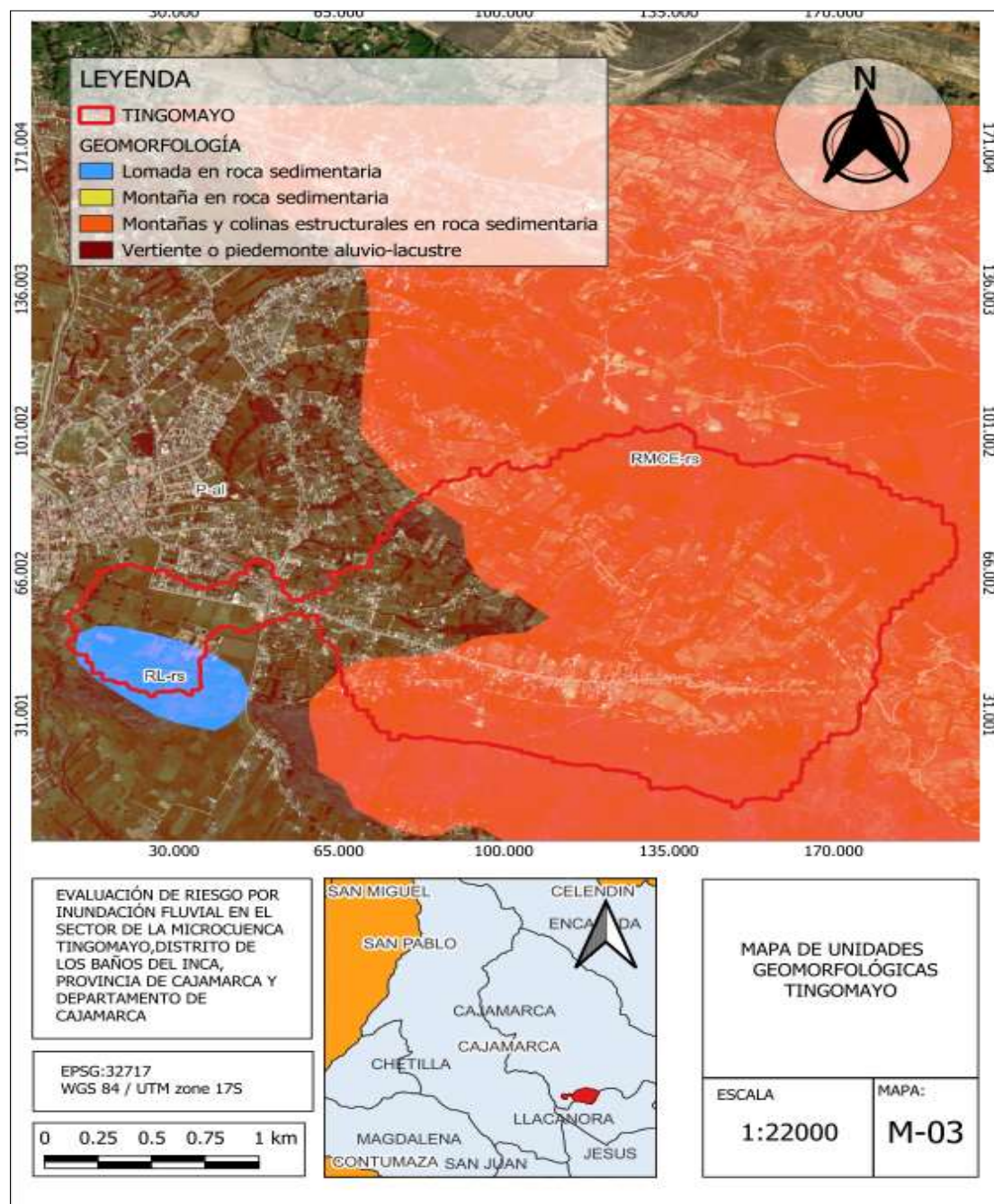
Unidades geológicas de la microcuenca Tingomayo



Nota. Mapa elaborado a partir de la fuente de datos INGEMMET esta variable geológica se incluye como uno de los factores clave del componente de peligro, aportando al cálculo del índice de susceptibilidad y a la matriz de ponderación AHP empleada en el modelo de riesgo de inundación pluvial en la microcuenca Tingomayo.

Figura 8

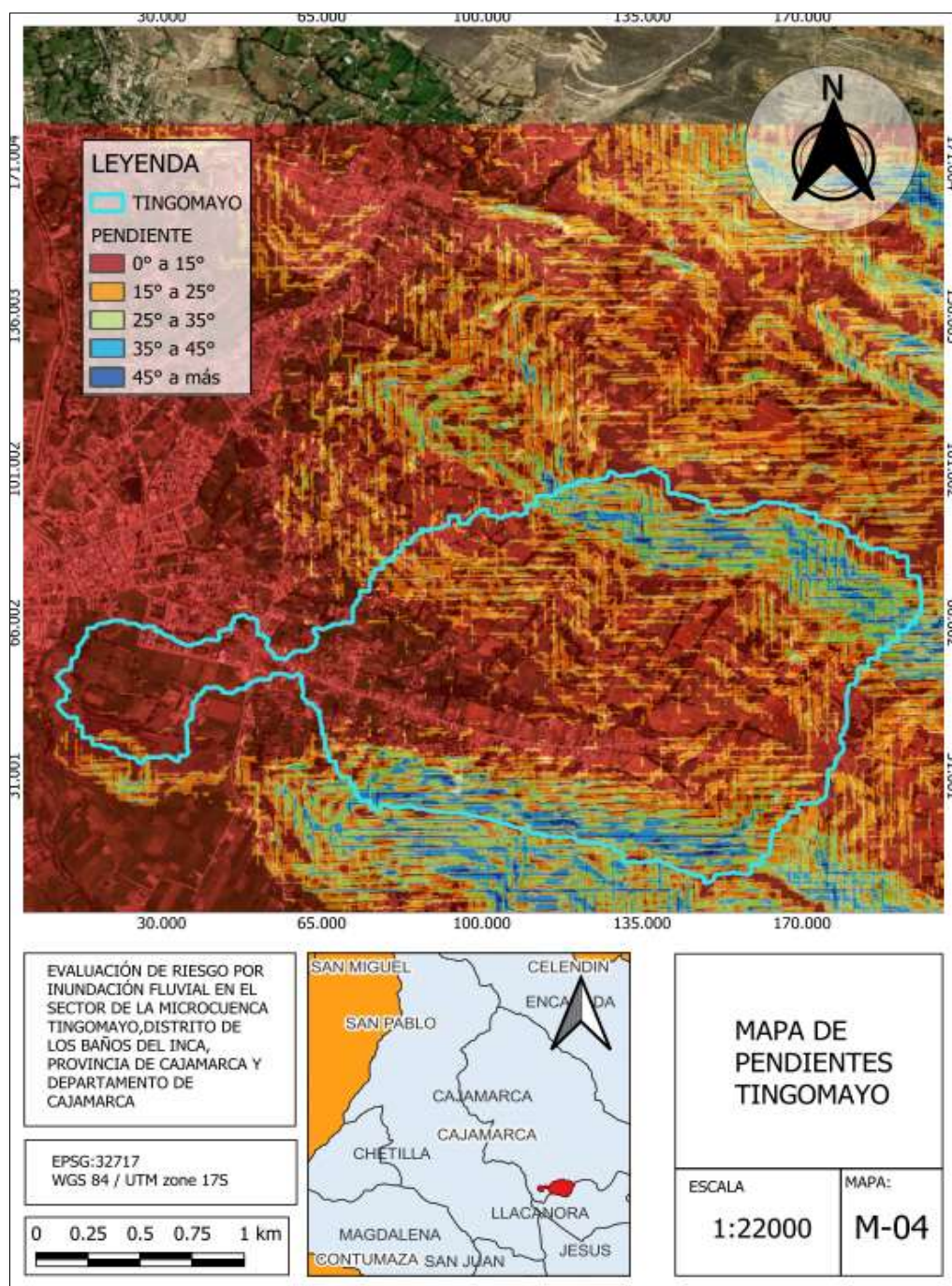
Unidades geomorfológicas de la microcuenca Tingomayo



Nota. La geomorfología constituye un insumo clave dentro del componente de peligro, ya que las unidades identificadas se incorporan directamente en la construcción del índice de susceptibilidad y en la ponderación del análisis AHP; este enfoque permite reconocer las zonas donde la forma del terreno favorece la concentración o acumulación de escorrentía durante lluvias intensas.

Figura 9

Pendiente del terreno en la microcuenca Tingomayo



Nota. La variable pendiente constituye un elemento fundamental del componente de peligro, ya que la magnitud de la inclinación del terreno se integra en el cálculo del índice de susceptibilidad y en la ponderación AHP, permitiendo identificar zonas de generación, transferencia y acumulación de escorrentía durante eventos pluviales intensos.

