UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

TESIS

EVALUACIÓN DE RIESGO POR INUNDACIÓN FLUVIAL DESDE EL APU CHELLQE HASTA LA COMUNIDAD DE YANAMANCHI DEL DISTRITO LUCRE, PROVINCIA QUISPICANCHI, CUSCO – 2025

PRESENTADO POR:

BR. JOEL DAVID QUISPE ARIAS

PARA OPTAR AL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEÓLOGO

ASESOR:

DR. JOSE DIONICIO CARDENAS ROQUE

CUSCO – PERÚ

2026

Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

INFORME DE SIMILITUD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-321-2025-UNSAAC)

El que suscribe, el **Asesor** ..... JOSE DIONICIO CÁRDENAS ROQUE ..... quien aplica el software de detección de similitud al trabajo de investigación/tesis titulada: ..... EVALUACIÓN DE RIESGO POR INUNDACIÓN FLUVIAL DESDE EL APV CHELLQE HASTA LA COMUNIDAD DE YANAMANCHI DEL DISTRITO LUCRE, PROVINCIA QUISPICANCHI, CUSCO - 2025 .....

Presentado por: ..... JOEL DAVID QUISPE SEVAS ..... DNI N° ..... 72503665 .....;

presentado por: ..... DNI N°: .....

Para optar el título Profesional/Grado Académico de ..... INGENIERO GEÓLOGO .....

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por ..... 2 ..... veces, mediante el Software de Similitud, conforme al Art. 6° del ***Reglamento para Uso del Sistema Detección de Similitud en la UNSAAC*** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de ..... 7 ..... **%.**

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No sobrepasa el porcentaje aceptado de similitud.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las subsanaciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, conforme al reglamento, quien a su vez eleva el informe al Vicerrectorado de Investigación para que tome las acciones correspondientes; Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de Asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y **adjunto** las primeras páginas del reporte del Sistema de Detección de Similitud.

Cusco, ... 09 ..... de ..... OCTUBRE ..... de 20..26.....

.....
Firma

Post firma..... JOSE DIONICIO CÁRDENAS ROQUE .....

Nro. de DNI..... 23873595 .....

ORCID del Asesor..... 0000-0002-5261-419X .....

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema de Detección de Similitud: **oid:** ..... 27259:635373330 .....

Escaneado con CamScanner

JOEL DAVID QUISPE

EVALUACIÓN DE RIESGO POR INUNDACIÓN FLUVIAL DESDE EL APU CHELLQE HASTA LA COMUNIDAD DE YANAMANCHI D...

Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid:::27259:635373330

Fecha de entrega
6 oct 2026, 10:32 p.m. GMT-5

Fecha de descarga
8 oct 2026, 5:17 p.m. GMT-5

Nombre del archivo
EVALUACIÓN DE RIESGO POR INUNDACIÓN FLUVIAL DESDE EL APU CHELLQE HASTA LA COMUNI....pdf

Tamaño del archivo
14.5 MB

182 páginas

41.338 palabras

246.685 caracteres

7% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 9 palabras)

Exclusiones

- N.º de coincidencias excluidas

Fuentes principales

6% Fuentes de Internet
2% Publicaciones
4% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

DEDICATORIA

A Dios, primero y más grande, porque mi camino está en sus manos. Gracias p sostenerme cuando las fuerzas no alcanzaban y por recordarme, en cada oración, que nunca estuve solo.

A mis padres, Gabino y Ambrosia, por el sacrificio silencioso que hicieron para que yo llegara hasta aquí. Por el empuje que me dieron cuando el camino se hizo largo y por haber confiado en mí incluso en los días en que yo mismo dudaba. Todo lo que soy comenzó en ustedes.

A mis hermanos Ruth, José y Daniela, por las ganas que me devolvieron cuando estuve a punto de renunciar. Sus ánimos fueron lo mejor que tuve, y sin ustedes sencillamente no estaría aquí.

Al ciclismo, que me enseñó lo que ningún curso pudo: que rendirse nunca es una opción.

"En el ciclismo aprendí que la meta no premia al que sale primero, sino al que sigue pedaleando cuando ya no quedan fuerzas."

Bach. Joel David Quispe Arias

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. José Dionicio Cárdenas Roque, asesor de la presente tesis, por sus consejos oportunos, por su orientación permanente y, sobre todo, por el tiempo que dedicó a revisar este trabajo con paciencia y rigor. Su acompañamiento fue determinante para llevarlo a término.

A los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, que más que profesores fueron amigos a lo largo de toda la carrera. Gracias por los consejos que me dieron para formarme como profesional, y también por las veces que me exigieron de más, porque sin esa exigencia no habría aprendido de verdad. Valoro especialmente las trasnochadas y las tareas laboriosas que en su momento pesaron y que hoy quedan en mi memoria como las mejores lecciones.

Bach. Joel David Quispe Arias

RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo determinar el riesgo por inundación fluvial en el tramo entre el Apu Chellqe y la comunidad de Yanamanchi, distrito de Lucre, Quispicanchi, Cusco, en 2025. El estudio, de enfoque mixto, tipo aplicado y diseño no experimental, aplicó la metodología del CENEPRED (2014). Esta se complementó con encuestas, trabajo de campo, entrevistas, modelamiento hidráulico en HEC-RAS y sistemas de información geográfica. El peligro resultó bajo en el 74 % del área, medio en el 14 %, alto en el 8 % y muy alto en el 4 %. Los niveles alto y muy alto se concentran en la planicie del tramo final. De los 111 lotes evaluados, 21 presentan vulnerabilidad alta, 66 media y 24 baja, principalmente por viviendas de adobe sin reforzamiento próximas al cauce. La matriz Peligro × Vulnerabilidad arrojó 42 lotes en riesgo alto (38 %), 62 en medio (56 %) y 7 en bajo (6 %). Se delimitaron cuatro Zonas Críticas de Riesgo con 44 lotes, 181 habitantes expuestos y 18 piscigranjas. En estas zonas se estimaron daños probables de S/ 1 376 000 y pérdidas de S/ 393 600. Se concluye que el riesgo es focalizado y alto en sectores específicos. Por ello se requieren medidas correctivas y preventivas, y el reasentamiento de las viviendas ubicadas en zonas no mitigables (Ley N.° 29869).

Palabras clave: Inundación fluvial, Peligro, Vulnerabilidad, Riesgo de desastres, Modelamiento hidráulico.

ABSTRACT

The objective of this research was to determine the fluvial flood risk in the section between the Apu Chellqe and the community of Yanamanchi, Lucre district, Quispicanchi, Cusco, in 2025. The study used a mixed approach with an applied, non-experimental design and followed the CENEPRED (2014) methodology. This was complemented with surveys, fieldwork, interviews, hydraulic modeling in HEC-RAS and geographic information systems. Hazard was low in 74% of the area, medium in 14%, high in 8% and very high in 4%. The high and very high levels are concentrated in the floodplain of the final reach. Of the 111 lots assessed, 21 showed high vulnerability, 66 medium and 24 low, mainly because of unreinforced adobe dwellings close to the channel. The Hazard × Vulnerability matrix yielded 42 lots at high risk (38%), 62 at medium risk (56%) and 7 at low risk (6%). Four Critical Risk Zones were delimited, comprising 44 lots, 181 exposed inhabitants and 18 fish farms. In these zones, probable damages were estimated at S/ 1,376,000 and losses at S/ 393,600. The study concludes that the risk is localized and high in specific sectors. Corrective and preventive measures are therefore required, together with the resettlement of dwellings located in non-mitigable zones (Law No. 29869).

Keywords: Fluvial flooding, Hazard, Vulnerability, Disaster risk, Hydraulic modeling.

INTRODUCCIÓN

El riesgo de desastres constituye una condición territorial derivada de la interacción entre un fenómeno peligroso, la exposición de elementos susceptibles y los niveles de vulnerabilidad existentes en un espacio determinado. En el caso de las inundaciones fluviales, esta relación se intensifica en zonas donde la configuración geomorfológica, la pendiente del terreno, la dinámica hidrológica del cauce y la acumulación de sedimentos favorecen la ocurrencia de desbordes, erosión lateral y afectación directa sobre asentamientos humanos, infraestructura y áreas productivas. Por ello, el análisis del riesgo por inundación fluvial exige una evaluación técnica integrada del medio físico y de los elementos expuestos, con el fin de identificar áreas críticas y sustentar medidas de prevención y reducción del riesgo.

En el contexto peruano, la gestión del riesgo de desastres se apoya en marcos normativos y metodológicos establecidos por entidades especializadas, entre ellas el **Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED)**, que orienta la evaluación del peligro, la vulnerabilidad y el riesgo mediante procedimientos estandarizados. No obstante, pese a la existencia de lineamientos nacionales, persisten ámbitos locales donde la información técnica disponible resulta insuficiente para caracterizar con precisión la amenaza y su impacto sobre la población. Esta limitación se evidencia en la comunidad de Yanamanchi, ubicada en el distrito de Lucre, provincia de Quispicanchi, región Cusco, donde el río Lucre genera condiciones recurrentes de inundación fluvial debido a la dinámica propia de la microcuenca y a la ocupación de zonas potencialmente inundables.

La microcuenca del río Lucre presenta una configuración topográfica descendente, con un cauce que concentra progresivamente el escurrimiento superficial hacia las partes bajas del valle. Esta condición, sumada a las características litológicas y geomorfológicas del terreno, así como a la reducción de la capacidad hidráulica por procesos de colmatación y transporte de material aluvial, incrementa la probabilidad de desbordes por ambas márgenes. En consecuencia, las viviendas, vías de acceso y terrenos agrícolas emplazados en el C.P. Yanamanchi se encuentran expuestos a una amenaza recurrente, cuya manifestación histórica ha sido confirmada

por eventos de inundación registrados en 1984 y 2010, los cuales ocasionaron daños materiales significativos y evidenciaron la fragilidad del sistema territorial frente a este fenómeno.

Si bien existen antecedentes de estudios sobre peligros y vulnerabilidad en el ámbito de la microcuenca, estos han sido desarrollados a escalas generales que no permiten una caracterización precisa del riesgo a nivel de comunidad. En particular, no se dispone de una evaluación específica para el tramo comprendido entre el Apu Chellqe y la comunidad de Yanamanchi, donde se concentra la mayor susceptibilidad a inundación fluvial. Esta ausencia de información detallada limita la delimitación de franjas inundables, la estimación del nivel de afectación sobre las viviendas y la formulación de medidas de gestión del riesgo ajustadas a la realidad local.

En ese marco, el problema de investigación se centra en determinar el nivel de riesgo por inundación fluvial en el tramo Apu Chellqe–Yanamanchi, así como en identificar el nivel de peligro y vulnerabilidad que condiciona dicha situación. La hipótesis general plantea que el riesgo por inundación fluvial en el área de estudio es alto a muy alto, debido a la interacción entre las características geológicas, geomorfológicas y la dinámica hidrológica del río Lucre. De manera complementaria, se considera que el peligro está fuertemente influenciado por las condiciones físicas del terreno, que la vulnerabilidad de las viviendas depende en gran medida de sus materiales constructivos y que las áreas de mayor riesgo se localizan principalmente en la primera terraza fluvial.

La relevancia de esta investigación es triple. En el plano práctico, aportará información técnica actualizada para la toma de decisiones por parte de la **Municipalidad Distrital de Lucre**, **Defensa Civil** y otras instituciones vinculadas a la gestión del riesgo. En el plano teórico, permitirá profundizar en la comprensión de la interacción entre procesos geomorfológicos, hidrológicos y ocupación territorial en una microcuenca altoandina. Y en el plano metodológico, aplicará los lineamientos del **Manual para la Evaluación de Riesgos originados por Fenómenos Naturales – Versión 02**, elaborado por el **Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED)**, complementados con

herramientas de modelamiento hidráulico y sistemas de información geográfica, con el propósito de generar resultados técnicamente consistentes, reproducibles y útiles para la gestión local del riesgo de desastres.

Índice

DEDICATORIA II
AGRADECIMIENTOS III
RESUMEN IV
ABSTRAC V
INTRODUCCIÓN VI
CAPÍTULO I. GENERALIDADES 1
1.1. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO 1
1.2. VÍAS DE ACCESO 2
1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 4
1.3.1. Planteamiento y sustento del problema 4
1.3.2. Formulación del problema 5
1.4. IMPORTANCIA Y JUSTIFICACIÓN 5
1.5. OBJETIVOS 7
1.5.1. Objetivo general 7
1.5.2. Objetivos específicos 7
1.6. HIPÓTESIS 7
1.6.1. Hipótesis general 7
1.6.2. Hipótesis específicas 7
1.7. FACTORES LIMITANTES 8
1.8. VARIABLES 8
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA 11
2.1. Metodología de investigación 11
2.1.1. Enfoque de la investigación 11
2.1.2. Tipo de investigación 11
2.1.3. Diseño de la investigación 11
2.1.4. Técnica de la investigación 12
2.2. Método de trabajo 12
2.2.1. Etapa de pre-campo 12
2.2.2. Etapa de campo 14
2.2.3. Etapa de post-campo 14
2.3. Equipos, materiales y software utilizados 15
2.3.1. Equipos 15
2.3.2. Materiales 16
2.3.3. Softwares 17
CAPITULO III. MARCO TEÓRICO 18
3.1. Marco referencial 18
3.1.1. Antecedentes internacionales 18
3.1.2. Antecedentes nacionales 20

3.1.3. Antecedentes regionales 21
3.1.4. Antecedentes locales 23
3.2. Marco conceptual 25
3.3. Bases teóricas 27
3.4. Bases legales 28
CAPÍTULO IV. GEOMORFOLOGÍA 30
4.1. CONSIDERACIONES GENERALES 30
4.2. GEOMORFOLOGÍA REGIONAL 30
4.2.1. Unidades geomorfológicas regionales 30
4.2.2. Montaña estructural en roca sedimentaria (RME-rs) 30
4.2.1.1. Colina en roca sedimentaria (RC-rs) 30
4.2.1.2. Bofedales (Bo) 31
4.2.1.3. Vertiente o piedemonte coluvio-deluvial (V-cd) 31
4.2.1.4. Vertiente con depósito de deslizamiento (V-dd) 31
4.2.1.5. Vertiente o piedemonte aluvio-torrencial (P-at) 32
4.2.1.6. Vertiente o piedemonte aluvial (V-al) 32
4.2.1.7. Cauce de rio (Río) 32
4.3. PENDIENTES DE TERRENO 34
4.3.1. Superficie llana a suavemente inclinada (0°-5°) 34
4.3.2. Superficie con pendiente moderada (5°-15°) 34
4.3.3. Ladera ligeramente empinada (15°-25°) 35
4.3.4. Ladera moderadamente empinada (25°-45°) 35
4.3.5. Ladera escarpada o muy empinada (>45°) 35
4.4. GEOMORFOLOGÍA LOCAL 38
4.4.1. Unidades geomorfológicas locales 38
4.4.1.1. Montaña estructural en roca sedimentaria (RME-rs) 38
4.4.1.2. Ladera de montaña en roca sedimentaria (LM-rs) 39
4.4.1.3. Colina y lomada en roca sedimentaria (RCL-rs) 40
4.4.1.4. Colina y lomada disectada en roca sedimentaria (RCLD-rs) 41
4.4.1.5. Vertiente con depósito de deslizamiento (V-dd) 42
4.4.1.6. Vertiente o piedemonte aluvio-torrencial (P-at) 43
4.4.1.7. Vertiente o piedemonte aluvial (V-al) 44
4.4.1.8. Terraza baja aluvial (Tb-al) 45
4.4.1.9. Llanura o planicie inundable (Pl-i) 46
4.4.1.10. Cauce del río (Río) 47
CAPÍTULO V. GEOLOGÍA 50
5.1. CONSIDERACIONES GENERALES 50
5.2. GEOLOGÍA REGIONAL 50
5.2.1. Unidades litoestratigráficas regionales 50

5.2.1.1. Grupo Mitu (PET-mi2) - Triásico superior – Jurásico inferior 50
5.2.1.2. Formación Caicay (Jms-cc3) - Jurásico medio 50
5.2.1.3. Formación Huancané (Ki-hua3) - Cretácico inferior 51
5.2.1.4. Grupo Yuncaypata (Ki-pau3) - Cretácico medio 51
5.2.1.5. Formación Maras (Kis-ma3) - Cretácico medio 51
5.2.1.6. Formación Quilque (Pp-qu3) - Paleoceno inferior 52
5.2.1.7. Formación Auzangate (KsP-a3) - Paleoceno superior – Eoceno inferior 52
5.2.1.8. Grupo San Jerónimo (Peo-k3) - Eoceno–Oligoceno 52
5.2.1.9. Formación Punacancha (PoNm-pu) - Oligoceno superior – Mioceno inferior 53
5.2.1.10. Formación Chincheros (Np-cc3) - Plioceno 54
5.2.1.11. Formación Huambutío (JsKi-h3) - Jurásico–Cretácico inferior 54
5.2.1.12. Secuencia Volcánica Rumicolca (JsKi-h3) - Plio-Cuaternario 54
5.2.1.13. Formación San Sebastián (Qp-ss3) - Pleistoceno 55
5.2.1.14. Depósito glaciar (Qp-gl) - Pleistoceno 55
5.2.1.15. Depósito aluvial (Qh-al) - Holoceno 55
5.2.1.16. Depósito fluvial (Qh-fl) - Holoceno 56
5.2.1.17. Depósito coluvial (Qh-cl) - Holoceno 56
5.2.1.18. Depósito lacustrino (Qh-la)- Holoceno 56
5.3. GEOLOGÍA LOCAL 58
5.3.1. Unidades litoestratigráficas regionales 58
5.3.1.1. Formación San Jeronimo – Formación Kayra (Peo-k3) - Eoceno–Oligoceno 58
5.3.1.2. Depósito aluvial (Qh-al) - Holoceno 59
5.3.1.3. Depósito aluvial (Q-al) - Pleistoceno tardío-Holoceno temprano 60
5.3.1.4. Depósito aluvial (Qp-al) - Pleistoceno 61
5.3.1.5. Depósito fluvial (Qh-fl) - Holoceno 62
5.3.1.6. Deposito aluvial, fluvial (Qh-alfl) - Holoceno 63
5.3.1.7. Depósito antropógeno (Qh-an) - Holoceno 64
5.3.1.8. Depósito coluvial (Qh-cl) - Holoceno 65
5.3.1.9. Depósito proluvial (Qh-pl) - Holoceno 66
CAPITULO VI. HIDROLOGÍA 69
6.1. CONSIDERACIONES GENERALES 69
6.2. UBICACIÓN HIDROGRÁFICA DE LA MICROCUENCA 69
6.3. INDICADORES HIDROMORFOMÉTRICOS DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA 70
6.4. PRECIPITACIÓN DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA 74
6.4.1. Organización de información pluviométrica 76
6.4.2. Caudal máximo del río Lucre para distintos periodos de retorno 80
6.5. MODELAMIENTO HIDRÁULICO 81
6.5.1. Introducción al modelamiento hidráulico 81
6.5.2. Parámetros iniciales del modelado hidráulico 84

6.5.3. Procedimiento aplicado en la simulación hidráulica 85
6.6. COTA RELATIVA DEL TERRENO SOBRE EL NIVEL BASE DEL RIO 88
6.6.1. Rango de altura de 0 a 1 metros 89
6.6.2. Rango de altura de 1 a 2 metros 89
6.6.3. Rango de altura de 2 a 3 metros 90
6.6.4. Rango de altura de 3 a 5 metros 90
6.6.5. Rango de altura de mayores a 5 metros 90
..... 91
CAPÍTULO VII. ANÁLISIS DEL PELIGRO GEOLÓGICO 92
7.1. CONSIDERACIONES GENERALES 92
7.1.1. Procedimiento para determinar el peligro geológico 92
7.1.2. Aspectos fundamentales del peligro geológico 92
7.1.3. Antecedentes históricos de inundación fluvial 93
7.2. DEFINICIÓN Y ANÁLISIS DEL PELIGRO GEOLÓGICO POR INUNDACIÓN FLUVIAL 95
7.2.1. Factores que influyen en la generación de la inundación fluvial 96
7.2.2. Elemento desencadenante de la inundación fluvial 98
7.2.3. Mapa de susceptibilidad geológica a inundación Fluvial 100
7.2.4. Parámetro de evaluación por inundación fluvial 103
7.2.5. Niveles de peligro geológico por inundación fluvial 103
7.2.6. Estratificación de los niveles de peligro geológico por inundación fluvial 104
CAPÍTULO VIII. DIAGNÓSTICO DE VULNERABILIDAD 107
8.1. CONSIDERACIONES GENERALES 107
8.1.1. Condiciones sociales 108
8.1.2. Condiciones económicas 108
8.2. ANÁLISIS DE DIMENSIÓN SOCIAL 110
8.2.1. Exposición social 110
8.2.2. Fragilidad social 110
8.2.3. Resiliencia social 110
8.3. ANÁLISIS DE DIMENSIÓN ECONÓMICA 111
8.3.1. Exposición económica 111
8.3.2. Fragilidad económica 111
8.3.3. Resiliencia económica 111
8.4. ANÁLISIS DE DIMENSIÓN AMBIENTAL 112
8.4.1. Exposición ambiental 112
8.4.2. Fragilidad ambiental 112
8.4.3. Resiliencia ambiental 112
8.5. ANÁLISIS DE DIMENSIÓN FÍSICA 113
8.5.1. Exposición física 113
8.5.2. Fragilidad física 113

8.5.3. Resiliencia física 113
8.6. MATRIZ DE SÍNTESIS DE VULNERABILIDAD 114
8.7. ESTRATIFICACIÓN DE LOS NIVELES DE SÍNTESIS DE VULNERABILIDAD 114
CAPÍTULO IX. DETERMINACIÓN DEL RIESGO GEOLÓGICO 117
9.1. CUANTIFICACIÓN DE LOS RIESGOS 117
9.2. DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE RIESGO 118
9.2.1. Categoría de riesgo geológico ante inundación fluvial 118
9.2.2. Estratificación del nivel de riesgo geológico por inundación fluvial 118
9.3. ZONAS CRÍTICAS DE RIESGO GEOLÓGICO 122
9.3.1. Zona crítica de riesgo 1 (ZCR-1) 122
9.3.2. Zona crítica de riesgo 2 (ZCR-2) 123
9.3.3. Zona crítica de riesgo 3 (ZCR-3) 123
9.3.4. Zona crítica de riesgo 4 (ZCR-4) 124
9.4. CUANTIFICACIÓN DE POSIBLES PÉRDIDAS 125
9.4.1. Inventario de elementos expuestos 125
9.4.2. Caracterización constructiva y consideraciones sobre los costos unitarios 126
9.4.3. Daños probables 127
9.4.4. Pérdidas probables 127
CAPÍTULO X. MEDIDAS CORRECTIVAS Y PREVENTIVAS 129
10.1. Medidas correctivas para inundaciones fluviales 129
10.2. Medidas preventivas para inundaciones fluviales 134
10.3. Planificación urbana del C.P. Yanamanchi en GRD 138
CAPITULO XI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS 139
CONCLUSIONES 150
RECOMENDACIONES 152
BIBLIOGRAFÍA 154
ANEXOS 159

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Localización política y geográfica de la comunidad de Yanamanchi 1
Tabla 2.Vias de acceso 2
Tabla 3. Operacionalización de variables..... 8
Tabla 4.Unidad hidrográfica por Pfafstetter..... 69
Tabla 5. Descriptores morfométricos de la cuenca 73
Tabla 6.Lluvia máxima anual registrada 77
Tabla 7. Registro de intensidad, duración y frecuencia 79
Tabla 8. Tiempo de concentración de las aguas de la microcuenca del río Lucre 81
Tabla 9. Caudales pico generados en la microcuenca del río Lucre en el sector Yanamanchi. .. 81
Tabla 10. Cuadro de rangos de referencia para el coeficiente de rugosidad de Manning 84
Tabla 11. Asignación de coeficientes a los factores condicionantes de inundación fluvial..... 97
Tabla 12. Valoración de las unidades del parámetro geomorfología 97
Tabla 13. Valoración de las distintas unidades de pendiente del terreno 98
Tabla 14. Valoración de las distintas unidades geológicas 98
Tabla 15. Datos representativos de lluvia máxima diaria relacionados con eventos de desborde en la cuenca del río Lucre. 99
Tabla 16. Asignación de peso al factor desencadenante: máxima lluvia en 24 horas. 100
Tabla 17. Clasificación en rangos del índice de susceptibilidad frente a inundaciones fluviales. 101
Tabla 18. Clasificación de los descriptores del parámetro de evaluación por Inundación Fluvial 103
Tabla 19. Niveles del peligro geológico asociado a inundación fluvial. 104
Tabla 20. Estratificación del peligro geológico relacionado a inundación fluvial. 104
Tabla 21. Distribución poblacional del C.C. Yanamanchi por grupos etáreos 108
Tabla 22. Principales actividades productivas del C.C. Yanamanchi. 109
Tabla 23. Exposición social. Número de habitantes por lote 110
Tabla 24. Criterios de la fragilidad social 110
Tabla 25. Criterios de la resiliencia social 110
Tabla 26. Exposición económica: Ubicación de las edificaciones respecto al rio o zonas de peligro. 111
Tabla 27. Criterios de la fragilidad económica. 111
Tabla 28. Criterios de la resiliencia económica. 111
Tabla 29. Exposición ambiental: Distancia a puntos de acumulación de residuos sólidos. 112
Tabla 30. Criterios de la fragilidad ambiental. 112
Tabla 31. Criterios de la resiliencia ambiental. 112
Tabla 32. Exposición física: Posición de la edificación con relación al cauce o zona de amenaza. 113
Tabla 33. Criterios de la fragilidad física. 113
Tabla 34. Criterios de la resiliencia física 113
Tabla 35. Matriz resumida de la vulnerabilidad..... 114
Tabla 36. Niveles de vulnerabilidad..... 114
Tabla 37. Estratificación de los niveles de vulnerabilidad. 114
Tabla 38. Resumen de peligro geológico por inundación fluvial y vulnerabilidad..... 118
Tabla 39. Rangos de riesgo geológico por inundación fluvial. 118
Tabla 40. Matriz de evaluación del riesgo geológico ante inundación fluvial. 118
Tabla 41. Estratificación del nivel de riesgo geológico por inundación fluvial. 118
Tabla 42. Costos unitarios referenciales (S/.)..... 126
Tabla 43. Daños probables 127
Tabla 44. Perdidas probables 127

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.Mapa de accesibilidad y ubicación 3
Figura 2. Peligros generados por fenómenos de origen natural 26
Figura 3. Mapa de geomorfología regional 33
Figura 4. Mapa de pendientes 37
Figura 5. Mapa de geomorfología local 49
Figura 6. Mapa de geología regional 57
Figura 7. Mapa de geología local 68
Figura 8. Mapa de la parte alta de la subcuenca correspondiente al C.P. Lucre 74
Figura 9. Valor máximo diario de precipitación correspondiente a una probabilidad del 95% .. 76
Figura 10. Curvas IDF 80
Figura 11. Perfil transversal de un rio 82
Figura 12.Mapa de altura de agua 91
Figura 13. Evidencias históricas de inundación fluvial 95
Figura 14. Esquema de proceso para generar el mapa de peligro geológico 95
Figura 15. Mapa de susceptibilidad 102
Figura 16.Mapa de peligro 106
Figura 17. Diagrama de flujo para determinar el nivel de vulnerabilidad 107
Figura 18.Mapa de vulnerabilidad 116
Figura 19. Diagrama de flujo para la generación del mapa de riesgo geológico. 117
Figura 20. Síntesis del riesgo geológico asociado a inundaciones fluviales 120
Figura 21.Mapa de riesgo 121
Figura 22. Gaviones longitudinales 129
Figura 23. Reforzamiento de muros 130
Figura 24. Descolmatación del cauce 131
Figura 25. Descolmatación de quebradas 131
Figura 26. Encauzamiento y ampliación de cauce 132
Figura 27. Plan de contingencia ante lluvias intensas 133
Figura 28. Seguro Agrario Catastrófico 133
Figura 29. Gaviones tipo caja como defensa ribereña frente a inundaciones. 134
Figura 30. Sistema de Alerta Temprana 135
Figura 31. Limpieza y descolmatación programada 135
Figura 32. Ordenanza de delimitación de faja marginal 137
Figura 33. Importancia de la GRD en el Perú 137
Figura 34. Mapa de Rutas de Evacuación- Zona segura del C.P. Yanamanchi 138
Figura 35. Modelo de encuesta de vulnerabilidad ante inundación fluvial aplicada en la Comunidad Campesina de Yanamanchi 159
Figura 36. Modelo de encuesta de vulnerabilidad ante inundación fluvial aplicada en la Comunidad Campesina de Yanamanchi 160
Figura 37. Modelo de encuesta de vulnerabilidad ante inundación fluvial aplicada en la Comunidad Campesina de Yanamanchi 161
Figura 38. Modelo de encuesta de vulnerabilidad ante inundación fluvial aplicada en la Comunidad Campesina de Yanamanchi 162
Figura 39. Modelo de encuesta de vulnerabilidad ante inundación fluvial aplicada en la Comunidad Campesina de Yanamanchi 163
Figura 40. Modelo de encuesta de vulnerabilidad ante inundación fluvial aplicada en la Comunidad Campesina de Yanamanchi 164

INDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Montaña estructural en roca sedimentaria en el Apu Roqueyoc 38
Fotografía 2. Ladera de montaña en roca sedimentaria en el Apu Roqueyoc 39
Fotografía 3. Colina y lomada en roca sedimentaria en el Apu Roqueyoc 40
Fotografía 4. Colina y lomada disectada en roca sedimentaria en el Apu Roqueyoc 41
Fotografía 5. Vertiente con depósito de deslizamiento activo en ladera inestable en el Apu Chellque 43
Fotografía 6. Vertiente o piedemonte aluvio-torrencial en la quebrada Roqueyoc 44
Fotografía 7. Vertiente o piedemonte aluvial con depósitos fluviales en el rio Colcaiqui 45
Fotografía 8. Terraza baja aluvial al lado del rio Colcaiqui 46
Fotografía 9. Llanura o planicie inundable, superficie plana susceptible del rio Lucre 47
Fotografía 10. Cauce activo del río Lucre 48
Fotografía 11. Afloramiento de areniscas rojas de la Formación Kayra en el Apu Chellque 58
Fotografía 12. Depósito aluvial holoceno (Qh-al), terraza lateral muy baja inundable 59
Fotografía 13. Depósito aluvial Q-al, terraza aluvial semiconsolidada de mayor estabilidad relativa 60
Fotografía 14. Depósito aluvial pleistoceno (Qp-al), paleoterraza alta fuera de inundaciones frecuentes 61
Fotografía 15. Depósito fluvial (Qh-fl) activo en el cauce, con barras y orillas inundables 62
Fotografía 16. Depósito aluvio–fluvial (Qh-alf) en zona de confluencia 63
Fotografía 17. Depósito antropógeno (Qh-an) de relleno artificial urbano en faldas del Apu Roqueyoc 64
Fotografía 18. Depósito coluvial (Qh-cl) de talud del Apu Huayllaran 65
Fotografía 19. Depósito proluvial (Qh-pl) de gravas gruesas, registro de flujos de detritos 67
Fotografía 20. Altura de inundación potencial del río Lucre, medida desde el cauce hasta 3 m 88
Fotografía 21. Zona Crítica de Riesgo 1 viviendas expuestas a inundación fluvial 122
Fotografía 22. Zona Crítica de Riesgo 2 piscigranjas con muros socavados 123
Fotografía 23. Zona Crítica de Riesgo 3 alta exposición de viviendas y piscigranjas a inundación fluvial 124
Fotografía 24. Zona Crítica de Riesgo 4 viviendas y campo deportivo altamente expuestas al desborde del río y a defensas ribereñas insuficientes 125

CAPÍTULO I. GENERALIDADES

1.1. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La comunidad de Yanamanchi se ubica en el distrito de Lucre, provincia de Quispicanchi, región Cusco, al sureste del valle del Cusco. El área de estudio comprende el tramo desde el sector del Apu Chellqe hasta la comunidad de Yanamanchi, y se encuentra aproximadamente a 34 km de la Plaza Mayor de la ciudad del Cusco, en la ruta Lucre–Pacramayo. La comunidad de Yanamanchi constituye el área principal del estudio, cuyas viviendas e infraestructura se localizan en un ámbito influenciado por la dinámica fluvial del río Lucre, el cual atraviesa la zona y condiciona la ocurrencia de inundaciones fluviales. La ubicación política y geográfica se detalla a continuación en la Tabla 1 y en el Figura 1.

Tabla 1. Localización política y geográfica de la comunidad de Yanamanchi

UBICACIÓN POLÍTICA		**UBICACIÓN GEOGRÁFICA**		
Centro poblado:	*Yanamanchi*	**Latitud**		*13°38'2.47"S*
Comunidad:	*Comunidad de Yanamanchi*	**Longitud**		*71°44'2.78"O*
Distrito:	*Lucre*	**UTM**	*Este*	*204180.96 m*
			Norte	*8491084.15 m*
Provincia:	*Quispicanchi*		*Zona*	*19 L*
			Datum	*WGS 1984*
Departamento:	*Cusco*	**Altitud**		*3096.00 msnm (aprox.)*

Fuente. Elaboración propia

Desde el punto de vista hidrográfico, la cuenca del río Lucre se ubica:

- Vertiente: Atlántico.
- Cuenca: Vilcanota-Urubamba
- Microcuenca: Rio Lucre.

De acuerdo con la codificación de Pfafstetter, el ámbito de estudio se inserta en la microcuenca del río Lucre, la cual integra el tramo alto de la cuenca Vilcanota–Urubamba y, a su

vez, pertenece al sistema hidrográfico del río Amazonas. En la siguiente síntesis se expone la jerarquía de unidades hidrográficas en la que se encuentra comprendida esta microcuenca.

- Nivel 1: 4 (Cuenca hidrográfica del río Amazonas)
- Nivel 2: 49 (Región hidrográfica del Alto Amazonas)
- Nivel 3: 499 (Cuenca hidrográfica del río Ucayali)
- Nivel 4: 4994 (Cuenca hidrográfica del río Urubamba / Vilcanota–Urubamba)
- Nivel 5: 49949 (Cuenca hidrográfica Medio Alto Urubamba)
- Nivel 6: 499494 (Microcuenca del río Lucre)

1.2. VÍAS DE ACCESO

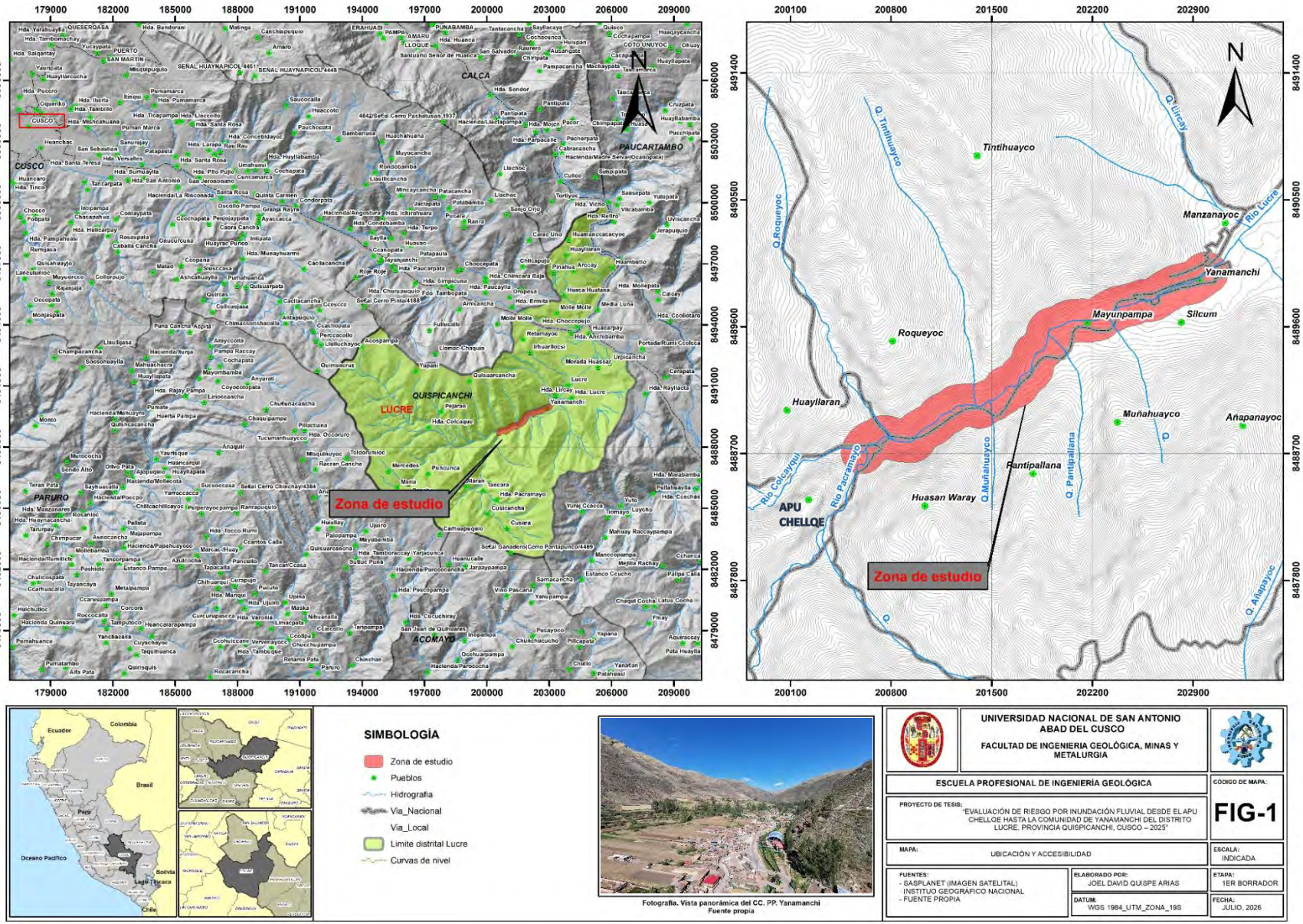
En la actualidad, para llegar al C.P. Yanamanchi se realiza únicamente por vía terrestre, aprovechando la infraestructura vial que conecta el distrito de Lucre con la ciudad del Cusco y con la carretera longitudinal de la Sierra Sur (PE-3S). Existen dos rutas principales de acceso al centro poblado, las cuales se presentan a continuación en la Tabla 2 y en el Mapa 01.

Tabla 2.Vias de acceso

RUTA	TRAMO	DISTANCIA	TIEMPO	TIPO DE VIA
Ruta 1	Plaza mayor del Cusco - Anchibamba	30.00 km	0h 45 min	Asfaltado y afirmado
	Anchibamba - Plaza de Lucre	3.6 km	0h 06 min	Asfaltado
	Plaza de Lucre - Comunidad de Yanamanchi	1.6 km	0h 04 min	Pavimentado
	Comunidad de Yanamanchi - Apu Chellqe	3.0 km	0h 10 min	Trocha carrozable
	TOTAL	**38.2 km**	**1h 05 min**	

Fuente. Elaboración propia

Figura 1.Mapa de accesibilidad y ubicación



Fuente. Elaboración propia

1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.3.1. Planteamiento y sustento del problema

La comunidad de Yanamanchi, ubicada en el distrito de Lucre, provincia de Quispicanchi, región Cusco, se encuentra expuesta a un peligro hidrometeorológico recurrente asociado a inundaciones fluviales, debido a su localización en el tramo medio-bajo de la microcuenca del río Lucre. Esta condición territorial, sumada a la pendiente longitudinal descendente de la cuenca, la configuración del relieve, la morfología del cauce y las características litológicas del terreno, favorece la concentración progresiva del escurrimiento superficial y el incremento del caudal en dirección a las partes bajas donde se asienta la población. Durante eventos extraordinarios de precipitación fluvial, logra superar la capacidad de conducción del cauce, generando desbordes, transporte de sedimentos, erosión de márgenes e infraestructura del canal a su vez también afecta directamente sobre las áreas habitadas y productivas.

La ocurrencia de inundaciones históricas, como las registradas en 1984 y en 2010, evidencia la recurrencia del fenómeno y su impacto sobre las márgenes e infraestructura del canal, viviendas, terrenos agrícolas, vías de acceso, e infraestructura local. En dichos eventos, el río Lucre presentó desbordes por ambas márgenes, provocando la expansión del flujo hacia la planicie de inundación y la afectación de sectores ribereños. A ello se suma el proceso de colmatación del cauce por acumulación de material aluvial, gravas, arenas y sedimentos transportados por la corriente, lo que reduce la sección hidráulica efectiva. Esta condición incrementa la peligrosidad del área, especialmente en zonas donde existe ocupación antrópica sobre áreas potencialmente inundables.

Si bien existen estudios previos de peligros y vulnerabilidad desarrollados a escala de microcuenca, estos presentan un nivel de generalización que no permite caracterizar con precisión la amenaza y el riesgo sobre los elementos expuestos en la comunidad de Yanamanchi, particularmente sobre las viviendas ubicadas en el ámbito de mayor susceptibilidad a inundación. En ese sentido, persiste un vacío de información técnica respecto a la delimitación de áreas de posible afectación, la intensidad esperada del fenómeno y el nivel de vulnerabilidad física y social

de la población expuesta. Por ello, se requiere una evaluación técnica específica del riesgo de inundación fluvial en el tramo Apu Chellqe–Yanamanchi, mediante el análisis integrado de variables geológicas, geomorfológicas, hidrológicas y de exposición, a fin de identificar zonas críticas, delimitar franjas de inundación y sustentar medidas de gestión del riesgo orientadas a la prevención, reducción y mitigación de impactos sobre la población y sus medios de vida.

1.3.2. Formulación del problema

1.3.2.1. Problema general

- ¿Cuál es el riesgo por inundación fluvial desde el Apu Chellque hasta la comunidad de Yanamanchi, distrito de Lucre, provincia de Quispicanchi, Cusco, 2025?