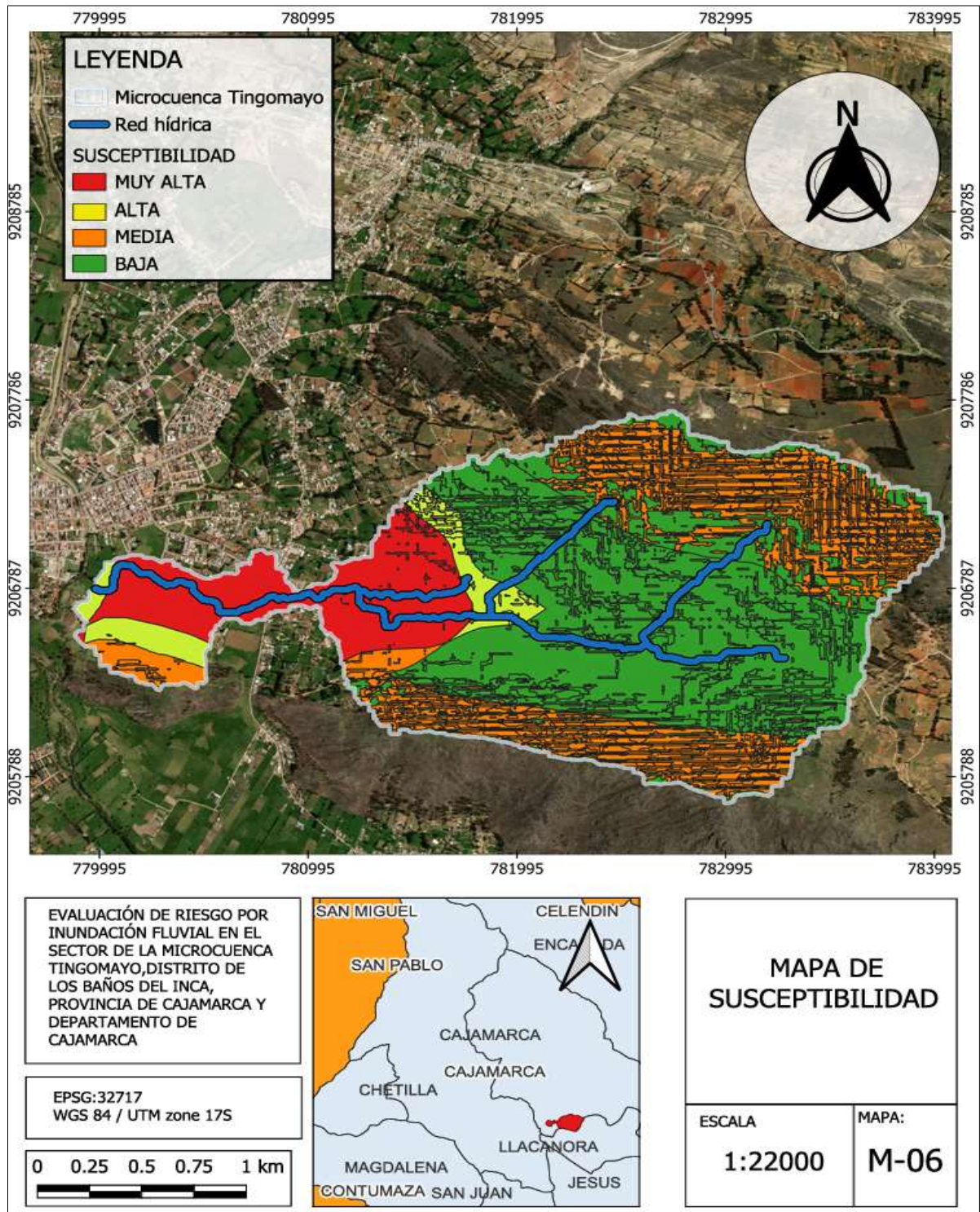
4.1.5. Índice de susceptibilidad a inundación pluvial

La susceptibilidad a la inundación pluvial en la microcuenca Tingomayo corresponde al grado en que las condiciones físico-territoriales favorecen la acumulación, concentración o conducción de escorrentía durante eventos de lluvia intensa este indicador se construyó exclusivamente a partir de factores condicionantes del terreno, sin incorporar aún la precipitación ni el caudal, por lo que constituye la base física del análisis del peligro. Los factores considerados en el modelo fueron: Geomorfología (M-03), Geología (M-02), Pendiente (M-04).

Cada uno fue reclasificado en categorías ordinales (muy alta, alta, media, baja), atendiendo a su influencia relativa en la escorrentía superficial luego los valores fueron normalizados y ponderados mediante el método Analytic Hierarchy Process (AHP), integrándose en una matriz de cálculo que permitió obtener un índice único de susceptibilidad estos valores fueron reclasificados en cuatro niveles: susceptibilidad muy alta, alta, media y baja, los cuales se representan cartográficamente en la Figura 10.

Figura 10

Susceptibilidad a inundación pluvial en la microcuenca Tingomayo



Nota. El índice de susceptibilidad integra las variables geología, geomorfología, pendiente, uso del suelo y red hídrica, clasificadas en cinco niveles: muy alta, alta, media, baja y muy baja.

En la Figura 10, se aprecia que la susceptibilidad muy alta (rojo) se concentra principalmente en el tramo occidental de la microcuenca y en sectores de la parte central próximos al cauce principal, donde convergen diferentes aportes de escorrentía superficial y se genera la mayor respuesta del terreno frente a eventos de lluvia intensa. Las áreas de susceptibilidad alta (amarillo) se ubica como franjas contiguas a las zonas de susceptibilidad muy alta y en puntos específicos del valle, actuando como zonas de transición inmediata entre los niveles muy alto y bajo. La susceptibilidad media (naranja) se distribuye mayormente sobre laderas intermedias y bordes del valle, donde la pendiente es más marcada que en el interior de la microcuenca y el escurrimiento superficial presenta una respuesta moderada. Por último, la susceptibilidad baja (verde) ocupa la mayor parte del interior de la microcuenca, especialmente en la zona central y oriental, sobre superficies relativamente más homogéneas y con menor valor del índice en términos relativos, en comparación con las áreas clasificadas como media, alta y muy alta. El M-06 muestra cómo varía el índice en distintas zonas de la microcuenca Tingomayo, nos sirve como base para elaborar el componente de peligro que se abordará en la siguiente sección.

4.1.6. Niveles de peligro de inundación pluvial

El peligro de inundación pluvial en la microcuenca Tingomayo se estimó integrando las condiciones físico-territoriales del terreno con la severidad del evento hidrometeorológico el peligro incorpora la magnitud de la lluvia extrema y del caudal generado, de modo que el índice resultante representa escenarios de inundación pluvial bajo condiciones críticas de precipitación.

Componente condicionante - índice de susceptibilidad. El primer insumo del peligro es el índice de susceptibilidad obtenido en el apartado 4.1.4, construido a partir de la combinación ponderada de los factores geomorfología, geología y pendiente, el cual mantiene

la variabilidad espacial asociada a la configuración física de la microcuenca y refleja qué áreas son más propensas a concentrar escorrentía.

Componente desencadenante (indicador hidrometeorológico). El segundo insumo correspondió al factor desencadenante y estuvo constituido por dos variables hidrometeorológicas: por un lado, la intensidad de precipitación derivada de las curvas Intensidad – Duración - Frecuencia (IDF) de Cajamarca y, por otro, el caudal máximo característico (Q_{max24h}) calculado para la microcuenca; ambas variables se normalizaron y se integraron en un indicador hidrometeorológico único (D), homogéneo para todas las unidades espaciales, pues representa el mismo escenario de lluvia extrema aplicado a todo el ámbito de estudio.

Integración del índice de peligro. La combinación de ambos componentes se realizó siguiendo la estructura de ponderaciones definida en la matriz en hojas de Excel, donde el conjunto de factores condicionantes (susceptibilidad del terreno) recibe un peso global de 0.70 mientras que el factor desencadenante hidrometeorológico–hidrológico recibe un peso de 0.30. Es decir que el índice de peligro (P) lo obtuvimos mediante una combinación lineal ponderada de la forma:

$$P = 0.70 \times S + 0.30 \times D$$

Dónde:

S = Índice de susceptibilidad por manzana.

D = Indicador desencadenante normalizado.

Los coeficientes 0.70 y 0.30 corresponden a los pesos globales establecidos en la matriz de ponderación del modelo. Cabe señalar que esta misma expresión se implementó en la calculadora de campos de QGIS, utilizando los valores normalizados almacenados en la hoja de cálculo como el factor desencadenante es espacialmente uniforme, la variación del índice

de peligro está dominada por las diferencias del índice de susceptibilidad, aunque ajustada por la severidad del evento de lluvia extrema considerado.

Finalmente, el valor continuo del índice de peligro se reclasificó en categorías cualitativas de peligrosidad, los rangos y niveles obtenidos a partir del modelo se presentan en la Tabla 5, los cuales constituyen la base de clasificación empleada posteriormente en el mapa de peligro por inundación.

Tabla 5

Valores finales del índice de peligro de inundación pluvial en la microcuenca Tingomayo

N°	Factor cond.	Factor desenc.	Índ. de susceptibilidad	Índ. de evaluación	Índ. de peligro	Nivel
1	0.488785349	0.396666547	0.46	0.55	0.489099126	Muy alto
2	0.236498405	0.203293591	0.23	0.24	0.232020286	Alto
3	0.14465951	0.247115205	0.18	0.11	0.154447731	Medio
4	0.089422638	0.104228375	0.09	0.06	0.084513362	Bajo