1.3.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuál es el nivel de peligro por inundación fluvial desde el Apu Chellque hasta la comunidad de Yanamanchi, distrito de Lucre, provincia de Quispicanchi, Cusco, 2025?
- ¿Cuál es el nivel de vulnerabilidad por inundación fluvial desde el Apu Chellque hasta la comunidad de Yanamanchi, distrito de Lucre, provincia de Quispicanchi, Cusco, 2025?
- ¿Cuál es el nivel de riesgo por inundación fluvial desde el Apu Chellque hasta la comunidad de Yanamanchi, distrito de Lucre, provincia de Quispicanchi, Cusco, 2025?

1.4. IMPORTANCIA Y JUSTIFICACIÓN

La justificación práctica de la comunidad de Yanamanchi, en el distrito de Lucre, registra episodios recurrentes de inundación del río Lucre que han comprometido márgenes del rio, infraestructura del canal, viviendas, vías de acceso y zonas agrícolas, siendo el evento del año 2010 el más significativo en términos de daños materiales documentados. A pesar de ello, no

existe a la fecha un estudio técnico específico que cuantifique y zonifique el riesgo de inundación fluvial a nivel de esta comunidad, lo que limita la toma de decisiones por parte de la Municipalidad Distrital de Lucre, Defensa Civil y otros actores institucionales. Los resultados de la presente investigación proporcionarán información técnica actualizada sobre las áreas de mayor peligro y vulnerabilidad, constituyendo un insumo directo para el diseño de medidas de prevención, la planificación de obras de mitigación y la incorporación del enfoque de gestión del riesgo en los instrumentos de ordenamiento territorial del distrito.

La justificación teórica del estudio aporta al conocimiento científico sobre la interacción entre los condicionantes geológicos y geomorfológicos de una microcuenca altoandina y el comportamiento dinámico de sus caudales durante eventos de precipitación extrema. La microcuenca del río Lucre presenta características particulares de relieve, litología y ocupación territorial que la distinguen de los contextos estudiados en la selva o en cuencas costeras, por lo que su análisis contribuye a enriquecer el marco conceptual sobre evaluación de riesgo geológico por inundación fluvial en ambientes andinos. Asimismo, los hallazgos obtenidos permitirán contrastar los enfoques teóricos y metodológicos del CENEPRED con las condiciones reales de una cuenca de montaña, generando reflexiones sobre la aplicabilidad y ajuste de dichos marcos normativos en contextos similares de la región Cusco.

La justificación metodológica de la investigación se apoya en los procedimientos establecidos en el **Manual para la Evaluación de Riesgos originados por Fenómenos Naturales – Versión 02 (CENEPRED, 2014)**, marco normativo oficial que orienta la metodología para la estimación del peligro, la vulnerabilidad y el riesgo de desastres en el Perú. La aplicación de dicho manual en el tramo del río Lucre comprendido entre el Apu Chellqe y la comunidad de Yanamanchi permitirá obtener resultados estandarizados, comparables y replicables a nivel local, integrando herramientas de modelamiento hidráulico y sistemas de información geográfica para alcanzar un nivel de detalle que los estudios de escala regional no logran cubrir. La sistematización de este proceso metodológico constituirá un referente técnico para futuras evaluaciones de riesgo por inundación fluvial en otras localidades del distrito de

Lucre, contribuyendo al fortalecimiento de capacidades en gestión del riesgo de desastres a nivel regional.

1.5. OBJETIVOS

1.5.1. Objetivo general

- Determinar el riesgo por inundación fluvial desde el Apu Chellque hasta la comunidad de Yanamanchi, distrito de Lucre, provincia de Quispicanchi, Cusco, 2025.

1.5.2. Objetivos específicos

- Determinar el nivel de peligro por inundación fluvial desde el Apu Chellque hasta la comunidad de Yanamanchi, distrito de Lucre, provincia de Quispicanchi, Cusco, 2025
- Determinar el nivel de vulnerabilidad por inundación fluvial desde el Apu Chellque hasta la comunidad de Yanamanchi, distrito de Lucre, provincia de Quispicanchi, Cusco, 2025.
- Determinar el nivel de riesgo por inundación fluvial desde el Apu Chellque hasta la comunidad de Yanamanchi, distrito de Lucre, provincia de Quispicanchi, Cusco, 2025.

1.6. HIPÓTESIS

1.6.1. Hipótesis general

- El riesgo por inundación fluvial desde el Apu Chellque hasta la comunidad de Yanamanchi, distrito de Lucre, provincia de Quispicanchi, Cusco, 2025; es alto a muy alto porque está influenciado por las características geológicas, geomorfológicas y la dinámica del río Lucre.

1.6.2. Hipótesis específicas

- Los niveles de peligro por inundación fluvial desde el Apu Chellque hasta la comunidad de Yanamanchi, distrito de Lucre, provincia de Quispicanchi, Cusco, 2025; están fuertemente condicionados por las características geológicas y geomorfológicas de la zona.

- La vulnerabilidad de las viviendas y la infraestructura de la comunidad por inundación fluvial desde el Apu Chellque hasta la comunidad de Yanamanchi, distrito de Lucre, provincia de Quispicanchi, Cusco, 2025; ante posibles inundaciones fluviales está relacionada por el material predominante de sus paredes y pisos.

- Las áreas de mayor riesgo por inundación fluvial desde el Apu Chellque hasta la comunidad de Yanamanchi, distrito de Lucre, provincia de Quispicanchi, Cusco, 2025; se encuentran ubicadas en la primera terraza fluvial.

1.7. FACTORES LIMITANTES

La investigación presentó limitaciones por la escasa bibliografía específica sobre la microcuenca del río Lucre y la falta de registros hidrométricos continuos, lo que dificultó la estimación confiable de caudales máximos y períodos de retorno, recurriendo a métodos indirectos. A ello se sumó la limitada información sistematizada en entidades públicas, la identificación parcial de indicios de eventos pasados, y las restricciones de acceso a ciertas zonas por presencia de rondas campesinas y negativa de propietarios privados, lo que condicionó la cobertura cartográfica del área de estudio.

1.8. VARIABLES

Las variables a usar serán.

Tabla 3. Operacionalización de variables

VARIABLE DEPENDIENTE	VARIABLE INDEPENDIENTE	INDICADORES	INDICES	DATOS
	DIMENSIONES			
RIESGO GEOLÓGICO PELIGRO	*Geología*	*Litología*	*Unidades geológicas*	*Areniscas, depósitos cuaternarios, etc.*

VULNERABILIDAD	*Geomorfología*	*Pendiente*	*Rangos*	*0°-5°;5°-15°;15°-25°;25°-35°; >35°*
	Hidrología	*Rasgos físicos del terreno*	*Unidades geomorfológicas*	*Vertiente, terraza, montaña, etc.*
		Hidrografía	*Caudal*	*m3/segundo*
			Altura de nivel de agua	*metros*
		Precipitación	*Intensidad, Duración, Frecuencia*	*Milímetros/h, horas, tiempo retorno, etc.*
	Vulnerabilidad social	*Exposición social*	*Número de habitantes por lote*	*Una persona, entre 2 y 3 personas, etc.*
		Fragilidad social	*Rango de edades predominante*	*0-5 años y >65 años, 6-12 años y 55-65 años, etc.*
			Acceso a servicios básicos	*Ninguno, solo un SS.BB, etc.*
			Presencia de personas con discapacidad	*Discapacidad motora, visual, auditiva, etc.*
		Resiliencia social	*Nivel de organización social*	*Organización deficiente, aceptable, etc.*
			Conocimiento en GRD	*Desconoce, limitado, etc.*
			Tipo de cobertura de salud o seguro	*SIS, EsSalud, privado, etc.*
	Vulnerabilidad económica	*Exposición económica*	*Ubicación de la edificación respecto al río o zona de peligro*	*muy próxima(0-15m), próxima (15-30m), etc.*
		Fragilidad económica	*Material principal de la vivienda o edificación*	*Madera, adobe, concreto, etc.*
			Estado actual de conservación de la edificación	*deficiente, regular, adecuado, etc.*
			Forma de ejecución de la construcción	*autoconstrucción, mano de obra, etc.*
		Resiliencia económica	*Ingreso económico promedio del hogar*	*0 a 200 soles, 200 a 750 soles, etc.*
			Número de personas con seguro de salud en el hogar	*Ninguna persona, 1 persona, 2 personas, etc.*
			Porcentaje de población económicamente activa (PEA)	*0-20%. 20-40%, etc.*
	Vulnerabilidad ambiental	*Exposición ambiental*	*Distancia a puntos de acumulación de residuos sólidos*	*Menos de 25m, entre 25 y 50m, etc.*
		Fragilidad ambiental	*Forma de disposición de residuos sólidos*	*Desechar ríos, desechar en espacios abiertos, etc.*
			Tipo de disposición final de excretas	*No cuenta con servicio higiénico, con desagüe, etc.*
			Cría de animales en el lote o vivienda	*Cría 1 animal, 2 a 3 animales, etc.*

		Resiliencia ambiental	*Nivel de conocimientos en temas ambientales*	*Sin conocimiento, conocimiento básico, etc.*
	Vulnerabilidad física	*Exposición física*	*Gestión de residuos sólidos en el hogar*	*Sin separación, separación parcial, etc.*
			Posición de la edificación con relación al cauce o zona de amenaza	*muy próxima (0-15m), próxima (15-30m), etc.*
		Fragilidad física	*Material constructivo predominante*	*Madera, adobe, concreto, etc.*
			Condición física de la edificación	*Mal estado, regular, bueno, etc.*
			Señalización y rutas de evacuación ante emergencias	*No dispone, parcial, adecuada, etc.*
		Resiliencia física	*Existencia y calidad del plan de contingencia*	*No cuenta con plan, poco conocido, etc.*
			Manejo de residuos sólidos en infraestructura	*Sin manejo, improvisada, básica, etc.*

Fuente. Elaboración propia

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Metodología de investigación

2.1.1. Enfoque de la investigación

En esta investigación se adoptó un **diseño de enfoque mixto**, entendido como la integración sistemática de procedimientos cuantitativos y cualitativos (Hernández, 2014, p. 540).

En la fase cuantitativa, las variables fueron recogidas mediante encuestas, a las que se asignaron valores numéricos o categorías con el fin de representar la realidad tal como se presenta. En la fase cualitativa, se profundizó en ciertas variables a través de la interpretación, descripción y explicación de la información obtenida, apoyándose además en entrevistas realizadas a algunos comuneros.

2.1.2. Tipo de investigación

En la presente investigación se empleó una modalidad de **investigación aplicada**, es decir, aquella orientada a atender y resolver problemas concretos de la realidad más que a producir únicamente teoría (Hernández, 2014, p. 42).

A partir de la información obtenida, se formulan recomendaciones y propuestas de solución relacionadas con la gestión de riesgos geológicos, tales como la toma de decisiones sobre el uso del suelo, el diseño de infraestructuras y la implementación de medidas de prevención y mitigación. Al mismo tiempo, el estudio incorpora un componente de investigación básica, dado que genera por primera vez conocimiento sistemático detallado sobre la zona de análisis, el cual puede servir de referencia para futuros trabajos.

2.1.3. Diseño de la investigación

La investigación se desarrolla bajo un diseño **no experimental**, ya que se centra en describir, recopilar y analizar la información del medio físico y de la población tal como se presenta, sin alterar las condiciones naturales del área de estudio. En este tipo de investigación, los fenómenos se observan en su contexto real, sin aplicar manipulación o control sobre las variables involucradas (Hernández, 2014, p. 152).

2.1.4. Técnica de la investigación

La **técnica de investigación** empleada fue principalmente la **encuesta**, utilizada para recopilar la información relacionada con la vulnerabilidad de las viviendas y de los habitantes de la comunidad de Yanamanchi. De manera complementaria, para establecer el nivel de peligro geológico se aplicaron técnicas de **trabajo de campo** y **entrevista** a pobladores antiguos de la zona, con el propósito de identificar y documentar antecedentes de inundaciones y otros eventos naturales que han afectado el área de estudio.

2.2. Método de trabajo

2.2.1. Etapa de pre-campo

a) PELIGRO

- **Elaboración de la cartografía base** (hidrografía, geología, geomorfología, accesos y zonas urbanas) a partir de información oficial y de gabinete, para servir de soporte al cartografiado del peligro geológico por inundación fluvial en la comunidad de Yanamanchi.

- **Descarga y procesamiento de modelos digitales de elevación (DEM) e imágenes satelitales/ortofotos**, con la finalidad de delimitar la cuenca, definir la red de drenaje y reconocer preliminarmente las áreas susceptibles de inundación en el tramo del río Lucre.

- **Revisión de memorias y boletines geológicos del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET)** vinculados al cuadrángulo Cusco (28-s) y sectores adyacentes, para obtener la base geológica regional y la caracterización litológica del distrito de Lucre.

- Revisión de **tesis hidrológicas, hidrogeológicas y ambientales de la cuenca del río Lucre y del distrito de Lucre** (modelamiento hidrológico, calidad de agua, hidrogeología, degradación del humedal Lucre–Huacarpay), utilizadas como

antecedentes regionales y referencia metodológica complementaria para la caracterización del peligro de inundación fluvial en Yanamanchi.

- **Análisis de información de peligros hidrológicos y geológicos elaborados por Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI) y Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED)** para Lucre–Huacarpay, incluyendo mapas de peligros y evaluaciones iniciales de riesgo, empleadas como referencia para el presente estudio.
- **Consulta de estudios académicos sobre inundaciones en el distrito de Lucre** que aplican la metodología del Manual para la Evaluación de Riesgos originados por Fenómenos Naturales – Versión 02 del CENEPRED, a fin de adoptar criterios metodológicos coherentes con la normativa nacional.
- **Revisión del mapa de rutas de evacuación de Yanamanchi y otros documentos en SIGRID**, que aportaron información complementaria sobre la exposición de la población y la organización de la respuesta frente a inundaciones.

b) VULNERABILIDAD

- **Definición de las dimensiones de vulnerabilidad** (social, económica, ambiental y física) a considerar en el levantamiento de información, tomando como referencia el manual de evaluación de riesgos del CENEPRED.
- **Revisión y uso del mapa catastral de la Municipalidad Distrital de Lucre** para identificar la distribución de viviendas, lotes y usos del suelo en Yanamanchi, como base para la caracterización de la vulnerabilidad física y social.

- **Diseño de la ficha de campo para encuestas de vulnerabilidad**, organizando los ítems de acuerdo con las dimensiones definidas y adaptando los criterios propuestos para estudios de riesgo por inundación fluvial. Véase en Anexos

2.2.2. Etapa de campo

a) PELIGRO

- **Levantamiento de la hidrografía del área de estudio**, delimitando en campo y en cartografía la red de drenaje del río Lucre y sus afluentes, identificando el cauce principal y tramos con mayor tendencia al desborde.
- **Cartografiado detallado de las unidades geológicas, geomorfológicas e hidrológicas**, registrando en terreno las litologías, formas de relieve y geoformas vinculadas a procesos de inundación fluvial, como planicies de inundación, terrazas bajas y antiguos cauces aluviales.

b) VULNERABILIDAD

- **Aplicación de fichas de encuesta en los lotes con vivienda de la comunidad de Yanamanchi**, para obtener la información necesaria sobre la vulnerabilidad de los hogares frente a inundaciones del río Lucre.
- **Levantamiento de información mediante encuestas en los lotes,** con el fin de evaluar la vulnerabilidad de las principales infraestructuras y servicios de uso público ubicados en la zona de estudio.

2.2.3. Etapa de post-campo

a) PELIGRO

- **Elaboración del mapa hidrográfico del área de estudio**, digitalizando todos los cursos de agua de la microcuenca del río Lucre y definiendo el tramo de análisis entre el Apu Chellqe y la comunidad de Yanamanchi.

- **Digitalización y generación de los mapas de geología, pendiente del terreno y geomorfología**, a partir de la cartografía disponible y de la información de campo, como base para la evaluación del peligro por inundación fluvial.

- **Integración de la información temática en un Sistema de Información Geográfica (SIG)**, para delimitar y clasificar las zonas con diferente nivel de peligro de inundación fluvial en el área de estudio.

b) VULNERABILIDAD

- **Digitalización y procesamiento de las fichas de encuesta aplicadas en Yanamanchi**, calculando los valores por dimensión y obteniendo la síntesis de vulnerabilidad para cada lote y para el conjunto de la comunidad.

c) RIESGO

- **Cálculo del nivel de riesgo por inundación fluvial**, mediante la combinación de los mapas de peligro y vulnerabilidad, generando la zonificación de riesgo para viviendas y equipamientos de la comunidad.

d) ZONAS CRITICAS

- **Identificación y representación cartográfica de Zonas Criticas de Riesgo por inundación fluvial**, a partir de los niveles de riesgo obtenidos.

- **Estimación de daños y pérdidas probables** asociados a los diferentes escenarios de inundación.

2.3. Equipos, materiales y software utilizados

2.3.1. Equipos

a) Equipos de Campo

- **GPS de celular**, para el registro de coordenadas de puntos de control, viviendas y elementos relevantes del área de estudio.

- **Cinta métrica**, para medir distancias y anchos de cauce en los tramos seleccionados del río Lucre.
- **Teléfono con cámara**, para el registro gráfico de evidencias de la geología, geomorfología, inundación y de la condición de las viviendas.

b) Equipos de Gabinete

- **Laptop,** con capacidad suficiente para el manejo de información geoespacial y procesamiento de datos.
- **Impresora**, para la impresión de mapas de trabajo y digitalización de planos o documentos físicos utilizados en el estudio.

2.3.2. Materiales

a) En campo

- **Mapas base e impresiones de imágenes satelitales**, utilizados como apoyo para la orientación y anotaciones en terreno.
- **Tablero de campo y fichas impresas**, para el llenado de encuestas y toma de notas durante el trabajo en Yanamanchi.
- **Útiles de escritorio** (lápices, borradores, plumones, reglas) para la marcación de información relevante en mapas y formularios.
- **Equipos de protección personal** como botas de jebe y poncho para lluvia, necesarios por las condiciones climáticas de la zona de estudio.

b) En gabinete

- **Documentación técnica y cartográfica recopilada** (informes, mapas y bases de datos), empleada en el análisis de peligro, vulnerabilidad y riesgo.
- **Papel bond y material de impresión**, para la elaboración de borradores, mapas y figuras que se incorporan al documento de tesis.

2.3.3. Softwares

- **QGIS**, para la gestión de la información geográfica y la elaboración de los mapas de hidrografía, geología, pendiente, geomorfología, peligro, vulnerabilidad y riesgo.
- **Google Earth Pro y SAS Planet**, utilizados en la descarga y revisión de imágenes satelitales recientes del área de estudio.
- **HEC-RAS 6.6**, para el análisis hidráulico del tramo del río Lucre en caso de emplear simulación de inundaciones.
- **Microsoft Office (Word, Excel)**, para el procesamiento de datos, elaboración de tablas y redacción del informe de tesis.

CAPITULO III. MARCO TEÓRICO

3.1. Marco referencial

En el área de estudio no se cuenta con una evaluación de riesgos específica para la comunidad de Yanamanchi. Ante esta limitación, se revisaron antecedentes a nivel internacional, nacional, regional y local que abordan la evaluación de riesgos por inundación fluvial y pluvial bajo metodologías afines a la presente investigación, presentados a continuación de lo general a lo particular.

3.1.1. Antecedentes internacionales

Pinos et al. (2017), en su artículo Métodos para la evaluación del riesgo de inundación fluvial: revisión de literatura y propuesta metodológica para Ecuador, publicado en la revista *Maskana* de la Universidad de Cuenca, abordaron la falta de una metodología estandarizada para la estimación de pérdidas económicas por inundación en Latinoamérica, región donde los eventos de crecida son recurrentes y las herramientas internacionales existentes (como Hazus-MH o FLEMO) resultan poco aplicables por su alto requerimiento de información. El estudio tuvo como objetivo realizar una revisión exhaustiva de los métodos internacionales de evaluación del riesgo de inundación fluvial y, a partir de ella, proponer una metodología simplificada y adaptada a la disponibilidad de información de Ecuador y la región. Para ello, los autores aplicaron una Revisión Sistemática de la Literatura (SLR), analizando 21 modelos de estimación de pérdidas desarrollados en distintos países (Estados Unidos, Reino Unido, Alemania, Bélgica, Japón, entre otros), comparando sus componentes, variables de entrada y enfoques metodológicos. Como resultado, identificaron que los modelos revisados son altamente heterogéneos en sus componentes y que la mayoría carece de procesos explícitos de validación, y propusieron una metodología local basada en sistemas de información geográfica (SIG) que combina mapas de peligro de inundación, mapas de uso de suelo y funciones de daño relativas para estimar pérdidas en zonas urbanas y agrícolas. Se concluyó que no existía, hasta la fecha del estudio, una metodología descrita para la estimación de pérdidas por inundación adaptada a Latinoamérica, y que la propuesta desarrollada de bajo requerimiento de información y fácil implementación a

nivel local constituye una primera aproximación útil para la toma de decisiones en gestión del riesgo. Este antecedente resulta relevante para la presente investigación por tratarse de un marco metodológico de evaluación de riesgo por inundación fluvial pensado específicamente para el contexto de recursos e información limitada de la región andina.

Rojo Ramos et al. (2024), en su trabajo Análisis del riesgo de desastres por inundaciones y diseño de obras de mitigación en cuencas priorizadas en Bolivia, presentado en las VII Jornadas de Ingeniería del Agua, abordaron la necesidad de reducir el riesgo de inundación en diez zonas priorizadas de Bolivia, en el marco del programa "Bolivia Resiliente Frente a los Riesgos Climáticos", ejecutado por el Ministerio de Medio Ambiente y Agua de ese país. El estudio tuvo como objetivo desarrollar, en cada una de las diez zonas, un análisis del riesgo de inundación, un estudio de alternativas de actuación y el diseño final de obras de mitigación, adaptados a las particularidades de cada cuenca desde pequeños ríos urbanos con cuencas menores a 100 km² hasta grandes cauces navegables con cuencas superiores a 5,000 km². Para ello, los autores aplicaron la metodología de Evaluación Probabilística del Riesgo de Inundación (EPRI), un marco conceptual donde el riesgo resulta de la coincidencia espacial y temporal entre una amenaza y elementos expuestos susceptibles de sufrir pérdidas, incorporando además procesos participativos con los actores locales como condición necesaria para la implementación de las obras. Como resultado, se generó para cada zona un Estudio de Diseño Técnico de Pre-Inversión (EDTP), documento oficial boliviano que sustenta el diseño final de las obras de mitigación, incluyendo estructuras de protección de márgenes (muros, escolleras, pantallas pilotadas), encauzamientos urbanos y motas de protección para cultivos. Se concluyó que, dada la gran variabilidad geomorfológica e hidrológica de las cuencas bolivianas analizadas, no existe una solución estructural única, sino que cada diseño debe adaptarse a la disponibilidad de medios, usos habituales y aceptación de los actores locales de cada zona de intervención. Este antecedente aporta un enfoque metodológico de evaluación probabilística del riesgo aplicado a cuencas de montaña con alta variabilidad geomorfológica, contexto comparable al de la microcuenca del río Lucre en la región andina peruana.

3.1.2. Antecedentes nacionales

Cuba y Santos (2021), en su tesis *Evaluación de riesgos por inundación fluvial en los márgenes del río Pichari en la provincia La Convención - Cusco, 2020*, desarrollada en la Universidad César Vallejo, abordaron el problema de las inundaciones fluviales en una zona de selva alta con alta susceptibilidad hidrometeorológica. El estudio tuvo como objetivo evaluar el nivel de peligro, vulnerabilidad y riesgo por inundación fluvial en los márgenes del río Pichari, con la finalidad de proponer alternativas de solución estructurales y no estructurales. Para ello, emplearon un enfoque cuantitativo de tipo aplicado y diseño no experimental, apoyado en Sistemas de Información Geográfica (SIG) y en un análisis multicriterio de factores geomorfológicos, hidrológicos y de exposición. Como resultado, determinaron que el 49% del área evaluada presenta un nivel de peligro muy alto, mientras que el 44% registra vulnerabilidad y riesgo muy alto frente a inundaciones. Concluyeron que el tramo estudiado del río Pichari presenta condiciones críticas que exigen la implementación de medidas de mitigación estructurales y no estructurales en el corto plazo.

Ticlla (2021), en su tesis Evaluación del nivel de riesgo a inundación según la metodología CENEPRED, en el río San Mateo, tramo puente "San Mateo" al puente "Lloque Yupanqui", Chota, desarrollada en la Universidad Nacional Autónoma de Chota, abordó el problema de las inundaciones recurrentes que afectan al barrio San Mateo debido a las fuertes precipitaciones pluviales en la zona. El estudio tuvo como objetivo evaluar el nivel de riesgo a inundación en dicho tramo del río San Mateo aplicando la metodología estándar del CENEPRED. Para ello, el autor realizó un levantamiento topográfico de 18.59 hectáreas que abarcan 241 lotes del barrio, delimitó la microcuenca hidrográfica correspondiente y empleó datos de la estación meteorológica Chotano Lajas para determinar las áreas probables de inundación en distintos periodos de retorno (10, 25, 50 y 100 años). Como resultado se determinó un nivel de peligro muy alto en el 13.60% del área evaluada y un riesgo muy alto en el 0.69% del área total. El estudio concluye que, pese a que el porcentaje de riesgo muy alto es relativamente bajo, la aplicación sistemática del Manual del CENEPRED permite identificar con precisión las zonas críticas dentro

de microcuencas andinas, constituyendo un referente metodológico replicable en contextos geomorfológicos similares.

3.1.3. Antecedentes regionales

La Municipalidad Distrital de Oropesa (2023), en su informe Evaluación de riesgo por inundación fluvial del centro poblado de Huasao, provincia de Quispicanchi, departamento del Cusco, publicado en el SIGRID del CENEPRED, evaluó una zona expuesta a inundación fluvial en el distrito de Oropesa, dentro de la misma provincia de Quispicanchi donde se ubica el área de estudio de la presente investigación. El objetivo del informe fue determinar los niveles de riesgo a los cuales están expuestas las viviendas e infraestructura pública del centro poblado de Huasao. Para ello, se aplicó la metodología estandarizada del Manual para la Evaluación de Riesgos por Fenómenos Naturales – Versión 02 del CENEPRED, la cual permite caracterizar los niveles de peligrosidad, vulnerabilidad y riesgo ante inundaciones fluviales. Como resultado, el informe identificó sectores del centro poblado con niveles significativos de exposición ante inundación, tanto en viviendas como en infraestructura pública. Se concluye que, al compartir el mismo tipo de fenómeno, escala de análisis y metodología aplicable al río Lucre, este informe constituye un referente metodológico directo y de contexto geomorfológico similar para la presente investigación.

Luna Loayza et al. (2020), en su investigación Peligro de inundación del río Vilcanota en el centro poblado de Písac, Cusco 2018, publicada en la revista *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, abordaron el problema de las inundaciones recurrentes que ha sufrido Písac por el incremento de caudal y desborde del río Vilcanota, evento que en 2010 llegó a colapsar el puente de la localidad. El estudio se planteó como objetivo determinar el peligro de inundación ocasionado por la creciente del río Vilcanota en el centro poblado de Písac, para distintos periodos de retorno. Para ello, los autores emplearon modelamiento hidrológico mediante HEC-HMS para obtener el caudal pico y los hidrogramas de la cuenca, y modelamiento hidráulico con HEC-RAS e IBER para determinar niveles y velocidades máximas del cauce; posteriormente generaron los mapas de peligro en ArcGIS, ponderando los factores condicionantes mediante el proceso de

análisis jerárquico (AHP) de Saaty. Como resultado, se determinaron niveles de peligro alto en los tres periodos de retorno analizados (50, 100 y 500 años), afectando progresivamente mayor cantidad de viviendas e infraestructura pública conforme aumenta el periodo de retorno. Se concluye que el centro poblado de Písac presenta condiciones de alta exposición ante crecidas del río Vilcanota, siendo este estudio un referente metodológico relevante por desarrollarse en la misma cuenca Vilcanota-Urubamba a la que pertenece la microcuenca del río Lucre, y por emplear herramientas de modelamiento hidráulico y cartografía de peligro replicables en la presente investigación.

Sequeiros y Farfán (2019), en su tesis Evaluación hidrológico e hidráulico con el modelo Iber para determinar el riesgo por inundación en la población ribereña al río Qochoq, provincia Calca – región Cusco 2017, de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la UNSAAC, abordaron la necesidad de fortalecer el manejo del riesgo ante eventos meteorológicos extremos en la ciudad de Calca, con miras a reducir la vulnerabilidad de la población ribereña y aportar insumos para planes locales de mitigación. El estudio tuvo como finalidad realizar una evaluación hidrológica e hidráulica del río Qochoq que sirviera de base para la gestión del riesgo por inundación en la zona urbana de Calca. Para ello, las autoras procesaron la información hidrometeorológica con el software Easyfit para ajustar las distribuciones de precipitaciones máximas, obtuvieron los caudales para distintos periodos de retorno mediante Hidroesta 2 y HEC-HMS, y ejecutaron el modelamiento y la simulación hidráulica con el software Iber, dividiendo la zona de estudio en cuatro niveles de análisis bajo el enfoque multicriterio del CENEPRED. Como resultado, se determinó un peligro de inundación medio para un periodo de retorno de 50 años, alto para 100 años y muy alto para 500 años, con tirantes y velocidades crecientes que llegan a rebasar los tramos canalizados de la ciudad; asimismo, se identificó que el 88% de las edificaciones expuestas se encuentra en estado de conservación regular, malo o muy malo. En cuanto al riesgo, se concluyó que para 50 años el nivel es medio, mientras que para 100 y 500 años el riesgo es alto, afectando infraestructura clave de la ciudad como instituciones educativas, la plaza principal, la comisaría y la municipalidad provincial. Este antecedente resulta relevante

para la presente investigación por tratarse de un río de montaña con características similares al río Lucre y por aplicar metodologías de análisis hidrológico e hidráulico propias de cuencas andinas de la región Cusco.

Morales e Inca (2025), en su tesis Evaluación del riesgo geológico por inundación fluvial en el centro poblado de Chancamayo para proponer un área de expansión urbana adecuada, de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica de la UNSAAC, abordaron la problemática de las planicies del centro poblado de Chancamayo, zonas que resultan vulnerables ante la expansión urbana por su exposición a inundación fluvial. El objetivo principal del estudio fue evaluar el riesgo geológico por inundación fluvial en dicho centro poblado, con el fin de proponer un área de expansión urbana adecuada para la población. Para ello, los autores aplicaron el enfoque de análisis de peligro desde la perspectiva geológica-geomorfológica, siguiendo la metodología estándar de evaluación de riesgos del CENEPRED. Como resultado, se determinó un nivel de peligro muy alto en 26.24 hectáreas del área evaluada. Se concluye que estas zonas de peligro muy alto no son aptas para la expansión urbana, por lo que el estudio propone criterios técnicos para orientar una planificación urbana adecuada en el centro poblado de Chancamayo. Este antecedente comparte directamente la metodología y el enfoque de la presente investigación, al aplicar el análisis de peligro desde la perspectiva geológica-geomorfológica en un contexto andino similar al del río Lucre.

3.1.4. Antecedentes locales

De La Quintana et al. (2018), en su investigación Evaluación de riesgo por inundación pluvial en el distrito de Lucre y centro poblado de Huacarpay de la provincia de Quispicanchis, región Cusco, publicada en la revista *Mastariy* de la Universidad Andina del Cusco, abordaron el peligro de inundación pluvial ocasionado por lluvias intensas y anómalas sobre la microcuenca del río Lucre y la laguna de Huacarpay, zona donde se concentra población y medios de vida expuestos. El estudio tuvo como objetivo determinar los niveles de peligrosidad, vulnerabilidad y riesgo asociados a la probabilidad de ocurrencia de inundaciones en el distrito de Lucre y el centro poblado de Huacarpay. Para ello, los autores aplicaron la metodología del Manual para la

Evaluación de Riesgos originados por Fenómenos Naturales (2.ª versión) del CENEPRED, combinando revisión documental, encuestas para variables sociales y económicas, el método de Thornthwaite para el componente climatológico, y el análisis de factores condicionantes y desencadenantes para estimar peligrosidad y vulnerabilidad en sus dimensiones social, económica y ambiental. Como resultado, identificaron tres zonas críticas dentro del área de estudio el tramo canalizado del río a la entrada del pueblo de Lucre, las parcelas agrícolas de la margen derecha y el centro poblado de Huacarpay y estimaron pérdidas y daños probables por un monto superior a S/ 194 millones, afectando viviendas, vías, puentes y servicios básicos. Se concluyó que las zonas urbanas del centro poblado de Huacarpay se encuentran en zona de riesgo alto ante inundaciones pluviales, con un nivel de priorización II (riesgo inaceptable), por lo que se recomendaron medidas estructurales (ampliación de compuertas de la laguna, muros de contención, reubicación del puente colonial) y no estructurales (capacitación, sensibilización y replanteo de la lotización urbana). Este antecedente constituye el más cercano a la presente investigación, al compartir la misma cuenca, el mismo río y la metodología del Manual CENEPRED; sin embargo, no aborda específicamente la comunidad de Yanamanchi ni el tramo fluvial objeto del presente estudio.

El INDECI y el PNUD (2011), en su informe Mapa de peligros y medidas de mitigación ante desastres de la ciudad de Lucre-Huacarpay, desarrollado en el marco del Programa de Ciudades Sostenibles y en convenio con la Municipalidad Distrital de Lucre, evaluaron los principales peligros naturales que afectan a la microcuenca del río Lucre y la laguna de Huacarpay, bajo los criterios de seguridad física, orden y salud que promueve la metodología de Ciudades Sostenibles. El objetivo del estudio fue identificar y clasificar los peligros naturales y tecnológicos de la ciudad de Lucre-Huacarpay para proponer medidas de mitigación orientadas a mejorar la calidad de vida de su población. Para ello, se aplicó la metodología de evaluación de peligros del Programa Ciudades Sostenibles del INDECI, generando mapas temáticos de peligro hidrológico y geotécnico para la zona de estudio. Como resultado, se identificaron zonas de inundación de peligro muy alto a lo largo del cauce principal del río Lucre, así como zonas de inundación hidrológica en los sectores de Lucre y Huacarpay. Se concluyó que era necesario

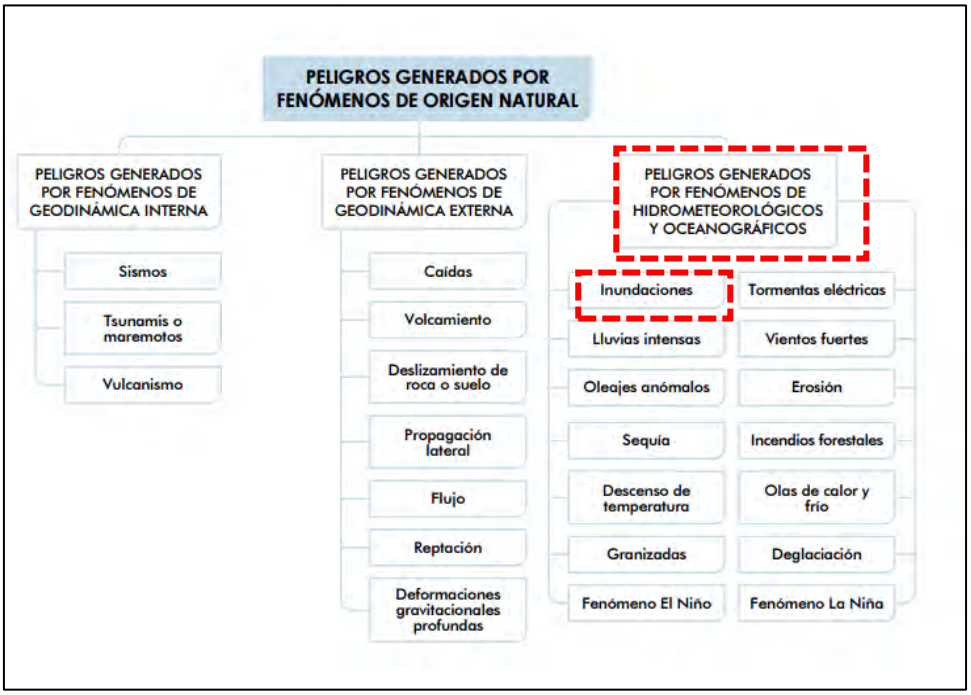
implementar medidas de mitigación estructurales, como el encauzamiento del río y el tratamiento integral de la microcuenca, para reducir la exposición de la población ante estos peligros. Este antecedente constituye un referente directo para la determinación del peligro por inundación fluvial en el área de estudio de la presente investigación, al tratarse de la misma microcuenca del río Lucre.

La Autoridad Nacional del Agua (2015), en su Mapa de rutas de evacuación Q. Yanamanchi-Lucre, disponible en el SIGRID, identificó las rutas de evacuación frente a eventos de inundación en la quebrada Yanamanchi, dentro del distrito de Lucre. El objetivo del documento fue proporcionar información espacial de referencia para orientar la evacuación de la población ante un eventual desborde de la quebrada. Para ello, se elaboró una cartografía de rutas de evacuación en función de la exposición de las viviendas cercanas al cauce. Como resultado, el mapa presenta el número de habitantes y viviendas que podrían verse afectados de manera directa e indirecta ante inundaciones en la zona. Si bien el documento no constituye una evaluación de riesgo formal, evidencia el reconocimiento institucional de la exposición de la comunidad de Yanamanchi a peligros de origen hídrico, y no llega a conclusiones técnicas sobre niveles de peligro o vulnerabilidad. Este antecedente aporta información espacial de referencia directamente relevante para el presente estudio, al tratarse específicamente de la quebrada Yanamanchi, comunidad y tramo fluvial que no fueron abordados por los demás antecedentes revisados.

3.2. Marco conceptual

Inundación fluvial: De acuerdo con el CENEPRED (2014), este fenómeno se produce cuando el volumen de agua que transporta un río supera la capacidad de conducción de su cauce, provocando el desbordamiento de las aguas hacia las zonas adyacentes en un evento denominado crecida o avenida. Este proceso natural constituye uno de los peligros hidrológicos de mayor recurrencia e impacto sobre la población, la infraestructura y las actividades económicas en territorios con características geomorfológicas de planicie fluvial o llanura de inundación.

Figura 2. Peligros generados por fenómenos de origen natural



Fuente. CENEPRED, 2014.

Evaluación de vulnerabilidad: El Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD (Gobierno del Perú, 2011)) conceptualiza la vulnerabilidad como el grado de susceptibilidad que presenta la población, las edificaciones o las actividades económicas de un territorio frente a los efectos destructivos que puede generar un evento natural peligroso. Siguiendo los lineamientos del Manual del CENEPRED (2014), esta susceptibilidad se evalúa de manera integral a través de cuatro dimensiones: social, económica, ambiental y física, analizando para cada una los componentes de exposición, fragilidad y resiliencia de la población.

Cuantificación del riesgo: El CENEPRED (2014) precisa que el riesgo geológico resulta de la combinación entre el nivel de peligro existente en un territorio y el grado de vulnerabilidad de la población que lo ocupa, y puede cuantificarse en función de las pérdidas humanas y materiales esperadas ante la ocurrencia de un evento de determinada magnitud. Matemáticamente, esta relación fundamental se expresa como: Riesgo = Peligro × Vulnerabilidad, constituyendo el fundamento metodológico sobre el cual se sustenta toda evaluación de riesgo por fenómenos naturales en el marco normativo peruano.

Nivel máximo ordinario y nivel máximo extraordinario: El nivel máximo ordinario (NMO) corresponde a la altura que alcanzan habitualmente las aguas de un río durante sus crecidas recurrentes, asociadas a eventos de ocurrencia frecuente, generalmente anual. El nivel máximo extraordinario (NME) se relaciona con la cota máxima que puede alcanzar el agua frente a avenidas poco frecuentes, vinculadas a periodos de retorno del orden de 10, 25, 50, 100 o hasta 500 años. Ambos niveles son parámetros fundamentales para la delimitación cartográfica de zonas potencialmente inundables y para la definición del nivel de peligro en estudios de evaluación del riesgo por inundación fluvial.

3.3. Bases teóricas

El **peligro** ha sido abordado por **White (1974) y Varnes (1984)** como un fenómeno con potencial de producir daño, enfoque que posteriormente fue incorporado en los marcos técnicos de gestión del riesgo, incluido el de CENEPRED en el Perú.

La **vulnerabilidad** fue desarrollada como un concepto central por autores como **Hewitt (1983)** y luego profundizada por **Wisner, Blaikie, Cannon y Davis**. Ellos plantean que la vulnerabilidad no es solo física, sino también social, económica, política y territorial, y que determina el grado en que una población puede ser afectada por un peligro.

El concepto de **riesgo** ha sido abordado por varios autores, pero uno de los más citados es **White (1974)**, quien lo relacionó con la vulnuuerabilidad. Después, autores como **Cardona** y **Wilches-Chaux** consolidaron la idea de que el riesgo resulta de la combinación entre un peligro y las condiciones de vulnerabilidad de la población expuesta.

El análisis del **riesgo de inundación** puede sustentarse en metodologías multicriterio, las cuales permiten integrar variables físicas, hidrológicas y sociales en una evaluación espacial más precisa. En este marco, Saaty desarrolló el **Proceso Analítico Jerárquico (AHP)** en la década de 1970, metodología que emplea la comparación por pares para asignar pesos relativos a los criterios evaluados y facilitar la toma de decisiones en contextos complejos (Saaty, 1977, 1980).

En estudios de riesgo y desastres, este enfoque ha sido aplicado para ponderar factores como población, vivienda e infraestructura, así como para evaluar la peligrosidad por inundación.

Medina et al. (2021). Peligro geológico por movimientos en masa e inundación fluvial en la ciudad de Cusco. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, N° 80.