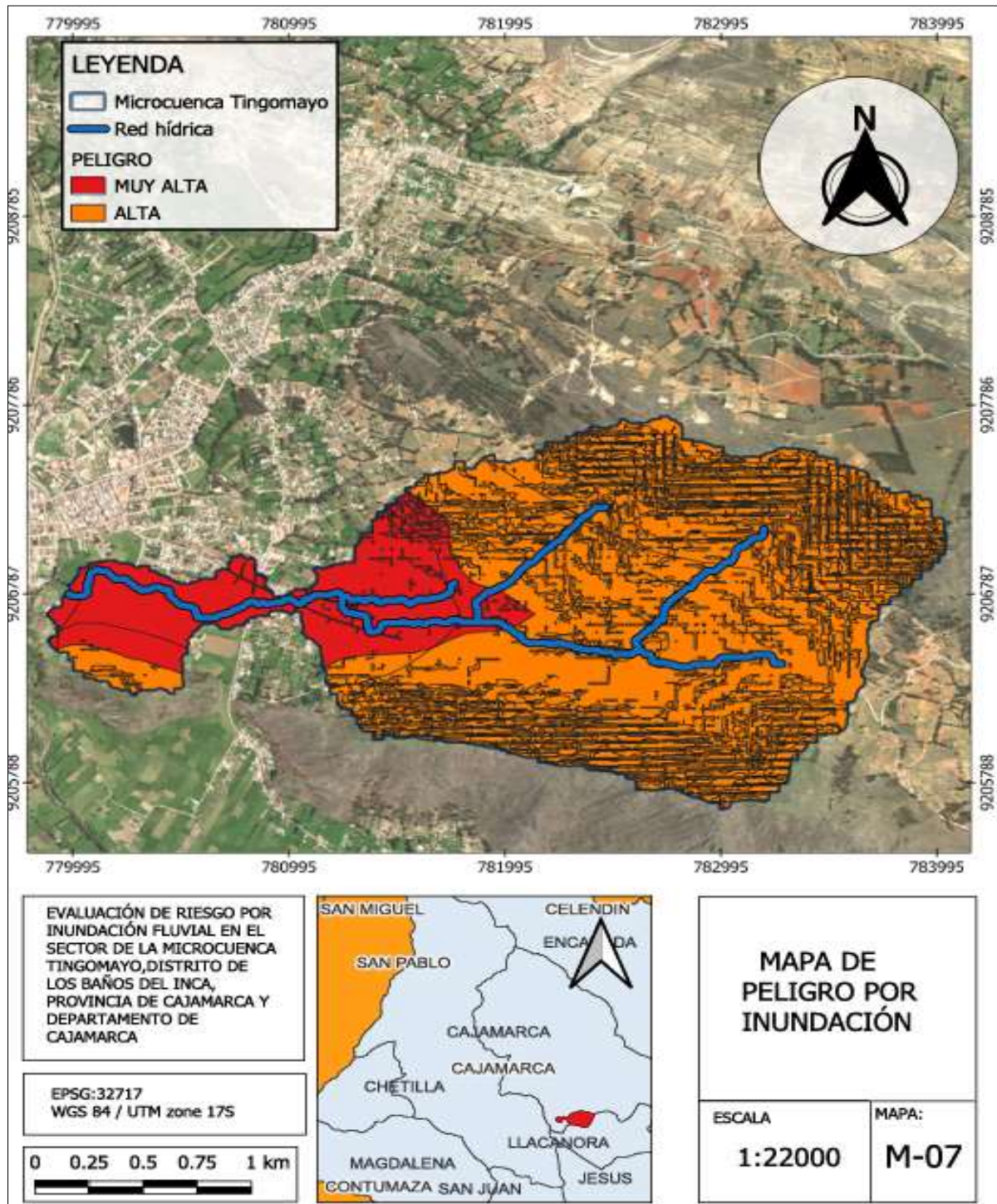
Nota. Valores calculados a partir de la matriz de peligro. Factor cond. = factor condicionante;

Factor desenc. = factor desencadenante; Índ. = índice.

Tras la reclasificación numérica del índice de peligro y la definición de los rangos mostrados en la Tabla 5, se procedió a representar espacialmente estos niveles, en el entorno QGis al aplicar los umbrales definidos a la capa de manzanas de la microcuenca Tingomayo, el modelo generó la distribución territorial del peligro de inundación pluvial, dando lugar al Mapa de Peligro por Inundación Pluvial (M-07).

Figura 11

Peligro de inundación pluvial en la microcuenca Tingomayo



Nota. Mapa elaborado a partir de la matriz de peligro y del procesamiento QGIS.

Del análisis espacial del mapa de peligro por inundación (M-07), obtenido a partir de la matriz de peligro y el procesamiento en QGIS, se identifican diferentes categorías de peligro (muy alto, alto, medio y bajo) en el área de estudio; entre ellas, las clases de peligro alto y muy alto representan las mayores condiciones de exposición y posibles daños. El peligro muy alto (rojo) se asocia a los tramos de fondo de valle y a las zonas inmediatas al cauce principal, donde la susceptibilidad es elevada y el efecto de la lluvia extrema se manifiesta en mayores profundidades y extensiones de inundación, mientras que el peligro alto (naranja) corresponde a áreas de susceptibilidad alta a media, ubicadas en franjas adyacentes al cauce y en sectores urbanos con pendientes suaves o rellenos aluviales.

Es importante señalar que, si bien en la Tabla 4 se definieron cuatro rangos ordinales de peligrosidad (muy alto, alto, medio y bajo), la distribución real de los valores del índice de peligro en la microcuenca Tingomayo se concentró en los dos rangos superiores ya que al aplicar en QGIS los umbrales de la tabla a la capa de manzanas, se verificó que todas las unidades espaciales con peligro distinto de cero se ubicaban dentro de los intervalos correspondientes a peligro muy alto y peligro alto, mientras que los rangos “medio” y “bajo” no registraron polígonos asignados, esto indica que, bajo el escenario de lluvia extrema y caudal considerado, las condiciones físico-territoriales del valle y de la franja urbana generan niveles de peligrosidad relativamente elevados de manera generalizada, por lo que las clases media y baja permanecen como rangos teóricos del modelo sin representación espacial en el ámbito de estudio. La distribución espacial de estas categorías se representa en el Mapa de Peligro por Inundación Pluvial (M-07), que constituye el resultado final del componente peligro del modelo P-V-R.

Para completar la caracterización del riesgo de desastre no basta con conocer el nivel de peligro, sino que es necesario incorporar las condiciones de vulnerabilidad de la población y de las viviendas frente a la inundación pluvial. Este componente permite identificar qué

sectores presentan mayor susceptibilidad a daños bajo un mismo escenario de amenaza. En relación al segundo objetivo “Evaluar el nivel de vulnerabilidad social y constructiva de la población expuesta al peligro de inundación pluvial”, que se analiza a continuación.

4.2. Vulnerabilidad social y constructiva

4.2.1. Indicadores de vulnerabilidad social

Los resultados muestran que la población expuesta al peligro de inundación se concentra principalmente en las manzanas ubicadas en el tramo medio y bajo de la microcuenca, donde el crecimiento urbano ha ocupado zonas próximas al cauce del Tingomayo. En estos sectores se registran las mayores densidades poblacionales, por lo que un evento de inundación podría afectar a un número importante de personas en un espacio relativamente reducido.

Asimismo, se observa que varias de estas manzanas presentan una alta proporción de población infantil y, en menor medida, de adultos mayores. La presencia de estos grupos etarios en áreas expuestas incrementa la vulnerabilidad social, ya que se trata de población con mayor dependencia y necesidad de apoyo ante procesos de evacuación, atención en salud y recuperación posterior al evento.

En cuanto a los servicios básicos, si bien una parte de la zona de estudio dispone de acceso a agua y desagüe, aún existen manzanas con coberturas parciales o condiciones menos favorables. En estos casos, una inundación podría agravar los problemas de saneamiento y salud pública, dificultando el retorno a la normalidad. En conjunto, la concentración de alta densidad poblacional, presencia de grupos etarios vulnerables y limitaciones en servicios básicos en determinados sectores explica los mayores niveles de vulnerabilidad social identificados en la microcuenca.

4.2.2. Indicadores de vulnerabilidad constructiva

En la dimensión constructiva se evaluaron las características físicas de las viviendas expuestas al peligro de inundación, poniendo énfasis en el material predominante de los muros, el número de pisos y el grado aparente de consolidación de las edificaciones, los resultados muestran que en buena parte de las manzanas del tramo medio y bajo de la microcuenca predominan viviendas de adobe y tapial de uno o dos pisos, muchas de ellas con acabados sencillos y sin elementos estructurales de refuerzo visibles este tipo de material es especialmente sensible a la humedad prolongada y a la saturación del terreno, lo que incrementa la probabilidad de agrietamientos, colapsos parciales y daños en muros y cimentaciones durante una inundación.

En contraste, en algunos sectores urbanos recientes se observa una mayor presencia de viviendas construidas con ladrillo y sistemas más consolidados, que presentan un mejor comportamiento esperado frente al impacto directo del agua, aunque no están exentas de daños en acabados y servicios. Sin embargo, estos sectores más consolidados son menos frecuentes en las zonas próximas al cauce y a la planicie de inundación, donde todavía predominan edificaciones con mayor fragilidad constructiva.

En conjunto, la concentración de viviendas de adobe y tapial, con niveles variables de consolidación estructural y cercanas a áreas potencialmente inundables, explica los valores más altos de vulnerabilidad constructiva que se observan en determinadas manzanas de la microcuenca estas condiciones físicas hacen que, ante un evento de inundación, no solo se vean comprometidos los bienes materiales, sino también la seguridad de las personas que habitan en estas edificaciones.

4.2.3. Índice y niveles de vulnerabilidad

Con el objetivo de facilitar la interpretación de los resultados, el índice continuo de vulnerabilidad se reclasificó en cuatro niveles cualitativos: muy alta, alta, media y baja. Los

rangos de corte se definieron a partir de los valores mínimo y máximo del índice y de los puntos de quiebre observados en la distribución de resultados de la matriz.

Los intervalos numéricos y su correspondiente categoría se resumen en la Tabla 5, la cual constituye la base de clasificación utilizada posteriormente en la cartografía de vulnerabilidad.