Este boletín del INGEMMET identifica y caracteriza los peligros geológicos presentes en la ciudad del Cusco, incluyendo inundaciones fluviales, mediante el método heurístico basado en el juicio experto del geólogo y la ponderación cartográfica de factores condicionantes y desencadenantes. Su metodología constituye la base teórica principal para la determinación del peligro geológico en la presente investigación, dado que el análisis desde la perspectiva geológica resulta más detallado y preciso para la zonificación de la susceptibilidad por inundación fluvial en la microcuenca del río Lucre.

Carlotto et al. (2011). Geología del cuadrángulo de Cusco, hoja 28-s, escala 1:50,000. INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional, N° 138, 255 p.

En este boletín del INGEMMET se describen las principales formaciones geológicas que afloran en el cuadrángulo de Cusco (Hoja 28-s), el cual comprende el área de estudio de la comunidad de Yanamanchi en el distrito de Lucre. El documento caracteriza los dominios estructurales presentes en la zona, así como las principales unidades geológicas, geomorfológicas del área. Su revisión resulta fundamental para la presente investigación, ya que permite conocer la litología y estructura geológica regional del área de estudio, información base indispensable para la identificación de los factores condicionantes del peligro geológico por inundación fluvial en la microcuenca del río Lucre.

3.4. Bases legales

Gobierno del Perú. (2011). Decreto Supremo N° 048-2011-PCM. Reglamento de la Ley N° 29664, Ley que crea el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD). Presidencia del Consejo de Ministros.

Este decreto supremo reglamenta la Ley N° 29664 y rige el funcionamiento del SINAGERD como sistema interinstitucional y descentralizado, cuya finalidad es identificar, estimar, prevenir, reducir y controlar los riesgos originados por peligros naturales, así como evitar la generación de nuevos riesgos y fortalecer las capacidades de preparación y respuesta ante desastres. Constituye el marco legal de mayor jerarquía en materia de Gestión del Riesgo de Desastres en el Perú, por lo que los conceptos de peligro, vulnerabilidad y riesgo utilizados en la presente tesis se sustentan en las definiciones establecidas en este reglamento.

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.). Dirección de Gestión de Procesos.

Este manual establece el procedimiento técnico estandarizado para evaluar el peligro, la vulnerabilidad y el riesgo de desastres de origen natural en el Perú. Define la metodología para cuantificar y estratificar los niveles de vulnerabilidad en sus dimensiones social, económica, ambiental y física, así como los criterios para determinar la tolerabilidad y aceptabilidad del riesgo. Es el instrumento metodológico de mayor uso en la presente tesis, especialmente en el análisis de vulnerabilidad y en la estimación del riesgo geológico por inundación fluvial en la comunidad de Yanamanchi, al proporcionar los parámetros, descriptores y matrices de cálculo necesarios para la determinación del nivel de riesgo a escala de lote.

CAPÍTULO IV. GEOMORFOLOGÍA

4.1. CONSIDERACIONES GENERALES

Este capítulo presenta las consideraciones generales de la geomorfología del área de estudio, describiendo las principales unidades del relieve, la configuración de pendientes y las formas del terreno que condicionan la dinámica superficial. Su desarrollo permite establecer la relación entre el modelado geomorfológico y la ocurrencia de procesos geodinámicos, aportando criterios de base para el análisis del peligro y del riesgo.

4.2. GEOMORFOLOGÍA REGIONAL

Según Dávila (2011), la geomorfología es la ciencia encargada de estudiar las formas del relieve terrestre, analizando su origen, la naturaleza litológica de los materiales que las componen, el clima predominante y la influencia de los procesos endógenos y exógenos que las modelan a lo largo del tiempo. En el cuadrángulo de Cusco, Carlotto et al. (2011) describen cuatro dominios morfoestructurales principales: la Cordillera Oriental, la zona intermedia Altiplano–Cordillera Oriental, el Altiplano y el borde noreste de la Cordillera Occidental, cada uno con características geológicas y evolutivas propias que condicionan los procesos de geodinámica externa y el comportamiento hidrológico del área de estudio.

4.2.1. Unidades geomorfológicas regionales

4.2.2. Montaña estructural en roca sedimentaria (RME-rs)

En la parte alta de la microcuenca se desarrollan montañas estructurales talladas en secuencias sedimentarias plegadas y falladas, con laderas fuertemente inclinadas y relieve muy energético. Estas montañas, descritas por Carlotto et al. (2011) como relieves de la Cordillera Oriental, funcionan como zonas de captación donde las precipitaciones intensas generan escorrentía rápida hacia las quebradas de cabecera, alimentando los caudales del río Lucre y sus tributarios y contribuyendo a incrementar los caudales pico que luego se manifiestan como crecidas en las zonas bajas.

4.2.1.1. Colina en roca sedimentaria (RC-rs)

En el entorno del valle de Lucre se identifican colinas en roca sedimentaria de altitud intermedia, con cimas suaves y laderas de pendiente moderada que actúan como divisorias locales entre subcuencas. Carlotto et al. (2011) describen estas colinas como relieves que rodean los valles interandinos, desviando y concentrando la escorrentía hacia el eje del valle y hacia las depresiones lacustres, de manera que los aportes hídricos terminan drenando hacia el río Lucre y el humedal Lucre-Huacarpay, reforzando el papel de estas geoformas en la alimentación del sistema de inundación en las partes bajas.

4.2.1.2. Bofedales (Bo)

En las depresiones del cuadrángulo de Cusco, se desarrollan bofedales y el humedal mesoandino Lucre-Huacarpay, formados por suelos orgánicos saturados y cuerpos de agua someros que actúan como reservorios naturales. Carlotto et al. (2011) señalan que estos ambientes almacenan temporalmente el agua de escorrentía, lo que ayuda a amortiguar parcialmente las crecidas; sin embargo, cuando su capacidad se ve superada, el excedente se desborda sobre las llanuras de inundación cercanas, generando anegamientos recurrentes en la zona baja cercana a la laguna de Huacarpay.

4.2.1.3. Vertiente o piedemonte coluvio-deluvial (V-cd)

Entre las montañas estructurales y las zonas más bajas se desarrolla una franja de vertientes y piedemontes coluvio-deluviales formada por la acumulación de materiales sueltos provenientes del desmantelamiento de las laderas. Carlotto et al. (2011) señalan que estos depósitos de pendiente poco consolidados son muy sensibles a la erosión hídrica, de modo que, durante lluvias intensas, aportan importantes volúmenes de sedimentos hacia las quebradas y el río, favoreciendo la colmatación de cauces y la reducción de su capacidad hidráulica, lo cual incrementa la probabilidad de desbordes en los tramos bajos de la microcuenca de Lucre.

4.2.1.4. Vertiente con depósito de deslizamiento (V-dd)

En diversas laderas, Carlotto et al. (2011) identifican vertientes con depósitos de deslizamiento, caracterizadas por escarpes de arranque y cuerpos de material removilizado en la

base de las pendientes. Aunque estos depósitos están asociados principalmente a procesos de movimientos en masa, su presencia en la cuenca de Lucre implica la existencia de grandes volúmenes de material suelto que pueden ser removilizados y transportados hacia los cauces durante episodios de lluvia, contribuyendo a la obstrucción parcial de secciones fluviales y, con ello, a la generación o agravamiento de inundaciones aguas abajo.

4.2.1.5. Vertiente o piedemonte aluvio-torrencial (P-at)

En las transiciones entre las quebradas de montaña y el valle se desarrollan abanicos y conos aluvio-torrenciales, construidos por la deposición de gravas y arenas durante eventos de flujos rápidos. Carlotto et al. (2011) describen estas geoformas como superficies inclinadas que pueden concentrar flujos de alta energía cuando coinciden lluvias intensas en la cuenca alta, de modo que, si estos depósitos interceptan el cauce del río Lucre o de sus tributarios, pueden desviar o estrangular el flujo, generando puntos críticos para la formación de inundaciones y desbordes en el valle.

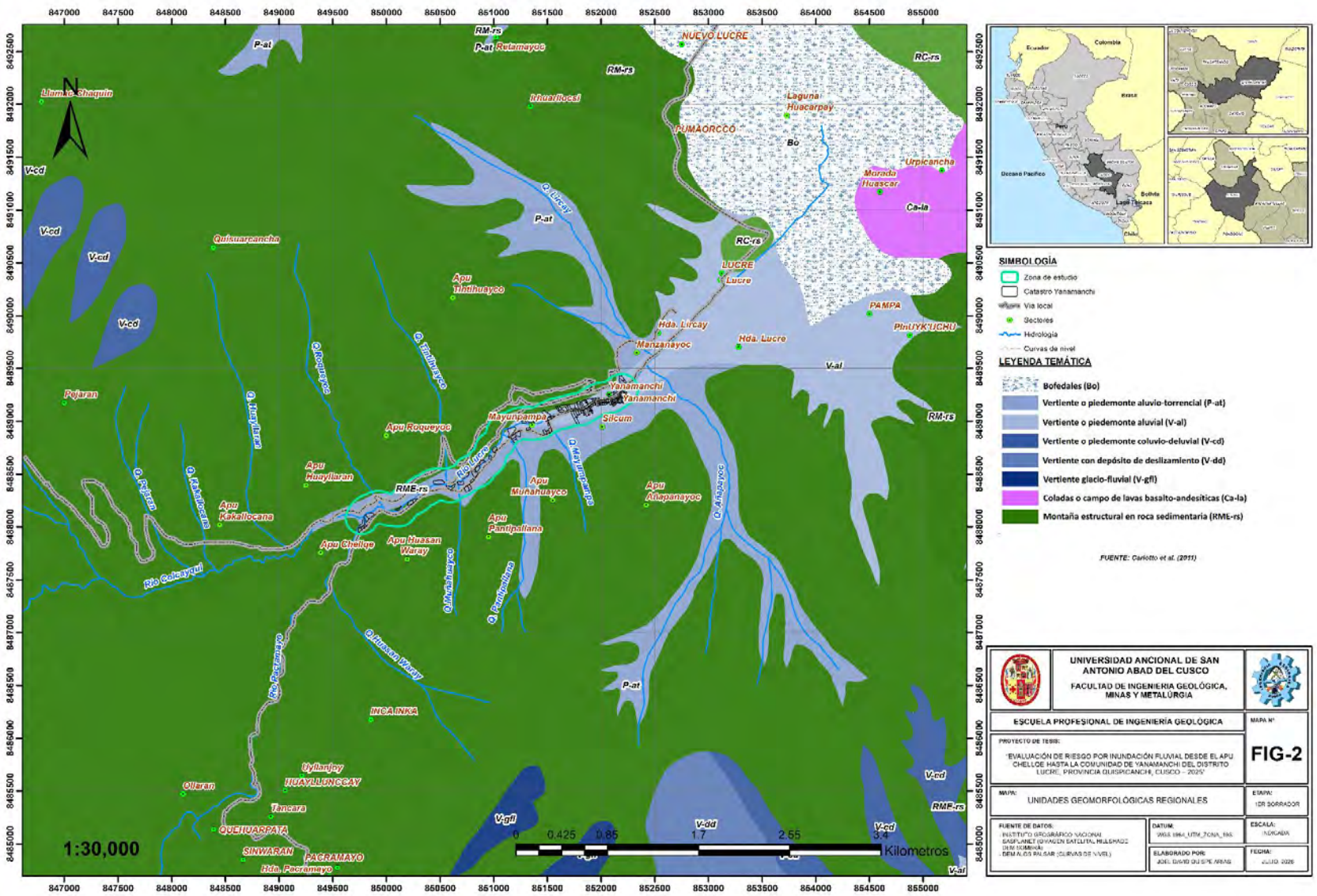
4.2.1.6. Vertiente o piedemonte aluvial (V-al)

En el entorno del poblado de Lucre y de las zonas agrícolas adyacentes se reconocen superficies aluviales suavemente inclinadas (terrazas y planicies aluviales) formadas por depósitos fluviales recientes. Carlotto et al. (2011) señalan que, estas geoformas corresponden a llanuras y terrazas de inundación asociadas a los ríos interandinos, de modo que constituyen, desde el punto de vista geomorfológico, áreas naturalmente expuestas a la inundación fluvial ordinaria y extraordinaria cuando el cauce de Lucre incrementa su caudal y desborda sus márgenes.

4.2.1.7. Cauce de rio (Río)

El cauce del río Lucre forma parte del sistema fluvial interandino descrito por Carlotto et al. (2011), donde los ríos presentan tramos encajonados en roca y tramos más abiertos en valle con depósitos aluviales recientes. En los sectores en que el cauce se asienta sobre llanuras aluviales, factores que, según la cartografía regional, hacen que estas zonas funcionen como llanuras de inundación natural con alta probabilidad de anegamiento durante crecidas.

Figura 3. Mapa de geomorfología regional



Fuente. Elaboración propia

4.3. PENDIENTES DE TERRENO

La pendiente del terreno constituye uno de los parámetros geomorfológicos de mayor relevancia en la evaluación del peligro geológico por inundación fluvial, dado que condiciona directamente la velocidad de escorrentía superficial, el transporte de sedimentos y la configuración de las geoformas fluviales ***(Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas [PMA: GCA], 2007).*** Terrenos con pendientes bajas favorecen la acumulación de agua y la formación de llanuras de inundación, mientras que pendientes elevadas aceleran la concentración del flujo hacia los cauces, incrementando el caudal pico y la energía erosiva del río. Asimismo, la combinación entre la morfología del terreno y las características litológicas determina el comportamiento hidrológico de la cuenca ante eventos de precipitación extrema, siendo la pendiente uno de los factores condicionantes más importantes en la zonificación de la susceptibilidad geológica a inundaciones fluviales (PMA: GCA, 2007).

4.3.1. Superficie llana a suavemente inclinada (0°-5°)

Esta categoría de superficie es la predominante en el área de estudio, correspondiendo principalmente a las geoformas de llanura fluvial, planicie aluvial y terrazas bajas adyacentes al cauce principal del río Lucre y la quebrada Yanamanchi. ***De acuerdo con el PMA: GCA (2007),*** los terrenos con pendiente inferior a 5° que conforman geoformas de llanura o planicie inundable presentan susceptibilidad muy alta a la inundación fluvial, ya que la escasa diferencia de nivel entre el terreno y el espejo de agua del río facilita el ingreso del flujo desbordado hacia las zonas ribereñas durante los eventos de crecida. Es precisamente en esta franja donde se concentra la mayor exposición de la población y la infraestructura frente al peligro por inundación fluvial, constituyendo la unidad geomorfológica de mayor criticidad en la presente evaluación de riesgo.

4.3.2. Superficie con pendiente moderada (5°-15°)

Los terrenos de superficie con pendiente moderada se ubican en zonas de transición entre la llanura de inundación y los relieves más elevados de la cuenca, correspondiendo a terrazas medias levemente inclinadas y abanicos aluviales con pendiente moderada. ***Según el PMA: GCA (2007),*** esta categoría presenta susceptibilidad media a baja frente a la inundación fluvial,

pudiendo verse afectada únicamente durante eventos de crecida de alta magnitud con períodos de retorno prolongados, cuando el volumen de agua desbordada supera los límites de la llanura de inundación ordinaria. Su principal rol en la dinámica hidrológica es el de zona de aporte hídrico al cauce principal, incrementando el caudal del río mediante escorrentía superficial durante los eventos de precipitación intensa.

4.3.3. Ladera ligeramente empinada (15°-25°)

Esta categoría corresponde a laderas bajas e intermedias de la cuenca, donde la velocidad de escorrentía superficial es considerablemente mayor y el tiempo de concentración de las aguas hacia el cauce principal se reduce de forma significativa. ***Según el PMA: GCA (2007),*** estas pendientes actúan fundamentalmente como zonas de aporte hídrico al sistema fluvial, generando flujos superficiales rápidos que incrementan el hidrograma de crecida y elevan el caudal pico del cauce receptor aguas abajo. Adicionalmente, el documento señala que la susceptibilidad a la erosión laminar y en surcos es moderada en estos terrenos, contribuyendo al incremento de la carga de sedimentos en suspensión que el río transporta hasta depositarlos en las zonas de menor energía hidráulica correspondientes a la llanura de inundación.

4.3.4. Ladera moderadamente empinada (25°-45°)

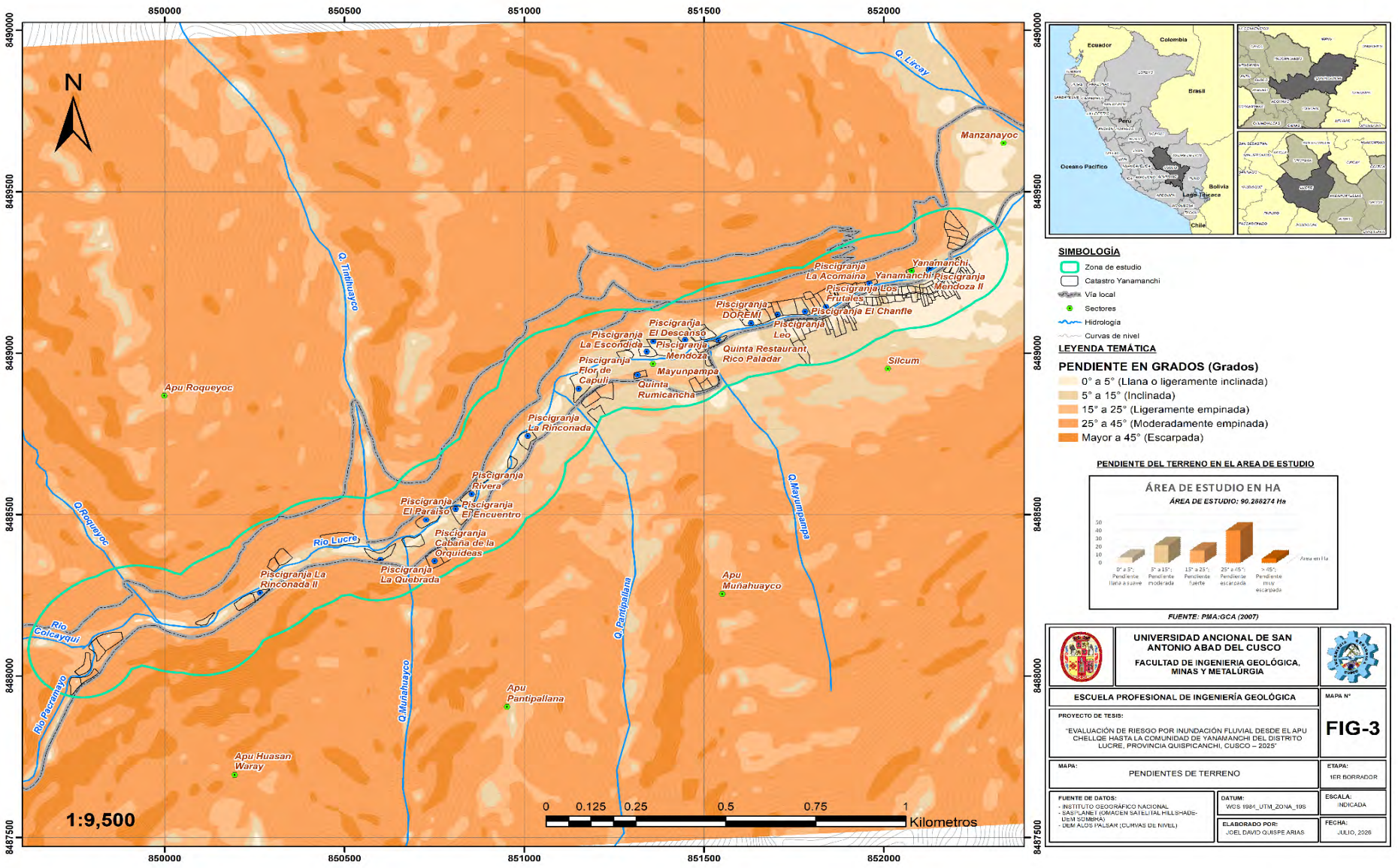
Los terrenos con esta pendiente se presentan en las laderas pronunciadas de la cuenca y en los taludes fluviales que bordean directamente el cauce principal, donde la acción erosiva lateral del río genera un retroceso progresivo de la margen. ***De acuerdo con el PMA: GCA (2007),*** en el contexto de la inundación fluvial estos taludes son especialmente susceptibles a la socavación basal durante las crecidas, proceso mediante el cual el flujo de alta energía erosiona el pie del talud, desestabilizando su base y aportando material sólido al cauce, lo que reduce progresivamente su capacidad hidráulica y favorece el desbordamiento aguas abajo. El mismo documento indica que la elevada velocidad de la escorrentía en estas pendientes también potencia los procesos de erosión lateral e incisión del lecho del río, modificando la geometría del cauce y aumentando el riesgo de inundación en las zonas bajas adyacentes.

4.3.5. Ladera escarpada o muy empinada (>45°)

Los terrenos con pendiente empinada tienen escasa representación de área en la cuenca, asociándose principalmente a escarpes de talud fluvial de alta verticalidad y afloramientos rocosos en los bordes del cauce. ***El PMA: GCA (2007)*** señala que, si bien estas zonas no son directamente susceptibles a inundación fluvial, actúan como superficies de captación y concentración de precipitación pluvial que alimentan de manera rápida e intensa el sistema de drenaje, generando flujos torrenciales que incrementan abruptamente el caudal del cauce principal en tiempos de concentración muy cortos. El documento agrega que la elevada energía erosiva del flujo sobre estas pendientes favorece además la incorporación de material detrítico grueso al sistema fluvial, incrementando la carga sólida total y condicionando la dinámica de depósito en las zonas bajas de la cuenca, donde se concentra el mayor peligro por inundación fluvial.

Fuente.

Figura 4. Mapa de pendientes



Elaboración propia

4.4. GEOMORFOLOGÍA LOCAL

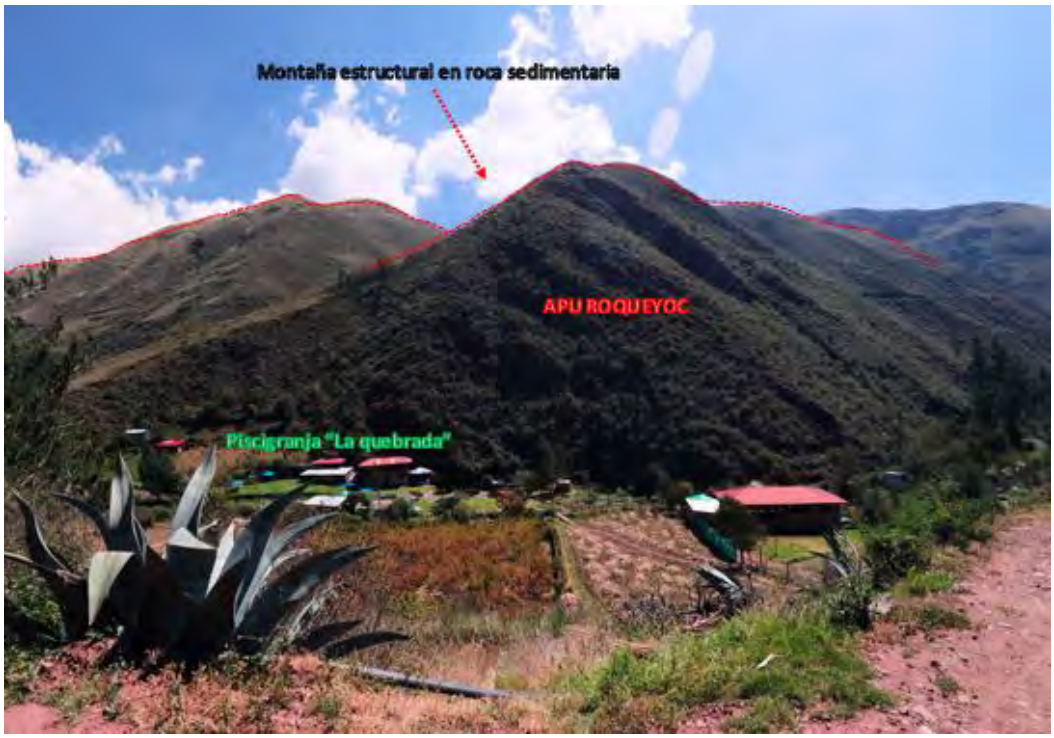
El tramo comprendido entre el Apu Chellqe y el centro poblado de Yanamanchi exhibe una geomorfología local dominada por la interacción entre relieves estructurales tallados en la montaña de la Formación Kayra, vertientes aluviales, proluviales, coluviales, fluviales que reflejan la evolución cuaternaria del valle del río Lucre. El control estructural y litológico condiciona la distribución de las geoformas desde las crestas montañosas hasta la llanura fluvial activa.

4.4.1. Unidades geomorfológicas locales

4.4.1.1. Montaña estructural en roca sedimentaria (RME-rs)

Las geoformas de mayor altitud relativa en el tramo corresponden a las montañas estructurales en roca sedimentaria, que conforman los macizos del Apu Chellqe y los relieves que encuadran el valle por ambas márgenes, labrados sobre las areniscas y lutitas de la Formación Kayra del Grupo San Jerónimo. Esta unidad geológica constituye la geología aflorante predominante en las partes altas de la cuenca, presentando estratos de areniscas cuarzosas intercaladas con lutitas rojizas, característicos de un ambiente de depósito continental. Presentan pendientes que varían entre 25° y más de 45°, estas montañas aparecen en todo el corredor del valle, como en el Apu Roqueyoc; geomorfológicamente funcionan como zonas de captación pluvial de alta eficiencia, donde las precipitaciones intensas generan escorrentía superficial rápida y concentrada que alimenta los cauces de quebrada y, finalmente, el caudal del río Lucre, determinando la magnitud de las crecidas que afectan las geoformas bajas del tramo.

Fotografía 1. Montaña estructural en roca sedimentaria en el Apu Roqueyoc



Fuente. Elaboración propia

4.4.1.2. Ladera de montaña en roca sedimentaria (LM-rs)

Las laderas de montaña en roca sedimentaria corresponden a las vertientes intermedias de los relieves de la Formación Kayra, ubicadas entre las crestas estructurales y el pie de los Apus Husan Huaray y Roqueyoc. La geología aflorante en esta unidad está constituida por la alternancia de horizontes de arenisca cuarzosa resistente y niveles de lutita, presenta pendientes que serían mayores a 45° °, en los sectores de contacto con las crestas estructurales de la montaña. Estas laderas presentan procesos activos de erosión hídrica y eolica, favorecidos por la alternancia de horizontes de arenisca resistente. Constituyen superficies de transferencia de sedimentos entre las crestas montañosas y los depósitos de pie del Apu Huasan Huaray, canalizando la escorrentía hacia las quebradas tributarias del río Lucre y aportando carga sólida que alimenta los depósitos coluviales, proluviales y aluviales del fondo de valle.

Fotografía 2. Ladera de montaña en roca sedimentaria en el Apu Roqueyoc

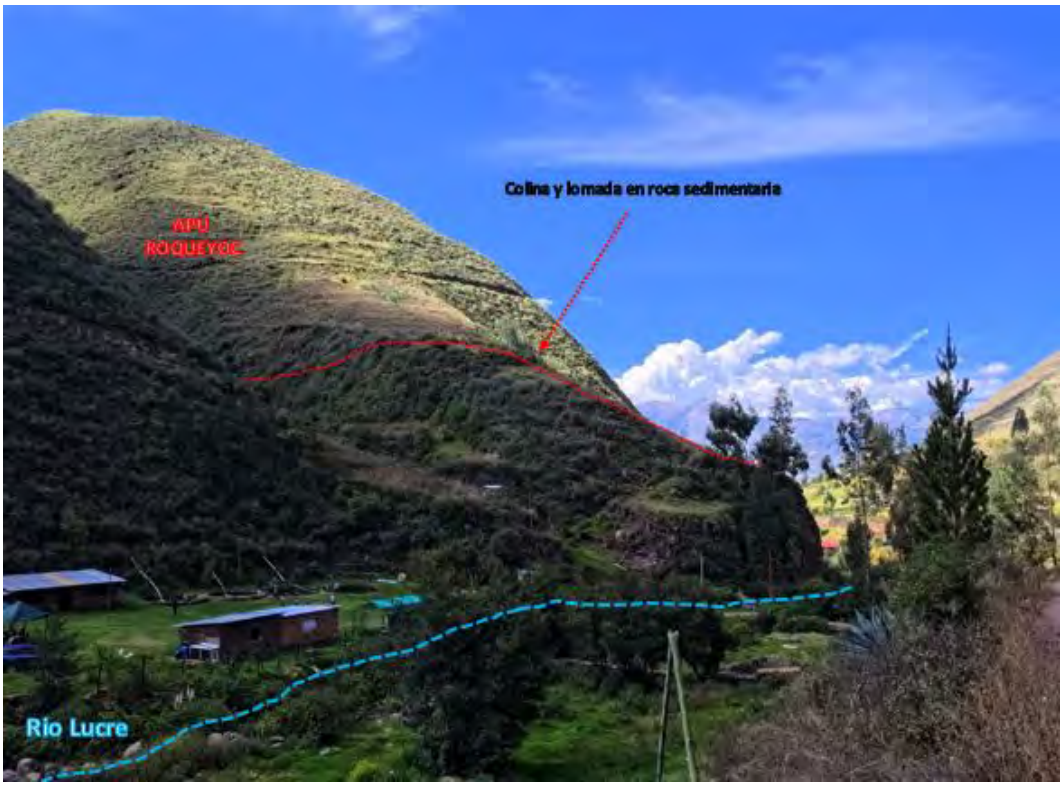


Fuente. Elaboración propia

4.4.1.3. Colina y lomada en roca sedimentaria (RCL-rs)

Las colinas y lomadas en roca sedimentaria están dispuestas en los sectores de menor energía de relieve del tramo, donde las areniscas de la Formación Kayra han sido más intensamente disectadas por la erosión. Esta geoforma se presenta en los flancos bajos del Apu Roqueyoc, en el tránsito hacia el fondo de valle. La geología aflorante en esta unidad corresponde a los mismos estratos de areniscas cuarzosas y lutitas de la Formación Kayra identificados en las geoformas superiores, aunque aquí se presentan más meteorizados y con menor expresión estructural, generando cimas redondeadas o suavemente aplanadas con laderas de pendiente moderada. Presenta pendientes que varían entre 5° y 15° y alcanzan también los 15°-25° en los tramos de ladera más disectados. En el tramo estudiado, las colinas y lomadas actúan como divisorias locales entre quebradas afluentes al río Lucre, desviando la escorrentía hacia el eje del valle y contribuyendo con sus laderas al aporte de sedimentos finos hacia las terrazas aluviales.

Fotografía 3. Colina y lomada en roca sedimentaria en el Apu Roqueyoc



Fuente. Elaboración propia

4.4.1.4. Colina y lomada disectada en roca sedimentaria (RCLD-rs)

En la colina y lomada disectada se observa cómo la red de drenaje ha fragmentado el relieve en interfluvios estrechos, con laderas cortas y pendientes más pronunciadas. Esta geoforma se encuentra en el Apu Roqueyoc, en los sectores donde la disección fluvial ha actuado con mayor intensidad sobre el relieve original de colinas y lomadas. La geología aflorante corresponde a las mismas areniscas y lutitas de la Formación Kayra, aunque aquí la mayor densidad de drenaje y la erosionabilidad de estas litologías han favorecido una pendiente vertical más marcada que en las colinas no disectadas. Presenta pendientes que varían entre 25° y 45°, con sectores puntuales que superan este rango en las crestas agudas y laderas cortas generadas por la incisión de los cursos de agua. En el contexto local, estas colinas disectadas generan mayor producción de sedimentos por unidad de área que las colinas no disectadas, constituyendo fuentes activas de material suelto que se incorpora al sistema fluvial del río Lucre mediante flujos de escorrentía concentrada en los episodios de lluvia intensa.

Fotografía 4. Colina y lomada disectada en roca sedimentaria en el Apu Roqueyoc



Fuente. Elaboración propia

4.4.1.5. Vertiente con depósito de deslizamiento (V-dd)

En sectores puntuales de las laderas, identificables entre montañas y colinas, se reconocen vertientes con depósito de deslizamiento, caracterizadas por escarpes de arranque en la parte alta, cuerpos irregulares de material removilizado y depósitos de acumulación en la base de pendiente. Esta geoforma se localiza en el Apu Chellqe, en sectores donde la ladera presenta condiciones estructurales favorables para la inestabilidad. La geología aflorante corresponde a las areniscas y lutitas de la Formación Kayra y depósitos eluviales, cuyos contactos litológicos constituyen planos de discontinuidad que condicionan la rotura del talud. Estos depósitos se asocian a laderas con planos de discontinuidad desfavorables contactos de arenisca que favorecen la rotura por deslizamiento rotacional. Presenta pendientes que varían entre 25° y 35°, correspondiendo a la categoría de ladera moderadamente empinada, rango en el cual se concentran las condiciones críticas de equilibrio de talud. Geomorfológicamente, estos cuerpos tienen una doble relevancia: como fuentes de carga sólida gruesa que puede obstruir parcialmente el cauce del río Lucre y reducir su capacidad hidráulica, y como indicadores de zonas de ladera inestables que pueden

reactivarse durante eventos de lluvia extrema, amplificando el peligro combinado de flujo de detritos e inundación en el tramo.

Fotografía 5. Vertiente con depósito de deslizamiento activo en ladera inestable en el Apu Chellqe



Fuente. Elaboración propia

4.4.1.6. Vertiente o piedemonte aluvio-torrencial (P-at)

Las vertientes o piedemontes aluvio-torrenciales se desarrollan en las zonas de desembocadura de quebrada Roqueyoc, que drenan las laderas montañosas hacia el corredor fluvial del río Lucre, formando abanicos y conos de morfología levemente convexa y perfil inclinado. La geología aflorante en esta unidad corresponde a depósitos recientes no consolidados, constituidos por una mezcla heterométrica de clastos y matriz areno-limosa provenientes de la meteorización y erosión de las areniscas y lutitas de la Formación Kayra de las laderas circundantes. Estas geoformas como superficies de acumulación generadas por flujos de alta energía (flujos de detritos y flujos hiperconcentrados) durante eventos de precipitación intensa concentrada en cuencas pequeñas de alta pendiente. Presenta pendientes que varían entre 15° y 25°, correspondiendo a la categoría de superficie con pendiente moderada propia de las zonas de

acumulación distal. En el tramo Apu Chellqe -Yanamanchi, estas geoformas se ubican en el sector del Apu Chellqe y en las desembocaduras de quebradas laterales, destacando la quebrada localizada entre el Apu Roqueyoc y el Apu Huallaran, cuyo cauce confluye con el cauce principal del río Lucre en este sector, constituyendo superficies de peligro dual: susceptibles tanto a flujos torrenciales que descienden por las quebradas como a la inundación fluvial del río Lucre cuando este desborda su cauce durante crecidas.

Fotografía 6. Vertiente o piedemonte aluvio-torrencial en la quebrada Roqueyoc



Fuente. Elaboración propia

4.4.1.7. Vertiente o piedemonte aluvial (V-al)

La vertiente o piedemonte aluvial corresponde a superficies de acumulación de materiales fluviales relativamente bien seleccionados, depositados por flujos de agua de baja a moderada energía en las márgenes del valle. Esta geoforma se localiza en el sector del río Colcaiqui hasta el cauce del rio Lucre, en el tramo donde este confluye con el corredor fluvial en estudio. La geología aflorante corresponde a depósitos aluviales inconsolidados constituidos por gravas, arenas y limos, con un grado de selección y redondez mayor al de los depósitos aluvio-

torrenciales, producto de un transporte fluvial más prolongado. Estas superficies corresponden a terrazas y conos aluviales de pendiente suave, formados durante etapas previas de mayor actividad fluvial del río Lucre. Presenta pendientes que varían entre 0° y 5°, correspondiendo a la categoría de superficie llana a suavemente inclinada. En la geomorfología local del tramo, estas geoformas forman la segunda franja lateral al cauce, con distancias algo superiores a la terraza baja, y aunque en condiciones normales no son inundadas, durante eventos extraordinarios pueden ser alcanzadas por la inundación máxima, especialmente donde la llanura se estrecha.

Fotografía 7. Vertiente o piedemonte aluvial con depósitos fluviales en el rio Colcaiqui



Fuente. Elaboración propia

4.4.1.8. Terraza baja aluvial (Tb-al)

La terraza baja aluvial constituye la geoforma de acumulación fluvial más reciente del tramo, ubicada a una distancia mínima respecto al nivel del río. Esta geoforma se localiza en el sector del río Colcaiqui también a lo largo del tramo del rio Lucre, ocupando la franja inmediata al cauce activo. La geología aflorante corresponde a depósitos aluvio-fluviales activa, compuestos por gravas y arenas poco consolidadas con suelos inmaduros, generados por los sucesivos desbordes y migraciones laterales del cauce durante los eventos recientes. Estas terrazas bajo estas

mismas características litológicas y de génesis. Presenta pendientes que varían entre 0° y 5°, correspondiendo a la categoría de superficie llana a suavemente inclinada, la más baja de toda la secuencia geomorfológica del tramo. En la geomorfología local del tramo Apu Chellqe - Yanamanchi, esta geoforma tiene media a mayor exposición al peligro de inundación fluvial; su escasa diferencia de distancia respecto al lecho activo hace que sea cubierta por las aguas incluso en eventos de crecida de eventos máximos, y la presencia de actividad agrícola intensiva sobre ella incrementa directamente la vulnerabilidad de los elementos expuestos.

Fotografía 8. Terraza baja aluvial al lado del rio Colcaiqui



Fuente. Elaboración propia

4.4.1.9. Llanura o planicie inundable (Pl-i)

La llanura o planicie inundable corresponde a la superficie más plana y extensa del fondo de valle, resultante de la acumulación de sedimentos fluviales finos durante crecidas sucesivas del río Lucre a lo largo de eventos recientes. Esta geoforma se localiza en el sector del río Lucre, en el tramo donde el valle presenta su mayor amplitud lateral. La geología aflorante corresponde a depósitos fluviales recientes de limos y arcillas, con intercalaciones menores de arenas finas, característicos de ambientes de baja energía de depositación. Estas llanuras son características de los tramos inferiores de los valles interandinos, donde la reducción del gradiente hidráulico

favorece la deposición de limos y arcillas en eventos de desborde. Presenta pendientes que varían entre 0° y 5°, correspondiendo a la categoría de superficie llana a suavemente inclinada, la de menor gradiente de toda la secuencia geomorfológica del tramo. En el tramo estudiado, la planicie inundable se desarrolla principalmente en el sector de Yanamanchi, donde el valle se abre ligeramente y el río pierde confinamiento lateral; geomorfológicamente, esta geoforma constituye el espacio donde la energía del flujo de crecida se disipa, expandiendo el agua sobre una superficie amplia de baja pendiente que abarca tanto las áreas agrícolas como los sectores de pendiente baja del centro poblado.

Fotografía 9. Llanura o planicie inundable, superficie plana susceptible del rio Lucre



Fuente. Elaboración propia

4.4.1.10. Cauce del río (Río)

El cauce del río Lucre constituye la unidad geomorfológica más dinámica y activa del sistema local, siendo el eje central del tramo de estudio comprendido entre el Apu Chellqe y Yanamanchi. La geología aflorante en el lecho corresponde a depósitos fluviales recientes no consolidados, constituidos por gravas, cantos y arenas transportados activamente por el flujo, en constante removilización durante los eventos de crecida. Se señala que el cauce del rio Lucre

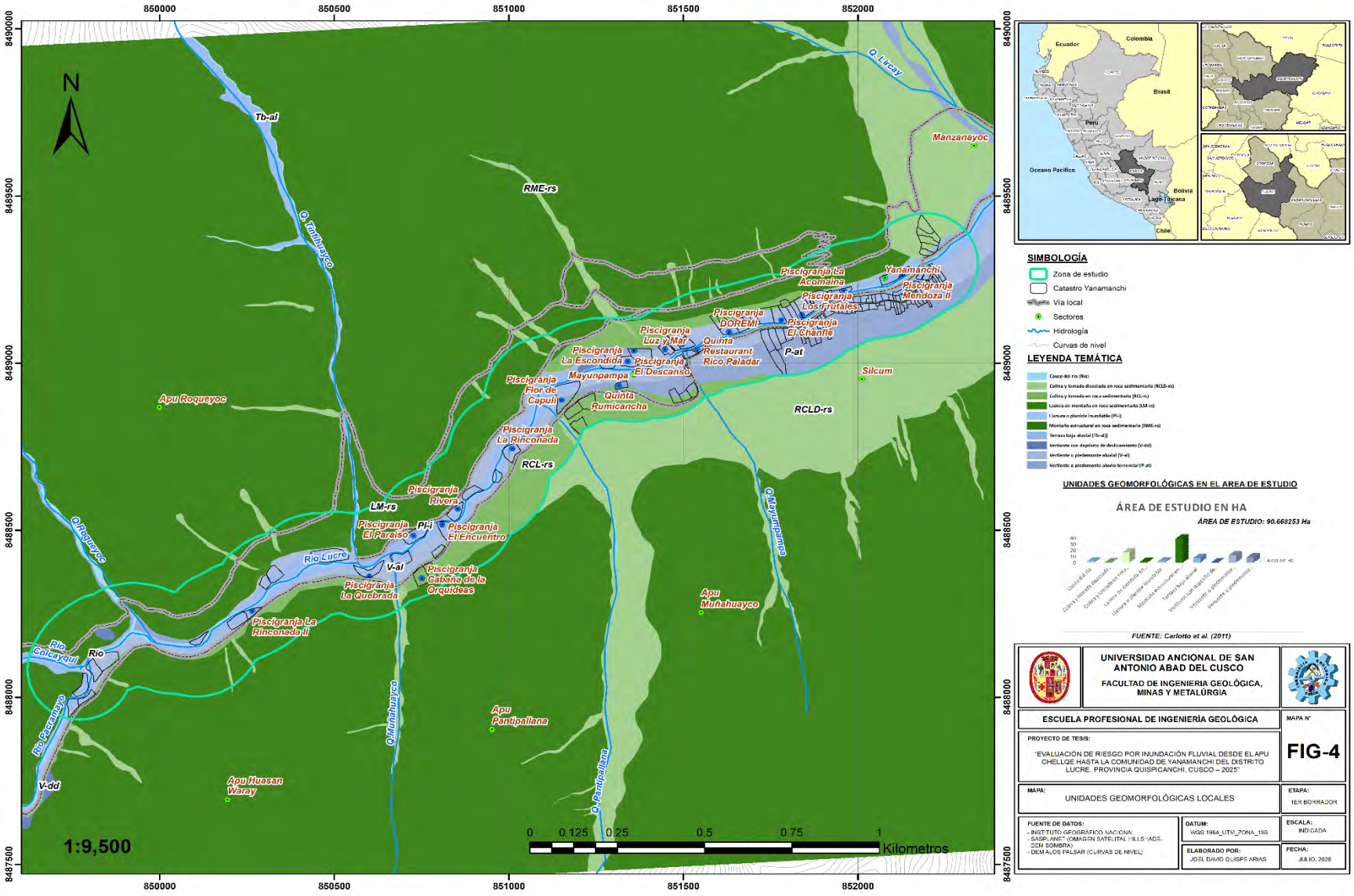
exhiben morfología estrecha en los tramos de mayor pendiente como el sector del Apu Chellqe y amplia en los sectores de menor gradiente próximos a Yanamanchi. Presenta pendientes que varían entre 0° y 5° en los tramos de menor gradiente, pudiendo incrementarse localmente en los sectores confinados de mayor encajonamiento. Esta variabilidad morfológica del cauce define los puntos críticos de erosión lateral sobre las terrazas bajas aluviales y la llanura inundable: en los tramos encajonados predomina la socavación de orillas, mientras que en los tramos más abiertos el río tiende a migrar lateralmente, ampliando la llanura de inundación y aumentando el área potencialmente afectada por las crecidas del río Lucre.

Fotografía 10. Cauce activo del río Lucre



Fuente. Elaboración propia

Figura 5. Mapa de geomorfología local



Fuente. Elaboración propia

CAPÍTULO V. GEOLOGÍA

5.1. CONSIDERACIONES GENERALES

Este capítulo presenta las consideraciones generales de la geología del área de estudio, abarcando la descripción de las unidades litológicas y de las estructuras geológicas que conforman el medio físico. El análisis incluye la geología local y los procesos que han modelado el territorio, con el fin de aportar criterios técnicos para la interpretación de los peligros geológicos y su influencia en la ocupación urbana del área.

5.2. GEOLOGÍA REGIONAL

En el ámbito de la zona de Lucre–Huacarpay se emplaza en el borde de un valle interandino donde afloran principalmente secuencias sedimentarias del Cretácico superior–Cenozoico y depósitos cuaternarios asociados a la evolución del valle del Huatanay y del humedal Lucre-Huacarpay. De acuerdo con la "Geología del cuadrángulo de Cusco, hoja 28-s" (Boletín 138, INGEMMET) y estudios específicos del distrito de Lucre, en el área de estudio se reconocen como unidades más representativas las formaciones Quilque, Caicay, el Grupo San Jerónimo (Formaciones Kayra y Soncco), la Formación San Sebastián y depósitos cuaternarios fluviales, aluviales y lacustres relacionados con la dinámica del río Lucre y la laguna de Huacarpay.

5.2.1. Unidades litoestratigráficas regionales

5.2.1.1. Grupo Mitu (PET-mi2) - Triásico superior – Jurásico inferior

El Grupo Mitu, descrito por Carlotto et al. (2011), aflora en los anticlinales del Vilcanota y de Rondobamba, en la zona intermedia Altiplano–Cordillera Oriental que flanquea el valle donde se ubica la zona de estudio. El **Miembro Inferior (Formación Pisac)** está conformado por conglomerados y brechas con areniscas y limolitas rojas, interpretados como depósitos de conos aluviales en un contexto de tectónica sinsedimentaria. El **Miembro Superior (Formación Pachatusan)** está constituido por coladas basálticas, aglomerados y brechas volcánicas de color rojo violáceo, emplazados de manera intercalada con los sedimentos de la Formación Pisac.

5.2.1.2. Formación Caicay (Jms-cc3) - Jurásico medio

La Formación Caicay, identificada y descrita por Carlotto et al. (2011) como una unidad de ambiente fluvio-eólico, aflora en franjas paralelas a las fallas Urcos–Vilcanota en los sectores adyacentes a la zona de estudio. Está constituida por areniscas cuarzosas rojizas a blancas de grano fino a medio, intercaladas con coladas basálticas espilíticas que evidencian actividad volcánica coetánea con la sedimentación continental. Junto con la Formación Huancané, constituye uno de los principales acuíferos de la región de Cusco, siendo explotado mediante la galería filtrante de Oropesa, ubicada en el sector del Huatanay muy próximo a Lucre.

5.2.1.3. Formación Huancané (Ki-hua3) - Cretácico inferior

La Formación Huancané, descrita por Carlotto et al. (2011), sobreyace en discordancia a la Formación Caicay o al Grupo Mitu y está conformada por dos miembros: un miembro inferior con conglomerados y areniscas feldespáticas de ambiente fluvial de alta energía, y un miembro superior dominado por areniscas cuarzosas blancas bien seleccionadas de ambiente fluvio-eólico. Esta formación aflora en los anticlinales de Rondobamba y Vilcanota, en las laderas próximas a Huambutío y Lucre, y fue aprovechada hidráulicamente desde épocas incas, como lo demuestra la captación de Tipón, que extrae agua de este acuífero.

5.2.1.4. Grupo Yuncaypata (Ki-pau3) - Cretácico medio

El Grupo Yuncaypata agrupa las unidades cretácicas de plataforma marina que se depositaron sobre la cuenca del umbral Cusco–Puno. La Formación Paucarbamba, descrita por Carlotto et al. (2011) como el miembro basal del grupo, está constituida por lutitas negras, limolitas y areniscas finas intercaladas con niveles de calizas y yesos. En el área de estudio, estas rocas impermeables, plásticas y con yesos, son especialmente sensibles a los procesos de deslizamiento y flujo de lodo cuando están en contacto con agua, constituyendo un factor de inestabilidad de laderas que puede contribuir a la carga sólida del río Lucre durante periodos de lluvias intensas.

5.2.1.5. Formación Maras (Kis-ma3) - Cretácico medio

La Formación Maras, cartografiada por Carlotto et al. (2011), es una secuencia de evaporitas y rocas pelíticas que incluye yesos masivos, lutitas yesíferas y margas, depositados en un ambiente de llanura salina. En la zona de Lucre–Huacarpay, los afloramientos de la Formación Maras tienen relevancia por su comportamiento diapírico, ya que el yeso fluye plásticamente bajo presión y puede cortar y desplazar las estructuras suprayacentes; además, la disolución kárstica de los yesos puede generar subsidencia localizada que compromete la estabilidad del terreno en sectores próximos al humedal.

5.2.1.6. Formación Quilque (Pp-qu3) - Paleoceno inferior

La Formación Quilque, descrita por Carlotto et al. (2011), representa la primera unidad continental cenozoica que se depositó en la cuenca interandina de Cusco, en discordancia sobre las unidades cretácicas. Está constituida por lutitas rojas de llanura de inundación con intercalaciones de areniscas de canal y niveles de yeso, lo que evidencia un ambiente árido a semiárido de planicie aluvial. En el área de estudio aflora en el núcleo del anticlinal Saylla–Lucre, donde las lutitas rojas poco consolidadas son susceptibles a la erosión hídrica laminar y en surco, contribuyendo con aportes de sedimentos finos hacia el cauce del río Lucre.

5.2.1.7. Formación Auzangate (KsP-a3) - Paleoceno superior – Eoceno inferior

La Formación Auzangate, reconocida por Carlotto et al. (2011), suprayace a la Formación Quilque y está conformada por conglomerados gruesos y areniscas de grano grueso a muy grueso, depositados en un ambiente de abanicos aluviales proximales de alta energía que marcan un importante pulso tectónico de alzamiento. En la zona de estudio, esta unidad constituye parte de los relieves de colinas que enmarcan el valle de Lucre, aportando materiales gravosos a los depósitos coluviales y aluviales de pie de monte que sobreyacen al Grupo San Jerónimo en las laderas circundantes al humedal.

5.2.1.8. Grupo San Jerónimo (Peo-k3) - Eoceno–Oligoceno

El Grupo San Jerónimo, ampliamente descrito por Carlotto et al. (2011), constituye la secuencia sedimentaria dominante en el relieve que enmarca la depresión de Cusco–Huacarpay y el área de estudio de Lucre.

La **Formación Kayra** (Eoceno inferior, ~52-43 Ma) está conformada por areniscas feldespáticas de grano medio intercaladas con lutitas rojas, representando ambientes fluviales de canales entrelazados y llanuras de inundación. Aflora extensamente en los flancos de los sinclinales y anticlinales del entorno de Lucre, constituyendo los cerros y laderas intermedias que drenan hacia el río Lucre, con cuyos sedimentos arenosos contribuyen a la granulometría del lecho fluvial.

La **Formación Soncco — Miembro Inferior** (Eoceno superior, ~43-35 Ma) está compuesta por lutitas y limolitas rojas de llanura de inundación con escasas intercalaciones de areniscas finas, que representan una etapa de menor energía fluvial y mayor área de inundación en la cuenca. Su carácter arcilloso y plástico favorece la generación de flujos de lodo y deslizamientos en laderas con alta saturación hídrica. El **Miembro Superior** de la Formación Soncco presenta conglomerados y areniscas de grano grueso con clastos volcánicos, que registran el inicio de un nuevo pulso de alzamiento tectónico y reflejan aportes de abanicos aluviales de alta energía hacia la cuenca.

5.2.1.9. Formación Punacancha (PoNm-pu) - Oligoceno superior – Mioceno inferior

La Formación Punacancha, descrita por Carlotto et al. (2011), sobreyace en discordancia angular al Grupo San Jerónimo y representa una nueva fase de relleno de la cuenca interandina bajo condiciones de clima húmedo y sedimentación fluvial. El Miembro 1 está conformado por areniscas finas con lutitas y contiene evidencias polínicas e icnológicas de paleoambientes fluviales de baja energía. El Miembro 2 comprende areniscas medias con estratificación cruzada de canales activos, y el Miembro 3 presenta conglomerados y areniscas gruesas que marcan el cierre de la cuenca. En las laderas próximas a Lucre, los afloramientos de esta formación

contribuyen con material arenoso que, al ser erosionado, alimenta la carga en suspensión y en fondo del río Lucre y del sistema lacustre de Huacarpay.

5.2.1.10. Formación Chincheros (Np-cc3) - Plioceno

La Formación Chincheros, identificada por Carlotto et al. (2011), está constituida por conglomerados y areniscas gruesas con intercalaciones de limolitas, depositados en conos aluviales y cauces fluviales entrelazados durante el Plioceno. Esta unidad aflora en el entorno de la depresión de Cusco y en los relieves de colinas que bordean la laguna de Huacarpay, actuando como parte del relleno pliocuaternario que antecede a la Formación San Sebastián y configurando la morfología actual del fondo del valle donde se asienta el área de estudio.

5.2.1.11. Formación Huambutío (JsKi-h3) - Jurásico–Cretácico inferior

La Formación Huambutío, descrita por Carlotto et al. (2011), aflora en el sector de Huambutío y en los flancos del anticlinal de Vilcanota, inmediatamente al este de la zona de estudio. Está conformada por conglomerados y areniscas de grano grueso de ambiente fluvial continental, sobreyaciendo al Grupo Mitu e infrayaciendo a la Formación Huancané. Su afloramiento en las márgenes del valle del Vilcanota aporta materiales gravosos gruesos a los depósitos aluviales y fluviales que se desarrollan aguas abajo hacia la zona de Lucre.

5.2.1.12. Secuencia Volcánica Rumicolca (JsKi-h3) - Plio-Cuaternario

La Formación Rumicolca, cartografiada por Carlotto et al. (2011) como vulcanismo shoshonítico plio-cuaternario, comprende flujos de lava andesítica y dacítica con edades radiométricas menores a 0.7 Ma que se emplazaron a lo largo de las fallas activas del sistema Urcos–Huambutío. Carlotto et al. (2011) señalan que uno de estos flujos volcánicos represó el valle del río Vilcanota generando un lago de gran extensión, cuya evolución posterior dio lugar a la cuenca sedimentaria de la Formación San Sebastián y al sistema lagunar actual de Huacarpay. La Secuencia Rumicolca es, por tanto, el evento geológico que determinó directamente la configuración del paleolago y del humedal Lucre–Huacarpay, condicionando desde su origen la dinámica fluvio-lacustre y el potencial de inundación del área de estudio.

5.2.1.13. Formación San Sebastián (Qp-ss3) - Pleistoceno

La Formación San Sebastián, descrita por Carlotto et al. (2011), constituye el principal relleno sedimentario de la depresión de Cusco–Huacarpay y representa la evolución del paleolago represado por el vulcanismo Rumicolca. Está conformada por dos secuencias: la inferior, de granulometría decreciente, con areniscas deltaicas y fluviales en la base que pasan a lutitas lacustres y palustres ricas en diatomitas y materia orgánica; y la superior, de granulometría creciente, con conglomerados y areniscas de conos aluviales y terrazas fluvio-torrenciales que registran el vaciamiento y cierre progresivo del paleolago. En el entorno de Lucre, esta formación conforma el sustrato blando y saturable de las llanuras de inundación actuales, siendo las zonas más susceptibles al anegamiento durante crecidas del río Lucre.

5.2.1.14. Depósito glaciar (Qp-gl) - Pleistoceno

Los depósitos glaciares identificados por Carlotto et al. (2011) corresponden a morrenas y tilitas ubicadas en las partes altas del Pachatusan y sectores de la Cordillera Oriental por encima de los 4,200 m.s.n.m., constituidas por gravas y bloques angulosos en matriz arcillosa poco consolidada. Aunque su localización es lejana a la zona baja de Lucre, su relevancia consiste en que la deglaciación cuaternaria y los procesos periglaciales contribuyeron a la liberación de materiales que se incorporaron al sistema fluvial y alimentaron los depósitos aluviales y lacustres que hoy conforman el subsuelo del humedal Lucre–Huacarpay.

5.2.1.15. Depósito aluvial (Qh-al) - Holoceno

Los depósitos aluviales cuaternarios, cartografiados por Carlotto et al. (2011), están conformados por conos de deyección y abanicos aluviales compuestos de gravas polimícticas y arenas heterolíticas en los flancos del valle del Vilcanota y en las desembocaduras de quebradas afluentes hacia el área de Lucre. Estos depósitos se forman actualmente durante eventos de lluvia intensa, cuando los flujos torrenciales de las quebradas que drenan hacia el río Lucre transportan y depositan materiales gruesos en sus abanicos de salida. Su ubicación en las márgenes del río Lucre y en los bordes del humedal los convierte en zonas de alta susceptibilidad a la inundación fluvial y a los flujos de detritos durante los eventos extremos.

5.2.1.16. Depósito fluvial (Qh-fl) - Holoceno

Los depósitos fluviales cuaternarios activos y subrecientes, descritos por Carlotto et al. (2011), corresponden a terrazas, barras y llanuras de inundación conformadas por gravas y arenas estratificadas asociadas al cauce del río Lucre. Estos depósitos constituyen las superficies más bajas y planas del área de estudio, con suelos de baja capacidad portante y alta permeabilidad por la granulometría gruesa en los barras y grava-arenas del lecho, pero con niveles superficiales limoso-arcillosos que favorecen la saturación rápida. Son las geoformas de mayor exposición al peligro de inundación fluvial ya que el cauce puede desbordarse sobre ellas durante cualquier evento de crecida ordinaria o extraordinaria.

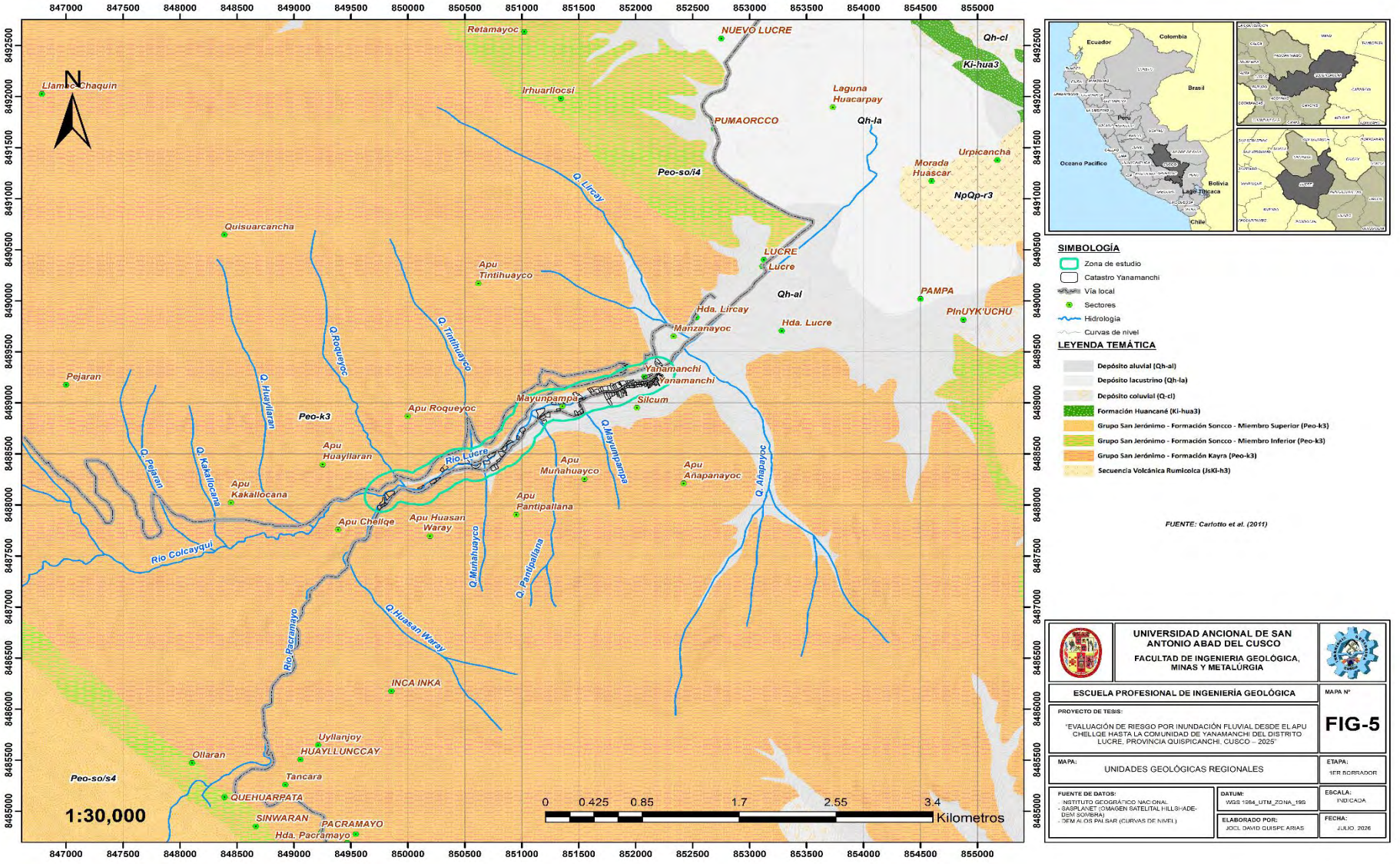
5.2.1.17. Depósito coluvial (Qh-cl) - Holoceno

Los depósitos coluviales cuaternarios, cartografiados por Carlotto et al. (2011), se ubican al pie de las laderas de las montañas y colinas que enmarcan el valle de Lucre, conformados por materiales heterométricos y angulosos procedentes del desmantelamiento gravitacional y pluvial de los cerros del Grupo San Jerónimo, Formación Quilque y Formación Soncco. Su escasa consolidación y alto contenido en finos los convierte en materiales fácilmente movilizables durante precipitaciones intensas, por lo que actúan como fuentes de sedimentos que alimentan la carga sólida del río Lucre y contribuyen a la colmatación progresiva del cauce y del humedal Lucre–Huacarpay.

5.2.1.18. Depósito lacustrino (Qh-la)- Holoceno

Los depósitos lacustrinos y palustres cuaternarios descritos por Carlotto et al. (2011) corresponden a arcillas, limos orgánicos y turbas subactuales acumulados en el fondo y márgenes de los cuerpos de agua del humedal Lucre–Huacarpay, como herencia del paleolago represado por el vulcanismo Rumicolca. Estos materiales presentan alta compresibilidad, elevada retención de agua y muy baja resistencia al corte, lo cual los convierte en sustratos de alto riesgo geotécnico para cualquier construcción e implica que, ante eventos de crecida, las zonas con este depósito son las primeras en inundarse y las últimas en drenar, amplificando la duración y extensión de los anegamientos en el área de estudio.

Figura 6. Mapa de geología regional



Fuente. Elaboración propia

5.3. GEOLOGÍA LOCAL

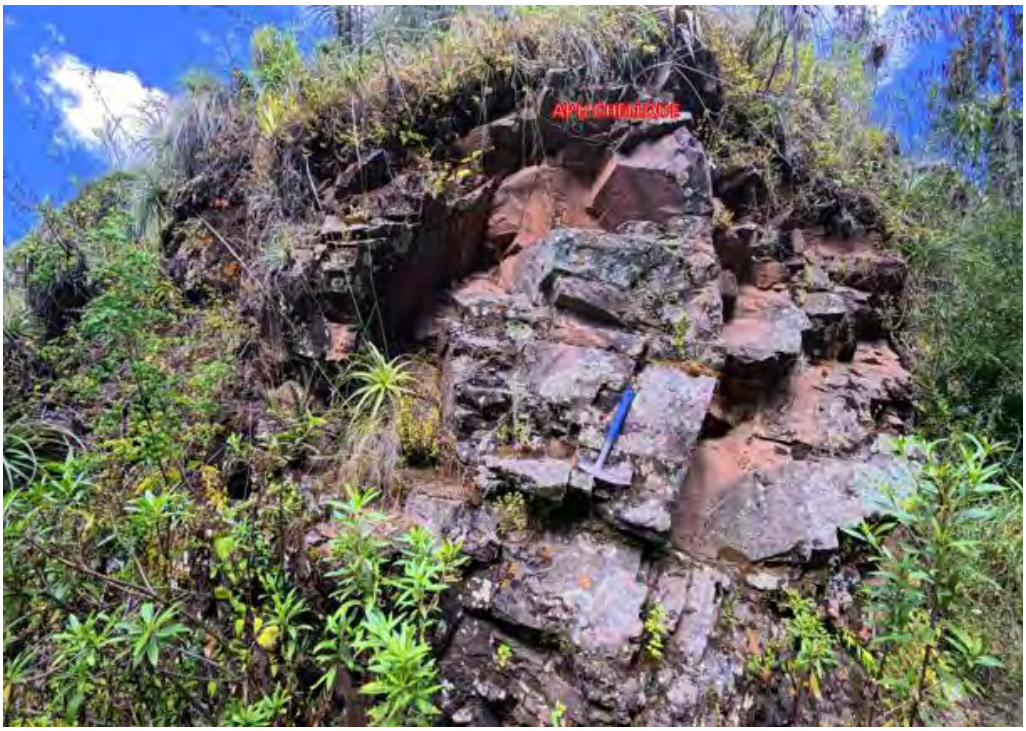
El tramo comprendido entre el Apu Chellqe, y el centro poblado de Yanamanchi se evidencia la Formación Kayra del Grupo San Jerónimo que define la estructura del valle y condiciona la distribución espacial de los depósitos cuaternarios que rellenan el fondo de la quebrada. Esta configuración geológica local determina la estrechez del valle, la pendiente del cauce y la susceptibilidad del tramo a procesos de inundación fluvial.

5.3.1. Unidades litoestratigráficas regionales

5.3.1.1. Formación San Jeronimo – Formación Kayra (Peo-k3) - Eoceno–Oligoceno

La Formación Kayra se evidencia en toda la extensión del tramo Apu Chellqe - Yanamanchi y se observa sus afloramientos en las laderas de ambas márgenes. Esta unidad geológica se observa de manera particularmente extensa en los macizos de los Apus Chelque, Roqueyoc, Huayllaran y Huasan Huaray, que conforman los principales relieves estructurales del tramo de estudio. Compuesta por areniscas feldespáticas de grano medio a grueso, de tonalidades rojizas, con intercalaciones de lutitas. En el sector de estudio, la Formación Kayra aflora en vertientes de inclinación fuerte a muy fuerte como en las laderas del Apu Chellque, se evidencia procesos erosivos (cárcavas), surcos de escorrentía concentrada y deslizamientos superficiales de suelo. Litológicamente, esta formación actúa como la principal roca fuente de la carga sedimentaria del sistema fluvial local: la desintegración de las areniscas genera clastos de grava y arena que son transportados hacia el cauce, mientras que las lutitas meteorizadas aportan la limos y arcillas que se transporta y se acumula en las zonas de baja energía de las terrazas distales.

Fotografía 11. Afloramiento de areniscas rojas de la Formación Kayra en el Apu Chellque



Fuente. Elaboración propia

5.3.1.2. Depósito aluvial (Qh-al) - Holoceno

Se observa en ambas márgenes del depósito aluvio-fluvial y del cauce activo, configurando la primera faja de terrenos cultivados inmediatamente colindante con los rios Colcaiqui y Lucre, se dispone el depósito aluvial holoceno (Qh-al), constituye la unidad cuaternaria de relleno más reciente del cauce. Este depósito se identifica en el sector del río Colcaiqui como también en el rio Lucre, donde forma la franja de terrenos inmediatamente adyacente al cauce. Litológicamente está integrado por gravas y arenas heterométricas poco consolidadas, con escasa selección granulométrica, rasgos propios de depósitos de llanura de inundación activa con alta tasa de sedimentación reciente. Morfológicamente forma una terraza lateral muy baja, cuya distancia supera apenas el nivel del cauce en estiaje, razón por la cual es la primera superficie en ser inundada cuando el río incrementa su caudal durante la temporada de lluvias, quedando bajo agua incluso en eventos de período de retorno bajo a moderado.

Fotografía 12. Depósito aluvial holoceno (Qh-al), terraza lateral muy baja inundable



Fuente. Elaboración propia

5.3.1.3. Depósito aluvial (Q-al) - Pleistoceno tardío-Holoceno temprano

Se considera inferior al depósito aluvial pleistoceno (Qp-al) y superior al depósito aluvial holoceno (Qh-al), ocupando la franja por encima de la llanura de inundación que se desarrolla en el entorno inmediato cercano a piscigranjas muy cercanas del rio Lucre a lo largo del tramo, se reconoce el depósito aluvial (Q-al). Esta unidad está compuesta por gravas y arenas polimícticas semiconsolidadas de mayor espesor relativo, con suelos de mayor desarrollo que Qh-al que evidencian una exposición superficial prolongada y condiciones de estabilidad relativa respecto al cauce activo. Se reconoce como una superficie suavemente inclinada hacia el cauce que, en condiciones de inundación extraordinaria, puede ser parcialmente alcanzada por las aguas cuando el tirante supera la distancia de la terraza Qh-al inmediatamente inferior.

Fotografía 13. Depósito aluvial Q-al, terraza aluvial semiconsolidada de mayor estabilidad relativa



Fuente. Elaboración propia

5.3.1.4. Depósito aluvial (Qp-al) - Pleistoceno

Con el nivel más elevado respecto al rio Lucre que la llanura de inundación, inmediatamente adosado al contacto con vertientes de la Formación Kayra, se desarrolla el depósito aluvial pleistoceno (Qp-al), que representa la terraza aluvial de mayor antigüedad cartografiada en el área de estudio. Está compuesto por gravas y cantos bien redondeados de litología polimíctica, arenas gruesas semiconsolidadas y niveles intercalados de limos y arcillas rojizas. Morfológicamente forma superficies inclinadas suavemente hacia el eje del cauce del rio Lucre, que representan paleoterrazas generadas durante etapas de mayor caudal y carga sólida del río Lucre en el Pleistoceno, asociadas a períodos de mayor actividad hidrológica regional. Bajo condiciones hidrológicas normales esta terraza no registra inundación; sin embargo, en eventos de crecida extraordinaria de período de retorno elevado puede ser alcanzada por caudales de inundación máxima, constituyendo el límite externo teórico de la llanura de inundación potencial del tramo Apu Chellqe -Yanamanchi.

Fotografía 14. Depósito aluvial pleistoceno (Qp-al), paleoterraza alta fuera de inundaciones frecuentes



Fuente. Elaboración propia

5.3.1.5. Depósito fluvial (Qh-fl) - Holoceno

El elemento más interno, mayor dinamismo del corredor fluvial corresponde al depósito fluvial (Q-fl), que traza el cauce del río Lucre a lo largo de todo el tramo, configurando la franja de menor anchura y distancia altitudinal en la sección transversal del valle. Está constituido por gravas subredondeadas a bien redondeadas de areniscas feldespáticas de Kayra, procedentes de sectores más altos de la cuenca como el Apu Chellque. En este depósito el cauce puede capturar materiales de las orillas de Qh-al por erosión lateral, y cuando el caudal supera la capacidad de la sección hidráulica activa, el flujo desborda sobre la terraza Qh-al, iniciando la inundación de las áreas agrícolas y los asentamientos más próximos al río.

Fotografía 15. Depósito fluvial (Qh-fl) activo en el cauce, con barras y orillas inundables



Fuente. Elaboración propia

5.3.1.6. Deposito aluvial, fluvial (Qh-alfl) - Holoceno

En los sectores donde los cuerpos aluviales procedentes de las quebradas laterales entran en contacto directo con el sistema fluvial activo del río Lucre, se desarrollan depósitos de carácter mixto denominados depósito aluvio-fluvial (Q-alf). Litológicamente, estos cuerpos presentan una predominancia de gravas gruesas y bloques subangulosos propios de los abanicos aluviales, mientras que, hacia el sector distal, en contacto con el cauce del rio Lucre la granulometría disminuye progresivamente a gravas medias y arenas, típicas de la acción de corrientes fluviales de canal. En el tramo Apu Chellqe -Yanamanchi, el (Qh-alfl) se localiza preferentemente en las zonas de confluencia entre las quebradas laterales y el río Lucre, formando superficies suavemente inclinadas que conectan morfológicamente los depósitos de pie de monte con la llanura fluvial activa; geológicamente, estas superficies representan zonas de alta movilidad sedimentaria donde el río puede capturar y removilizar la carga aluvial durante eventos de crecida, pudiendo generar desviaciones locales del cauce y expansión lateral de las áreas inundables.

Fotografía 16. Depósito aluvio–fluvial (Qh-alf) en zona de confluencia



Fuente. Elaboración propia

5.3.1.7. Depósito antropógeno (Qh-an) - Holoceno

En el sector urbano del centro poblado de Yanamanchi, se reconoce un depósito antropógeno (Q-an), conformado por rellenos artificiales de geometría irregular y espesor variable. Este depósito se localiza en las faldas del Apu Huasan Huaray, por encima de los depósitos aluviales cercanas al río Lucre, y dentro de la misma población de Yanamanchi. Está integrado por materiales heterogéneos de procedencia local gravas, arenas y bloques de Kayra, suelos arcillo-limosos y restos de demolición, colocados sin compactación sistemática para nivelar el terreno, habilitar plataformas de vivienda y ampliar el área urbana sobre las vertientes con pendientes medias y terrazas aluviales del río Lucre.

Fotografía 17. Depósito antropógeno (Qh-an) de relleno artificial urbano en faldas del Apu Roqueyoc

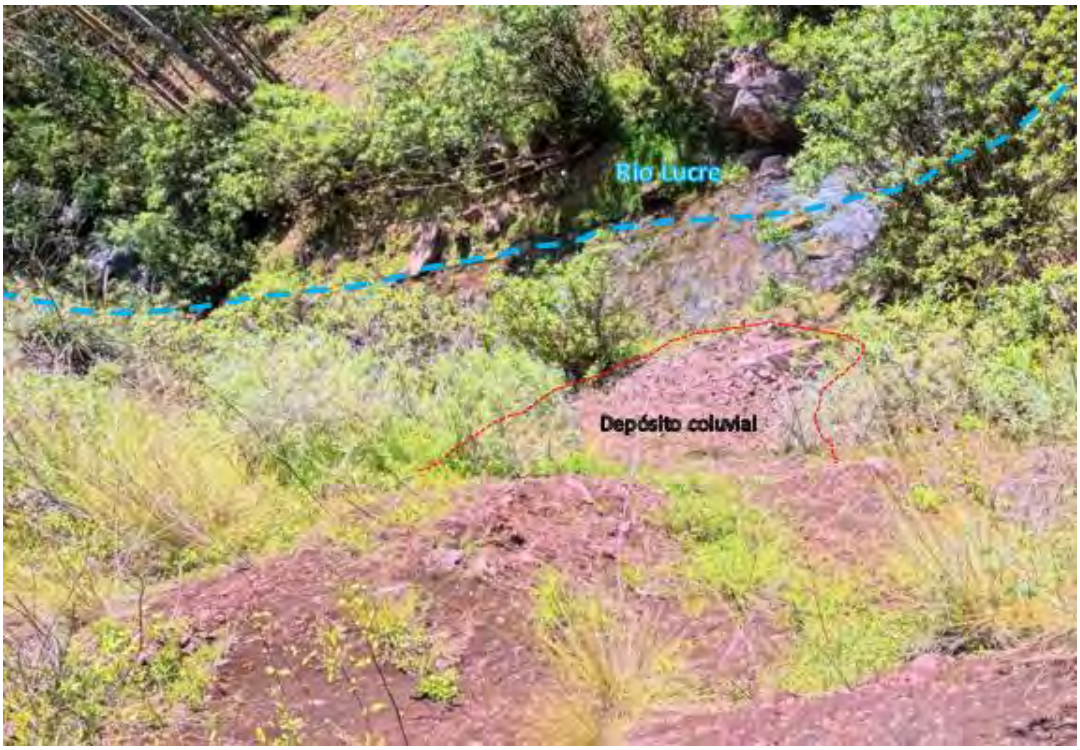


Fuente. Elaboración propia

5.3.1.8. Depósito coluvial (Qh-cl) - Holoceno

En zonas entre las vertientes empinadas de Kayra y las terrazas aluviales del fondo del valle, con mayor frecuencia en los sectores de fuerte cambio de pendiente topográfica, se desarrollan cuerpos de depósito coluvial. Este depósito se localiza en el Apu Chellque, cercano al río Lucre, en las zonas de contacto entre la ladera y el fondo de valle. Está constituido por clastos angulosos a subangulosos de arenisca y lutita, heredados directamente de la Formación Kayra, en matriz areno-limosa con escasa selección granulométrica. Su génesis está vinculada a procesos de caída de bloques, reptación de suelo y deslizamientos superficiales, que se dan durante la temporada de lluvias cuando la saturación hídrica de los horizontes meteorizados supera el nivel de cohesión. Geológicamente, estos cuerpos representan una fuente activa y continua de sedimentos hacia el sistema fluvial: el material coluvial que alcanza el cauce incrementa la carga de fondo del río, puede generar obstrucciones locales por acumulación de bloques y reduce la sección hidráulica disponible, favoreciendo la elevación del nivel de agua y el incremento del potencial de desborde aguas abajo.

Fotografía 18. Depósito coluvial (Qh-cl) de talud del Apu Huayllaran



Fuente. Elaboración propia

5.3.1.9. Depósito proluvial (Qh-pl) - Holoceno

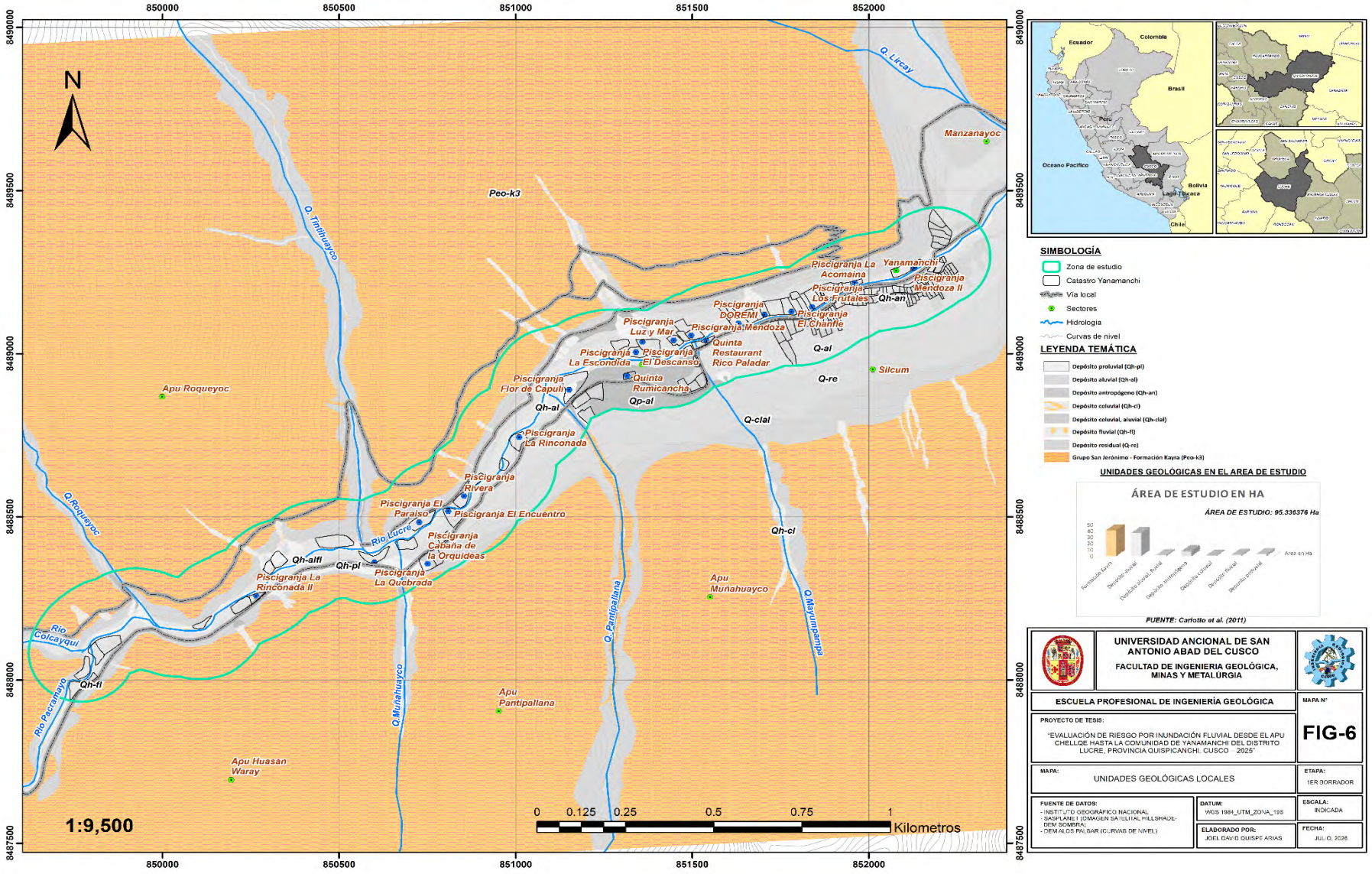
En las desembocaduras de quebradas de media a alta pendiente que drenan hacia el río Lucre se observan depósitos proluviales, caracterizados por la disposición de gravas gruesas que se proyectan desde las bocas de quebrada. Este depósito se localiza en el río Lucre, en las inmediaciones del Apu Chellqe, así como en la unión de los cauce de las quebradas Roqueyoc y Huayllaran, Tintihuayco y el rio principal Lucre. Estos depósitos constituyen el registro sedimentario de flujos de detritos y flujos hiperconcentrados generados en cuencas tributarias de cabecera pequeña y pendiente elevada, durante eventos de precipitación intensa concentrada en cortos períodos. En el tramo Apu Chellqe -Yanamanchi, los depósitos proluviales más significativos se localizan en las inmediaciones del Apu Chellqe, donde las quebradas laterales de mayor confinamiento interceptan el fondo del valle; su presencia configura una condición de peligro combinado o multiamenaza: los sectores adyacentes están expuestos simultáneamente a flujos de detritos que descienden desde las quebradas laterales y a la inundación fluvial generada por el desborde del río Lucre en crecida, situación que maximiza el nivel de peligro en ese sector del área de estudio.

Fotografía 19. Depósito proluvial (Qh-pl) de gravas gruesas, registro de flujos de detritos



Fuente. Elaboración propia

Figura 7. Mapa de geología local



Fuente. Elaboración propia

CAPITULO VI. HIDROLOGÍA

6.1. CONSIDERACIONES GENERALES

Este capítulo presenta las consideraciones generales de la hidrología del área de estudio, describiendo la cuenca, la red de drenaje, la precipitación y el comportamiento de la escorrentía superficial. El análisis hidrológico permite interpretar la dinámica del recurso hídrico y su influencia en la ocurrencia de procesos como crecidas e inundaciones fluviales, aportando criterios para la evaluación del peligro y del riesgo.

6.2. UBICACIÓN HIDROGRÁFICA DE LA MICROCUENCA

El **comportamiento hidrológico** de la microcuenca del río Lucre resulta determinante en la evaluación del peligro por inundación fluvial, ya que las precipitaciones intensas constituyen el principal factor desencadenante de las crecidas que sobrepasan el cauce y afectan las áreas urbanas y agrícolas de Yanamanchi.