Tabla 6

Valores finales del índice de vulnerabilidad de inundación pluvial en la microcuenca Tingomayo

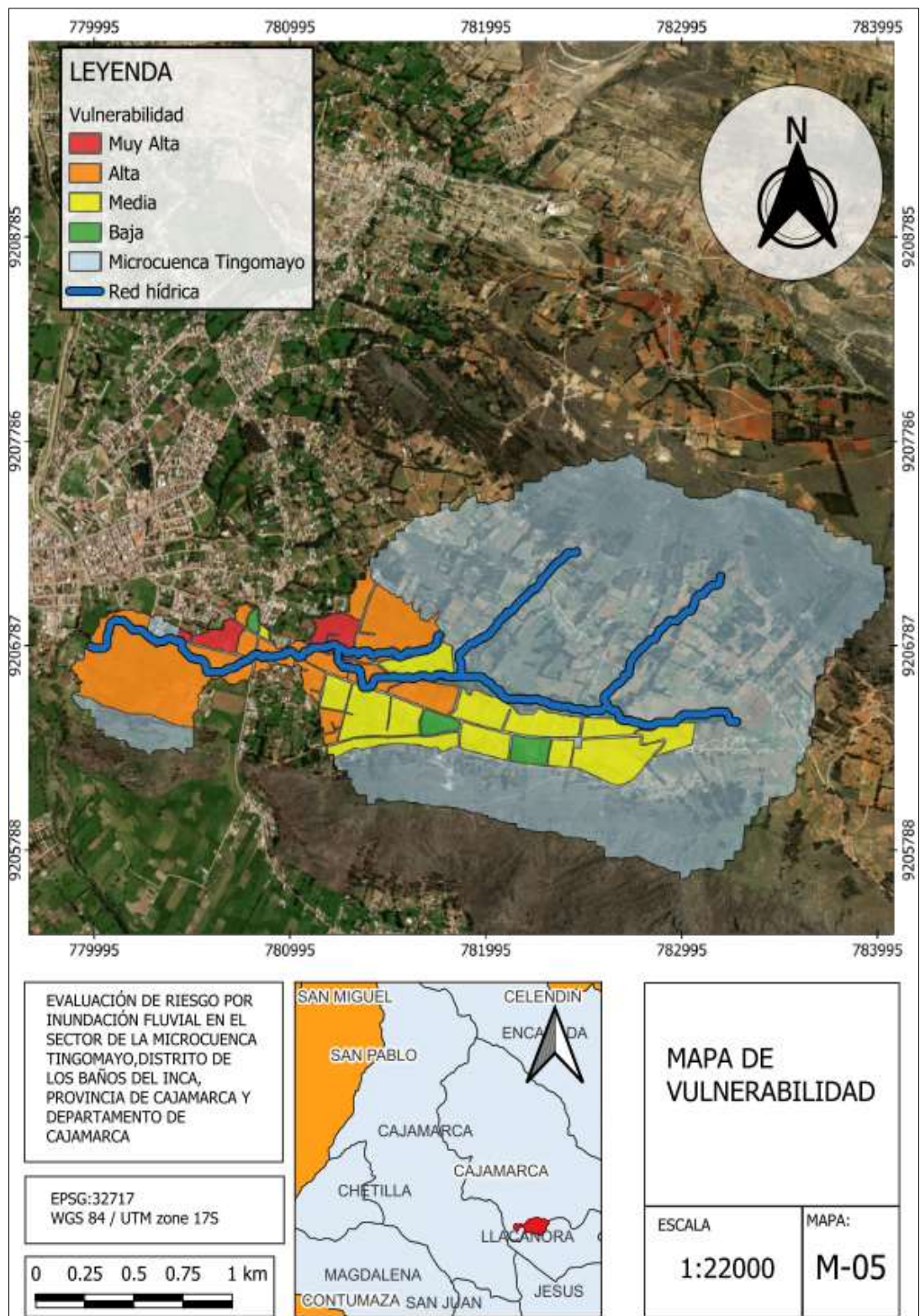
N°	Social	Económico	Índice De Vulnerabilidad	Nivel
1	0.316153333	0.239313638	0.300785394	Muy alta
2	0.13288209	0.129528808	0.132211433	Alta
3	0.096361371	0.093452769	0.09577965	Media
4	0.056646057	0.04664969	0.054646784	Baja

Nota. Valores calculados a partir de la matriz de vulnerabilidad.

Aplicando los rangos de la Tabla 6 a la capa de manzanas censales en QGIS, se obtuvo la distribución espacial de la vulnerabilidad en la microcuenca Tingomayo, representada en la Figura 12 la cual representa al Mapa de Vulnerabilidad ante Inundación Pluvial (M-05).

Figura 12

Vulnerabilidad a inundación pluvial en la microcuenca Tingomayo



Nota. Mapa elaborado a partir de la matriz de vulnerabilidad y del procesamiento en QGIS.

En la Figura 12 se muestran contrastes marcados dentro de la microcuenca: en primer lugar, la vulnerabilidad muy alta (rojo) se concentra exclusivamente en dos manzanas ubicadas en la franja urbana próxima al cauce principal del Tingomayo, las cuales se caracterizan por una alta densidad poblacional y por una proporción significativamente elevada de niños entre 0 y 14 años y de personas de 60 a más, grupo considerado especialmente sensible ante emergencias hidrometeorológicas; además, en términos constructivos predominan viviendas de ladrillo y adobe, materiales que, si bien representan tipologías consolidadas en la zona, pueden presentar limitaciones estructurales ante procesos de anegamiento o humedad persistente, por lo que la combinación de mayor concentración de población vulnerable, viviendas con materialidad parcialmente resistente y su localización en sectores próximos al eje de escurrimiento justifica su clasificación en el nivel más crítico de vulnerabilidad dentro de la microcuenca. Por su parte, la vulnerabilidad alta (amarillo) corresponde a manzanas que agrupan una población aproximada de 1 434 habitantes, constituyendo uno de los conjuntos poblacionales más relevantes dentro de la microcuenca; en la mayoría de estas manzanas predomina el grupo etario de 0 a 14 años, lo que incrementa la exposición social debido a la mayor dependencia y sensibilidad de la población infantil frente a emergencias hidrometeorológicas, mientras que en dos manzanas el grupo principal corresponde a jóvenes de 15–29 años, configurando un perfil demográfico marcadamente joven; desde la dimensión económica, estas áreas se caracterizan por viviendas construidas principalmente con paredes de adobe/tapiál o bloque de cemento, materiales comunes en la zona pero susceptibles al deterioro por humedad o por eventos de anegamiento y, respecto al material de piso, predomina la madera tipo parquet o entablado, uno de los más sensibles a la absorción de agua, lo que incrementa la fragilidad estructural ante inundaciones pluviales; espacialmente, estas manzanas se ubican en zonas urbanas consolidadas donde la escorrentía superficial puede concentrarse durante lluvias intensas y, además, presentan proximidad a la red hídrica, de modo que esta

combinación de alta participación de población joven, materialidad constructiva vulnerable a la humedad y localización en sectores urbanos con tránsito de escorrentía justifica su clasificación como vulnerabilidad alta. Asimismo, la vulnerabilidad media (naranja) agrupa manzanas que corresponden a sectores del corredor urbano intermedio, ubicados fuera de la franja más crítica cercana al cauce del Tingomayo; en estas áreas la población presenta densidades moderadas y una estructura etaria más equilibrada, ya que, además de la presencia de población de 0 a 14 años, existe un grupo importante de población entre 15 y 29 años, lo que reduce parcialmente la fragilidad social frente a una emergencia hidrometeorológica; en el componente económico, estas manzanas se caracterizan por viviendas construidas mayoritariamente en ladrillo, combinadas con algunas edificaciones de adobe, lo que refleja una materialidad más estable que la observada en las zonas de vulnerabilidad muy alta, aunque aún susceptible a problemas de humedad y encharcamiento prolongado y, desde el punto de vista territorial, estas unidades se ubican en zonas donde la escorrentía superficial aún puede concentrarse, pero con menor intensidad que en el área más próxima al cauce, por lo que esta combinación de exposición moderada, población con mayor presencia de adultos jóvenes y viviendas con materialidad relativamente más consolidada justifica su clasificación en el nivel de vulnerabilidad media, diferenciándose claramente de las zonas más críticas de la microcuenca. Finalmente, la vulnerabilidad baja (verde) corresponde a manzanas ubicadas en sectores con baja exposición poblacional, que reúnen alrededor de 135 habitantes distribuidos en 38 viviendas, lo que refleja una densidad significativamente menor en comparación con las zonas de vulnerabilidad media y alta; en estas manzanas predomina la población entre 15 y 29 años, un grupo etario con mayor capacidad de respuesta y movilidad ante eventos de emergencia, lo que reduce la fragilidad social del sector; en el componente económico, las viviendas presentan paredes de adobe, pero se encuentran menos concentradas y distribuidas en un entorno con menor presión urbana, y sus pisos de caña o tierra mejorada evidencian

condiciones modestas, aunque su impacto sobre la vulnerabilidad se atenúa debido a la baja densidad poblacional y a la menor presencia de grupos sensibles; territorialmente, estas manzanas se ubican en áreas periféricas y de ocupación dispersa, donde la escorrentía superficial pierde intensidad antes de impactar directamente las viviendas, de modo que esta combinación de menor exposición, estructura etaria favorable y presión hidrológica reducida justifica su clasificación en el nivel de vulnerabilidad baja.

A partir de la caracterización del peligro y de la evaluación de la vulnerabilidad social y constructiva desarrolladas en los apartados anteriores, en la siguiente sección se integra ambos componentes para obtener el índice de riesgo de desastre por inundación pluvial. De este modo se da cumplimiento al tercer objetivo específico, “Analizar la relación entre el peligro y la vulnerabilidad para estimar el nivel de riesgo de desastre e identificar implicancias para la gestión del territorio y la reducción del riesgo”.

4.3. Riesgo de desastre por inundación

4.3.1. Integración del peligro y la vulnerabilidad ($R = P \times V$)

El riesgo de desastre por inundación pluvial se obtuvo integrando, para cada manzana censal, el índice de peligro y el índice de vulnerabilidad mediante el modelo $R = P \times V$. Al estar ambos componentes normalizados en una escala de 0 a 1, el valor de R resume en un solo número la intensidad potencial de la inundación y la fragilidad social y constructiva de la población expuesta.

Los resultados muestran que el índice de riesgo se concentra en un rango relativamente acotado, aproximadamente entre 0,014 y 0,094. Esto significa que en la microcuenca no existen manzanas con riesgo prácticamente nulo; por el contrario, todas presentan algún nivel de riesgo, que aumenta en la medida en que coinciden valores altos de peligro y vulnerabilidad. En la práctica, esto se traduce en tres situaciones claras: manzanas donde el riesgo se mantiene en niveles moderados porque uno de los componentes es menor; manzanas donde el riesgo se

eleva cuando peligro y vulnerabilidad son simultáneamente altos; y un grupo reducido de manzanas críticas, en las que la combinación de condiciones desfavorables lleva el índice a los valores más altos de la microcuenca.

Esta integración confirma que el riesgo no puede interpretarse únicamente desde la perspectiva física del evento hidrometeorológico ni solo desde las características sociales o constructivas: es la interacción de ambos lo que explica por qué algunas manzanas, ubicadas en zonas aparentemente similares, presentan comportamientos de riesgo muy diferentes.