En este contexto, y siguiendo la codificación de Pfafstetter, el área de estudio se ubica dentro de la microcuenca del río Lucre, la cual forma parte de la cuenca alta del río Vilcanota-Urubamba y, a su vez, se integra al sistema hidrográfico del río Amazonas (ANA, 2012); esta ubicación jerárquica permite comprender el rol que cumple la microcuenca en la concentración y conducción de los caudales que finalmente generan los desbordes en el tramo urbano de Yanamanchi.

Por lo tanto, la microcuenca del rio Lucre se observa de la siguiente manera:

Tabla 4.Unidad hidrográfica por Pfafstetter

NIVEL	UNIDAD HIDROGRÁFICA (SEGÚN PFAFSTETTER)
Nivel 6	Microcuenca del río Lucre (499494)
Nivel 5	Subcuenca del río Huatanay (sector Lucre–Huacarpay) (49949)
Nivel 4	Cuenca alta del río Vilcanota–Urubamba (4994)
Nivel 3	Cuenca del río Ucayali (499)
Nivel 2	Región hidrográfica del Alto Amazonas (49)
Nivel 1	Cuenca hidrográfica del río Amazonas (4)

Fuente: Adaptado de ANA, elaboración propia.

6.3. INDICADORES HIDROMORFOMÉTRICOS DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA

El análisis morfométrico permite caracterizar las propiedades físicas de una cuenca hidrográfica mediante variables cuantitativas que describen su geometría, red de drenaje y relieve, constituyendo herramientas fundamentales para interpretar el comportamiento hidrológico y la respuesta de la cuenca ante eventos de precipitación intensa (Gaspari et al., 2012). Para los fines del presente estudio, orientado a la evaluación del peligro por inundación fluvial, el análisis se circunscribe al área de la microcuenca del río Lucre aguas arriba del área de estudio de Yanamanchi, dado que es esta porción de la cuenca la que incide directamente en la acumulación hidrográfica que puede desencadenar eventos de desborde en el tramo analizado.

a) Área de la cuenca hidrográfica (A)

El área de la microcuenca del río Lucre corresponde a la superficie total delimitada por la divisoria de aguas que aporta escorrentía hacia el punto de cierre del estudio, siendo un parámetro de primera importancia para la estimación de caudales máximos. El área calculada mediante SIG es de **80.37 km²**.

b) Perímetro de la cuenca hidrográfica (P)

El perímetro de la microcuenca corresponde a la longitud total de la divisoria de aguas medida a lo largo del límite externo de la cuenca. El valor obtenido es de **39.79 km**.

c) Longitud de cuenca hidrográfica (L)

La longitud de la cuenca se define como la distancia medida a lo largo del eje mayor de la cuenca, desde la desembocadura hasta el punto más alejado de la divisoria. Para la microcuenca del río Lucre, la longitud obtenida es de **15.50 km**.

d) Ancho de cuenca hidrográfica (W)

El ancho medio de la cuenca se obtiene a partir de la relación entre el área y la longitud de la cuenca, mediante la expresión:

$$W = \frac{A}{L}$$

Donde:

- W = Ancho de cuenca (Km)
- A = Área de la cuenca (Km^2)
- L = Longitud de la cuenca (Km)

Reemplazando:

$$W = \frac{80.37}{15.50}$$

W = 5.18 Km

e) Longitud del rio principal de la cuenca hidrográfica (Lb)

La longitud del río Lucre se mide desde el punto de cierre del estudio hasta su naciente en la parte alta de la cuenca. El valor obtenido es de **16.00 km**.

f) Factor de forma de la cuenca hidrográfica (Fc)

El factor de forma, definido por Horton (1932, como se citó en Gaspari et al., 2012), es un índice adimensional que relaciona el área de la cuenca con el cuadrado de su longitud, mediante la expresión:

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

Donde:

- Fc = Factor adimensional de forma de Horton
- A = Área de la cuenca (Km^2)
- L = Longitud de la cuenca (Km)

Reemplazando:

$$F_C = \frac{80.37}{15.50^2}$$

$F_C = 0.33$

Un valor de Fc = 0.33 indica que la microcuenca presenta una forma **ligeramente alargada**, lo que implica un tiempo de concentración **mayor** y una menor propensión a generar crecidas súbitas de alta magnitud respecto a cuencas de forma más circular; no obstante, la pendiente del cauce principal y la capacidad de respuesta de la cuenca ante eventos intensos modulan este comportamiento.

g) Índice de compacidad de la cuenca hidrográfica (Kc)

El índice de compacidad o coeficiente de Gravelius (Gravelius, 1914, como se citó en Gaspari et al., 2012) expresa la relación entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de un círculo de área equivalente, mediante la expresión:

$$K_C = 0.282 \times \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Donde:

- $K_C =$ Índice de compacidad
- $P =$ Perímetro de la cuenca (Km)
- $A =$ Area de la cuenca (Km^2)

Reemplazando:

$$K_C = 0.282 \times \frac{39.79}{\sqrt{80.37}}$$

Kc = 1.25

El resultado obtenido indica que la microcuenca presenta una forma casi redonda u oval-compacta (Kc = 1,25), lo que se traduce en un tiempo de concentración relativamente corto y una respuesta hidrológica más rápida y con mayores caudales pico respecto a cuencas alargadas;

sin embargo, este comportamiento puede verse modificado por la pendiente predominante y la escasa rugosidad del fondo del valle en los tramos bajos próximos al área de estudio.

h) Pendiente media de la cuenca hidrográfica (Pm)

La pendiente media de la cuenca, definida por Horton (1932, como se citó en Gaspari et al., 2012), se calcula mediante la siguiente expresión:

$$P_m = \frac{(A - B)}{L} \times 100$$

Donde:

- Pm = Pendiente media de la cuenca (%)
- A = Punto más alto de la cuenca (m.s.n.m.)
- B = Punto más bajo de la cuenca (m.s.n.m.)
- L = Longitud del cauce principal (m)

Reemplazando:

$$P_m = \frac{(4489 - 3072)}{16000} \times 100$$

Pm = 8.85 %

Este valor de pendiente media indica que la microcuenca del río Lucre presenta un relieve **moderado a pronunciado**, lo que condiciona la velocidad de respuesta de la escorrentía superficial: a menor pendiente, el tiempo de concentración es mayor y el flujo se desplaza con menor velocidad hacia el cauce principal, aunque en el tramo de estudio la apertura del valle y la escasa cota del cauce respecto a la llanura incrementan significativamente el potencial de desborde ante eventos de lluvia extrema.

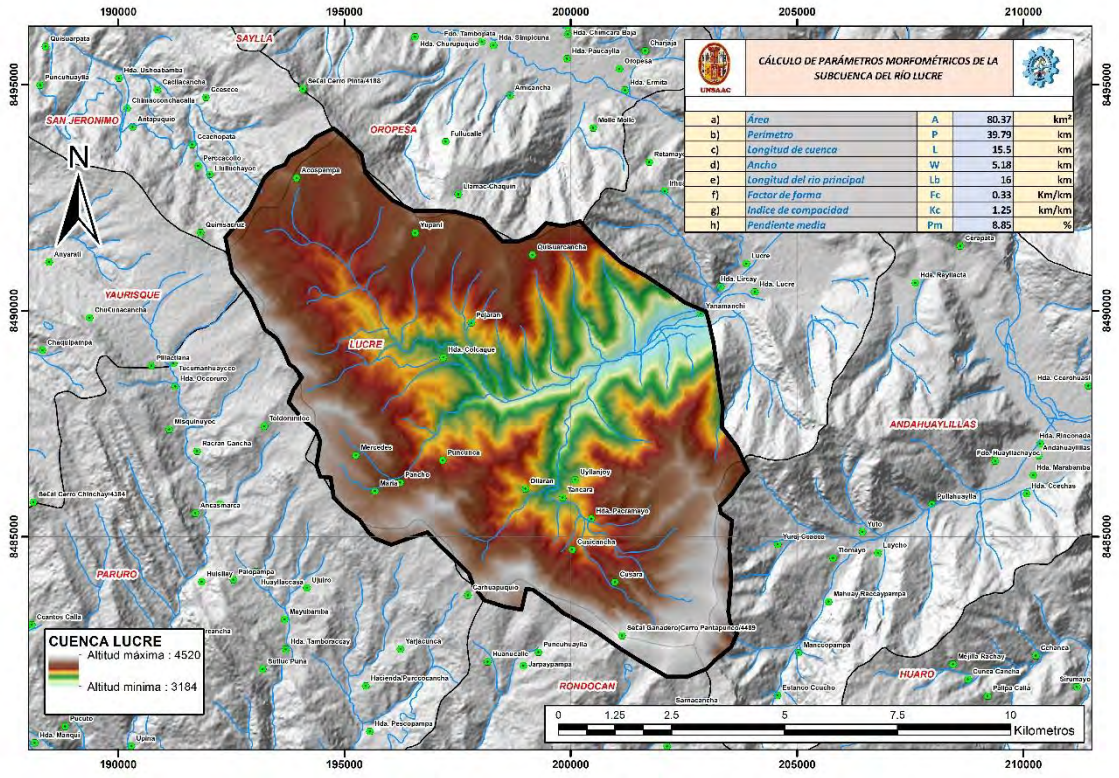
Tabla 5. Descriptores morfométricos de la cuenca

PARÁMETRO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Área	A	80.37	km²

Perímetro	P	39.79	km
Longitud de cuenca	L	15.50	km
Ancho medio de cuenca	W	5.18	km
Longitud del río principal	Lb	16.00	km
Factor de forma (Horton)	Fc	0.33	adim.
Índice de compacidad (Gravelius)	Kc	1.25	adim.
Pendiente media de la cuenca	Pm	8.85	%

Fuente. Elaboración propia

Figura 8. Mapa de la parte alta de la subcuenca correspondiente al C.P. Lucre



Fuente. Elaboración propia

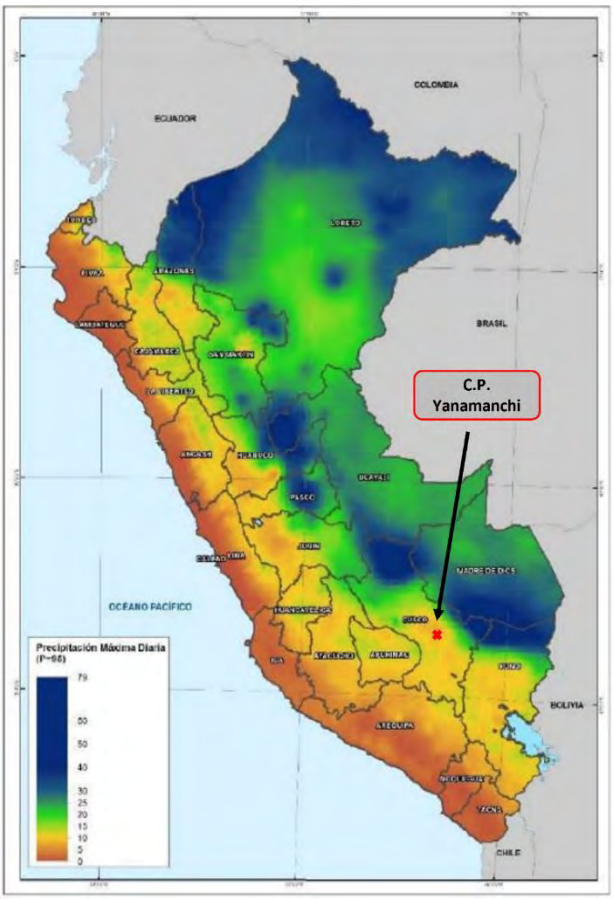
6.4. PRECIPITACIÓN DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA

La disponibilidad de información pluviométrica en el distrito de Lucre es limitada, debido a la baja densidad de estaciones meteorológicas con registros históricos continuos en la provincia de Quispicanchi. Sin embargo, como referencia regional de las precipitaciones extremas que afectan a la microcuenca del río Lucre, el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED, 2021) elaboró, a partir de información procesada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), un mapa de precipitación máxima diaria con probabilidad al 95% (percentil 95). Dicho mapa fue

construido a partir del producto grillado PISCO de precipitación diaria (PISCO Pd), que comprende datos del periodo 1981-2015, utilizando técnicas geoestadísticas de interpolación espacial a escala nacional con una resolución de grilla de aproximadamente 5 km (CENEPRED, 2021).

De acuerdo con los umbrales calculados por el SENAMHI para la estación Cusco (816), que es la más representativa de la sierra sur del Cusco, y consultando el mapa grillado P95 de precipitación máxima diaria (CENEPRED, 2021), el distrito de Lucre registra precipitaciones máximas diarias en el rango de 15.0 a 20.0 mm/día. Este rango se localiza dentro de la zona de la sierra sur del Cusco, donde la precipitación media anual oscila entre 290 mm/año (sector occidental) y 740 mm/año (sector oriental). El valor del percentil 95 (P95) obtenido del mapa grillado para el ámbito de estudio aproximadamente 17.0 a 18.0 mm/día representa el umbral a partir del cual las lluvias se clasifican como "muy fuertes", y constituye la referencia técnica para el análisis de frecuencias pluviométricas y la evaluación de los eventos extremos que desencadenan crecidas e inundaciones en el cauce del río Lucre en el presente estudio.

Figura 9. Valor máximo diario de precipitación correspondiente a una probabilidad del 95%



Fuente. CENEPRED – SENAMHI

El Centro de Operaciones de Emergencia Nacional (COEN) del INDECI, mediante sus boletines informativos de monitoreo de peligros, ha registrado eventos de precipitación intensa en el entorno de la provincia de Quispicanchi que han superado umbrales críticos en períodos de 24 horas, generando inundaciones con afectación directa a la población e infraestructura en los sectores aledaños al río Lucre. En particular, el INDECI registró que, en enero de 2020, precipitaciones pluviales extremas en la provincia de Quispicanchi produjeron el desborde de cauces y el desborde de la laguna Huacarpay, afectando directamente viviendas en las localidades de Huacarpay y Lucre, distrito de Lucre, confirmando el rol determinante que ejercen los eventos de lluvia intensa en la activación del peligro por inundación fluvial en el área de estudio.

6.4.1. Organización de información pluviométrica

Para el caso de la microcuenca del río Lucre se siguió el mismo criterio general de uso de la precipitación, distinguiendo entre métodos orientados a obtener caudales de avenida y métodos

destinados a evaluar la disponibilidad hídrica de largo plazo. En concordancia con el objetivo de esta tesis, evaluar el peligro por inundación fluvial en el tramo Apu Chellqe–Yanamanchi, se adoptó exclusivamente el enfoque de **simulación hidráulica**, empleando precipitaciones máximas diarias asociadas a distintos períodos de retorno para derivar los caudales pico de diseño que alimentan el modelo HEC-RAS.

Dado que el distrito de Lucre no cuenta con una estación meteorológica de serie larga en su microcuenca, se recurrió a datos de estaciones SENAMHI cercanas y afines como Kayra (cuenca Huatanay), Urcos, Oropesa (Quispicanchis) y Pisac (Vilcanota); desde su portal se descargaron series depuradas de precipitación máxima diaria y acumulada, integradas mediante análisis regional para caracterizar el régimen pluviométrico del río Lucre, y con ellas se generaron curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) locales que proveen intensidades de diseño por duración y período de retorno, esenciales para calcular caudales máximos vía método racional.

Adicionalmente, se utilizaron productos regionales y reportes institucionales para contrastar los resultados: el mapa nacional de precipitación máxima diaria al 95% de probabilidad elaborado por CENEPRED (2021) a partir del producto grillado PISCO Pd del SENAMHI, donde el distrito de Lucre se ubica en el rango de precipitaciones extremas propias de los valles interandinos del sur; y los boletines del COEN-INDECI que documentan episodios recientes de lluvias intensas e inundaciones en Lucre y distritos vecinos de Quispicanchi. Esta triangulación de fuentes permite asegurar que los valores de lluvia extrema empleados en el modelamiento hidráulico sean consistentes con el comportamiento histórico observado y con los escenarios de riesgo definidos para la región.

Tabla 6.Precipitación total anual registrada (mm)

AÑO	ESTACION PARURO	ESTACION CAY CAY	ESTACION KAYRA	ESTACION PROMEDIO
1964	596.62	85.4	341.7	341.24
1965	719.51	519.3	693.3	644.0366667
1966	715.9	474.6	597.4	595.9666667
1967	1,394.10	300.69	655.7	783.4966667
1968	1,701.30	323.88	668.2	897.7933333
1969	1,743.30	266.14	524.6	844.68

1970	809.98	285.82	806	633.9333333
1971	665.23	324.25	659.1	549.5266667
1972	694.75	196.71	553.5	481.6533333
1973	1,023.49	458.46	816.8	766.25
1974	987.92	415.28	681.7	694.9666667
1975	962.58	485.54	721.6	723.24
1976	717.56	380.34	560.3	552.7333333
1977	825.54	339.91	613.1	592.85
1978	912.7	315.85	664.1	630.8833333
1979	566.6	312.96	600.8	493.4533333
1980	707.5	185.18	619.6	504.0933333
1981	743.5	411.52	922.9	692.64
1982	128.32	230.47	786.8	381.8633333
1983	0	114.28	483.7	199.3266667
1984	0	243.32	800.5	347.94
1985	0	184.82	728.3	304.3733333
1986	263.65	254.89	569.1	362.5466667
1987	618.62	271.59	630.6	506.9366667
1988	0	328.02	725.5	351.1733333
1989	220.5	224.15	653.3	365.9833333
1990	0	446.26	641.1	362.4533333
1991	0	222.94	682.4	301.78
1992	0	369.18	609.3	326.16
1993	487.6	283.65	799.9	523.7166667
1994	1,028.00	374.2	798.4	733.5333333
1995	683.4	256.55	560	499.9833333
1996	912	405.13	369.6	562.2433333
1997	787	358.41	805.3	650.2366667
1998	789.4	229.3	493.9	504.2
1999	758	480.3	543.1	593.8
2000	710.3	467.7	652	610
2001	893.3	902.2	864.1	886.5333333
2002	1,017.40	623.8	822.1	821.1
2003	828.3	788.4	713.7	776.8
2004	819.7	548.9	632	666.8666667
2005	591.9	514	508.3	538.0666667
2006	804.9	695.4	856.3	785.5333333
2007	754.5	661.11	621.4	679.0033333
2008	631.01	657.4	592.4	626.9366667
2009	832.6	480.9	525.5	613
2010	983.8	619.3	876.7	826.6
2011	920.4	760.3	740.5	807.0666667
2012	962.8	519.52	679.6	720.64
2013	909.1	763.51	796.6	823.07
2014	585.1	350.8	660.7	532.2
2015	780.2	390.4	500.1	556.9
2016	830.3	420.6	690.1	647
2017	760.4	380.6	640.8	593.9333333

2018	820.4	445.7	710.3	658.8
2019	790.3	400.4	670.9	620.5333333
2020	840.3	430.6	705.4	658.7666667
2021	770.1	395.4	660.7	608.7333333
2022	815.6	415.2	685.6	638.8
2023	800.5	405.63	655.2	620.4433333
2024	835.6	440.1	700.5	658.7333333
2025	775.6	385.7	645.22	602.1733333

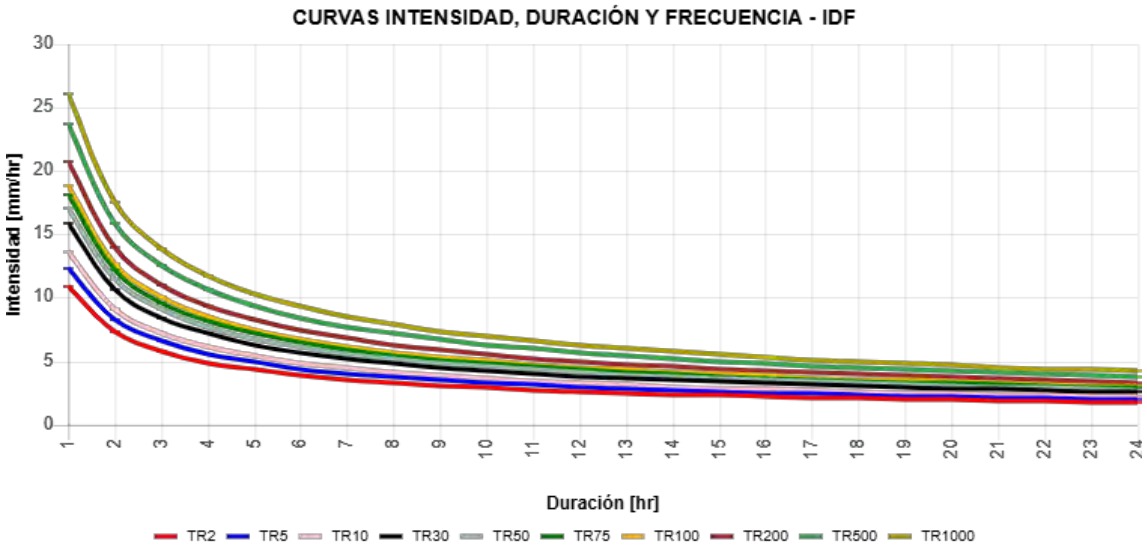
Fuente: Elaboración propia en base a los registros diarios de precipitación del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) para las estaciones Paruro, Cay Cay y Kayra, correspondientes al periodo 1964–2026.

Tabla 7. Registro de intensidad, duración y frecuencia

ESTACIÓN SENAMHI													
Duración		***Intensidad (mm/hr)***						***Precipitación (mm)***					
Horas	***Min***	***TR2***	***TR5***	***TR10***	***TR50***	***TR100***	***TR500***	***TR2***	***TR5***	***TR10***	***TR50***	***TR100***	***TR500***
1	**60**	10.8	10.9	10.10	10.12	10.14	23.6	10.8	10.9	10.10	10.12	10.14	23.6
2	**120**	7.3	8.3	9.1	11.5	12.6	15.9	14.6	16.6	18.2	23	25.2	31.8
3	**180**	5.8	6.6	7.2	9.1	10.0	12.6	17.4	19.8	21.6	27.3	30	37.8
4	**240**	4.9	5.6	6.1	7.7	8.5	10.7	19.6	22.4	24.4	30.8	34	42.8
5	**300**	4.3	4.9	5.4	6.8	7.5	9.4	21.5	24.5	27	34	37.5	47
6	**360**	3.9	4.4	4.9	6.1	6.7	8.4	23.4	26.4	29.4	36.6	40.2	50.4
7	**420**	3.5	4.0	4.4	5.6	6.2	7.7	24.5	28	30.8	39.2	43.4	53.9
8	**480**	3.3	3.7	4.1	5.2	5.7	7.2	26.4	29.6	32.8	41.6	45.6	57.6
9	**540**	3.1	3.5	3.8	4.8	5.3	6.7	27.9	31.5	34.2	43.2	47.7	60.3
10	**600**	2.9	3.3	3.6	4.5	5.0	6.3	29	33	36	45	50	63
11	**660**	2.7	3.1	3.4	4.3	4.7	6.0	29.7	34.1	37.4	47.3	51.7	66
12	**720**	2.6	3.0	3.3	4.1	4.5	5.7	31.2	36	39.6	49.2	54	68.4
13	**780**	2.5	2.8	3.1	3.9	4.3	5.4	32.5	36.4	40.3	50.7	55.9	70.2
14	**840**	2.4	2.7	3.0	3.7	4.1	5.2	33.6	37.8	42	51.8	57.4	72.8
15	**900**	2.3	2.6	2.9	3.6	4.0	5.0	34.5	39	43.5	54	60	75
16	**960**	2.2	2.5	2.8	3.5	3.8	4.8	35.2	40	44.8	56	60.8	76.8
17	**1020**	2.1	2.4	2.7	3.3	3.7	4.6	35.7	40.8	45.9	56.1	62.9	78.2
18	**1080**	2.1	2.3	2.6	3.2	3.6	4.5	37.8	41.4	46.8	57.6	64.8	81
19	**1140**	2.0	2.3	2.5	3.1	3.5	4.4	38	43.7	47.5	58.9	66.5	83.6
20	**1200**	1.9	2.2	2.4	3.1	3.4	4.2	38	44	48	62	68	84
21	**1260**	1.9	2.1	2.4	3.0	3.3	4.1	39.9	44.1	50.4	63	69.3	86.1
22	**1320**	1.8	2.1	2.3	2.9	3.2	4.0	39.6	46.2	50.6	63.8	70.4	88
23	**1380**	1.8	2.0	2.2	2.8	3.1	3.9	41.4	46	50.6	64.4	71.3	89.7
24	**1440**	1.7	2.0	2.2	2.7	3.0	3.8	40.8	48	52.8	64.8	72	91.2

Fuente: Elaboración propia a partir de datos obtenidos del módulo web para la estimación de curvas Intensidad–Duración–Frecuencia (IDF) del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI)

Figura 10. Curvas IDF



Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), módulo web de curvas Intensidad–Duración–Frecuencia (IDF).

6.4.2. Caudal máximo del río Lucre para distintos periodos de retorno

Conocer los caudales máximos que puede generar la microcuenca del río Lucre resulta indispensable para evaluar el peligro por inundación fluvial en el tramo urbano de Yanamanchi. Su determinación permite:

- Cuantificar el volumen de agua que circula por el cauce del río Lucre durante eventos de lluvia intensa en un punto de control definido.
- Estimar la profundidad que alcanza el agua dentro del cauce y en las zonas aledañas durante una crecida.
- Identificar y delimitar los sectores con mayor susceptibilidad a ser afectados por el desborde del río.
- Sustentar técnicamente el diseño de medidas de prevención y obras de protección frente a inundaciones.

Con base en el procesamiento hidrológico efectuado mediante el método racional (Villón Béjar, 2022), empleando precipitaciones máximas obtenidas por ajuste a la distribución de

Gumbel (Villón Béjar, 2006) y datos de la estación meteorológica Kayra, se determinaron tres caudales pico para la microcuenca del río Lucre correspondientes a periodos de retorno de 50, 100 y 500 años, los cuales servirán como datos de entrada en el modelamiento hidráulico con el programa HEC-RAS.

Tabla 8. Tiempo de concentración de las aguas de la microcuenca del río Lucre

MÉTODO	FÓRMULA APLICADA TC (minutos)	RESULTADO (horas)
Kirpich (1940)	$t_c = 0.01947 \times L^{0.77} \times S^{-0.385}$	**1.25 horas**

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 9 se presentan los caudales pico estimados para la microcuenca del río Lucre, correspondientes a periodos de retorno de 50, 100 y 500 años:

$$\boldsymbol{Q_{Tr=50\ años} = 88.12 \frac{m^3}{s}}\ ;\ \boldsymbol{Q_{Tr=100\ años} = 118.24 \frac{m^3}{s}}\ ;\ \boldsymbol{Q_{Tr=500\ años} = 190.34 \frac{m^3}{s}}$$

Estos valores fueron obtenidos mediante el método racional, aplicando precipitaciones máximas estimadas con la distribución de Gumbel y la expresión de Dick & Peschke para la conversión a la duración del tiempo de concentración.

Tabla 9. Caudales pico generados en la microcuenca del río Lucre en el sector Yanamanchi.

ÁREA DRENADA	TIEMPO DE RETORNO	CAUDAL
80.374 km²	50 años	88.12 m³/s
80.374 km²	100 años	118.24 m³/s
80.374 km²	500 años	190.34 m³/s

Fuente: Elaboración propia, adaptado de Malpartida Chamorro (2020).

Adicionalmente, y con el mismo procedimiento, se estimó el caudal correspondiente a un periodo de retorno de 10 años (Q = 40.12 m³/s), empleado únicamente como referencia del régimen ordinario no desbordante del cauce en la clasificación de la altura del nivel de agua, y no como escenario de modelamiento hidráulico.

6.5. MODELAMIENTO HIDRÁULICO

6.5.1. Introducción al modelamiento hidráulico

El modelamiento hidráulico permite simular de manera numérica cómo se comporta el flujo del río Lucre frente a diferentes caudales de crecida, y así delimitar las áreas potencialmente inundables en el entorno urbano–agrícola de Yanamanchi. En este estudio, la simulación se

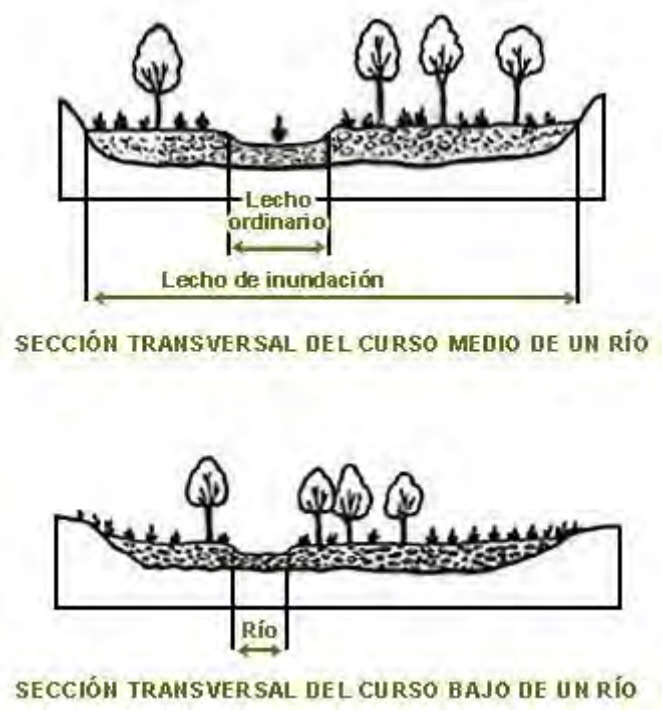
restringe a un **tramo aproximado de 3 km** del cauce principal, ubicado en la porción baja de la microcuenca, donde se concentra la infraestructura y población expuesta a desbordes.

Dentro de este subcapítulo se describe el procedimiento aplicado para construir el modelo unidimensional en HEC-RAS.

a) Perfil transversal de un rio

La sección transversal de un río permite representar con detalle la forma del canal y de las superficies vecinas que pueden funcionar como llanuras de inundación (US Army Corps of Engineers [USACE], 2016). Se construye a partir de una línea trazada perpendicularmente al cauce, sobre la cual se miden la distancia horizontal entre puntos sucesivos y la altura del terreno en cada uno de ellos. De esta manera se obtiene un perfil del relieve que muestra los márgenes, el fondo del cauce y las zonas aledañas que podrían inundarse durante crecidas. Esta descripción geométrica es la base para calcular el área mojada, el perímetro y el radio hidráulico, parámetros necesarios para aplicar ecuaciones hidráulicas como la de Manning.

Figura 11. Perfil transversal de un rio



Fuente: Elaboración propia, adaptado de Dreamstime.
https://es.dreamstime.com/photos-images/secci%C3%B3n-transversal-del-r%C3%ADo.html

b) Ecuación de Manning

La ecuación de Manning constituye una expresión de carácter empírico ampliamente aplicada en el campo de la hidráulica, cuya utilidad radica en la estimación de la velocidad media con la que el agua se desplaza a través de un canal o cauce natural (Manning, 1891). Su expresión matemática es la siguiente:

$$\boldsymbol{V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}}$$ (Manning, R., 1889)

Donde:

- ***V**: Velocidad media del flujo (m/s)*
- ***n**: Coeficiente de rugosidad de Manning*
- ***R**: Radio hidráulico (m), obtenido como el cociente entre el área de la sección mojada y su perímetro mojado (A/P)*
- ***S**: Pendiente de la línea de energía o pendiente media del cauce en el tramo analizado*

c) Coeficiente de rugosidad de Manning

El coeficiente de rugosidad de Manning, denotado como n, es un parámetro hidráulico que expresa la resistencia que opone el contorno de un canal o cauce natural al movimiento del agua. Su magnitud está determinada por un conjunto de características físicas del lecho y las márgenes, tales como la geometría de la sección transversal, la naturaleza granulométrica del material de fondo (arenas, gravas, cantos rodados o sustrato rocoso), la cobertura vegetal existente en las riberas y la presencia de elementos que obstaculizan el flujo (Chow, 1959).

La importancia de este parámetro en el modelamiento hidráulico es considerable, ya que gobierna directamente la capacidad de conducción del cauce. En consecuencia, asignar un valor de n incorrecto o poco representativo de las condiciones reales del terreno puede ocasionar que la simulación subestime o sobreestime la velocidad del flujo y el caudal transportado, afectando la precisión y confiabilidad de los resultados obtenidos en el análisis de inundación.

Con el propósito de garantizar una adecuada representación hidráulica del tramo estudiado, se adoptaron los valores de n recomendados por el manual técnico de referencia hidráulica del programa HEC-RAS (US Army Corps of Engineers [USACE], 2016), basados en la clasificación clásica de Chow (1959) según el tipo de cauce natural y las condiciones de la llanura de inundación adyacente. Dichos valores se presentan en la Tabla 10.

Tabla 10. Cuadro de rangos de referencia para el coeficiente de rugosidad de Manning

TIPO DE CANAL	DESCRIPCIÓN	MÍNIMO	NORMAL	MÁXIMO
Canales naturales – Tramos rectos	Canal limpio, recto, sin irregularidades ni vegetación	0.025	0.03	0.033
	Canal limpio, recto, con piedras y hierbas	0.03	0.035	0.04
	Canal con curvas, lento, con vegetación y bancos limpios	0.033	0.04	0.045
Canales naturales – Tramos irregulares	Fondo irregular con presencia de piedras grandes y vegetación escasa	0.045	0.05	0.06
	Cauces con sección variable, tramos con pozas y rápidos	0.05	0.07	0.08
	Tramos con obstrucciones, maleza densa y depósitos aluviales	0.06	0.08	0.12
Ríos de montaña	Sin vegetación en cauce, orillas escarpadas con grava y gravas gruesas	0.03	0.04	0.05
	Con presencia de cantos rodados y bloques en el cauce	0.04	0.05	0.07
Llanuras de inundación – Pastos	Pastos cortos y gramíneas	0.025	0.03	0.035
	Pastos altos o cultivos	0.03	0.035	0.05
Llanuras de inundación – Vegetación densa	Arbustos dispersos con presencia de maleza	0.035	0.05	0.07
	Vegetación arbustiva densa y arbórea	0.045	0.07	0.16
Canales artificiales – Revestidos	Concreto acabado liso	0.011	0.013	0.015
	Concreto sin pulir o con encofrado rugoso	0.014	0.017	0.02
	Mampostería de piedra	0.017	0.025	0.03
Canales artificiales – Sin revestir	Tierra limpia y recién excavada	0.016	0.018	0.02
	Tierra con grava y algo de vegetación	0.022	0.027	0.033

Fuente: Adaptado de Chow, V.T. (1959). Open Channel Hydraulics. McGraw-Hill; y US Army Corps of Engineers – HEC-RAS Hydraulic Reference Manual (2016).

6.5.2. Parámetros iniciales del modelado hidráulico

Para llevar a cabo la simulación hidráulica del río Lucre en el tramo crítico de aproximadamente 3 km, se requirió la recopilación y procesamiento de los siguientes insumos:

- **Valores máximos de caudal. -** Se emplearon los caudales picos estimados para tres escenarios de ocurrencia, correspondientes a periodos de retorno de 50, 100 y 500 años, derivados del análisis hidrológico de la microcuenca del río Lucre (código Pfafstetter: 499494), utilizando el método racional modificado a partir de datos pluviométricos de las estaciones cercanas disponibles en la red del SENAMHI.

- **Modelo Digital de Elevación (DEM). -** La representación topográfica del tramo modelado fue obtenida a partir del Modelo Digital de Elevación del satélite ALOS PALSAR, desarrollado por la Agencia de Exploración Aeroespacial de Japón (JAXA), con una resolución espacial de 12.5 metros, disponible de manera libre en la plataforma Alaska Satellite Facility (ASF Vertex) (Alaska Satellite Facility [ASF], s.f.). Este insumo permitió caracterizar adecuadamente el relieve del cauce y las zonas aledañas al río Lucre dentro del tramo de análisis.

- **Rasgos geomorfológicos del relieve y del cauce del rio. -** La caracterización de la rugosidad hidráulica se efectuó tomando como base la descripción litológica y de cobertura superficial registrada durante el trabajo de campo, así como la interpretación de ortofotos e imágenes satelitales de alta resolución, en las que se identificaron con claridad las unidades de cobertura vegetal, zonas agrícolas y sectores del lecho fluvial con presencia de gravas y cantos rodados. A partir de esta información, se asignaron valores del coeficiente de rugosidad de Manning diferenciados para el cauce principal del río Lucre y para las llanuras de inundación adyacentes, considerando las condiciones propias de un río de montaña con pendiente moderada a pronunciada.

6.5.3. Procedimiento aplicado en la simulación hidráulica

La evaluación hidráulica del tramo crítico del río Lucre, de aproximadamente 3 km de longitud, fue ejecutada directamente en el programa HEC-RAS, herramienta de simulación

hidráulica desarrollada por el Hydrologic Engineering Center (HEC), división del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (US Army Corps of Engineers [USACE], 2016), que permite modelar el comportamiento del flujo en cauces naturales y determinar las zonas susceptibles de inundación ante diferentes escenarios hidrológicos.

El procedimiento seguido para la elaboración del modelo hidráulico se describe a continuación:

i. Se creó un nuevo proyecto en HEC-RAS, configurando el sistema de unidades métricas y definiendo el tramo de análisis correspondiente al río Lucre dentro del área de estudio.

ii. Se ingresó la geometría del cauce mediante la introducción manual de las secciones transversales del río Lucre, obtenidas a partir de la interpolación del Modelo Digital de Elevaciones ALOS PALSAR (resolución 12.5 m) y complementadas con observaciones de campo. Definidas de izquierda a derecha mirando aguas abajo del cauce.

iii. Se trazó el eje del cauce (*River*) y se delimitaron las márgenes derecha e izquierda del río Lucre (*Bank Stations*), estableciendo así la separación entre el canal principal y las llanuras de inundación adyacentes en cada sección.

iv. Se asignaron los valores del coeficiente de rugosidad de Manning (n) para cada sección transversal, diferenciando el canal principal de las llanuras de inundación. Estos valores fueron seleccionados tomando como referencia las características litológicas y de cobertura del suelo observadas en campo a lo largo del tramo modelado del río Lucre, considerando la presencia de gravas, cantos rodados y vegetación ribereña.

v. Se configuró el análisis en régimen de flujo permanente (*Steady Flow*), introduciendo como datos hidrológicos los caudales máximos calculados para los periodos de retorno de 50, 100 y 500 años, obtenidos del análisis hidrológico de la microcuenca del río Lucre (código Pfafstetter: 499494).

vi. Se definieron las condiciones de contorno (*Boundary Conditions*) en el extremo aguas abajo del tramo modelado, utilizando la pendiente normal del cauce como condición de inicio del cálculo hidráulico.

vii. Se ejecutó la simulación para cada caudal de entrada, obteniendo como resultado los perfiles de la lámina de agua, las velocidades de flujo y las áreas inundadas para cada periodo de retorno analizado. Los resultados fueron revisados y validados verificando la coherencia entre los niveles calculados y las evidencias históricas de inundación registradas en el área urbana del distrito de Lucre.

viii. Finalmente, los mapas de inundación generados para los periodos de retorno de 50, 100 y 500 años fueron exportados y procesados en ArcGIS, donde se elaboró la cartografía temática de profundidad y extensión de inundación. Esta información constituyó el insumo principal para la determinación del peligro geológico por inundación fluvial en el tramo crítico del río Lucre.

El escenario de 50 años refleja condiciones de crecida significativa pero relativamente frecuentes dentro del contexto hidrológico de la cuenca, evidenciando la inundación de las áreas adyacentes inmediatas al cauce principal y algunos sectores urbanos y agrícolas cercanos a la ribera. A medida que se pasa al periodo de retorno de 100 años, se observa un incremento notable en el **ancho del flujo de inundación**, con la ocupación de zonas bajas más alejadas del cauce y la cobertura de una mayor superficie de terrenos agrícolas y áreas consolidadas, lo que implica un aumento en el nivel de exposición y potencial daño. Finalmente, el escenario de 500 años representa una crecida extrema, de carácter poco frecuente, en la que el desbordamiento del río alcanza gran parte de la llanura de inundación disponible, pudiendo comprometer sectores urbanos, infraestructura vial y predios rurales ubicados en cotas topográficas reducidas.

El modelamiento de 500 años indica a **mayores tirantes hidráulicos**, es decir, zonas en las que la profundidad de la lámina de agua es más elevada, mientras que en 50 años representan áreas con menor profundidad y, por tanto, con menor energía específica del flujo. Lo cual facilita

la identificación de los sectores donde el impacto hidráulico sería potencialmente más severo, tanto sobre edificaciones como sobre suelos agrícolas o infraestructura. La superposición de los tres escenarios en un solo mapa permite comparar, de manera integrada, la dinámica de expansión lateral del flujo y comprender el comportamiento del río Lucre bajo diferentes niveles de exigencia hidrológica, constituyendo un insumo clave para la delimitación de zonas de riesgo, la planificación territorial y la definición de medidas estructurales y no estructurales de gestión del riesgo de inundación en el distrito de Lucre.