El resultado fue un índice continuo de riesgo por unidad espacial, que refleja simultáneamente la severidad potencial del evento de inundación pluvial y las condiciones diferenciales de exposición y fragilidad de la población y sus vivienda conforme al criterio metodológico adoptado en el Capítulo III, la estratificación del índice de riesgo se realizó siguiendo los niveles propuestos por CENEPRED (bajo, medio, alto y muy alto); sin embargo, en el caso específico de la microcuenca Tingomayo, los valores de R obtenidos para las manzanas evaluadas se concentraron aproximadamente en el intervalo 0.014 – 0.094, por lo que no se identificaron unidades espaciales en el nivel de riesgo bajo en consecuencia, la representación cartográfica del modelo se efectuó utilizando tres categorías operativas: Riesgo Medio, Riesgo Alto y Riesgo muy Alto, tal como se resume en la Tabla 7.

4.3.2. Índice y niveles de riesgo de desastre

Para facilitar la lectura del índice continuo de riesgo se reclasificaron sus valores en tres niveles cualitativos: riesgo medio, riesgo alto y riesgo muy alto, de acuerdo con los intervalos mostrados en la Tabla 7. El riesgo medio, asociado al rango $0.014 \leq R < 0.018$, reúne manzanas donde el peligro y la vulnerabilidad no son extremos, pero donde la combinación de ambos sigue siendo suficiente para generar daños relevantes bajo condiciones de lluvia intensa. Son sectores que no pueden considerarse seguros, pero en los que existe cierto margen para

reducir el riesgo con medidas de ordenamiento y mejora gradual de las condiciones constructivas y sociales.

El riesgo alto, definido para $0.018 \leq R < 0.068$, corresponde a manzanas en las que la contribución del peligro y la vulnerabilidad se refuerza mutuamente. Aquí predominan escenarios donde el peligro de inundación es significativo y la vulnerabilidad se sitúa entre media y alta, por lo que la probabilidad de afectación a la población y a las viviendas es elevada. Un aumento moderado de la intensidad de las lluvias o una mayor duración del evento podría traducirse, en estos sectores, en daños importantes.

El nivel de riesgo muy alto, asociado a valores de $R \geq 0.068$, se restringe a un conjunto reducido de manzanas, pero concentra los escenarios más críticos de la microcuenca. En estas unidades espaciales coinciden los máximos valores de peligro con las condiciones sociales y constructivas más desfavorables, de modo que incluso eventos de lluvia dentro de la variabilidad reciente pueden desencadenar daños severos.

Un aspecto relevante es que no se identificaron valores de RRR que permitan definir una categoría de riesgo bajo. Esto confirma que, en el contexto actual de la microcuenca Tingomayo, incluso las zonas menos expuestas mantienen condiciones de riesgo que deben ser consideradas en la planificación y en la gestión del territorio, aunque con prioridades de intervención diferenciadas.

Tabla 7

Clasificación del índice de riesgo de inundación pluvial

Rango del índice de riesgo (R)	Nivel de riesgo	Descripción operacional
$0.014 \leq R < 0.018$	Riesgo medio	Afecta zonas alejadas del cauce o con menor concentración poblacional.
$0.018 \leq R < 0.068$	Riesgo alto	Corresponde a sectores urbanos y de transición urbano-periurbano.
$R \geq 0.068$	Riesgo muy alto	Principalmente en las zonas cercanas al cauce o con las características propicias.

Nota. Clasificación adaptada del Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales (Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres [CENEPRED], 2014).

4.3.3. Distribución espacial del riesgo de desastre

Una vez integrado el peligro y la vulnerabilidad mediante el índice de riesgo, fue posible analizar cómo se distribuyen espacialmente los distintos niveles de riesgo de desastre en la microcuenca. Este patrón espacial se representa en el mapa de riesgo (Figura 13), que permite identificar con claridad los sectores más críticos y aquellos donde el riesgo disminuye gradualmente.

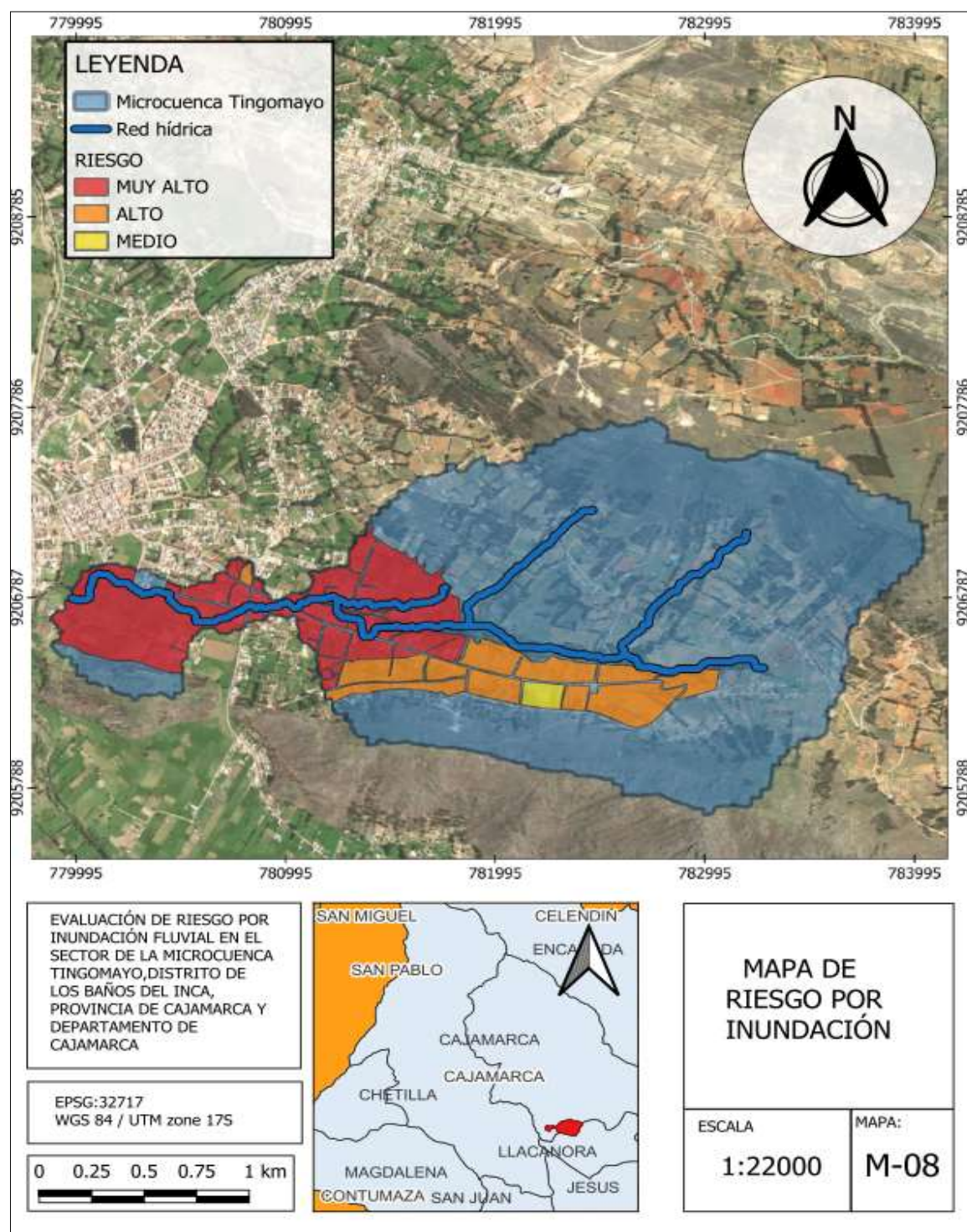
En el mapa se observa que el riesgo muy alto (rojo) se concentra en la franja urbana inmediata al cauce del río Tingomayo, donde coinciden los valores más elevados de peligro asociados a pendientes suaves, fondo de valle y concentración de escorrentía con niveles altos

o muy altos de vulnerabilidad, caracterizados por mayor densidad poblacional y presencia de viviendas con materiales sensibles al anegamiento y la humedad persistente. El riesgo alto (naranja) se extiende hacia los sectores urbanos contiguos a esta franja crítica y a las áreas de transición urbano–periurbana, donde el peligro sigue siendo significativo y la vulnerabilidad se sitúa entre media y alta; en estas manzanas la probabilidad de afectación continúa siendo elevada, aunque sin alcanzar los niveles extremos del núcleo más próximo al cauce. Por su parte, el riesgo medio (amarillo) se localiza en manzanas algo más alejadas del río y en sectores con vulnerabilidad media o baja, donde la menor exposición de población y viviendas, así como condiciones constructivas relativamente más favorables, atenúan parcialmente el nivel de riesgo, aunque no lo eliminan por completo bajo escenarios de lluvia intensa.

En conjunto, la distribución del riesgo muestra que las mayores concentraciones se ubican en el tramo urbano del valle de Tingomayo y que los niveles de riesgo disminuyen progresivamente hacia la periferia de la microcuenca. Este comportamiento es coherente con los patrones de peligro y vulnerabilidad analizados en los apartados anteriores y confirma que la ocupación de la planicie de inundación y de las zonas de escorrentía concentrada es el factor territorial clave en la configuración del riesgo de desastre por inundaciones pluviales en la microcuenca.

Figura 13

Riesgo de desastre por inundación pluvial



Nota. Mapa elaborado a partir del procesamiento en QGis y del marco metodológico de CENEPRED (2014).

4.3.4. Implicancias para la gestión del territorio y la reducción del riesgo

Los resultados de riesgo obtenidos tienen implicancias directas para la gestión del territorio en el distrito de Los Baños del Inca. Las manzanas clasificadas con riesgo muy alto deben considerarse zonas de intervención prioritaria, donde se requiere combinar medidas estructurales, mejoramiento del drenaje pluvial, adecuación de secciones de cauce, protección de taludes y bordes de río, reforzamiento progresivo de las viviendas más frágiles con acciones no estructurales, como la organización comunitaria, la definición de rutas de evacuación y la preparación específica de la población infantil y adulta mayor.

En los sectores de riesgo alto, los resultados sugieren la necesidad de orientar el crecimiento urbano evitando nuevas ocupaciones en la planicie de inundación y condicionando los proyectos de vivienda y equipamientos a estándares constructivos que reduzcan la vulnerabilidad. Aquí cobran especial importancia los instrumentos de planificación urbana y de uso del suelo, así como la incorporación explícita del riesgo en la evaluación de futuras inversiones públicas y privadas.

Finalmente, las áreas de riesgo medio representan una oportunidad para la prevención. La incorporación temprana de criterios de gestión del riesgo en estas zonas, por ejemplo, delimitando áreas no edificables en zonas de escorrentía, mejorando progresivamente las condiciones de saneamiento y vivienda y promoviendo una cultura de prevención en la población, puede evitar que, en el futuro, se transformen en nuevos núcleos de riesgo alto o muy alto.

De esta manera, el análisis del riesgo de desastre derivado del modelo $R = P \times V$ no solo cuantifica la interacción entre peligro e inundación, sino que ofrece una base concreta para priorizar intervenciones y orientar decisiones de planificación y de reducción del riesgo en la microcuenca Tingomayo.

CAPÍTULO V.

CONCLUSIONES

Se caracterizó el peligro de inundación pluvial en función de las características físico-territoriales y del régimen de lluvias, determinándose que los mayores niveles de peligro se concentran en el tramo medio y bajo de la microcuenca, donde las pendientes suaves, el fondo de valle y la presencia de depósitos cuaternarios poco consolidados favorecen la concentración de escorrentía durante eventos de precipitación intensa. El análisis de la precipitación máxima en 24 horas y de los caudales máximos diarios permitió identificar caudales de diseño capaces de generar anegamientos significativos en estas zonas, mientras que en las laderas y sectores más elevados el peligro se reduce a niveles medios. La integración de estos factores en el índice de susceptibilidad y su posterior reclasificación en el índice de peligro mostró un predominio de clases de peligro medio, alto y muy alto en el valle ocupado por el tejido urbano, confirmando que la planicie de inundación y la franja urbana próxima al cauce del Tingomayo constituyen el principal núcleo de peligro de inundación pluvial en la microcuenca.

Se evaluó el nivel de vulnerabilidad social y constructiva de la población expuesta al peligro de inundación pluvial, identificándose contrastes marcados entre las manzanas de la microcuenca. En términos sociales, las manzanas con vulnerabilidad muy alta se concentraron en solo dos unidades, ubicadas en la franja urbana inmediata al cauce, caracterizadas por alta densidad poblacional y una proporción elevada de niños de 0 a 14 años y personas de 60 años a más. Las manzanas clasificadas con vulnerabilidad alta agruparon aproximadamente 1 434 habitantes, con predominio de población infantil y jóvenes de 15 a 29 años, lo que refuerza la sensibilidad frente a emergencias hidrometeorológicas. En el extremo opuesto, las manzanas con vulnerabilidad baja reunieron alrededor de 135 habitantes distribuidos en 38 viviendas, con menor densidad poblacional y predominio de población joven, lo que reduce la fragilidad social. Desde la dimensión constructiva, se evidenció el predominio de viviendas de adobe,

tapial y ladrillo, materiales sensibles a la humedad y al anegamiento, especialmente en las zonas de mayor densidad y próxima al cauce, mientras que en sectores periféricos la menor concentración de edificaciones y la menor presencia de grupos sensibles atenuaron la vulnerabilidad. En conjunto, estos resultados muestran que la vulnerabilidad más crítica se concentra precisamente en las áreas donde el peligro de inundación también es mayor.

Se analizó la relación entre el peligro y la vulnerabilidad para estimar el nivel de riesgo de desastre mediante el modelo $R = P \times V$, obteniéndose un índice de riesgo cuyos valores efectivos se ubicaron aproximadamente entre 0,014 y 0,094, concentrándose en los niveles medio, alto y muy alto, sin registrarse manzanas en la categoría de riesgo bajo. La reclasificación del índice mostró que el riesgo muy alto se restringe a un conjunto reducido de manzanas, ubicadas en la franja urbana inmediata al cauce del Tingomayo, donde coincide el máximo peligro de inundación con las mayores debilidades sociales y constructivas; el riesgo alto se extendió a sectores urbanos contiguos y de transición urbano–periurbana, mientras que el riesgo medio se localizó en áreas algo más alejadas del cauce y con menores densidades y vulnerabilidad. Estos resultados evidencian que el riesgo de desastre en la microcuenca no es homogéneo, sino que se organiza en torno a un núcleo crítico ligado a la ocupación de la planicie de inundación. Desde la perspectiva de la gestión del territorio, ello implica priorizar intervenciones estructurales y no estructurales en las zonas de riesgo muy alto, controlar la expansión urbana en áreas de riesgo alto e incorporar criterios preventivos en las de riesgo medio, de modo que la reducción del riesgo se aborde de manera integral actuando simultáneamente sobre el peligro y la vulnerabilidad.

CAPÍTULO VI.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abanto Plasencia, C. A. (2017). Evaluación del riesgo de inundación por desborde del río Mashcón, sector Huayrapongo – Baños del Inca – Cajamarca, 2017 [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio Institucional UNC. <http://hdl.handle.net/20.500.14074/3327>
- Arriola Carrasco, J. (2022). Evaluación del riesgo de inundación usando un sistema de información geográfica y modelamiento hidráulico en el río La Leche, Lambayeque. *Revista Episteme*, 6(1), 62–75. <https://doi.org/10.26495/re.v6i1.2132>
- Arteaga, M., & Guamán, C. (2021). Caracterización del peligro por inundación pluvial en cuencas de montaña. *Revista Latinoamericana de Geomática*, 12(3), 45–60. <https://doi.org/10.1234/rlg.v12i3.456>
- Autoridad Nacional del Agua (ANA). (2015). Actualización de unidades hidrográficas y propuesta metodológica para la gestión integral de cursos de agua superficial. Autoridad Nacional del Agua. https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/actualizacion_unidades_hidrograficas_gestion_cursos_agua_2015.pdf
- Cantos, J. O., Cañizares, A. O., Almodóvar, E. S., Talavera, J., & otros. (2017). Cartografía de peligros por inundación en la Comunidad Valenciana (España). *Geofocus*, 27, 19–53. <https://doi.org/10.1234/geofocus.27.2017.123>
- Castillo García, C. L., & Carvajal González, V. M. (2023). Modelación hidrológica e hidráulica para la evaluación de riesgos por inundaciones en la zona urbana del río Bélico. *Enfoque UTE*, 14(2), 77–93. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.1032>

- CCTA, Centro IDEAS, & CCAIJO. (1999). La gestión de microcuencas: Una propuesta metodológica para el desarrollo sostenible. Centro de Recursos Interculturales. https://www.centroideas.org.pe/docs/gestion_microcuencas_desarrollo_sostenible_1999.pdf
- Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED). (2014). Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales (2.^a ed.). CENEPRED. https://www.cenepred.gob.pe/web/wp-content/uploads/Guia_Manuales/Manual-Evaluacion-de-Riesgos_v2.pdf
- CENEPRED. (2019). Informe técnico de peligros geológicos en la región Cajamarca. Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres. https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/storage/biblioteca/2019_informe-peligros-geologicos-region-cajamarca.pdf
- CENEPRED. (2023). Escenarios de riesgo por lluvias para el verano 2024 (enero – marzo 2024). Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres. https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/storage/biblioteca/16693_escenarios-de-riesgo-por-lluvias-para-el-periodo-para-el-verano-2024-con-base-en-el-informe-tecnico-n014-2023senamhi-dma-spc.pdf
- CENEPRED. (2024). Glosario de términos de la gestión del riesgo de desastres. Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres. <https://dimse.cenepred.gob.pe/simse/glosario>
- Chuquilla Lema, J. D., & Márquez Vera, D. J. (2024). Evaluación del riesgo de inundación en la microcuenca del río Pachanlica mediante modelamiento hidrológico e hidráulico [Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. Repositorio ESPOCH. <https://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/99999>

- Cirella, G. T. (2018). Flooding conceptual review: Sustainability–flood relationship. *Applied Sciences*, 8(9), 1558. <https://doi.org/10.3390/app8091558>
- Cotler, H., Galindo, A., González, I. D., Pineda, R. F., & Ríos, A. (2013). Cuencas hidrográficas: Fundamentos y perspectivas para su manejo y gestión. CECADESU. https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/siar-puno/archivos/public/docs/tvm_-_cuencas_final_2014.pdf
- Da Silva, C. J., López, P. E., & Arias, F. C. (2022). Las inundaciones urbanas en América Latina: Patrones, tendencias y desafíos. *Revista de Geografía Norte Grande*, 82, 333–354. <https://www.scielo.cl/pdf/rgeong/n82/0718-3402-rgeong-82-333.pdf>
- Darko, A., Chan, A. P. C., Ameyaw, E. E., Owusu-Manu, D. G., & Edwards, D. J. (2019). Evaluating sustainable construction research trends. *International Journal of Construction Management*, 19(5), 436–452. <https://doi.org/10.1080/15623599.2018.1452099>
- Dirección General de Ordenamiento Territorial (DGOT) – Ministerio del Ambiente (MINAM). (2014). Guía metodológica para la elaboración de mapas de peligros. MINAM. https://www.minam.gob.pe/ordenamientoterritorial/wp-content/uploads/sites/18/2014/05/guia_metodologica_mapas_peligros_dgot_minam_2014.pdf
- Durango Cordero, J. S. (2022). Cartografía de riesgo ambiental y ordenamiento territorial. *Revista de Derecho Ambiental*, 9(2), 155–189. <https://www.scielo.cl/pdf/revda/n18/0719-4633-revda-18-00155.pdf>
- Gobierno Regional de Cajamarca (GORE Cajamarca). (2016). Plan de gestión de la microcuenca Río San Lucas. Gobierno Regional de Cajamarca. https://siar.regioncajamarca.gob.pe/sites/default/files/archivos/public/docs/plan_de_gestion_mcca_rio_san_lucas.pdf