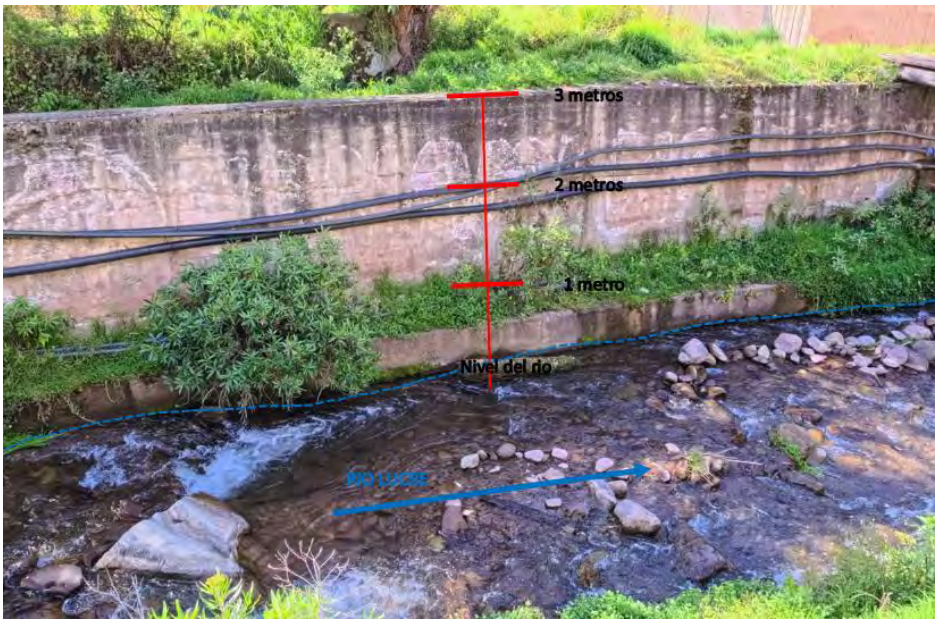
6.6. COTA RELATIVA DEL TERRENO SOBRE EL NIVEL BASE DEL RIO

Cada caudal estimado en función del periodo de retorno, obtenido a partir de la simulación hidráulica, genera una correspondiente elevación de la lámina de agua respecto al nivel de referencia local del río Lucre en época de estiaje. En ese sentido, cada caudal máximo asociado a su respectivo periodo de retorno determina una altura de inundación medida a partir de la cota base del cauce durante el periodo seco, la cual en este estudio se emplea como referencia topográfica para la interpretación de los resultados.

En la Fotografía 20 se observa, en el lado izquierdo, el límite alcanzado por el flujo para cada periodo de retorno analizado; mientras que, en el lado derecho, se aprecia la misma condición representada como la altitud o tirante alcanzado por el agua sobre el nivel base del río Lucre en época de estiaje. Esta referencia se adoptó debido a que tanto el levantamiento del cauce como la ortofoto utilizada corresponden a una condición hidrológica de baja avenida, lo que permite una mejor interpretación espacial de la extensión real de la inundación simulada.

En la Fotografía 20 se aprecia la delimitación de zonas según la altura del nivel del agua respecto al nivel de referencia local del río Lucre, dentro de las cuales se representan los caudales máximos asociados a cada periodo de retorno.

Fotografía 20. Altura de inundación potencial del río Lucre, medida desde el cauce hasta 3 m



Fuente. Elaboración propia

El mapa de altura del nivel de agua para el río Lucre se obtuvo mediante la interpolación del nivel de referencia local en condición de estiaje con el modelo digital de elevaciones, verificando posteriormente estos resultados con los límites de flujo definidos a partir de la simulación hidráulica.

6.6.1. Rango de altura de 0 a 1 metros

En este rango de altura, medido desde el nivel de referencia local del río Lucre (3096 m s.n.m. en época de estiaje), se encuentran los niveles de agua que el cauce presenta habitualmente durante la temporada de estiaje y algunos niveles en época de lluvias moderadas. En este intervalo corresponde al caudal ordinario del cauce en régimen no desbordante y corresponde a un periodo de retorno de 10 años.

6.6.2. Rango de altura de 1 a 2 metros

En este rango se sitúan los niveles del agua que el río Lucre alcanza de manera frecuente durante eventos de lluvias intensas en la cuenca (según observaciones de campo y entrevistas a pobladores). Aquí se identifica el límite máximo ordinario y el caudal de modelamiento correspondiente a un periodo de retorno de 50 años.

6.6.3. Rango de altura de 2 a 3 metros

En este intervalo de altura, alrededor de los 3 metros sobre el nivel de referencia local, se ubica el nivel máximo histórico alcanzado por las aguas del río Lucre, de acuerdo con el testimonio de los pobladores de mayor edad, durante un evento extremo enero–febrero de 1984, considerado como límite máximo extraordinario. En este rango también se representaría el caudal de modelamiento con un periodo de retorno de 100 años, así como el posible aporte de quebradas afluentes que interceptan el área urbana.

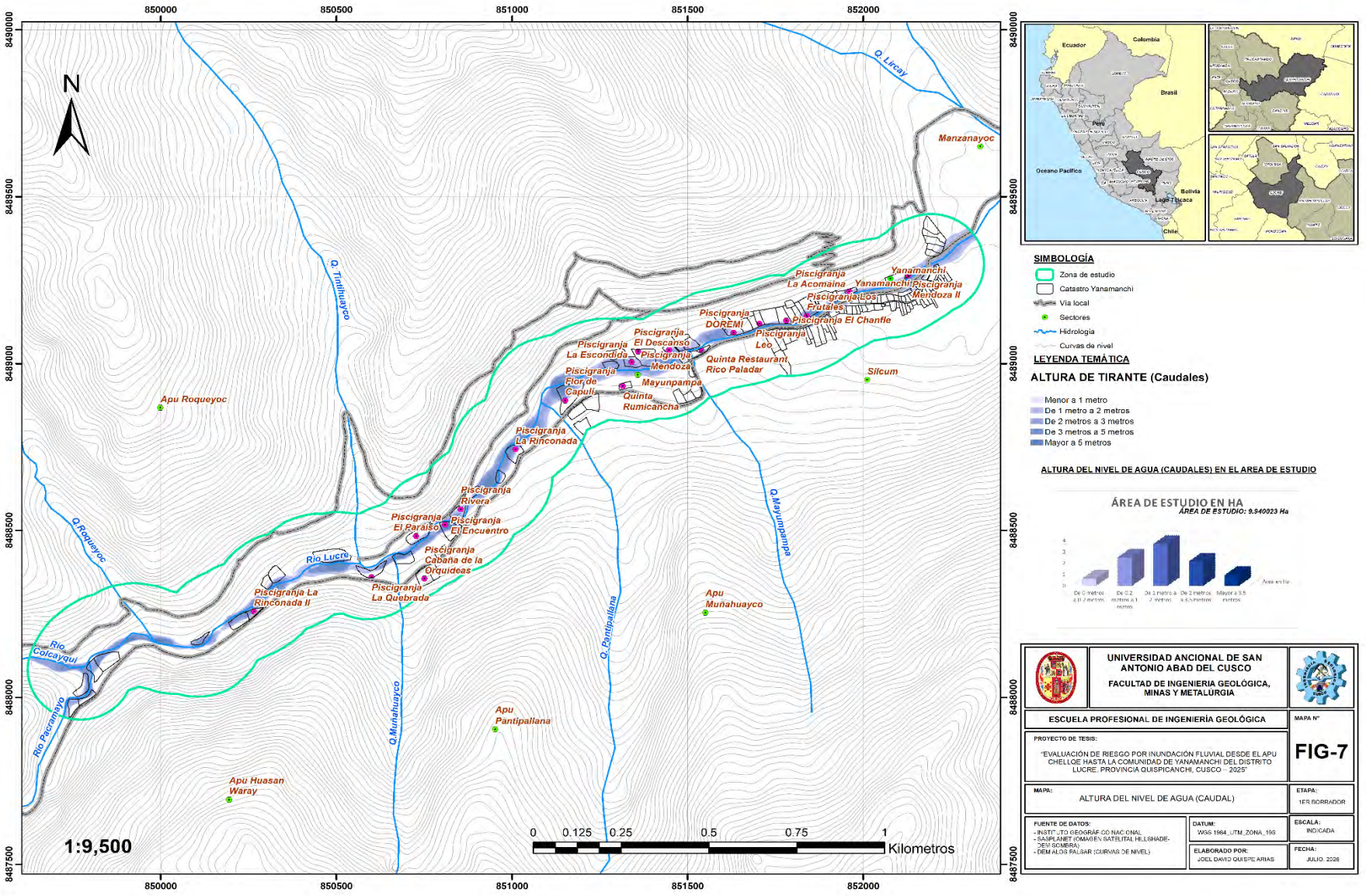
6.6.4. Rango de altura de 3 a 5 metros

En este rango de altura se localizan sectores elevados del valle del río Lucre, donde se emplazan áreas urbanas y de infraestructura que se consideran relativamente más protegidas frente a crecidas ordinarias. Desde el punto de vista geomorfológico, en este intervalo se identifican terrazas medias y formas de disección que podrían actuar como zanjas naturales de drenaje durante eventos extremos.

6.6.5. Rango de altura de mayores a 5 metros

Los terrenos ubicados por encima de los 5 metros sobre el nivel de referencia local del río Lucre (aproximadamente a partir de 3101 m s.n.m.) corresponden a superficies topográficamente más altas, con menor probabilidad de inundación directa por desbordes del cauce principal bajo los escenarios de crecida considerados en el presente estudio.

Figura 12.Mapa de altura de agua



Fuente. Elaboración propia

CAPÍTULO VII. ANÁLISIS DEL PELIGRO GEOLÓGICO

7.1. CONSIDERACIONES GENERALES

7.1.1. Procedimiento para determinar el peligro geológico

Para la determinación del Peligro Geológico por Inundación Fluvial se empleó la metodología descrita en el Manual para la Evaluación de Riesgos originados por Fenómenos Naturales (CENEPRED, 2014, Versión 2), documento que estandariza a nivel nacional los criterios para identificación y zonificación de peligros naturales, siendo esta la principal referencia técnica empelada individualmente por INGEMMET en sus boletines especiales.

El Método Heurístico al que se refiere CENEPRED (2014, pág. 185) **se basa en la experiencia y juicio profesional del geólogo, que integra información de campo y representaciones cartográficas**, relacionando los factores geológicos, geomorfológicos e hidrológicos, permitiendo la zonificación de la Susceptibilidad mediante ponderación multidimensional respecto a las condiciones estructurales y variaciones geográficas de inundación fluvial.

Los boletines de referencia utilizados incluyen:

- CENEPRED (2014). *Manual para la Evaluación de Riesgos originados por Fenómenos Naturales V.2*. Lima, Perú.
- Medina et al. (2021). *Peligro geológico por movimientos en masa e inundación fluvial en la ciudad de Cusco* (Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, N.° 80). INGEMMET.

7.1.2. Aspectos fundamentales del peligro geológico

Para poder precisar científicamente el nivel de peligro geológico de la zona de estudio, resultan fundamentales tres nociones conceptuales: la susceptibilidad geológica, los parámetros de evaluación y la definición de peligro geológico.

- **Susceptibilidad geológica al desbordamiento del cauce fluvial**

La susceptibilidad geológica es la medida que expresa la facilidad con la que pueden ocurrir procesos como la inundación fluvial, según las condiciones locales del terreno. En otras palabras, indica qué tan favorables o desfavorables son las características geológicas y geomorfológicas de la zona para que el río Lucre experimente un desbordamiento que afecte al área urbana del distrito de Lucre (Medina et al., 2021, p. 116).

- **Parámetros de evaluación del peligro**

Los parámetros de evaluación son indicadores medibles y objetivos que permiten cuantificar el grado de susceptibilidad o la probabilidad de ocurrencia del fenómeno de desbordamiento fluvial en el área de estudio. Estos parámetros constituyen la base científica para medir objetivamente el nivel de peligrosidad geológica del tramo analizado del río Lucre. (CENEPRED, 2014, Manual para la Evaluación de Riesgos originados por Fenómenos Naturales V.2, pág. 23)

- **Peligro geológico**

Medina et al. (2021) definen el peligro geológico como "todo evento o proceso geológico que tiene el potencial de causar la muerte o daño a la salud o propiedades de una determinada población expuesta al desbordamiento del río Lucre" (p. 116). La peligrosidad es la probabilidad de que ocurra un fenómeno geológico dañino, de intensidad determinada, dentro de un área específica y en un periodo de tiempo delimitado (Medina et al., 2021, p. 116).

7.1.3. Antecedentes históricos de inundación fluvial

Según testimonios orales de los pobladores ribereños más antiguos del distrito de Lucre, quienes han vivido durante años en las márgenes del río Lucre, **en enero-febrero de 1984 se registró un evento de inundación fluvial de gran magnitud** que afectó desde los sectores superiores de la cuenca hasta Yanamanchi y áreas ubicadas aguas abajo, ocasionando un **huayco e inundación generalizada considerada una de las emergencias más críticas** por la

destrucción de viviendas, pérdida de terrenos agrícolas (chakras) y daño a la vía o camino de herradura existente en la zona (Pobladores Ribereños del Río Lucre, Testimonio Oral, 1984).

El **desborde de la Laguna Huacarpay** afectó directamente las localidades de Huacarpay y Lucre, ocasionando **colapso de viviendas e interrupción del sistema de agua y desagüe** en el distrito (INDECI, 2010).

Se registró un **evento de aluvión en el sector de Yanamanchi**, afectando **23 hectáreas de cultivos** de la microcuenca del río Lucre (Municipalidad Distrital de Lucre, 2019).

A las 02:00 horas del 05 de enero de 2020, **precipitaciones intensas provocaron el desborde del río Lucre**, inundando **23 hectáreas de cultivos y dañando un muro de defensa ribereña** en el sector Yanamanchi; la ANA realizó **limpieza del cauce principal y diagnóstico de daños en infraestructuras hidráulicas** (INDECI, 2020).

Durante este periodo, **intensas precipitaciones a nivel regional** provocaron desbordamientos de ríos, derrumbes y deslizamientos en el departamento del Cusco, **afectando directamente la cuenca del río Lucre y sus sectores ribereños** (COEN-INDECI, 2024).

A las 03:30 horas del 16 de marzo de 2026, **lluvias intensas anómalas generaron el incremento del caudal del río Huatanay (asociado al sistema del río Lucre)**, provocando **desborde y daños en viviendas del sector Huacarpay** (INDECI, 2026).

Figura 13. Evidencias históricas de inundación fluvial

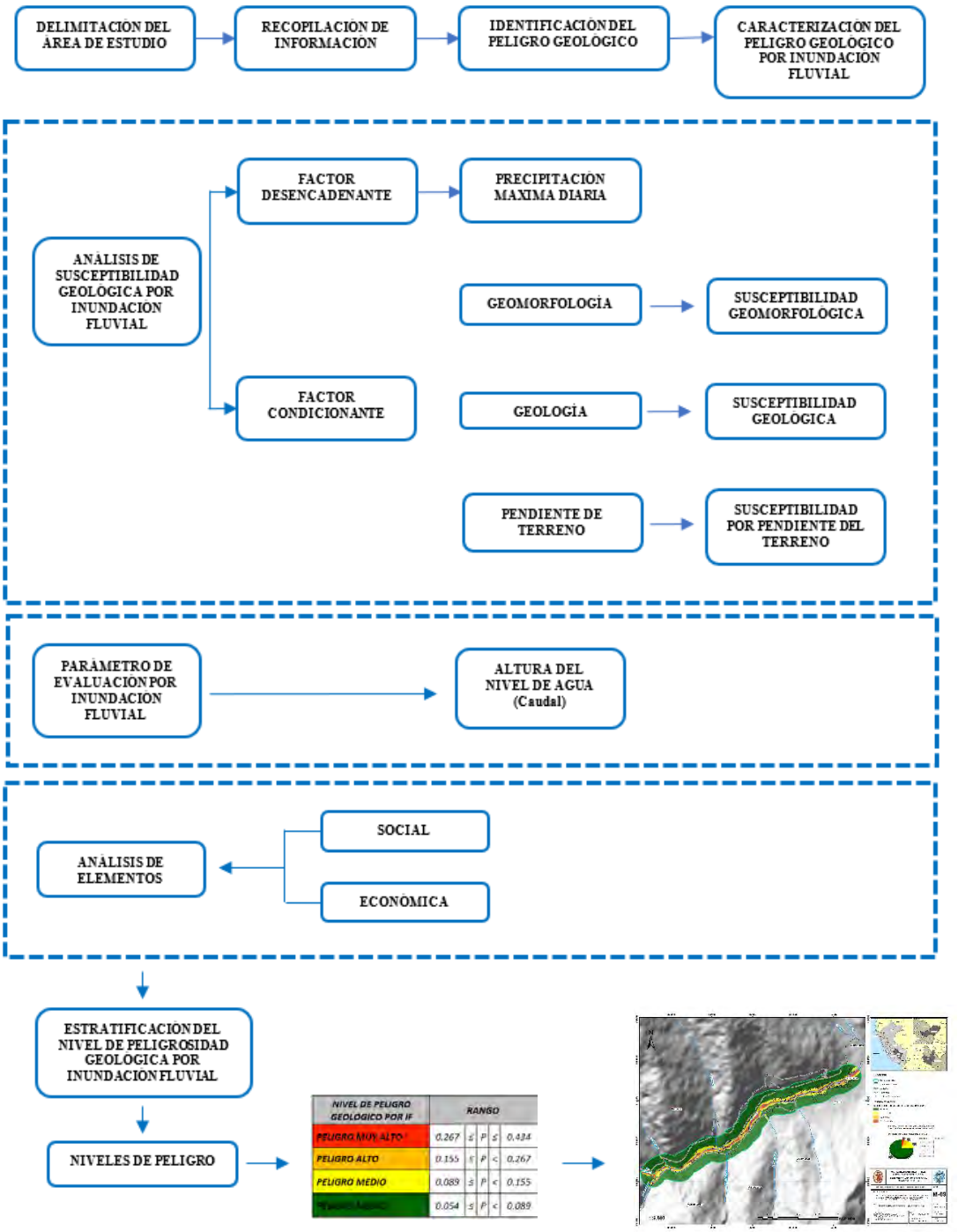


Fuente. Elaboración propia, adaptado de: https://www.youtube.com/watch?v=NPMJerG_wdo

7.2. DEFINICIÓN Y ANÁLISIS DEL PELIGRO GEOLÓGICO POR INUNDACIÓN FLUVIAL

Para elaborar el mapa de peligro geológico por inundación fluvial se seguirán las etapas indicadas en el Diagrama 1, describiendo y asignando pesos a cada parámetro con base en la metodología propuesta por INGEMMET en sus estudios de peligro geológico por movimientos en masa e inundación fluvial para la ciudad del Cusco, aplicando un enfoque de tipo heurístico.

Figura 14. Esquema de proceso para generar el mapa de peligro geológico



Fuente. Elaboración propia.

7.2.1. Factores que influyen en la generación de la inundación fluvial

De la figura 14, se reconoce que los principales Factores Condicionantes (FC) de la inundación fluvial en el sector de estudio son la geomorfología, la pendiente del terreno y la geología, por lo que resulta pertinente realizar un breve análisis de la incidencia de cada uno en la susceptibilidad a inundarse.

En este contexto, la geomorfología tiene un rol predominante al controlar la configuración del valle y el comportamiento del cauce; la pendiente regula la acumulación o el escurrimiento del agua en las áreas próximas al río; y la geología (litología) interviene a través de las características de los materiales, su permeabilidad y la presencia de antiguos cauces y depósitos fluviales, aspectos que se reflejan en los valores de ponderación resumidos en la Tabla 11.

Tabla 11. Asignación de coeficientes a los factores condicionantes de inundación fluvial

VARIABLE	PESO (%)
Geomorfología	60
Pendiente del terreno	30
Geología	10
TOTAL	100%

Fuente. Elaboración propia

A) Componente geomorfológico

Las unidades geomorfológicas locales (Mapa N° 4) constituyen el factor de mayor peso en la determinación de la susceptibilidad geológica frente a inundaciones fluviales, por lo que su correcta identificación y delimitación en campo resulta clave para interpretar el comportamiento del cauce. En la Tabla 12 se resumen los valores asignados a cada unidad geomorfológica del área de estudio y el grado de susceptibilidad que presentan frente a eventuales desbordes del río.

Tabla 12. Valoración de las unidades del parámetro geomorfología

UNIDAD GEOMORFOLÓGICA	CÓDIGO	VALOR	GRADO DE SUSCEPTIBILIDAD
Cauce del río	*Cr*	*5*	*Muy alta*
Llanura o planicie inundable	*Lpi*	*5*	*Muy alta*
Terraza baja aluvial	*Tba*	*4*	*Alta*
Vertiente o piedemonte aluvial	*Vpa*	*3*	*Media*
Vertiente o piedemonte aluvio-torrencial	*Vpt*	*2*	*Baja*
Vertiente con depósito de deslizamiento	*Vd*	*2*	*Baja*
Colina y lomada disectada en roca sedimentaria	*Cld*	*2*	*Baja*
Ladera de montaña en roca sedimentaria	*Lms*	*1*	*Muy baja*
Colina y lomada en roca sedimentaria	*Cls*	*1*	*Muy baja*
Montaña estructural en roca sedimentaria	*Mes*	*1*	*Muy baja*

Fuente. Elaboración propia.

B) Componente pendiente del terreno

Las superficies con pendientes suaves y relieve prácticamente llano ubicadas en las proximidades del cauce tienden a acumular láminas de agua durante las crecidas, por lo que se consideran sectores con alta susceptibilidad a inundación fluvial.

Tabla 13. Valoración de las distintas unidades de pendiente del terreno

PENDIENTE DEL TERRENO (°)	VALOR	GRADO DE SUSCEPTIBILIDAD
0–5° Llano a ligeramente inclinada	5	Muy alta
5–15° Inclinada	4	Alta
15–25° Ligeramente empinada	3	Media
25–45° Moderadamente empinada	2	Baja
> 45° Escarpada	1	Muy baja

Fuente. Elaboración propia.

C) Componente geológico

Las condiciones geológicas adquieren relevancia porque una proporción significativa de los materiales aflorantes corresponde a antiguos depósitos fluviales, a lo que se suma la presencia diferenciada de cuerpos de arenisca en laderas y cauces. Esta configuración litológica condiciona el comportamiento mecánico del terreno y, en consecuencia, la forma en que el flujo se concentra y se distribuye durante los eventos de inundación.

Tabla 14. Valoración de las distintas unidades geológicas

UNIDAD GEOLÓGICA	CÓDIGO SUGERIDO	VALOR	GRADO DE SUSCEPTIBILIDAD
Depósito aluvial holoceno	Qh-al	5	Muy alta
Depósito fluvial holoceno	Qh-fl	5	Muy alta
Depósito aluvial–fluvial holoceno	Qh-afl	5	Muy alta
Depósito proluvial holoceno	Qh-pr	4	Alta
Depósito aluvial pleistoceno	Qp-al	4	Alta
Depósito fluvial pleistoceno	Qp-fl	4	Alta
Depósito coluvial	Qh-co	3	Media
Depósito antropógeno (rellenos, terrazas modificadas)	Qh-an	3	Media
Depósito aluvial antiguo no diferenciado	Q-al	3	Media
Grupo San Jerónimo – Formación Kayra (roca)	K-k	1	Muy baja

Fuente. Elaboración propia.

7.2.2. Elemento desencadenante de la inundación fluvial

A) Componente precipitación máxima diaria

En el caso del distrito de Lucre, la precipitación máxima diaria se considera como el principal factor desencadenante de los procesos de inundación fluvial, dado que los eventos de lluvias intensas registrados en las últimas décadas han coincidido con los desbordes del río Lucre. A partir de los registros de las estaciones del SENAMHI cercanas al área de estudio y de los reportes de emergencias, se puede distinguir que los episodios de mayor impacto corresponden a acumulados diarios elevados asociados a temporadas de lluvias excepcionales, como el evento de 2010, en el que colapsó el 90% de las viviendas de adobe del sector Huacarpay (De La Quintana et al., 2018), y otros episodios ocurridos en el periodo reciente, los cuales provocaron inundación de áreas agrícolas y afectación de viviendas en los sectores de Huacarpay y Yanamanchi.

Tabla 15. Datos representativos de lluvia máxima diaria relacionados con eventos de desborde en la cuenca del río Lucre.

EVENTO	FECHA APROXIMADA	PRECIPITACIÓN MÁXIMA DIARIA (MM/DÍA)	FUENTE
Inundación fluvial de gran magnitud en la cuenca del río Lucre	Enero–febrero de 1984	Valor de lluvia diaria obtenido del análisis de la serie histórica (Pd 1984)	Testimonios orales y datos SENAMHI (Pobladores ribereños del río Lucre, 1984; SENAMHI)
Inundación por desborde de la laguna Huacarpay que afectó Lucre y Huacarpay	Enero de 2010	Precipitación diaria correspondiente al día de máxima lluvia del evento	INDECI (2010); datos diarios SENAMHI
Aluvión e inundación en Yanamanchi (23 ha de cultivos afectados)	2019	Precipitación máxima diaria del día del evento	Municipalidad Distrital de Lucre (2019); SENAMHI
Desborde del río Lucre e inundación de 23 ha de cultivos en Yanamanchi	05-01-2020	Precipitación máxima diaria registrada ese día	INDECI (2020); datos diarios SENAMHI
Inundaciones y deslizamientos por lluvias intensas a nivel regional, afectando la cuenca del río Lucre	Verano de 2024	Precipitación máxima diaria del periodo lluvioso crítico	COEN–INDECI (2024); datos SENAMHI
Desborde del río Huatanay y daños en viviendas del sector Huacarpay	16-03-2026	Lluvia diaria máxima asociada al evento	COEN–INDECI (2026); datos SENAMHI

Fuente: Elaboración propia en base a reportes de INDECI y COEN, y registros diarios de precipitación de estaciones SENAMHI en el ámbito del distrito de Lucre.

Tomando como referencia estos antecedentes hidrometeorológicos para Lucre y la metodología de clasificación de lluvias empleada por CENEPRED y SENAMHI, se propone la siguiente valoración del factor desencadenante "Precipitación máxima diaria" para el área de estudio:

Tabla 16. Asignación de peso al factor desencadenante: máxima lluvia en 24 horas.

PRECIPITACIÓN MÁXIMA DIARIA (RR/DÍA)	NOMBRE PROPUESTO	VALOR
RR/día > 80 mm	Extremadamente lluvioso	5
60 mm < RR/día ≤ 80 mm	Muy lluvioso	4
35 mm < RR/día ≤ 60 mm	Lluvioso	3
15 mm < RR/día ≤ 35 mm	Moderadamente lluvioso	2
RR/día < 15 mm	Ligeramente lluvioso	1

Fuente. Elaboración propia.

7.2.3. Mapa de susceptibilidad geológica a inundación Fluvial

La combinación de los factores condicionantes (geomorfología, pendiente del terreno y geología) y del factor desencadenante (precipitación máxima diaria) se efectuó en el software ArcGIS, lo que permitió generar el mapa de susceptibilidad a inundación fluvial a partir de capas temáticas previamente ponderadas, siguiendo los lineamientos metodológicos del CENEPRED (2014).

Esta integración se llevó a cabo aplicando una expresión que pondera los valores de susceptibilidad de cada parámetro y el factor de precipitación máxima diaria (CENEPRED, 2014), obteniéndose un índice de susceptibilidad por inundación fluvial que luego fue reclasificado en rangos para establecer las categorías finales del mapa.

$$\boldsymbol{SIF} = \left(\frac{\boldsymbol{V_{SGmf}(0.60) + V_{SPt}(0.30) + V_{SGeo}(0.10)}}{\boldsymbol{3}}\right)\boldsymbol{(0.7)} \times \left(\frac{\boldsymbol{V_{FDP}}}{\boldsymbol{1}}\right)\boldsymbol{(0.30)}$$

Donde:

- **SIF =** Susceptibilidad a Inundación Fluvial
- $\boldsymbol{VSG}\mathbf{mf}$ = Valor de Susceptibilidad del parámetro Geomorfología
- $\boldsymbol{VSP}\mathbf{t}$ = Valor de Susceptibilidad del parámetro Pendiente del terreno

- $VS\text{Geo}$ = Valor de Susceptibilidad del parámetro Geología
- $VFDP$ = Valor de Factor Desencadenante Precipitación máxima diaria

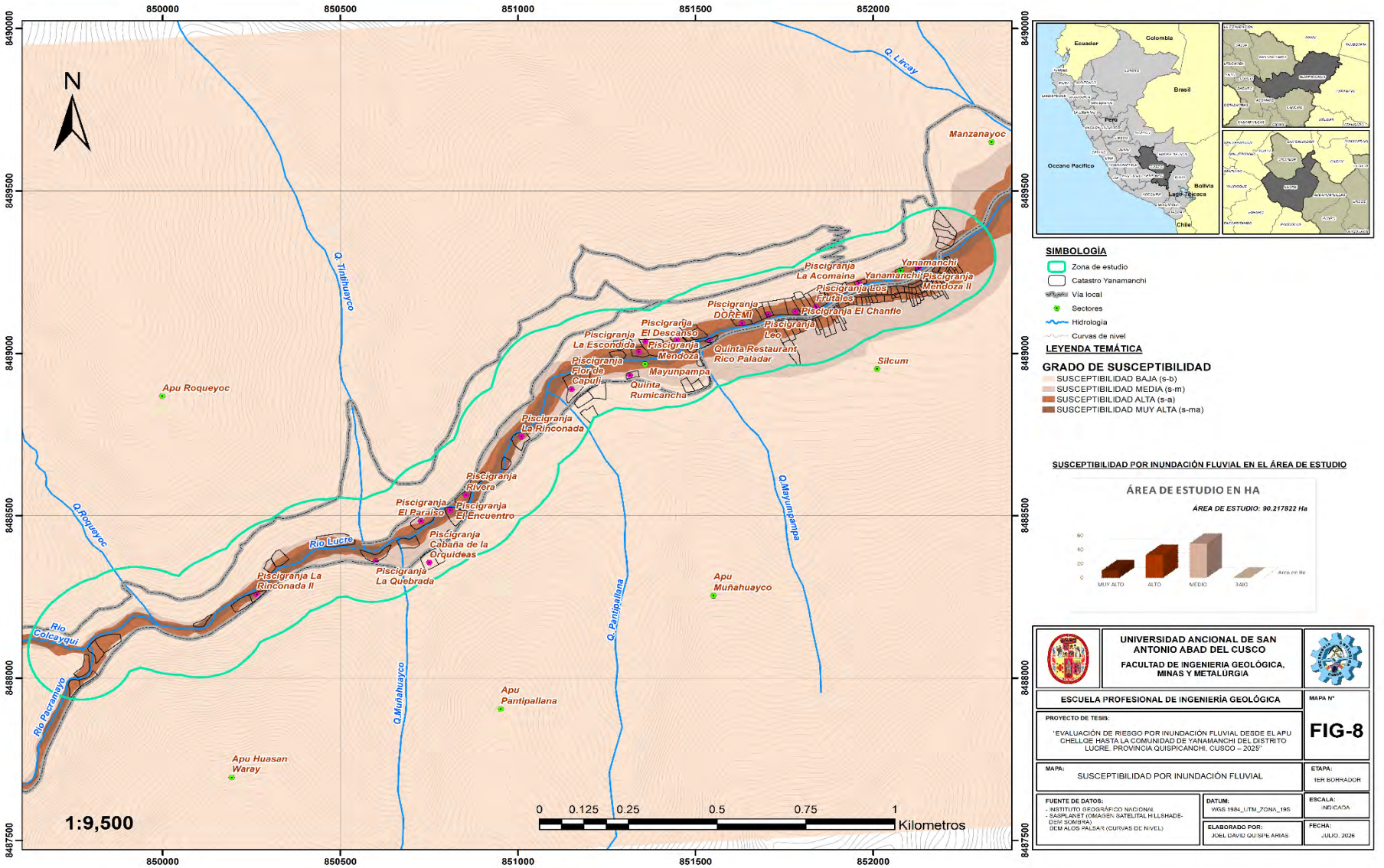
A partir de la aplicación de la fórmula descrita se obtienen los valores límite del índice de susceptibilidad, los cuales permiten establecer la clasificación final de la susceptibilidad a inundación fluvial presentada a continuación.

Tabla 17. Clasificación en rangos del índice de susceptibilidad frente a inundaciones fluviales.

Nivel de susceptibilidad	Rango de valores
Susceptibilidad muy alta	$0.276 < P \leq 0.461$
Susceptibilidad alta	$0.146 < P \leq 0.276$
Susceptibilidad media	$0.075 < P \leq 0.146$
Susceptibilidad baja	$0.042 \leq P \leq 0.075$

Fuente. Elaboración propia.

Figura 15. Mapa de susceptibilidad



Fuente. Elaboración propia

7.2.4. Parámetro de evaluación por inundación fluvial

El parámetro de evaluación para la Inundación Fluvial en este estudio se define como la altura del nivel de agua (tirante) que alcanza el río Lucre respecto a su nivel mínimo habitual, considerando los caudales máximos simulados para los distintos periodos de retorno en el modelamiento hidráulico.

Tabla 18. Clasificación de los descriptores del parámetro de evaluación por Inundación Fluvial

ALTURA DEL NIVEL DE AGUA (M)	CAUDAL MÁXIMO DEL MODELAMIENTO HIDRÁULICO	VALOR
0 – 1 m	Encharcamiento superficial	1
1 – 2 m	$\boldsymbol{Q_{Tr=10\ años} = 40.12 \frac{m^3}{s}}$	2
2 – 3 m	$\boldsymbol{Q_{Tr=50\ años} = 88.12 \frac{m^3}{s}}$	3
3 – 5 m	$\boldsymbol{Q_{Tr=100\ años} = 118.24 \frac{m^3}{s}}$	4
> 5 m	$\boldsymbol{Q_{Tr=500\ años} = 190.34 \frac{m^3}{s}}$	5

Fuente. Elaboración propia.

7.2.5. Niveles de peligro geológico por inundación fluvial

La combinación del mapa de susceptibilidad a inundación fluvial con el parámetro de evaluación en el entorno de ArcGIS permitió obtener el mapa de Peligro Geológico por Inundación Fluvial, a partir de la integración de ambas capas mediante la siguiente ecuación (CENEPRED, 2014).

$$\boldsymbol{P_{IF} = (V_{SIF})(0.60) + (V_{Pev})(0.40)}$$

Donde:

• **P_IF =** Peligro Geológico por Inundación Fluvial

• $\boldsymbol{VSIF}$ = Valor del índice de Susceptibilidad por Inundación Fluvial

• $\boldsymbol{VPev}$ = Valor del Parámetro de Evaluación (Altura del nivel de agua)

A partir de la aplicación de la fórmula se determinan los valores umbral del índice, los cuales permiten establecer la clasificación de la susceptibilidad a inundación fluvial que se presenta a continuación.

Tabla 19. Niveles del peligro geológico asociado a inundación fluvial.

NIVEL DE PELIGRO	VALORES DE PELIGRO
Peligro muy alto	$0.267 < P \leq 0.434$
Peligro alto	$0.155 < P \leq 0.267$
Peligro medio	$0.089 < P \leq 0.155$
Peligro bajo	$0.054 \leq P \leq 0.089$

Fuente. Elaboración propia.

7.2.6. Estratificación de los niveles de peligro geológico por inundación fluvial

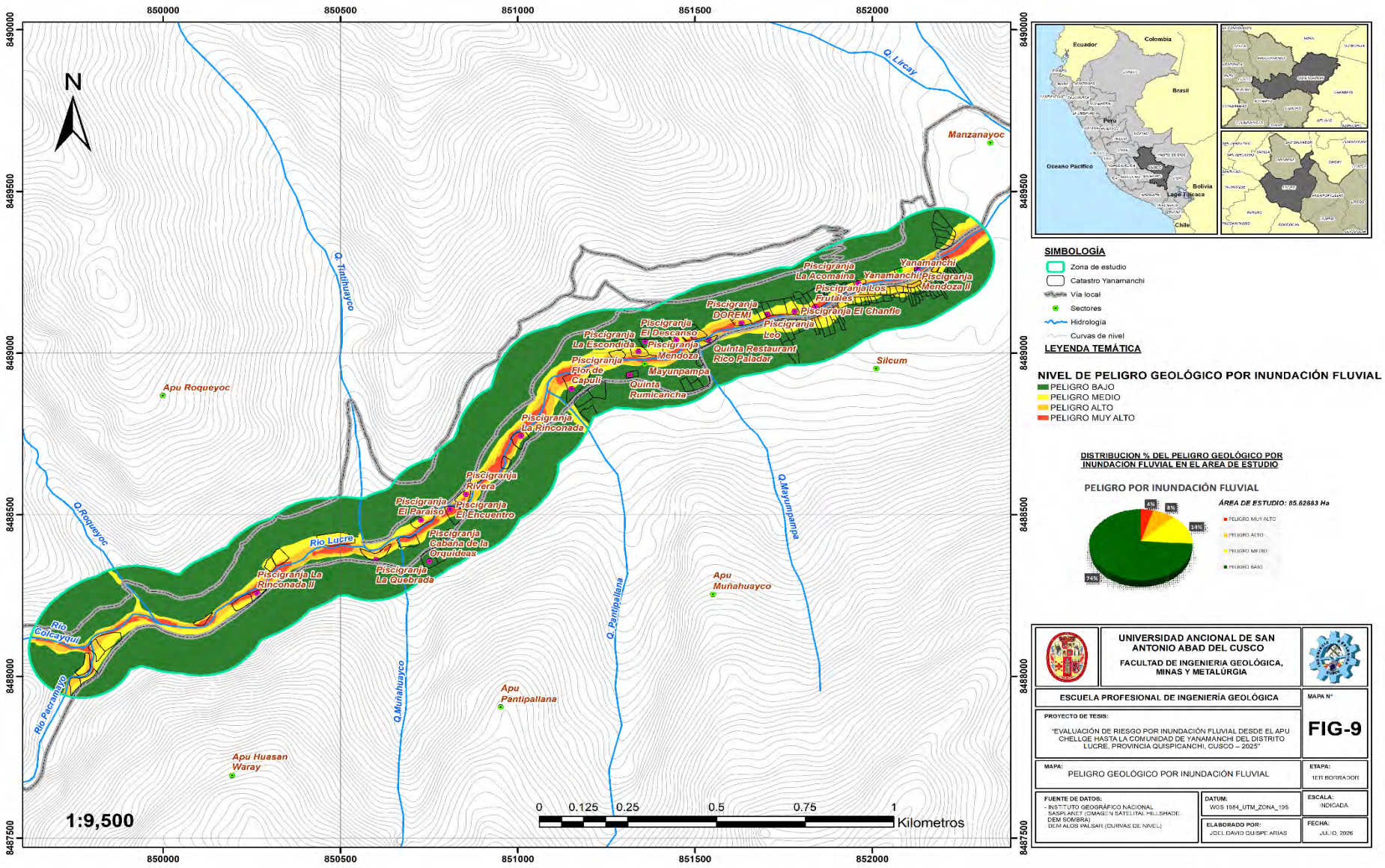
Tabla 20. Estratificación del peligro geológico relacionado a inundación fluvial.

NIVEL DE PELIGRO	DESCRIPCIÒN	VALORES DE PELIGRO
PELIGRO **MUY ALTO**	Corresponde a la llanura o planicie inundable, al cauce activo y a las terrazas bajas aluviales adyacentes al río Lucre, donde predominan pendientes llanas a ligeramente inclinadas (0–7°). Geológicamente se caracterizan por depósitos aluviales y fluviales holocenos muy poco consolidados, formados por materiales finos y saturables que facilitan la propagación del flujo. En estas áreas, las precipitaciones máximas diarias se sitúan en el rango de lluvias fuertes a muy fuertes (aprox. 18–25 mm/día), que históricamente han generado desbordes recurrentes y anegamiento prolongado de terrenos agrícolas y sectores urbanos como Yanamanchi. Durante las crecidas extraordinarias, el tirante de agua puede alcanzar valores de hasta alrededor de 6 m por encima del nivel mínimo del río Lucre, por lo que se consideran zonas con muy alta probabilidad de inundación y daños directos.	$2.67 < P \leq 4.34$+D3:D6
PELIGRO **ALTO**	Abarca principalmente terrazas bajas aluviales ligeramente elevadas respecto a la planicie inundable, así como vertientes o piedemontes aluviales y zanjas naturales que drenan hacia el cauce del río Lucre, con pendientes suaves (0–14°). El contexto geológico está dominado por depósitos aluviales y fluviales recientes, acompañados localmente por coluviales de pie de ladera que pueden saturarse con rapidez. Bajo episodios de precipitación máxima diaria de intensidad moderada a fuerte (aprox. 15–22 mm/día), estas zonas experimentan incrementos significativos del caudal y desbordes parciales, con tirantes que pueden variar entre 6 y 10 m por encima del nivel mínimo del río. Se trata de áreas con alta probabilidad de inundación durante eventos de mayor periodo de retorno, donde se concentran daños en viviendas, caminos vecinales e infraestructura básica.	$1.55 < P \leq 2.67$

PELIGRO **MEDIO**	Incluye terrazas medias disectadas, colinas bajas y lomadas disectadas con presencia de cárcavas, donde las pendientes oscilan aproximadamente entre 7° y 27°. Geológicamente están compuestas por depósitos eluviales-residuales, coluviales antiguos y, en algunos sectores, por depósitos aluviales más consolidados (pleistocenos), lo que reduce la frecuencia de inundación directa. En estas áreas, las lluvias máximas diarias suelen ubicarse en el rango de 10–20 mm/día; aunque no suelen generarse tirantes elevados del río sobre estas superficies, sí se produce escorrentía concentrada, saturación de suelos y anegamientos puntuales en depresiones topográficas. Por ello se consideran zonas de peligro medio, con una probabilidad moderada de verse afectadas por procesos de inundación indirecta y erosión asociada.	$0.89 < P \leq 1.55$
PELIGRO **BAJO**	Comprende laderas de montaña, colinas y terrazas altas desarrolladas sobre roca sedimentaria (Grupo San Jerónimo–Formación Kayra y otras), con pendientes generalmente iguales o superiores a 27°. Estas unidades se encuentran ubicadas a cotas topográficas muy superiores al nivel máximo de crecida del río Lucre y están constituidas por materiales geológicos relativamente competentes, cubiertos localmente por delgados depósitos eluviales de vertiente. Aunque reciben las mismas lluvias de la cuenca (0–18 mm/día de precipitación máxima diaria en eventos ligeros a moderados), su posición elevada las deja fuera de la planicie de inundación, de modo que la afectación directa por desbordes es muy baja y se limita a escorrentía superficial y procesos de ladera. En consecuencia, estas áreas se clasifican como de peligro bajo frente a inundación fluvial.	$0.54 \leq P \leq 0.89$

Fuente. Elaboración propia.