- Gobierno Regional de Cajamarca (GORE Cajamarca). (2017). Zonificación ecológica y económica de Cajamarca. Gobierno Regional de Cajamarca. <https://zeeot.regioncajamarca.gob.pe/sites/default/files/Zonificaci%C3%B2n-Ecol%C3%B3gica-Cajamarca.pdf>
- Global Water Partnership (GWP), & International Network of Basin Organizations (INBO). (2009). Manual para la gestión integrada de recursos hídricos en cuencas. GWP; INBO. <https://www.gwp.org/globalassets/global/toolbox/references/a-handbook-for-integrated-water-resources-management-in-basins-inbo-gwp-2009-spanish.pdf>
- Herrera Vásquez, Y. L. (2023). Evaluación del riesgo de inundaciones pluviales en la ciudad de Cajamarca [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio Institucional UNC. <https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/5863/Tesis%20Yanira%20Herrera.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Holguín-Aranda, L., & Guillemes Peira, Á. (2022). Modelos de evaluación de riesgo de desastres en contextos urbanos latinoamericanos. *South Sustainability*, 3(1), e051. <https://doi.org/10.21142/SS-0301-2022-051>
- Huarancay Sotacuro, J. L. (2024). Determinación del nivel de riesgo por inundación fluvial en el río Mantaro [Tesis, Universidad Continental]. Repositorio Universidad Continental. https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/15740/1/IV_FIN_107_TE_Huarancay_Sotacuro%20_2024.pdf
- IHOBE. (2023). Inundación pluvial asociada a eventos extremos de precipitación en Euskadi. Sociedad Pública de Gestión Ambiental, IHOBE. <https://adaptecca.es/recursos/buscador/inundacion-pluvial-asociada-eventos-extremos-de-precipitacion-en-escenarios-de>

- Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). (2018). Censos Nacionales 2017: Resultados definitivos. INEI. https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1539/libro.pdf
- Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET). (2019). Mapa geológico del Perú: Escala 1:1 000 000 (versión digital). INGEMMET. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/4634>
- Krvavica, A., Bonacci, O., & Ljubenkov, I. (2023). A flood hazard assessment for Mediterranean catchments. *Journal of Hydrology*, 620, 129145. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129145>
- Licla Tomayro, L. R. (2022). Influencia de las relaciones socio–ecológicas en la resiliencia comunitaria [Tesis de maestría, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. Repositorio Institucional Cybertesis UNMSM. <https://hdl.handle.net/20.500.12672/18567>
- Licla Tomayro, L. R. (2022). Influencia de relaciones socio–ecológicas en la resiliencia comunitaria. *Instituto de Investigación de la Facultad de Minas*, 25(49), 275–284. <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/23017>
- Malaver Vargas, W. E. (2023). Índice de vulnerabilidad total y nivel de riesgo a inundación del río San Lucas, Sector Bella Unión, Cajamarca, 2018 [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio Institucional UNC. <http://hdl.handle.net/20.500.14074/5817>
- Mendoza Solis, M. A. (2017). Evaluación del riesgo por inundación pluvial en la ciudad de Cajamarca [Tesis, Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo]. Repositorio Institucional UPAGU. <http://repositorio.upagu.edu.pe/handle/UPAGU/289>

- Muñoz, P., & Yamunaque, M. (2023). Nivel de riesgo ante inundación fluvial aplicando la metodología CENEPRED en el sector Magllanal, Jaén, Cajamarca. *Pakamuros*, 11(2), 31–44. <https://revistas.unj.edu.pe/index.php/pakamuros/article/view/259>
- Pachón, A., & Londoño, J. (2020). Evaluación de la amenaza por inundaciones en cuencas andinas utilizando SIG. *Revista Colombiana de Geografía*, 29(1), 45–64. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v29n1.76292>
- Paredes, M., & Gómez, L. (2019). Impacto de las inundaciones pluviales en áreas urbanas en expansión. *Revista de Estudios Ambientales*, 15(2), 77–98. <https://revistaestudiosambientales.org/ojs/index.php/rea/article/view/123>
- Pons, X. (2002). MiraMon: Sistema de información geográfica y software de teledetección. Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Forestales (CREAF). <http://www.creaf.uab.es/miramon>
- Quesada-Román, A., Picado-Monge, A., Rivera-Solís, J., et al. (2019). Flood hazard assessment using a multi-criteria index method. *Revista Geológica de América Central*, 72, 93–112. <https://doi.org/10.15517/rgac.v0i72.36775>
- Reyes Roque, R. M., & Reyes Roque, E. (2022). Evaluación preliminar del riesgo por inundación pluvial en el barrio Nueva Florida de la ciudad de Huaraz. *Aporte Santiaguino*, 15(1), 103–116. <https://doi.org/10.32911/as.2022.v15.n1.924>
- Ruiz, R., & Torres, H. (2008). Manual de delimitación y codificación de unidades hidrográficas. UICN Sur; Comunidad Andina. <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/manual-procedimientos-delimitacion-codificacion-unidades>
- Saaty, T. L. (1980). The analytic hierarchy process: Planning, priority setting, resource allocation. McGraw–Hill. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-94-009-6433-3>
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). (2023). Caracterización climática regional: Cajamarca. SENAMHI. <https://www.senamhi.gob.pe>

- Solís Quintana, J. A., et al. (2024). Curvas IDF Caibarién. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 45(1), 17–32. https://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382024000100017
- Sánchez, D. B. (2021). Vulnerabilidad ante inundaciones en Baños del Inca [Tesis, Universidad Privada del Norte]. Repositorio UPN. de <https://hdl.handle.net/11537/30435>
- United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR). (2016). Report of the open-ended intergovernmental expert working group on indicators and terminology relating to disaster risk reduction (A/71/644). UNDRR. <https://www.undrr.org/publication/report-open-ended-intergovernmental-expert-working-group-indicators-and-terminology>
- UNDRR. (2017). Terminology on disaster risk reduction. United Nations Office for Disaster Risk Reduction. <https://www.undrr.org/drr-glossary/terminology>
- UNDRR. (2020). Hazard definition and classification review: Technical report. United Nations Office for Disaster Risk Reduction; International Science Council. <https://www.undrr.org/publication/hazard-definition-and-classification-review-technical-report>
- Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD). (2020). Riesgo por inundaciones en sistemas urbanos. UNGRD. <https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/bitstream/handle/20.500.11762/36815/Riesgo%20por%20inundaciones.pdf>
- Valencia Anguiano, J. A. G. (2024). Percepción social de inundaciones en comunidades ribereñas. *Journal of Development*, 10(1), 1–18. <https://doi.org/10.46932/sfjdv5n4-002>
- Verdesoto Escobar, S. D. (2024). La vulnerabilidad social en la configuración del riesgo de desastre en el contexto del cambio climático sobre la cuenca del Napo y Putumayo, Amazonía Norte del Ecuador [Tesis de maestría, Universidad Andina Simón Bolívar]. Repositorio UASB. <https://repositorio.uasb.edu.ec/handle/10644/9829>

- Villena Idrogo, J. (2018). Identificación de áreas inundables mediante modelamiento hidráulico del río Chonta [Tesis, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio Institucional UNC. <https://hdl.handle.net/20.500.14074/2048>
- Wu, P., Wang, T., Wang, Z., Song, C., & Chen, X. (2025). Impact of drainage network structure on urban inundation: A systems approach. *Water*, 17(7), 990. <https://www.mdpi.com/2073-4441/17/7/990>

CAPÍTULO VII.

ANEXOS

Anexo N° 1. Propuestas de mejora

A nivel de la Universidad Nacional de Cajamarca:

- Una vez aprobada la presente tesis, y a través de la Dirección de la Escuela de Posgrado, se remita una copia a la Municipalidad Distrital de Los Baños del Inca, para que, con esta tesis, la Municipalidad, tenga un instrumento técnico, para gestionar el territorio, sobre todo, en la zona inundable, como consecuencia del desborde de la quebrada Tingomayo.

- La Escuela de Posgrado, a través del tesista, brindar la asistencia técnica que corresponda, a la Municipalidad Distrital de Los Baños del Inca, en el marco del desarrollo de su investigación.

A nivel de la Municipalidad Distrital de Los Baños del Inca:

- Fortalecer las capacidades de la Oficina o Área de Gestión de Riesgos de la Municipalidad, en atención a la Ley N° 29664, su reglamento, modificatorias, y demás normas conexas en temas de ordenamiento territorial y gestión del riesgo de desastres.
- Proponer ante consejo municipal, declarar zona prioritaria, la zona inundable de la cuenca Tingomayo, para que se implementen las medidas estructurales y no estructurales necesarias, para disminuir la vulnerabilidad de la población asentada allí y también del equipamiento urbano, periurbano y rural, que viene siendo afectado.
- Reactivar el grupo de trabajo de gestión del riesgo de desastres, para que, a través de la gestión prospectiva y correctiva, se actualice el plan de prevención y reducción de desastres, y se planteen los proyectos y actividades de prevención y reducción necesarios.
- Reactivar la plataforma de defensa civil de la Municipalidad, para que, en conjunción con sus integrantes, incluido la población afectada, se elaboren los planes correspondientes, para educación comunitaria del riesgo, y se desarrollen las simulaciones y simulacros correspondientes, para incrementar el nivel de resiliencia de la población, ante el desborde de la quebrada Tingomayo, y la correspondiente inundación de las zonas afectadas.