Figura 16.Mapa de peligro



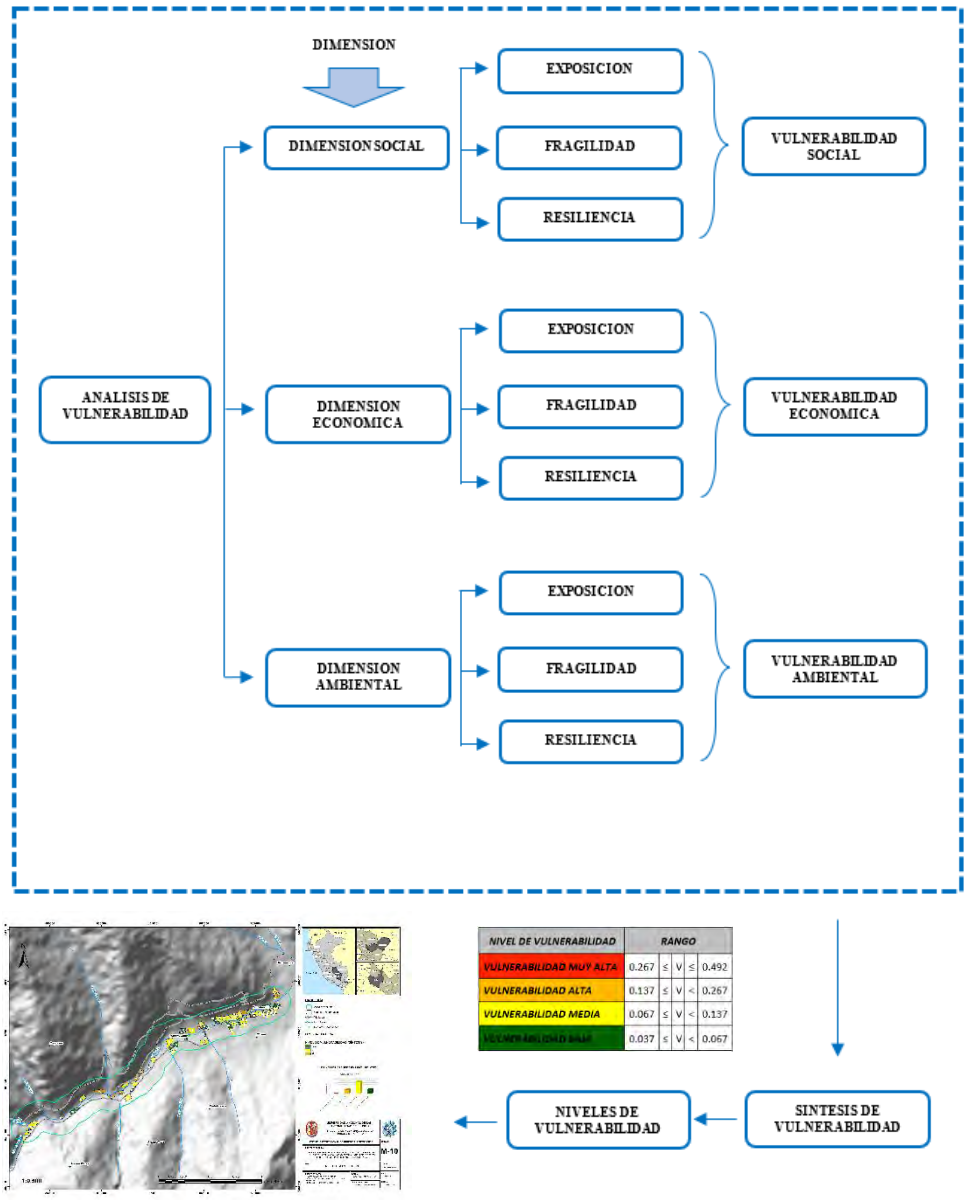
Fuente. Elaboración propia

CAPÍTULO VIII. DIAGNÓSTICO DE VULNERABILIDAD

8.1. CONSIDERACIONES GENERALES

El diagnóstico de la vulnerabilidad frente a los peligros identificados en el capítulo precedente se desarrollará siguiendo la metodología propuesta por el CENEPRED en el "Manual para la Evaluación de Riesgos originados por Fenómenos Naturales" (2014). En la figura 17, se presentan de manera sintética todos los componentes y factores considerados en este proceso de evaluación.

Figura 17. Diagrama de flujo para determinar el nivel de vulnerabilidad



Fuente. Adaptada de CENEPRED,2014

8.1.1. Condiciones sociales

Dentro del análisis de la dimensión social resulta fundamental caracterizar a la población según su distribución por grupos etáreos, ya que esto permite identificar la estructura demográfica de la comunidad y orientar adecuadamente las estrategias de gestión del riesgo. La siguiente tabla presenta la composición poblacional de la Comunidad Campesina de Yanamanchi, desagregada por sexo y rangos quinquenales de edad.

Tabla 21. Distribución poblacional del C.C. Yanamanchi por grupos etáreos

GRUPOS DE EDADES	HOMBRES	MUJERES	TOTAL	%
POBLACIÓN TOTAL	***115***	***113***	***228***	***100%***
	50.44%	49.56%		
Infantil	**38**	**35**	**73**	**32.02%**
De 0 a 4 años	11	12	23	10.09%
De 5 a 9 años	12	11	23	10.09%
De 10 a 14 años	15	12	27	11.84%
Joven	**29**	**28**	**57**	**25.00%**
De 15 a 19 años	11	11	22	9.65%
De 20 a 24 años	10	8	18	7.89%
De 25 a 29 años	8	9	17	7.46%
Joven Adulto	**21**	**22**	**43**	**18.86%**
De 30 a 34 años	8	8	16	7.02%
De 35 a 39 años	7	8	15	6.58%
De 40 a 44 años	6	6	12	5.26%
Adulto	**14**	**13**	**27**	**11.84%**
De 45 a 49 años	6	5	11	4.82%
De 50 a 54 años	4	5	9	3.95%
De 55 a 59 años	4	3	7	3.07%
Adulto Mayor	**13**	**15**	**28**	**12.28%**
De 60 a 64 años	3	4	7	3.07%
De 65 a 69 años	4	4	8	3.51%
De 70 a 74 años	3	3	6	2.63%
De 75 a más	3	4	7	3.07%
Total	**115**	**113**	**228**	**100%**

Fuente: Elaboración propia en base al Plan de Trabajo 2026 — Municipalidad Distrital de Lucre, Cusco (población total del C.C. Yanamanchi) y los Censos Nacionales 2007: XI de Población y VI de Vivienda — INEI (estructura etárea del distrito de Lucre).

8.1.2. Condiciones económicas

La estructura económica del distrito de Lucre se sustenta principalmente en la actividad agropecuaria, la cual constituye la base productiva tanto del centro poblado capital como de sus comunidades campesinas anexas. Según el Plan de Desarrollo Concertado del distrito de Lucre 2012-2021 (Municipalidad Distrital de Lucre, 2012), en el valle de la microcuenca del río Lucre se desarrolla una agricultura intensiva orientada a cultivos de maíz, papa, trigo, cebada, hortalizas y haba. De acuerdo con los Censos Nacionales 2007 (INEI, 2008), aproximadamente el 73% de

la población del distrito tiene como ocupación principal la agricultura, complementada con actividades pecuarias menores y comercio local.

En el caso específico de la Comunidad Campesina de Yanamanchi, su economía conserva un carácter eminentemente rural. La comunidad cuenta con un sistema de riego por aspersión e inundación que ha incrementado la productividad agrícola, según el Plan de Desarrollo Concertado del distrito de Lucre (Municipalidad Distrital de Lucre, 2012). Adicionalmente, aprovechando los recursos hídricos del río Lucre, en la comunidad se ha consolidado la piscigranja dedicada a la crianza de trucha como la principal actividad económica emergente, constituyéndose en el eje productivo de mayor dinamismo local. Esta actividad adquiere creciente relevancia. De manera complementaria, se lleva a cabo la crianza de ganado vacuno, ovino y animales menores (cuyes, gallinas). Las principales actividades económicas se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 22. Principales actividades productivas del C.C. Yanamanchi.

ESTRUCTURA ECONÓMICA	ACTIVIDAD	CANT.	PORCENTAJE
Actividades Primarias	Agricultura y ganadería	33	35.5%
	Piscicultura (piscigranja de truchas)	32	34.4%
	Explotación de minas y canteras	0	0.0%
	Sub-Total Actividades Primarias	**65**	**69.9%**
Actividades Secundarias	Industrias manufactureras	1	1.1%
	Construcción	5	5.4%
	Sub-Total Actividades Secundarias	**6**	**6.5%**
Actividades Terciarias	Suministro de electricidad, gas y agua	0	0.0%
	Venta, mantenimiento y reparación de vehículos automotrices y motocicletas	0	0.0%
	Comercio al por mayor	0	0.0%
	Comercio al por menor	7	7.5%
	Restaurantes	5	5.4%
	Transporte, almacenamiento y comunicaciones	3	3.2%
	Intermediación financiera	0	0.0%
	Actividades inmobiliarias, empresas y alquileres	0	0.0%
	Enseñanza	3	3.2%
	Servicios sociales y de salud	1	1.1%
	Otras actividades de servicios comunales, sociales y personales	3	3.2%
	Hogares privados y servicios domésticos	0	0.0%
	Organizaciones y órganos extraterritoriales	0	0.0%
	Sub-Total Actividades Terciarias	**22**	**23.7%**
	TOTAL	**93**	**100%**

Fuente: Elaboración propia en base al Plan de Desarrollo Concertado del Distrito de Lucre 2012-2021 (MDL), Plan de Trabajo 2026 — Municipalidad Distrital de Lucre, y Censos Nacionales 2007: XI de Población y VI de Vivienda — INEI.

8.2. ANÁLISIS DE DIMENSIÓN SOCIAL

Para el análisis de la vulnerabilidad social se evaluaron de manera integrada sus tres dimensiones constitutivas: la exposición social, la fragilidad social y la resiliencia social (CENEPRED, 2014).

8.2.1. Exposición social

Tabla 23. Exposición social. Número de habitantes por lote

EXPOSICIÓN SOCIAL (P = 0.539)	DESCRIPTORES	VECTOR DE PRIORIZACIÓN
NÚMERO DE HABITANTES POR LOTE	Más de 10 personas	0.408
	7 a 10 personas	0.318
	4 a 6 personas	0.156
	2 a 3 personas	0.072
	1 persona	0.046

Fuente. Adaptada de CENEPRED, 2014.

8.2.2. Fragilidad social

Tabla 24. Criterios de la fragilidad social

FRAGILIDAD SOCIAL (P = 0.297)					
RANGO DE EDADES PREDOMINANTE		***ACCESO A SERVICIOS BASICOS***		***PRESENCIA DE PERSONAS CON DISCAPACIDAD***	
Descriptor	***Pdes***	***Descriptor***	***Pdes***	***Descriptor***	***Pdes***
0–5 y > 65 años	0.506	Ninguno	0.437	Múltiple	0.577
6–12 años y 55–65 años	0.299	Solo un SS.BB.	0.290	Física	0.191
13–18 años	0.110	Dos SS.BB. deficientes	0.162	Sensorial	0.130
19–30 años	0.052	Dos SS.BB.	0.076	Cognitiva	0.067
31–54 años	0.034	Todos los SS.BB. (+ teléfono, + internet)	0.035	Ninguno	0.035

Fuente. Adaptada de CENEPRED, 2014.

8.2.3. Resiliencia social

Tabla 25. Criterios de la resiliencia social

RESILIENCIA SOCIAL (P = 0.164)					
NIVEL DE ORGANIZACIÓN SOCIAL		***CONOCIMIENTO EN GRD***		***TIPO DE COBERTURA DE SALUD***	
Descriptor	***Pdes***	***Descriptor***	***Pdes***	***Descriptor***	***Pdes***
Muy mala / Nunca	0.465	Sin conocimiento	0.501	Sin seguro	0.452
Mala / Casi nunca	0.279	Conocimiento erróneo	0.271	SIS	0.307
Media / A veces	0.151	Conocimiento limitado	0.126	Fuerzas Armadas	0.140

Buena / Casi siempre	0.072	Conocimiento sin interés	0.067	ESSALUD	0.068
Muy buena / Siempre	0.033	Sí conoce (completo)	0.036	Privado	0.032

Fuente. Adaptada de CENEPRED, 2014.

8.3. ANÁLISIS DE DIMENSIÓN ECONÓMICA

La vulnerabilidad económica fue analizada a través de dos parámetros fundamentales: el estado de las edificaciones y la dinámica económica de los habitantes, conforme a la metodología establecida por el CENEPRED (2014).

8.3.1. Exposición económica

Tabla 26. Exposición económica: Ubicación de las edificaciones respecto al rio o zonas de peligro.

EXPOSICIÓN ECONÓMICA (P = 0.539)	DESCRIPTORES	VECTOR DE PRIORIZACIÓN
UBICACIÓN DE LAS EDIFICACIONES RESPECTO AL RIO O ZONA DE PELIGRO	Muy cercana (0 – 15 m)	0.489
	Cercana (15 – 30 m)	0.288
	Medianamente cercana (30 – 50 m)	0.125
	Alejada (50 – 75 m)	0.064
	Muy alejada (> 75 m)	0.033

Fuente. Adaptada de CENEPRED, 2014.

8.3.2. Fragilidad económica

Tabla 27. Criterios de la fragilidad económica.

FRAGILIDAD ECONÓMICA (P = 0.297)					
MATERIAL PRINCIPAL DE LA VIVIENDA O EDIFICACIÓN		***ESTADO ACTUAL DE CONSERVACIÓN DE LA EDIFICACIÓN***		***FORMA DE EJECUCIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN***	
Descriptor	***Pdes***	***Descriptor***	***Pdes***	***Descriptor***	***Pdes***
Mixto / Precario – Quincha	0.496	Muy malo / Precario	0.418	Autoconstrucción	0.505
Acero / Drywall / Madera	0.255	Malo	0.308	Técnico en construcción	0.238
Adobe	0.150	Regular	0.159	Maestro de obra	0.159
Ladrillo – Bloqueta	0.064	Bueno	0.077	Profesional	0.065
Concreto armado	0.034	Muy bueno / Nuevo	0.038	Profesional con licencia	0.034

Fuente. Adaptada de CENEPRED, 2014.

8.3.3. Resiliencia económica

Tabla 28. Criterios de la resiliencia económica.

RESILIENCIA ECONÓMICA (P = 0.164)					
NÚMERO DE PERSONAS CON SEGURO DE SALUD EN EL HOGAR		***INGRESO ECONÓMICO PROMEDIO DEL HOGAR***		***PORCENTAJE DE POBLACIÓN ECONÓMICAMENTE ACTIVA***	
Descriptor	***Pdes***	***Descriptor***	***Pdes***	***Descriptor***	***Pdes***
Ninguno	0.428	≤ 200	0.460	0 – 20 %	0.526
De 1 a 2 personas	0.360	> 200 – ≤ 750	0.292	21 – 40 %	0.263
De 3 a 5 personas	0.112	> 750 – ≤ 1 500	0.143	41 – 60 %	0.118

De 6 a 8 personas	0.063	> 1 500 – ≤ 3 000	0.069	61 – 80 %	0.061
Mayor a 9 personas	0.038	> 3 000	0.036	81 – 100 %	0.033

Fuente. Adaptada de CENEPRED, 2014.

8.4. ANÁLISIS DE DIMENSIÓN AMBIENTAL

Para estimar el nivel de vulnerabilidad ambiental se evaluó como factor predominante la disposición de los residuos sólidos por parte de los habitantes, conforme a la metodología establecida por el CENEPRED (2014).

8.4.1. Exposición ambiental

Tabla 29. Exposición ambiental: Distancia a puntos de acumulación de residuos sólidos.

EXPOSICIÓN AMBIENTAL (P = 0.525)	DESCRIPTORES	VECTOR DE PRIORIZACIÓN
DISTANCIA A PUNTOS DE ACUMULACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS	Muy cercana (< 25 m)	0.483
	Cercana (25 – 50 m)	0.283
	Medianamente cercana (50 – 100 m)	0.141
	Alejada (100 – 250 m)	0.061
	Muy alejada (> 250 m)	0.032

Fuente. Adaptada de CENEPRED, 2014.

8.4.2. Fragilidad ambiental

Tabla 30. Criterios de la fragilidad ambiental.

FRAGILIDAD AMBIENTAL (P = 0.334)					
FORMA DE DISPOSICIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS		***CRÍA DE ANIMALES EN EL LOTE O VIVIENDA***		***TIPO DE DISPOSICIÓN FINAL DE EXCRETAS***	
Descriptor	***Pdes***	***Descriptor***	***Pdes***	***Descriptor***	***Pdes***
Desechar en cauces de ríos y quebradas	0.489	Más de 3 animales	0.511	Sin servicio higiénico	0.493
Desechar en vías y calles	0.288	3 animales	0.267	Con letrina y arrastre hidráulico	0.271
Desechar en botaderos (puntos críticos)	0.125	2 animales	0.118	Con letrina tipo pozo seco	0.128
Furgoneta recolectora	0.064	1 animal	0.065	Con unidad básica de tratamiento	0.068
Furgoneta recolectora en forma segregada	0.033	Ninguno	0.039	Con instalación sanitaria conectada	0.040

Fuente. Adaptada de CENEPRED, 2014.

8.4.3. Resiliencia ambiental

Tabla 31. Criterios de la resiliencia ambiental.

RESILIENCIA AMBIENTAL (P = 0.142)			
NIVEL DE CONOCIMIENTOS EN TEMAS AMBIENTALES		***GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS EN EL HOGAR***	
Descriptor	***Pdes***	***Descriptor***	***Pdes***
Sin manejo	0.503	Sin conocimiento	0.503
Deposita en solo envases	0.260	Conocimiento erróneo	0.260
Selecciona orgánico e inorgánico	0.134	Conocimiento limitado	0.134
Reúsa y compostaje	0.068	Conocimiento sin interés	0.068

Clasificación por material	0.035	Con conocimiento	0.035

Fuente. Adaptada de CENEPRED, 2014.

8.5. ANÁLISIS DE DIMENSIÓN FÍSICA

El análisis de vulnerabilidad física fue desarrollado específicamente para los lotes que corresponden a equipamiento urbano, tales como centros educativos, almacenes, comedores de barrio, canchas deportivas y postas de salud, ya que en ellos no se registra población residente de carácter permanente, diferenciándose así de las unidades habitacionales (CENEPRED, 2014).

8.5.1. Exposición física

Tabla 32. Exposición física: Posición de la edificación con relación al cauce o zona de amenaza.

EXPOSICIÓN FÍSICA (P = 0.525)	DESCRIPTORES	VECTOR DE PRIORIZACIÓN
POSICIÓN DE LA EDIFICACIÓN CON RELACIÓN AL CAUCE O ZONA DE AMENAZA	Muy cercana (0 – 15 m)	0.489
	Cercana (15 – 30 m)	0.288
	Medianamente cercana (30 – 50 m)	0.125
	Alejada (50 – 75 m)	0.064
	Muy alejada (> 75 m)	0.033

Fuente. Adaptada de CENEPRED, 2014.

8.5.2. Fragilidad física

Tabla 33. Criterios de la fragilidad física.

FRAGILIDAD FÍSICA (P = 0.334)					
MATERIAL CONSTRUCTIVO PREDOMINANTE		***CONDICIÓN FÍSICA DE LA EDIFICACIÓN***		***SEÑALIZACIÓN Y RUTAS DE EVACUACIÓN ANTE EMERGENCIAS***	
Descriptor	***Pdes***	***Descriptor***	***Pdes***	***Descriptor***	***Pdes***
Mixto / Precario – Quincha	0.496	Muy malo / Precario	0.418	No cuenta con ninguna señalización	0.503
Acero / Drywall / Madera	0.255	Malo	0.308	Tiene señalizaciones mínimas o inadecuadas para la evacuación	0.260
Adobe	0.150	Regular	0.159	Cumple parcialmente con la norma, con varias omisiones o errores significativos	0.134
Ladrillo – Bloqueta	0.064	Bueno	0.077	Cumple con la mayoría de las normas, pero con algunas omisiones o errores menores	0.068
Concreto armado	0.034	Muy bueno / Nuevo	0.038	Cumple con todas las normas de señalización de evacuación	0.035

Fuente. Adaptada de CENEPRED, 2014.

8.5.3. Resiliencia física

Tabla 34. Criterios de la resiliencia física

RESILIENCIA FÍSICA (P = 0.142)			
EXISTENCIA Y CALIDAD DE PLAN DE CONTINGENCIA		***MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS EN INFRAESTRUCTURA***	
Descriptor	***Pdes***	***Descriptor***	***Pdes***

Falta de planificación	0.468	Sin manejo	0.503
Planificación limitada	0.268	Deposita en un solo envase	0.260
Planificación adecuada	0.144	Selecciona (orgánico e inorgánico)	0.134
Planificación sólida	0.076	Reúso y compostaje	0.068
Planificación exhaustiva	0.044	Clasificación por material	0.035

Fuente. Adaptada de CENEPRED, 2014.

8.6. MATRIZ DE SÍNTESIS DE VULNERABILIDAD

Tras evaluar de manera independiente las dimensiones social, económica, ambiental y física correspondiente al equipamiento urbano, se desarrolló el cálculo integral que permitió determinar los niveles de vulnerabilidad (CENEPRED, 2014).

Tabla 35. Matriz resumida de la vulnerabilidad

DIMENSIÓN SOCIAL		**DIMENSIÓN ECONÓMICA**		**DIMENSIÓN AMBIENTAL**		**VALOR DE LA VULNERABILIDAD**
Valor	***Peso***	***Valor***	***Peso***	***Valor***	***Peso***	
0.444	0.334	0.480	0.525	0.489	0.142	**0.470**
0.302	0.334	0.285	0.525	0.279	0.142	**0.290**
0.145	0.334	0.135	0.525	0.135	0.142	**0.138**
0.068	0.334	0.066	0.525	0.064	0.142	**0.066**
0.041	0.334	0.034	0.525	0.034	0.142	**0.036**

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 36. Niveles de vulnerabilidad

Nivel de vulnerabilidad	**Valores de vulnerabilidad**
Vulnerabilidad muy alta	$0.267 < V \leq 0.492$
Vulnerabilidad alta	$0.137 < V \leq 0.267$
Vulnerabilidad media	$0.067 < V \leq 0.137$
Vulnerabilidad baja	$0.037 \leq V \leq 0.067$

Fuente. Elaboración propia.

8.7. ESTRATIFICACIÓN DE LOS NIVELES DE SÍNTESIS DE VULNERABILIDAD

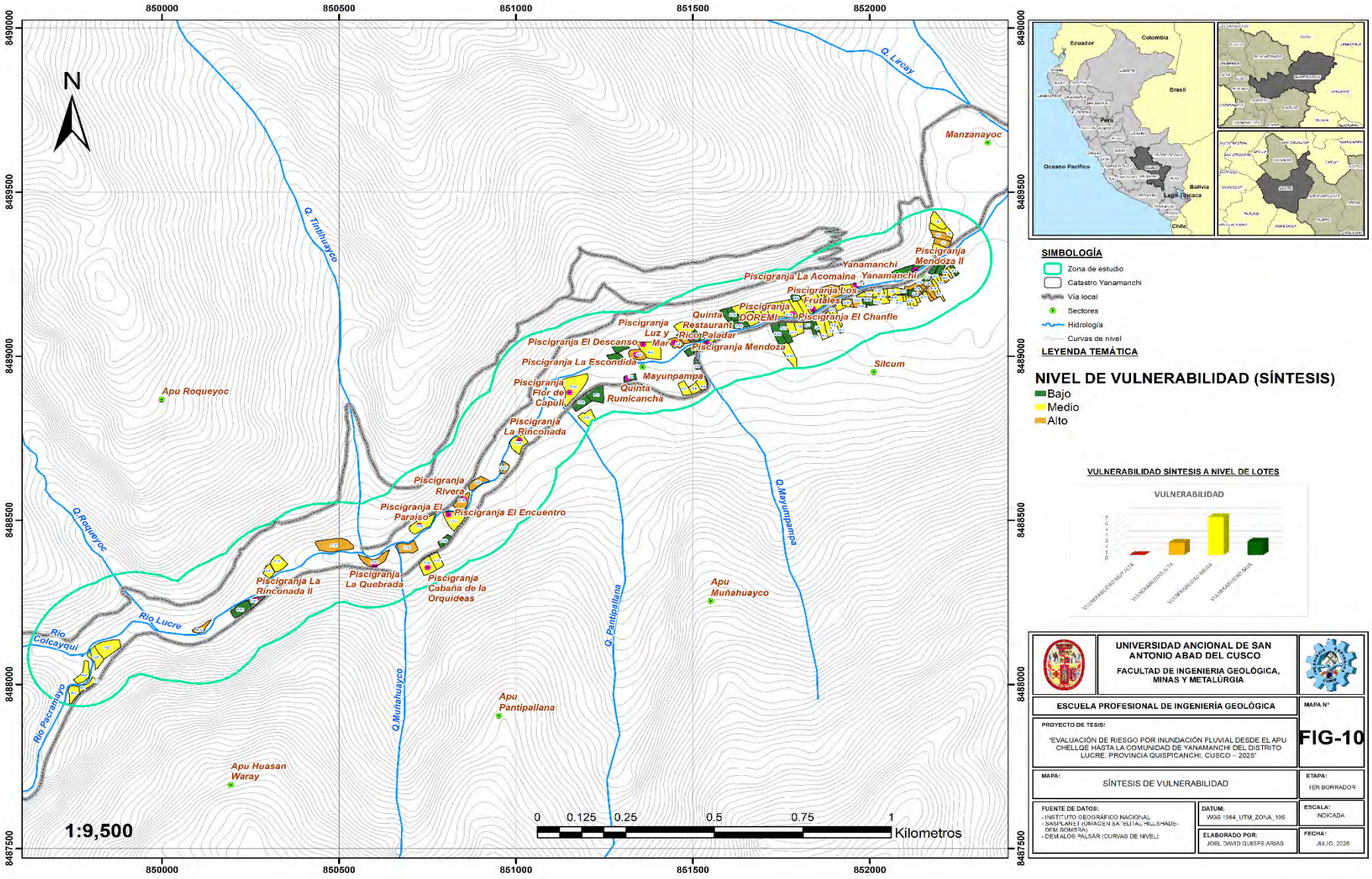
Tabla 37. Estratificación de los niveles de vulnerabilidad.

NIVEL DE VULNERABILIDAD	**DESCRIPCIÒN**	**VALORES DE VULNERABILIDAD**

VULNERABILIDAD MUY ALTA	Los predios con más de diez habitantes, incluidos menores de 0 a 5 años y adultos mayores de más de 65 años, presentan carencias en servicios básicos y una organización social muy deficiente. Carecen de conocimientos sobre gestión del riesgo de desastres. Se ubican entre 0 y 30 m de zonas catalogadas como de peligro extremo. Las viviendas son mayormente de construcción en madera y muestran un estado de conservación que va de regular a deteriorado. Además, se localizan a menos de 25 m de puntos críticos de acumulación de residuos sólidos y vierten sus desechos directamente en ríos o quebradas. Mantienen más de tres animales por predio y muestran ausencia de formación en asuntos ambientales.	$0.267 < V \leq 0.492$
VULNERABILIDAD ALTA	Los predios que alojan entre siete y diez personas, incluyendo niños de 6 a 12 años y adultos de 55 a 65 años, muestran carencias en servicios básicos y una organización social deficiente. Poseen conocimientos limitados sobre gestión del riesgo de desastres. Se sitúan entre 15 y 30 m de zonas clasificadas como de peligro muy alto. Las construcciones son predominantemente de madera y presentan un estado de conservación que varía entre regular y malo. La proporción de población económicamente activa en estos hogares se ubica entre 21% y 40%. La disposición de residuos sólidos se realiza en un único recipiente.	$0.137 < V \leq 0.267$
VULNERABILIDAD MEDIA	Los predios que albergan entre cuatro y seis personas, con presencia de adolescentes de 13 a 18 años, presentan carencias en servicios básicos y cuentan con conocimiento limitado sobre gestión del riesgo de desastres. Se ubican a una distancia de 30 a 50 m respecto a zonas clasificadas como de peligro muy alto. Las edificaciones son predominantemente de madera y su estado de conservación se considera regular. La proporción de población económicamente activa en estos hogares oscila entre 41% y 60%. Además, se encuentran a 50–100 m de puntos críticos de acumulación de residuos sólidos y practican una separación básica de residuos (orgánico e inorgánico), así como la reutilización.	$0.067 < V \leq 0.137$
VULNERABILIDAD BAJA	El lote habitado por una sola persona, de entre 31 y 54 años, presenta carencias en servicios básicos, aunque cuenta con una organización social muy buena y cobertura de salud mediante EsSalud. Los ocupantes poseen conocimiento completo sobre gestión del riesgo de desastres y temas ambientales. La parcela está ubicada a más de 75 m de zonas catalogadas como de peligro muy alto. Las construcciones son de ladrillo y concreto, con un buen estado de conservación. La proporción de población económicamente activa en el hogar se sitúa entre 41% y 60%. Se encuentra a 50–100 m de puntos críticos de acumulación de residuos sólidos y practica separación de residuos (orgánicos e inorgánicos) así como el reúso.	$0.037 \leq V \leq 0.067$

Fuente. Elaboración propia.

Figura 18.Mapa de vulnerabilidad



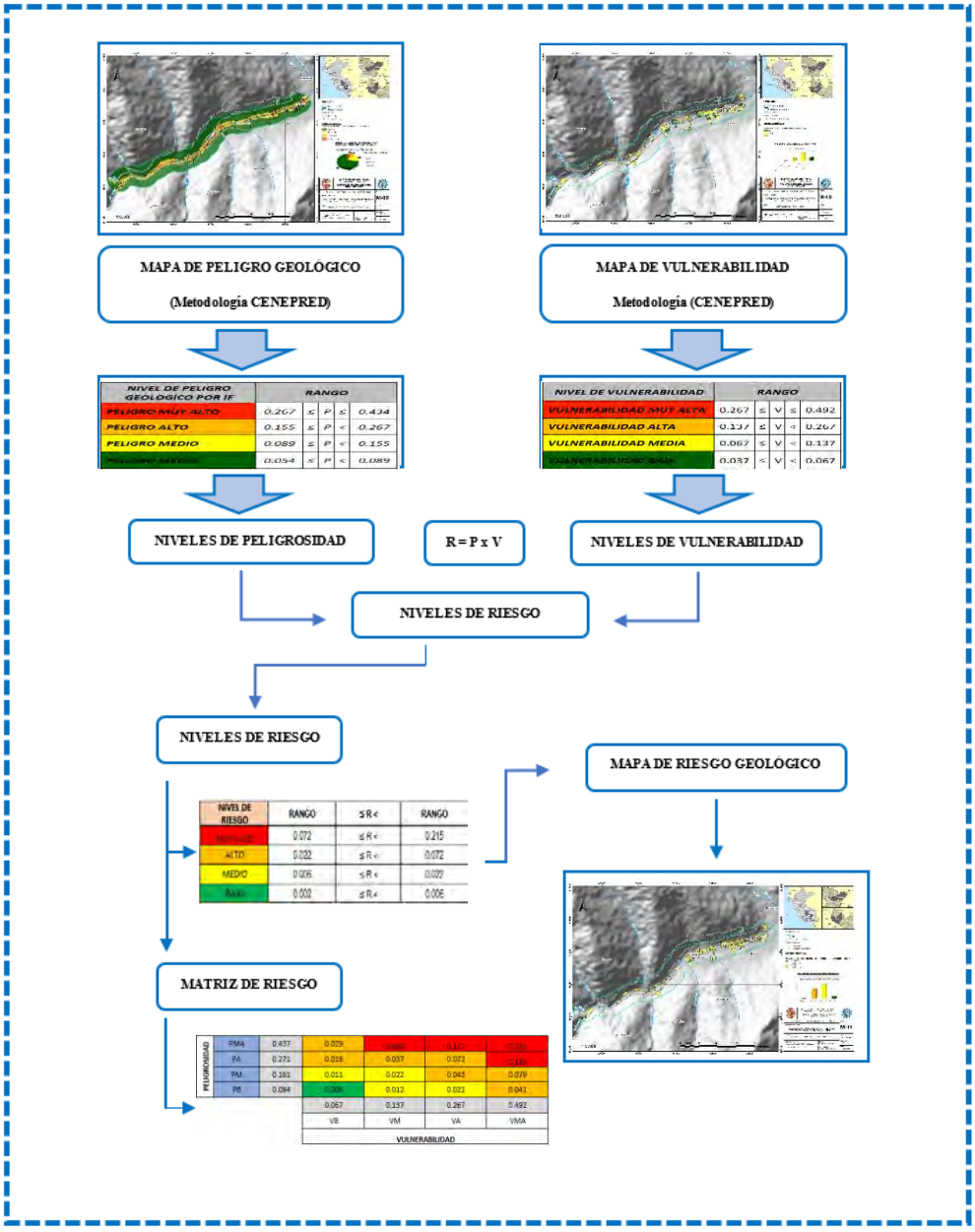
Fuente. Elaboración propia

CAPÍTULO IX. DETERMINACIÓN DEL RIESGO GEOLÓGICO

9.1. CUANTIFICACIÓN DE LOS RIESGOS

Para el cálculo del Riesgo Geológico se adoptaron los procedimientos descritos en la figura 19, el cual presenta de forma detallada cada uno de los insumos requeridos, así como el producto final esperado del proceso (CENEPRED, 2014).

Figura 19. Diagrama de flujo para la generación del mapa de riesgo geológico.



Fuente. Adaptada de CENEPRED, 2014.

9.2. DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE RIESGO

9.2.1. Categoría de riesgo geológico ante inundación fluvial

La superposición del Mapa de Peligro Geológico por Inundación Fluvial con el Mapa de Vulnerabilidad Síntesis permite determinar los niveles de Riesgo Geológico por Inundación Fluvial, los cuales quedan representados en la matriz de riesgo resultante (CENEPRED, 2014).

Tabla 38. Resumen de peligro geológico por inundación fluvial y vulnerabilidad.

VALOR DE PELIGRO (P)	VALOR DE LA VULNERABILIDAD (V)	RIESGO (R = P × V)
0.434	0.492	**0.215**
0.267	0.267	**0.072**
0.155	0.137	**0.022**
0.084	0.067	**0.006**
0.054	0.037	**0.002**

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 39. Rangos de riesgo geológico por inundación fluvial.

Nivel de riesgo	Valores de riesgo
Riesgo muy alto	$0.072 < R \leq 0.215$
Riesgo alto	$0.022 < R \leq 0.072$
Riesgo medio	$0.006 < R \leq 0.022$
Riesgo bajo	$0.002 \leq R \leq 0.006$

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 40. Matriz de evaluación del riesgo geológico ante inundación fluvial.

PELIGROSIDAD	**PMA**	**0.437**	**0.029**	**0.060**	**0.117**	**0.215**
	PA	0.271	0.018	0.037	0.072	0.133
	PM	0.161	0.011	0.022	0.043	0.079
	PB	0.084	0.006	0.012	0.022	0.041
			0.067	0.137	0.267	0.492
			VB	VM	VA	VMA
				VULNERABILIDAD		

Fuente. Elaboración propia.

9.2.2. Estratificación del nivel de riesgo geológico por inundación fluvial

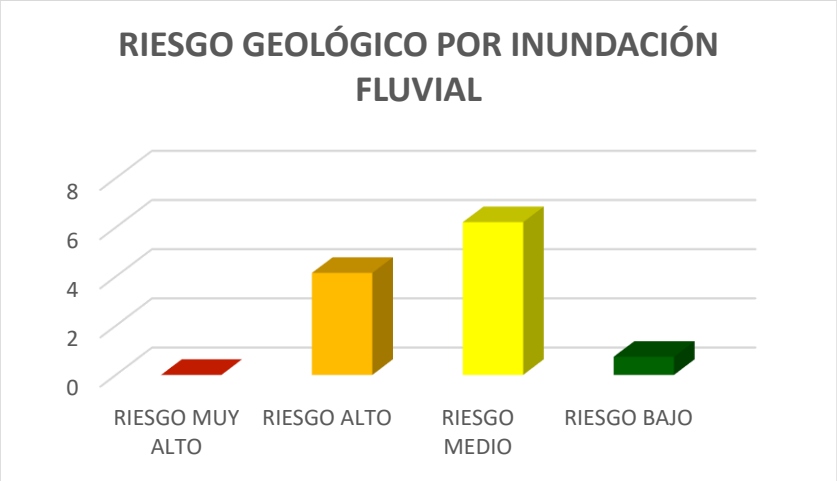
Tabla 41. Estratificación del nivel de riesgo geológico por inundación fluvial.

NIVEL DE RIESGO	DESCRIPCIÒN	VALORES DE RIESGO
RIESGO MUY ALTO	En la planicie inundable del río Lucre (pendientes 0–7°) predominan depósitos aluviales holocenos poco consolidados, formados por materiales finos y saturables que facilitan la propagación de flujos. Las precipitaciones máximas diarias suelen situarse entre 18–25 mm, lo que ha provocado desbordes y anegamientos recurrentes en áreas agrícolas y urbanas como Yanamanchi; en crecidas excepcionales el tirante puede alcanzar 5 m sobre el nivel mínimo, por lo que la zona presenta muy alta probabilidad de inundación y daños directos. La vulnerabilidad en estos predios es elevada: lotes con más de diez habitantes (incluyendo niños 0–5 años y adultos >65 años) muestran deficiencias en servicios básicos, organización social muy pobre y falta de conocimientos en gestión del riesgo. Se localizan a 0–30 m de las áreas de peligro extremo; las viviendas, mayoritariamente de madera, están en estado regular a malo. Además, se encuentran a menos de 25 m de focos de acumulación de residuos, vierten desechos a ríos o quebradas, poseen más de tres animales por predio y carecen de formación ambiental, lo que incrementa exposición y fragilidad frente a inundaciones.	$0.072 < R \leq 0.215$
RIESGO ALTO	Las terrazas bajas aluviales, los piedemontes aluviales y las zanjas que drenan hacia el río Lucre presentan pendientes suaves (0–14°) y están formadas por depósitos aluviales, fluviales recientes y, localmente, coluviales de pie de ladera susceptibles de saturación rápida. Bajo lluvias máximas diarias de intensidad moderada a fuerte (aprox. 15–22 mm/día) estas áreas experimentan aumentos significativos del caudal y desbordes parciales; el tirante puede alcanzar entre 3 y 5 m sobre el nivel mínimo del río, por lo que la probabilidad de inundación es alta y los daños se concentran en viviendas, caminos vecinales e infraestructura básica. Los predios afectados (7–10 habitantes, con niños de 6–12 años y adultos de 55–65 años) presentan deficiencias en servicios básicos, organización social débil y conocimientos limitados en gestión del riesgo. Se ubican a 15–30 m de zonas de peligro muy alto; las viviendas, mayoritariamente de madera, se encuentran en estado regular a malo. La PEA del hogar es de 21–40%. La disposición de residuos se realiza en un único recipiente, lo que incrementa la exposición y fragilidad frente a eventos de inundación.	$0.022 < R \leq 0.072$
RIESGO MEDIO	Las terrazas medias disectadas, colinas bajas y lomadas con cárcavas presentan pendientes de 7° a 27° y están constituidas por depósitos eluviales-residuales, coluviales antiguos y, en sectores, depósitos aluviales pleistocenos más consolidados, lo que disminuye la frecuencia de inundación directa. Bajo máximas diarias de lluvia de 10–20 mm se produce escorrentía concentrada, saturación de suelos y anegamientos puntuales en depresiones, por lo que estas áreas se clasifican como de peligro medio, con probabilidad moderada de inundación indirecta y erosión asociada. Los predios afectados (4–6 habitantes, con adolescentes de 13–18 años) presentan carencias en servicios básicos y conocimientos limitados en gestión del riesgo. Se localizan a 30–50 m de zonas de peligro muy alto; las viviendas, mayoritariamente de madera, están en estado de conservación regular. La PEA del hogar oscila entre 41% y 60%. Estos lotes se encuentran a 50–100 m de puntos críticos de acumulación de residuos sólidos y practican separación básica de desechos (orgánico/inorgánico) y reúso, factores que moderan parcialmente su fragilidad frente a eventos hidrometeorológicos.	$0.006 < R \leq 0.022$

RIESGO BAJO	Las laderas de montaña, colinas y terrazas altas, desarrolladas sobre roca sedimentaria (Grupo San Jerónimo–Formación Kayra y afines) presentan pendientes ≥27° y se sitúan a cotas muy por encima del máximo de crecida del río Lucre. Están formadas por materiales geológicos relativamente competentes, con delgadas cubiertas eluviales de vertiente. Aunque reciben precipitación máxima diaria similar a la cuenca (0–18 mm/día en eventos ligeros a moderados), su elevación las excluye de la planicie de inundación; la afectación directa por desbordes es muy baja, restringiéndose a escorrentía superficial y procesos de ladera. Por ello se clasifican como zonas de peligro bajo frente a inundación fluvial. El lote típico en estas áreas está habitado por una sola persona (31–54 años) y, pese a presentar carencias en algunos servicios básicos, cuenta con una organización social sólida y cobertura de salud por EsSalud. Los residentes poseen conocimientos completos en gestión del riesgo y temas ambientales. La parcela se ubica a más de 75 m de zonas de peligro muy alto; la vivienda, de ladrillo y concreto, se mantiene en buen estado de conservación. La PEA del hogar es de 41–60%. El predio está a 50–100 m de puntos críticos de acumulación de residuos sólidos y practica separación de orgánicos e inorgánicos y reúso, factores que reducen su fragilidad ante eventos hidrometeorológicos.	$0.002 \leq R \leq 0.006$

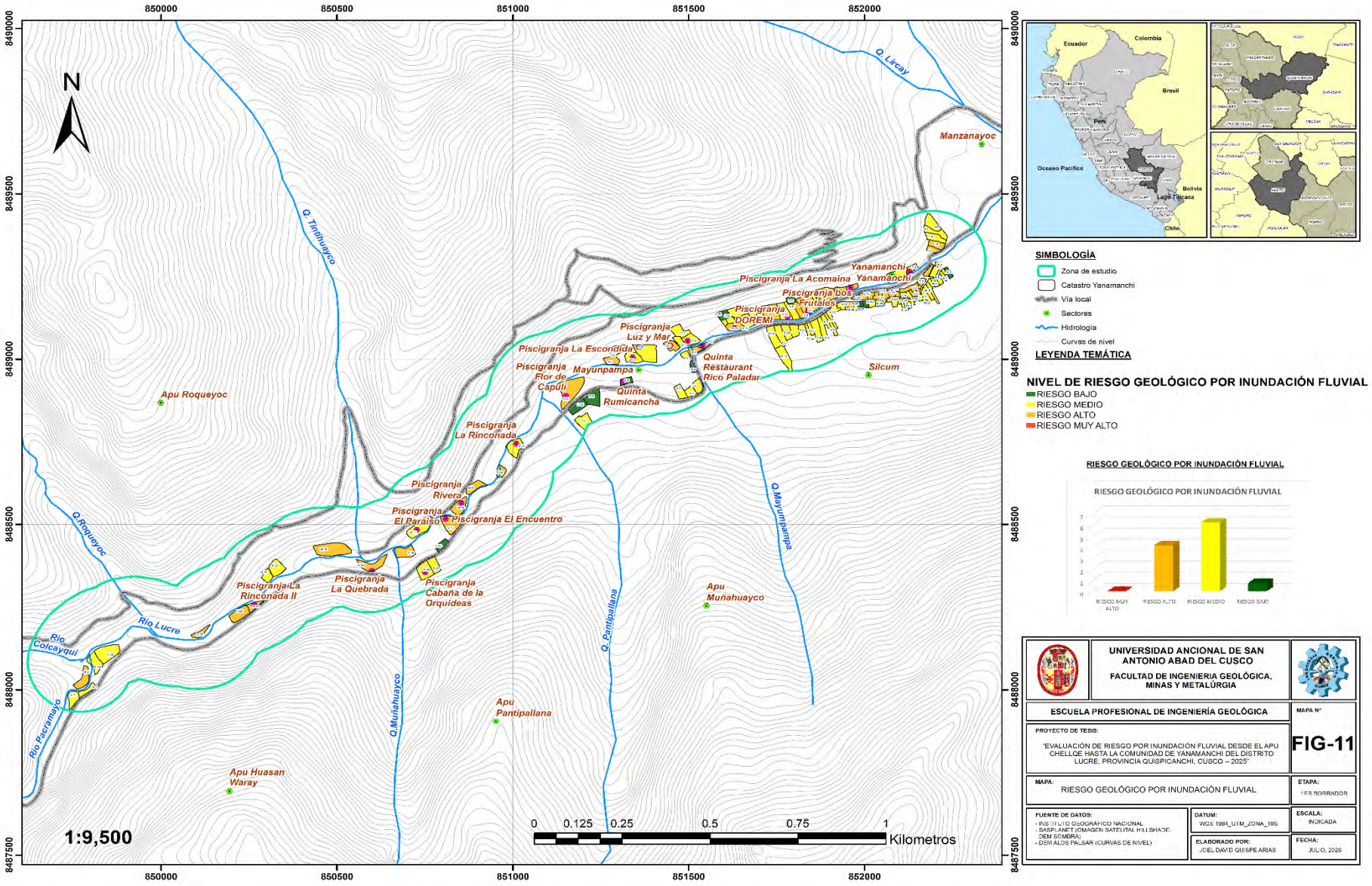
Fuente. Elaboración propia.