Anexo N° 2. Toma de imágenes mediante drone con coordenadas georreferenciadas



Inicio de la red hídrica de la microcuenca Tingomayo se observa presencia de capacidad arbolea

Coordenadas en

WGS84/ZONA 17 SUR:

ESTE (X): 783123.83 m

NORTE (Y): 9206428.07 m

Anexo N° 3. Toma de imágenes mediante drone con coordenadas georreferenciadas



Jerarquía de la microcuenca, la cual se distingue mediante los niveles de red hídrica, que corresponden a los cauces secundarios y terciarios

Coordenadas en

WGS84/ZONA 17 SUR:

ESTE (X): 782219.89 m

NORTE (Y): 9207027.97 m

Anexo N° 4. Punto de unión entre cauce secundario y cauce principal



Toma de coordenadas entre unión de cauce secundario al cauce principal dando más intensidad a este

Coordenadas en

WGS84/ZONA 17 SUR:

ESTE (X): 781868.83 m

NORTE (Y): 9206632.74 m

Anexo N° 5. Tramo de red hídrica sin drenaje urbano adicional acumulación de aguas pluviales.



Se observa un cauce natural no intervenido paralelamente a una vía no pavimentada, donde la ausencia de obras de drenaje genera amojonamiento y estancamiento de agua de lluvia, aumentando la susceptibilidad local a procesos de inundación pluvial y deterioro vial.

**Coordenadas en
WGS84/ZONA 17 SUR:
ESTE (X): 781344.84 m
NORTE (Y): 9206705.13 m**

Anexo N° 6. Transición de la red hídrica natural hacia canalización artificial en zona urbana



El tramo muestra el paso desde un cauce natural abierto hacia una sección rectificadora y encapsulada mediante infraestructura construida, donde el drenaje pluvial es conducido bajo el puente, este punto evidencia la intervención antrópica en la red hidrológica original y su integración al sistema urbano.

**Coordenadas en
WGS84/ZONA 17 SUR:**

Anexo N° 7. Verificación de vivienda de adobe correspondiente a manzana categorizada con riesgo muy alto



Vivienda representativa de manzana clasificada con nivel de riesgo muy alto según parámetros descritos

Coordenadas en

WGS84/ZONA 17 SUR:

ESTE (X): 780857.28 m

NORTE (Y): 9206854.80 m

Anexo N° 8. Verificación de vivienda de adobe correspondiente a manzana categorizada con riesgo alto



Vivienda representativa de manzana clasificada con nivel de riesgo alto según parámetros descritos

Coordenadas en

WGS84/ZONA 17 SUR:

ESTE (X): 781090.66 m

NORTE (Y): 9206693.63 m

Anexo N° 9. Viviendas ubicadas en zona de peligro alto con medidas de protección precarias mediante costales



Las viviendas se encuentran en un sector clasificado con peligro alto ante inundación pluvial y recurren a la colocación de costales como barreras temporales para evitar el ingreso de agua, evidenciando la combinación de alta exposición y limitada capacidad de respuesta.

Coordenadas en WGS84/ZONA 17 SUR:
ESTE (X): 780705.45 m
NORTE (Y): 9206910.73 m

Anexo N° 10

Tabla matriz de parámetros y pesos del índice de peligro

DESCRIPCION		FACTOR		PARÁMETRO		DESCRIPTOR	
		NOMBRE	PESO	NOMBRE	PESO	CLASIFICACIÓN	PESO
MOVIMIENTO EN MASA	70%	CONDICIONANTE	70%	GEOMORFOLOGÍA	0.69	Lomada en roca sedimentaria	0.455668
						Montaña en roca sedimentaria	0.252173
						Lomada en roca sedimentaria	0.156323
						Montañas y colinas estructurales en roca sedimentaria	0.091818
						Vertiente o piedemonte aluvio-lacustre	0.044019
				GEOLOGÍA	0.24	Formación Carhuaz	0.536657
						Formación Farrat	0.219625
						Formación Farrat	0.127225
						Depósito lacustrino	0.086494
						Formación Chúlec	0.030000
				PENDIENTE	0.07	0° a 15°	0.655508
						15° a 25°	0.136528
		25° a 35°	0.088034				
		35° a 45°	0.075424				
		45° a más	0.044506				
		DESENCADENANTE	30%	PRECIPITACIÓN	1.00	< 300 mm	0.396667
						300–700 mm	0.203294
700–1500 mm	0.247115						
1500–3000 mm	0.104228						
> 3000 mm	0.048696						
PARÁMETRO DE EVALUACIÓN	30%	CAUDAL	1.00	> 6.8 m ³ /s	0.554314		
				5.5-6.8 m ³ /s	0.244815		
				4.1-5.5 m ³ /s	0.105568		
				1.6-4.1 m ³ /s	0.062694		
				< 1.6 m ³ /s	0.032609		

Anexo N° 11

Peso descriptor x Peso Parámetro

N°	Peso descriptor x Peso parámetro
1	0.314096729
2	0.173825238
3	0.107755279
4	0.063290894
5	0.030342549
1	0.130813432
2	0.053534924
3	0.031011871
4	0.021083392
5	0.007312625
1	0.043875188
2	0.009138242
3	0.005892361
4	0.005048352
5	0.002978924
1	0.396666547
2	0.203293591
3	0.247115205
4	0.104228375
5	0.048696282
1	0.554314434
2	0.244814713
3	0.105567925
4	0.06269437
5	0.032608558

Anexo N° 12

Tabla Pesos de los factores condicionantes y desencadenante e índice de susceptibilidad

Ítem N°	Factor				Susceptibilidad	
	Factor Condicionante		Factor Desencadenante		Valor	Peso
	Valor	Peso	Valor	Peso		
1	0.48878535	70%	0.39666655	30%	0.46	70%
2	0.2364984		0.20329359		0.23	
3	0.14465951		0.24711521		0.18	
4	0.08942264		0.10422838		0.09	
5	0.0406341		0.04869628		0.04	

Anexo N° 13

Parámetro de evaluación del componente peligro

Parámetro de Evaluación		Peligro				
Valor	Peso	Valor	Nivel	Rango		
0.55	30%	0.48909913	Muy alto	0.23202029	-	0.48909913
0.24		0.23202029	Alto	0.15444773	-	0.23202029
0.11		0.15444773	Medio	0.08451336	-	0.15444773
0.06		0.08451336	Bajo	0.03991949	-	0.08451336
0.03		0.03991949				

Anexo N° 14

Tabla matriz de parámetros y pesos del índice de vulnerabilidad

Dimensión		Factor		Parámetros		Descriptor	
Nombre	Peso	Nombre	Peso	Nombre	Peso	Clasificación	Peso
Social	80%	Exposición	0.75	Poblacion expuesta por manzanas	0.50921811	203-739	0.52428081
						134-203	0.19138989
						84-133	0.1400675
						49-83	0.09118575
						26-48	0.05307605
				Grupo etario	0.27261703	0-14 años	0.46727711
						15-29 años	0.24071243
						30-44 años	0.16617717
						45-64 años	0.08104855
						mayores de 65 años	0.04478474
		Fragilidad	0.25	Acceso a red pública de agua	0.10153494	Red pública dentro de la vivienda	0.38745845
						Red pública fuera de la vivienda pero dentro del edificio o lote	0.18368836
						Agua de río, acequia, manantial o similar	0.17313545
						Pilar de uso público	0.09118575
						Camión cisterna	0.06525466
						Acceso a red pública de desagüe	0.11662992
Disposición a pozo séptico	0.20263288						
Disposición a pozo ciego	0.15419093						
Sin servicio higiénico / baño	0.10065801						

						conectado a red pública dentro del edificio o lote	0.05957131
Económico	20%	Exposición	0.66666667	Total de viviendas expuesta por manzanas	0.60905797	53 a 218 viviendas	0.44100535
						37 a 53 viviendas	0.24115045
						23 a 36 viviendas	0.18428935
						15 a 22 viviendas	0.08510683
						7 a 14 viviendas	0.04844802
		Fragilidad	0.33333333	Material de pared	0.26347826	Ladrillo / Bloque de cemento	0.45072195
						Adobe / Tapia	0.22009782
						Quincha (caña con barro)	0.1486046
						Madera	0.09279914
						Piedra con cal y cemento	0.06602625
				Material de piso	0.12746377	Cemento	0.48633295
						Madera (parquet / machihembrado / entablado / madera)	0.28907218
						Tierra	0.13116218
						Losetas / cerámico / mármol	0.09279914
						Otro tipo (caña, tierra mejorada, etc.)	0.09659035

Anexo N° 15

Peso descriptor x Peso Parámetro

	Valor
N°	Peso descriptor x Peso parámetro
1	0.266973286
2	0.097459198
3	0.07132491
4	0.046433436
5	0.027027284
1	0.127387698
2	0.065622307
3	0.045302727
4	0.022095215
5	0.012209082
1	0.039340571
2	0.018650787
3	0.017579297
4	0.00925854
5	0.006625628
1	0.042189811
2	0.023633057
3	0.017983275
4	0.011739736
5	0.006947797
1	0.268597824
2	0.146874603
3	0.1122429
4	0.051834993
5	0.029507651
1	0.118755435
2	0.05799099
3	0.039154082
4	0.024450555
5	0.017396481
1	0.061989831
2	0.036846229
3	0.016718426
4	0.011828528
5	0.01231177

Anexo N° 16

Valores de exposición y fragilidad por dimensión social y económico

Dimensión												
Social						Económico						
N°	Exposición		Fragilidad		Valor	Peso	Exposición		Fragilidad		Valor	Peso
	Valor	Peso	Valor	Peso			Valor	Peso	Valor	Peso		
1	0.39436098	0.75	0.08153038	0.25	0.31615333	80%	0.26859782	0.66666667	0.18074527	0.33333333	0.23931364	20%
2	0.16308151		0.04228384		0.13288209		0.1468746		0.09483722		0.12952881	
3	0.11662764		0.03556257		0.09636137		0.1122429		0.05587251		0.09345277	
4	0.06852865		0.02099828		0.05664606		0.05183499		0.03627908		0.04664969	
5	0.03923637		0.01357343		0.03282063		0.02950765		0.02970825		0.02957452	

Anexo N° 17

Valores de vulnerabilidad

Vulnerabilidad				
Valor	Nivel	Rango		
0.30078539	Muy alto	0.13221143	-	0.30078539
0.13221143	Alto	0.09577965	-	0.13221143
0.09577965	Medio	0.05464678	-	0.09577965
0.05464678	Bajo	0.03217141	-	0.05464678
0.03217141				