Figura 20. Síntesis del riesgo geológico asociado a inundaciones fluviales



Fuente. Elaboración propia.

Figura 21.Mapa de riesgo



Fuente. Elaboración propia

9.3. ZONAS CRÍTICAS DE RIESGO GEOLÓGICO

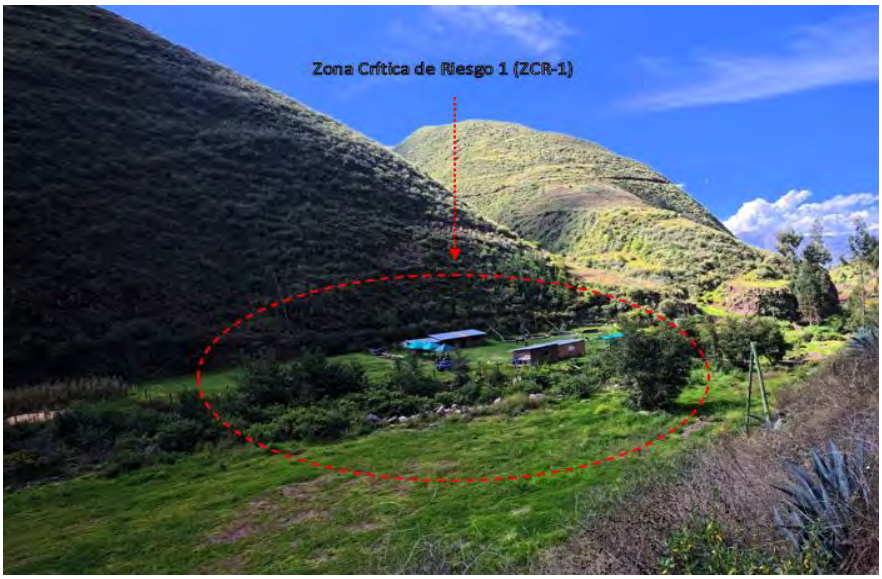
El análisis del Mapa de Riesgo Geológico por Inundación Fluvial permite reconocer los sectores que presentan condiciones críticas, los cuales demandan acciones de intervención oportuna para evitar daños mayores.

La delimitación de las ZCR se realizó por continuidad espacial del polígono de riesgo, por lo que además de los 42 lotes clasificados como de riesgo alto se incorporan 2 lotes de riesgo medio físicamente englobados por el sector, totalizando 44 lotes

9.3.1. Zona crítica de riesgo 1 (ZCR-1)

Este sector se localiza en el tramo inicial del área de estudio, en la zona aguas arriba de la C.C. Yanamanchi. Se caracteriza por presentar una pendiente moderada y un cauce relativamente encajonado, donde el río Lucre conserva una mayor energía hidráulica. La criticidad del sector se debe a la presencia de viviendas dispersas asentadas sobre la margen del río, las cuales no cuentan con obras de protección (muros de contención o defensas ribereñas). En periodos de máximas avenidas, el flujo erosiona progresivamente la base del talud natural, comprometiendo la estabilidad de los lotes ubicados en el borde. **En este sector se contabilizan 4 lotes con un total aproximado de 18 habitantes expuestos.**

Fotografía 21. Zona Crítica de Riesgo 1 viviendas expuestas a inundación fluvial



Fuente. Elaboración propia.

9.3.2. Zona crítica de riesgo 2 (ZCR-2)

Este sector se ubica en el tramo medio del área de estudio y constituye una zona crítica debido a la presencia de **seis piscigranjas dedicadas a la crianza de trucha**, las cuales colindan directamente con la margen del río Lucre. Si bien estas piscigranjas cuentan con muros de contención, estos vienen siendo **socavados en su base** debido a las labores periódicas de limpieza y descolmatación del cauce: la maquinaria pesada (retroexcavadora) ingresa con la pala a una profundidad mayor a la cimentación de los muros, dejando expuesta y desprotegida la parte inferior de la estructura. Como consecuencia, algunos muros presentan **inclinaciones leves pero progresivas**, evidenciando una pérdida de estabilidad que, de mantenerse, podría derivar en un colapso parcial durante los eventos de máxima avenida. **En este sector se identifican 10 lotes y aproximadamente 32 habitantes, además de 6 unidades productivas piscícolas.**

Fotografía 22. Zona Crítica de Riesgo 2 piscigranjas con muros socavados



Fuente. Elaboración propia.

9.3.3. Zona crítica de riesgo 3 (ZCR-3)

Este sector es contiguo al ZCR-2 y comparte una problemática similar, agravada por el hecho de que en gran parte de su extensión **no poseen ningún tipo de protección**. Esto permite

que el río, durante eventos extraordinarios, sobrepase el nivel de la defensa existente y erosione directamente la base de los predios, afectando tanto a viviendas como a piscigranjas adyacentes. La situación se agudiza por la cercanía inmediata al cauce y la ausencia de vegetación de ribera consolidada que pueda actuar como barrera natural. **En este sector se ubican 6 lotes con un total aproximado de 51 habitantes, así como 5 piscigranjas activas.**

Fotografía 23. Zona Crítica de Riesgo 3 alta exposición de viviendas y piscigranjas a inundación fluvial



Fuente. Elaboración propia.

9.3.4. Zona crítica de riesgo 4 (ZCR-4)

Este sector se localiza en el tramo final del área de estudio, donde el río Lucre presenta una transición hacia una **planicie de inundación amplia y de baja pendiente**. Es el sector que concentra la mayor cantidad de población y de infraestructura productiva de la comunidad, debido a que la mayoría de viviendas y piscigranjas se han desarrollado en estas tierras llanas, aprovechando la facilidad de acceso al agua y la fertilidad de los suelos. Sin embargo, esta misma característica topográfica los convierte en altamente susceptibles a inundaciones por desborde, ya que el agua, al perder velocidad y energía, se distribuye lateralmente sobre amplias superficies. Adicionalmente, varios predios carecen de muros de contención o cuentan con defensas

insuficientes en altura. **En este sector se ubican 24 lotes con un total aproximado de 80 habitantes y 7 piscigranjas, configurándose como el sector con mayor concentración de elementos expuestos al riesgo.**

Fotografía 24. Zona Crítica de Riesgo 4 viviendas y campo deportivo altamente expuestas al desborde del río y a defensas ribereñas insuficientes



Fuente. Elaboración propia.

9.4. CUANTIFICACIÓN DE POSIBLES PÉRDIDAS

Las inundaciones fluviales constituyen uno de los principales peligros geológicos identificados en el área de estudio, generando consecuencias significativas tanto sobre la infraestructura física como sobre los medios de vida de la población. La cuantificación anticipada de estas afectaciones constituye una herramienta esencial para la planificación de medidas de mitigación, la priorización de inversiones públicas y la elaboración de planes de contingencia frente al desborde del río Lucre.

9.4.1. Inventario de elementos expuestos

- **38 viviendas** (lotes con hogar), distribuidas en las zonas ZCR-1 al ZCR-4

- **18 piscigranjas** dedicadas a la crianza de trucha, con sus respectivas pozas de cultivo y casetas auxiliares
- **01 local comunal**
- **01 losa deportiva** multiuso

9.4.2. Caracterización constructiva y consideraciones sobre los costos unitarios

Las edificaciones existentes en la C.C. Yanamanchi presentan una **tipología constructiva mixta**, característica del proceso de transición de la zona rural andina. Por un lado, persiste un porcentaje importante de viviendas tradicionales construidas con **muros de adobe, cobertura de calamina o teja, y de un solo piso**, edificadas mediante autoconstrucción familiar. Por otro lado, en los sectores más cercanos al río Lucre se observa la presencia de **viviendas de material noble (ladrillo y concreto armado)**, generalmente de **uno o dos pisos como máximo**, que corresponden a construcciones más recientes ejecutadas con el apoyo de maestros de obra locales.

Si bien la comunidad cuenta con acceso vial directo a través de la carretera Cusco–Sicuani–Puno, lo que facilita el suministro de materiales, los costos unitarios consignados a continuación no responden a los Valores Unitarios Oficiales de Edificación publicados por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, sino que han sido ajustados a la **realidad constructiva rural del distrito de Lucre**, considerando precios reales de materiales en la ciudad de Cusco y mano de obra local. Estos valores fueron obtenidos mediante entrevistas directas con propietarios y maestros de obra de la zona.

Tabla 42. Costos unitarios referenciales (S/.)

COMPONENTE ESTRUCTURAL	COSTO UNITARIO (S/.)
Vivienda de adobe – 1 piso (50 m²)	11 000
Vivienda de material noble – 1 piso (60 m²)	22 800
Vivienda de material noble – 2 pisos (100 m²)	48 000
Módulo de cocina + baño (bloqueta, 10 m²)	2 800
Caseta de piscigranja (madera/calamina, 12 m²)	2 500
Poza de cultivo de trucha (concreto, 50 m²)	4 500
Muro de contención de gavión (por m lineal, 2 m)	380

Almacén comunal (adobe/calamina, 80 m²)	17 600
Local comunal / SUM (120 m²)	45 600
Losa deportiva multiuso (600 m²)	36 000
Aula educativa (material noble, 70 m²)	29 400

Fuente. Elaboración propia.

9.4.3. Daños probables

Los Daños Probables corresponden a la valoración monetaria de la afectación física a la infraestructura ante un escenario crítico de **desborde del río Lucre**. La distribución tipológica de las 38 viviendas expuestas se estima en: **22 viviendas de adobe (1 piso)**, **10 viviendas de material noble (1 piso)** y **6 viviendas de material noble (2 pisos)**, estas últimas concentradas en los sectores más próximos al cauce.

Tabla 43. Daños probables

CONCEPTO	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (S/.)	SUBTOTAL (S/.)
Viviendas de adobe – 1 piso	22	11 000	242 000
Viviendas material noble – 1 piso	10	22 800	228 000
Viviendas material noble – 2 pisos	6	48 000	288 000
Módulos cocina + baño bloqueta	38	2 800	106 400
Casetas de piscigranja	18	2 500	45 000
Pozas de cultivo de trucha	54	4 500	243 000
Muros de contención afectados (m lineales)	250	380	95 000
Almacén comunal	1	17 600	17 600
Local comunal / SUM	1	45 600	45 600
Losa deportiva	1	36 000	36 000
Aula educativa	1	29 400	29 400
TOTAL, DAÑOS PROBABLES			***S/ 1 376 000***

Fuente. Elaboración propia.

9.4.4. Pérdidas probables

Las Pérdidas Probables comprenden los bienes muebles, mercaderías, producción agropecuaria, stock piscícola y equipamiento susceptibles de ser arrasados o deteriorados durante el evento de inundación. Los precios consignados corresponden al valor de mercado en tiendas de la ciudad de Cusco y no incluyen los costos de transporte hacia la comunidad.

Tabla 44. Perdidas probables

CONCEPTO	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (S/.)	SUBTOTAL (S/.)
Mobiliario y enseres domésticos	38 viv.	2 500	95 000
Stock de truchas en pozas de cultivo	18 piscigranjas	8 000	144 000
Equipos de bombeo y oxigenación	18 und	2 200	39 600
Alimento balanceado e insumos veterinarios	18 und	1 800	32 400

Producción agrícola en parcelas inundables	10 ha	2 800	28 000
Animales menores (cuyes, gallinas, patos)	38 viv.	450	17 100
Mercadería en bodegas y restaurantes	5 und	3 500	17 500
Mobiliario de almacén y local comunal	global	—	12 000
Equipamiento educativo y deportivo	global	—	8 000
TOTAL, PÉRDIDAS PROBABLES			**S/ 393 600**

Fuente. Elaboración propia.

CAPÍTULO X. MEDIDAS CORRECTIVAS Y PREVENTIVAS

10.1. Medidas correctivas para inundaciones fluviales

Se denomina medida correctiva al conjunto de acciones que se aplican una vez identificado un peligro de nivel alto o muy alto, o tras la ocurrencia de un evento que haya causado pérdidas humanas, económicas o materiales. Tiene como finalidad corregir las condiciones de riesgo preexistentes y atender los efectos adversos producidos.

a) De orden estructural

Gaviones longitudinales en márgenes críticas (ZCR-2, ZCR-3, ZCR-4). - Construcción de muros de gaviones tipo caja escalonados en los tramos donde el cauce ha socavado los muros existentes. Se proyectan estructuras de 3 a 4 m de altura conformadas por colchones reno en la base y cajas de 2×1×1 m superpuestas, rellenas con piedra de cantera de 15 a 25 cm de diámetro. Estas defensas absorben la energía del flujo en avenidas, evitan la migración lateral del cauce y protegen las viviendas y piscigranjas ubicadas a menos de 10 m del río Lucre.

Figura 22. Gaviones longitudinales



Fuente. Obtenido en línea de: https://www.cidelsa.com/productos/gaviones/

Recrecimiento y reforzamiento de muros existentes. - Elevación de los muros de contención actuales que solo cubren un tercio del talud (especialmente en ZCR-3), mediante adición de hiladas de gaviones o concreto ciclópeo hasta alcanzar la cota de la avenida de diseño (Tr=500 años). Incluye la reposición de bloques desplazados por la descolmatación inadecuada y el sellado de juntas erosionadas en ZCR-2.

Figura 23. Reforzamiento de muros



Fuente. Obtenido en línea de:
https://portal.andina.pe/EDPfotografia3/Thumbnail/2024/02/10/001037242W.webp

Descolmatación técnica programada del cauce. - Limpieza y remoción controlada de sedimentos acumulados en el lecho a lo largo de los 3 km de estudio, ejecutada con maquinaria pesada bajo supervisión técnica de la ANA. La intervención debe respetar la sección hidráulica de diseño, evitar la sobreexcavación que socave los muros existentes (problema actual en ZCR-2) y programarse en estiaje (mayo–setiembre).

Figura 24. Descolmatación del cauce



Fuente. Obtenido en línea de: https://andina.pe/agencia/noticia-rio-rimac-ana-realizo-limpieza-y-descolmatacion-54-puntos-criticos-esta-cuenca-1049035.aspx

Descolmatación de quebradas tributarias y control de sedimentos en la cuenca alta. - Limpieza de las quebradas que aportan sedimentos al río Lucre, complementada con diques de retención de piedra o gaviones en la cuenca alta y reforestación de laderas desprotegidas. Esta medida reduce el volumen de sedimentos que llega al cauce principal, disminuye la frecuencia con que se requiere descolmatar el tramo de estudio y evita la pérdida de sección hidráulica en la planicie final (ZCR-4).

Figura 25. Descolmatación de quebradas



Fuente. Obtenido en línea de: https://andina.pe/agencia/noticia-ana-culmino-descolmatacion-60-puntos-criticos-quebradas-y-cauces-7-regiones-1035790.aspx

Ampliación de la sección hidráulica del cauce (encauzamiento). - Ensanchamiento y conformación del cauce en los tramos donde la sección resulta insuficiente para conducir el caudal de diseño (Tr=500 años), principalmente en la planicie de baja pendiente de ZCR-4. Se recomienda complementarlo con la verificación de la capacidad de alcantarillas y pases existentes. Esta medida coincide con el encauzamiento recomendado por INDECI y PNUD (2011) para el río Lucre y debe ejecutarse respetando la faja marginal y en coordinación con la ANA.

Figura 26. Encauzamiento y ampliación de cauce

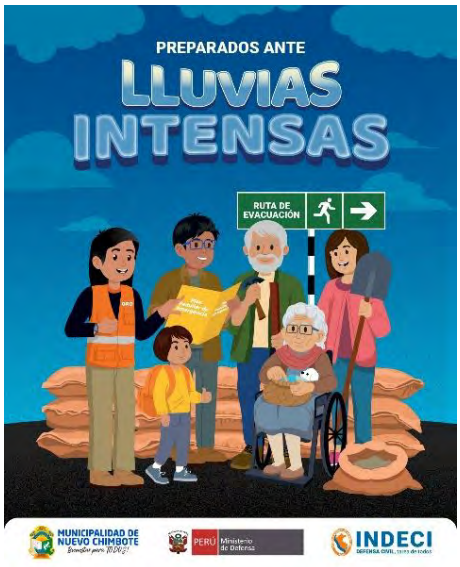


Fuente. Obtenido en línea de: https://www.senasa.gob.pe/senasacontigo/andina-minagri-inicia-encauzamiento-de-rios-en-huarmey-con-inversion-de-s-20-millones/

b) De orden no estructural

Plan comunal de contingencia ante inundaciones. - Elaboración participativa del plan que defina roles, cadena de mando, protocolos de alerta, simulacros bianuales y coordinación con la MD Lucre, INDECI y Bomberos. El plan debe incluir un inventario de recursos disponibles, fichas de evacuación familiar y listado de población vulnerable (niños, adultos mayores, gestantes).

Figura 27. Plan de contingencia ante lluvias intensas



Fuente. Obtenido en línea de: https://www.facebook.com/photo/?fbid=1325746279580445&set=pcb.1325746426247097

Aseguramiento productivo de piscigranjas. - Promoción del Seguro Agrario Catastrófico (SAC) y seguros comerciales para las 18 piscigranjas expuestas, mediante convenios entre la MD Lucre, AGROBANCO y aseguradoras privadas. Incluye capacitación a los productores sobre la cobertura, requisitos y proceso de declaración de siniestros.

Figura 28. Seguro Agrario Catastrófico



Fuente. Obtenido en línea de: https://tudiariohuanuco.pe/actualidad/con-40-mil-truchas-inician-fase-de-produccion-de-alevinos-en-piscigranja-de-molino/

10.2. Medidas preventivas para inundaciones fluviales

Se denomina medida preventiva al conjunto de acciones anticipadas que se aplican antes de la ocurrencia de un evento, con el propósito de evitar la generación de nuevos riesgos o impedir el incremento del nivel de peligro existente (por ejemplo, su transición de un nivel medio a uno alto o muy alto), actuando sobre los factores que lo originan.

a) De orden estructural

Defensas ribereñas anticipadas en sectores aún no críticos. - Construcción de tramos cortos de gaviones o enrocado en zonas del río Lucre que actualmente no presentan socavación, pero muestran tendencia erosiva, especialmente en las curvas externas del cauce entre ZCR-2 y ZCR-3. Esta intervención evita que se generen nuevos sectores críticos en el mediano plazo.

Figura 29. Gaviones tipo caja como defensa ribereña frente a inundaciones.



Fuente. Obtenido en línea de: https://peruresponsableblog.wordpress.com/2018/06/02/el-peru-necesita-mas-defensas-riberenas-para-evitar-futuros-desastres/

b) De orden no estructural

Sistema de Alerta Temprana (SAT) comunitario. - Implementación de un SAT con sensores de nivel en la cuenca alta, estación de monitoreo en Yanamanchi y mecanismos de difusión

(sirena, radio comunal, mensajería WhatsApp) que permitan evacuar a la población con al menos 30 minutos de anticipación. Debe articularse con el SAT distrital y registrarse ante INDECI.

Figura 30. Sistema de Alerta Temprana



Fuente. Obtenido en línea de: https://www.youtube.com/watch?v=RqtkhtghiRU

Programación anual de mantenimiento y descolmatación del cauce. - Inclusión, en el presupuesto de la MD Lucre, de un cronograma anual de mantenimiento financiado a través del Programa Presupuestal 0068 "Reducción de la vulnerabilidad y atención de emergencias por desastres". El cronograma debe contemplar:

- inspección del cauce y de los muros al término de la temporada de lluvias (abril);
- descolmatación y reparación de defensas en estiaje (mayo–setiembre);
- verificación final antes del inicio de lluvias (octubre–noviembre).

De este modo, la limpieza deja de ser una acción de emergencia y se convierte en una acción planificada y sostenida.

Figura 31. Limpieza y descolmatación programada



Fuente. Obtenido en línea de: https://peruconstruye.net/2024/12/13/limpieza-descolmatacion-rio-rimac/

Ordenamiento territorial y respeto a la faja marginal. - Incorporación de la faja marginal del río Lucre (delimitada según RJ 300-2011-ANA) en el Plan de Acondicionamiento Territorial de la MD Lucre, con prohibición expresa de nuevas edificaciones, ampliaciones y actividades productivas dentro de la franja. Incluye la actualización del catastro comunal y la fiscalización municipal periódica.

Figura 32. Ordenanza de delimitación de faja marginal



Fuente. Obtenido en línea de: https://www.facebook.com/photo/?fbid=953999716750898&set=pcb.954000440084159

Capacitación comunitaria en Gestión del Riesgo de Desastres. - Programa anual de talleres dirigidos a autoridades comunales, líderes, docentes y población en general sobre identificación de peligros, autoprotección, primeros auxilios y uso del SAT. Articulado con el CENEPRED, la MD Lucre y la UGEL Quispicanchi para incluir contenidos en las escuelas locales.

Figura 33. Importancia de la GRD en el Perú

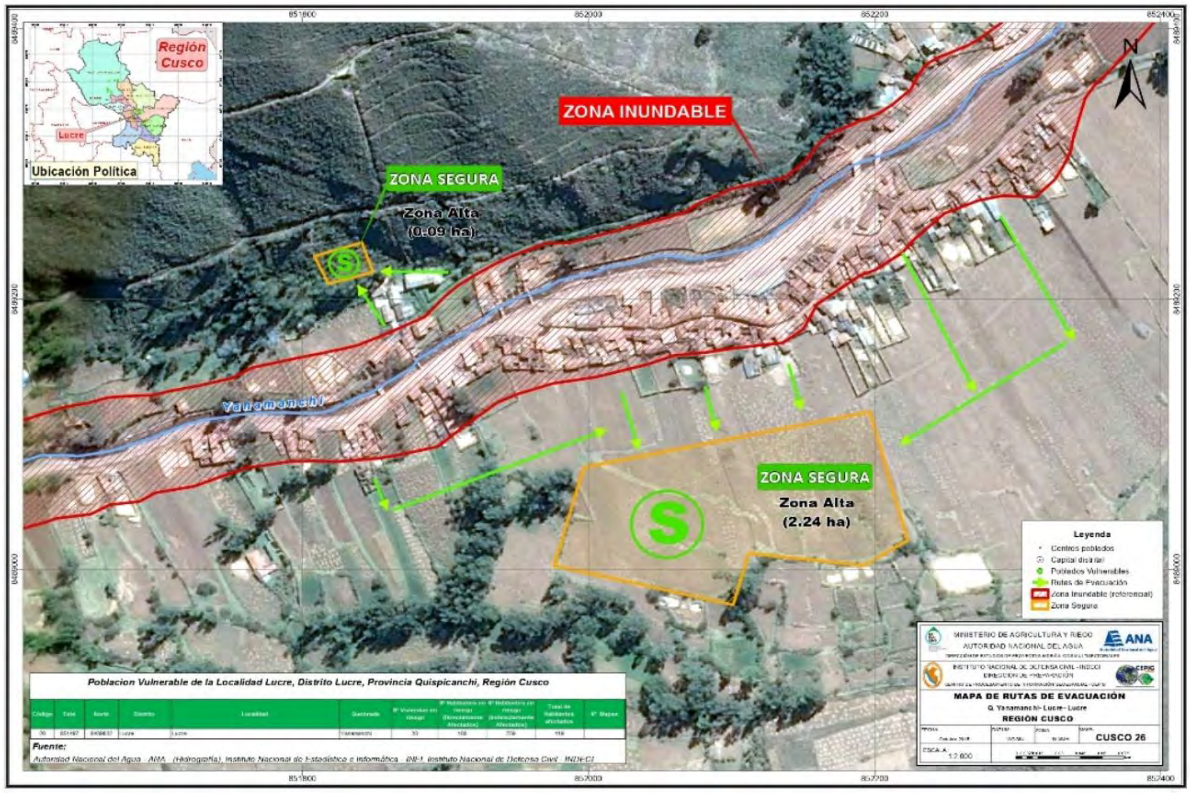


Fuente. Obtenido en línea de: https://www.institutodeseguridad.edu.pe/la-importancia-de-la-gestion-del-riesgo-de-desastres-en-el-peru/

10.3. Planificación urbana del C.P. Yanamanchi en GRD

Una vez generados los mapas temáticos correspondientes al peligro por inundación fluvial, la vulnerabilidad, el riesgo y la delimitación de las zonas críticas de riesgo, se procedió a elaborar la zonificación definitiva del ámbito de estudio (CENEPRED, 2014). La Figura 31 muestra dicha propuesta, en la cual se diferencian las áreas seguras para el crecimiento urbano, las áreas con vocación agrícola y las áreas de protección, donde se prohíbe el emplazamiento de viviendas y cualquier tipo de equipamiento urbano (ANA, 2015).

Figura 34. Mapa de Rutas de Evacuación- Zona segura del C.P. Yanamanchi



Fuente. Obtenido en línea de:
https://sigrid.cenepred.gob.pe/docs/PARA%20PUBLICAR/ANA/26_LUCRE_26.pdf

CAPITULO XI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En el presente capítulo se interpretan los resultados obtenidos y se contrastan con los antecedentes de investigación y con el marco teórico que sustenta el estudio. La discusión se organiza en tres partes: en primer lugar, se analizan los resultados en función del objetivo general y de cada objetivo específico; en segundo lugar, se presenta la contrastación con los antecedentes internacionales, nacionales, regionales y locales, precisando en cada caso las coincidencias, las diferencias y la razón que las explica; y, finalmente, se contrastan las hipótesis planteadas con lo demostrado por los resultados. Los resultados principales que sirven de base a esta discusión son los siguientes:

- **Peligro:** 74 % del área en peligro bajo, 14 % medio, 8 % alto y 4 % muy alto; el peligro alto y muy alto (12 %) se concentra en la planicie de inundación del tramo final, de menor pendiente.
- **Vulnerabilidad:** de 111 lotes en uso, 66 en vulnerabilidad media (59 %), 24 baja (22 %) y 21 alta (19 %); la vulnerabilidad alta se asocia a viviendas de adobe sin reforzamiento próximas al cauce (ZCR-3 y ZCR-4). Adicionalmente, 15 predios se encontraron sin uso o abandonados.
- **Riesgo:** 62 lotes en riesgo medio (56 %), 42 alto (38 %) y 7 bajo (6 %), agrupados en cuatro Zonas Críticas de Riesgo con 44 lotes, 181 habitantes y 18 piscigranjas expuestas, y pérdidas probables de S/ 1 769 600.

Discusión en relación con el objetivo general

En relación con el objetivo general de la investigación, orientado a determinar el riesgo por inundación fluvial desde el Apu Chellqe hasta la comunidad de Yanamanchi, los resultados evidencian un peligro predominantemente bajo a medio en la extensión del área evaluada (74 % y 14 %, respectivamente), mientras que el 12 % restante, correspondiente a los niveles alto y muy alto, se concentra en la planicie de inundación del tramo final, donde disminuye la pendiente del cauce y el flujo se expande lateralmente. La vulnerabilidad, evaluada sobre 111 lotes en uso,

resultó predominantemente media (66 lotes, 59 %) a baja (24 lotes, 22 %), con 21 lotes (19 %) en condición alta, asociados a viviendas de adobe sin reforzamiento y próximas al cauce. La integración de ambos componentes mediante la matriz Peligro × Vulnerabilidad del CENEPRED (2014) arrojó 62 lotes en riesgo medio (56 %), 42 en riesgo alto (38 %) y 7 en riesgo bajo (6 %), configurando cuatro Zonas Críticas de Riesgo (ZCR-1 a ZCR-4) que concentran el 40 % de los lotes evaluados.

Este patrón revela que el riesgo en el tramo estudiado no es homogéneo sino focalizado: la superficie físicamente expuesta a peligro alto y muy alto representa apenas el 12 % del área, pero concentra una proporción tres veces mayor de lotes en riesgo alto (38 %). Ello se explica porque la ocupación del territorio no es uniforme: las viviendas y las piscigranjas se emplazan precisamente sobre la terraza baja aluvial y la llanura inundable, que son las superficies de mayor peligro, de modo que la vulnerabilidad social y constructiva amplifica el efecto del peligro físico. En otras palabras, el riesgo no depende solo de cuánta área es peligrosa, sino de dónde se ubica la población y sus medios de vida.

Estos hallazgos son consistentes con los antecedentes revisados a escala local (De La Quintana et al., 2018; INDECI y PNUD, 2011), regional (Luna Loayza et al., 2020; Morales e Inca, 2025; Sequeiros y Farfán, 2019), nacional (Cuba y Santos, 2021; Ticlla, 2021) e internacional (Pinos et al., 2017; Rojo Ramos et al., 2024), y se sustentan teóricamente en el marco metodológico del CENEPRED (2014), que define el riesgo como la combinación del peligro y la vulnerabilidad. En conjunto, los resultados confirman que el tramo Apu Chellqe–Yanamanchi constituye una zona de riesgo significativo por inundación fluvial, que requiere la implementación prioritaria de medidas correctivas y preventivas diferenciadas por Zona Crítica, en lugar de una intervención uniforme en todo el tramo.

Discusión del primer objetivo específico: nivel de peligro

En cuanto al primer objetivo específico, referido a determinar el nivel de peligro por inundación fluvial en el tramo comprendido entre el Apu Chellqe y la comunidad de Yanamanchi,

los resultados muestran que el 74 % del área evaluada presenta peligro bajo y el 14 % peligro medio, correspondientes a las terrazas fluviales altas, colinas y montañas; el 12 % restante agrupa los niveles alto (8 %) y muy alto (4 %), concentrados principalmente en la planicie de inundación del tramo final, donde la pendiente del cauce disminuye y el flujo se expande lateralmente sobre las márgenes. Esta distribución implica que apenas uno de cada ocho metros cuadrados del área evaluada presenta condiciones de peligro relevante, mientras que las tres cuartas partes del territorio permanecen fuera del alcance del desborde.

Este patrón es consistente con lo reportado por Sequeiros y Farfán (2019) en el río Qochoq, Calca, donde el peligro pasó de medio en un período de retorno de 50 años a alto en 100 años y muy alto en 500 años, concentrándose en las zonas de menor pendiente y mayor cercanía al cauce. La coincidencia se explica porque el río Lucre es también un río de montaña: en ambos casos el peligro alto y muy alto se localiza en el tramo donde el cauce pierde pendiente, que en el presente estudio corresponde a la planicie de Yanamanchi. Del mismo modo, Morales e Inca (2025), con un enfoque geológico-geomorfológico similar, restringieron el peligro muy alto a un sector acotado de 26.24 ha, declarado no apto para la expansión urbana, conclusión del mismo tipo que la obtenida en esta investigación, donde el peligro muy alto se limita al 4 % del área y no a la totalidad del ámbito evaluado.

Por su parte, Luna Loayza et al. (2020) identificaron peligro alto en los tres períodos de retorno analizados en Písac, ponderando los factores condicionantes mediante el Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) de Saaty. La comparación es especialmente pertinente porque dicho estudio pertenece a la misma cuenca Vilcanota–Urubamba a la que tributa el río Lucre y emplea el mismo procedimiento de ponderación aplicado en esta tesis, lo que otorga coherencia metodológica a los resultados. A escala local, INDECI y PNUD (2011) identificaron zonas de inundación de peligro muy alto a lo largo del cauce principal del río Lucre y recomendaron su encauzamiento; la presente investigación coincide en la localización del peligro muy alto sobre el cauce, pero lo precisa a escala de lote e incorpora el análisis de la vulnerabilidad, aspecto que no fue abordado en aquel estudio.

Respecto a los antecedentes nacionales, Ticlla (2021), aplicando el Manual del CENEPRED en una microcuenca andina de Chota, Cajamarca, determinó peligro muy alto en el 13.60 % del área; el 12 % de área en peligro alto y muy alto obtenido en el presente estudio se ubica en el mismo orden de magnitud, lo que indica que en microcuencas andinas el peligro severo tiende a restringirse a una fracción reducida del territorio. En contraste, Cuba y Santos (2021) reportaron peligro muy alto en el 49 % del área en Pichari, diferencia que se atribuye a la mayor extensión de la planicie aluvial en su ámbito de estudio, propio de un valle de selva alta, frente a la planicie reducida del tramo final del río Lucre.

Desde el punto de vista teórico, esta concentración del peligro en las zonas de menor pendiente y mayor amplitud del valle se explica por los principios de pérdida de energía y expansión lateral del flujo descritos en el marco metodológico del CENEPRED (2014) y en la clasificación de factores condicionantes del PMA:GCA (2007), según la cual las superficies llanas a suavemente inclinadas (0°–5°), como la llanura o planicie inundable identificada en el tramo de estudio, presentan la mayor susceptibilidad frente a inundación fluvial. Asimismo, el modelamiento hidráulico que sustenta esta zonificación se apoyó en los principios clásicos de Manning (1891) y Chow (1959) para la estimación de la velocidad de flujo y la asignación de coeficientes de rugosidad, y en los métodos de Kirpich (1940) y Villón Béjar (2022) para el cálculo del tiempo de concentración y de los caudales de diseño.

Discusión del segundo objetivo específico: nivel de vulnerabilidad

Respecto al segundo objetivo específico, orientado a determinar el nivel de vulnerabilidad por inundación fluvial en el área de estudio, de los 111 lotes en uso identificados, 66 presentaron vulnerabilidad media (59 %), 24 vulnerabilidad baja (22 %) y 21 vulnerabilidad alta (19 %); adicionalmente, se registraron 15 predios sin uso o abandonados, que no fueron incluidos en la evaluación. Los lotes de mayor vulnerabilidad se concentraron en las zonas críticas ZCR-3 y ZCR-4, caracterizadas por viviendas de adobe sin reforzamiento, que representan el 58 % de las viviendas expuestas, ocupadas por familias numerosas con niños y adultos mayores, y ubicadas a escasos metros del talud erosionado del río.

La predominancia de la categoría media (59 %) indica que la fragilidad constructiva y social del centro poblado es generalizada pero no extrema, y que la condición crítica se restringe a un 19 % de los predios, claramente identificables en el mapa de vulnerabilidad, lo que hace viable una intervención focalizada. Este hallazgo es coherente con lo reportado por De La Quintana et al. (2018) en el centro poblado de Huacarpay, donde las zonas urbanas de mayor precariedad constructiva y cercanía al cauce resultaron ser las de mayor riesgo dentro de la misma microcuenca del río Lucre. También coincide con Cuba y Santos (2021), quienes en Pichari determinaron un 44 % de vulnerabilidad muy alta asociada a condiciones socioeconómicas y constructivas equivalentes; en ambos casos la vulnerabilidad alta se explica por las mismas causas —viviendas precarias y cercanía al cauce—, mientras que la diferencia de porcentaje obedece a la mayor extensión de la planicie ocupada en aquel estudio.

Teóricamente, este resultado se sustenta en el enfoque multidimensional de la vulnerabilidad establecido por el CENEPRED (2014), que evalúa de manera integrada las dimensiones social, económica, ambiental y física, analizando en cada una la exposición, la fragilidad y la resiliencia. En el área de estudio, la fragilidad física (material de construcción no reforzado en paredes y pisos), la exposición social (proximidad al cauce y presencia de población dependiente) y la baja resiliencia económica (ingresos inestables) actúan de forma combinada para elevar la vulnerabilidad de un lote, tal como se observó en las zonas ZCR-3 y ZCR-4, en contraste con los lotes de vulnerabilidad baja, asociados a construcciones de material noble y a una actividad piscícola formalizada.

Discusión del tercer objetivo específico: nivel de riesgo

En relación con el tercer objetivo específico, orientado a determinar el nivel de riesgo por inundación fluvial mediante la integración de los mapas de peligro y vulnerabilidad, los resultados obtenidos a partir de la matriz de doble entrada Peligro × Vulnerabilidad del CENEPRED (2014) muestran que, de los 111 lotes en uso evaluados, 62 se encuentran en riesgo medio (56 %), 42 en riesgo alto (38 %) y 7 en riesgo bajo (6 %). Esta condición se tradujo en la identificación de cuatro Zonas Críticas de Riesgo que agrupan 44 lotes (40 % del total evaluado), 181 habitantes expuestos

y 18 piscigranjas, siendo la ZCR-4 la más crítica, al concentrar por sí sola el 55 % de los lotes críticos (24), el 44 % de la población expuesta (80 habitantes) y el 39 % de las unidades piscícolas afectadas (7), emplazadas en la planicie final de baja pendiente. La delimitación de estas zonas se realizó por continuidad espacial del polígono de riesgo, razón por la cual, además de los 42 lotes clasificados como de riesgo alto, se incorporan 2 lotes de riesgo medio físicamente englobados por el sector.

Los 181 habitantes expuestos representan el 79 % de la población total de la Comunidad Campesina de Yanamanchi (228 habitantes, Tabla 21), y las 18 piscigranjas comprometidas equivalen al 56 % de los hogares dedicados a la piscicultura en la comunidad (Tabla 22), actividad que sostiene el 34.4 % de la PEA local. La cuantificación de pérdidas asociadas a este escenario asciende a S/ 1 376 000 en daños probables a la infraestructura (78 % del monto total) y S/ 393 600 en pérdidas probables de bienes, producción y equipamiento (22 %), totalizando S/ 1 769 600, monto del cual el componente habitacional concentra el 49 % y el componente piscícola el 28 %. Ello confirma que el impacto económico recae simultáneamente sobre la vivienda y sobre el principal medio de vida de la comunidad.

Este nivel de riesgo es consistente con lo encontrado por Ticlla (2021) en Chota, donde el riesgo se incrementó de medio a alto conforme aumentaba el período de retorno y el riesgo muy alto se limitó al 0.69 % del área, resultado comparable con el presente estudio, en el que no se registraron lotes en riesgo muy alto y la condición crítica se concentró en sectores definidos. Cuba y Santos (2021), en cambio, reportaron un 44 % de riesgo muy alto en Pichari, diferencia que, como se señaló, responde a la mayor extensión de la planicie ocupada y a la mayor proporción de viviendas precarias en su ámbito de estudio. A mayor escala, De La Quintana et al. (2018) estimaron pérdidas y daños superiores a S/ 194 millones para todo el distrito de Lucre y Huacarpay; los S/ 1 769 600 cuantificados en este tramo representan el 0.9 % de esa cifra, proporción coherente con la diferencia de escala territorial, que constituye una verificación externa de la cuantificación económica realizada.

En el plano metodológico, Pinos et al. (2017) advirtieron que los modelos internacionales de estimación de pérdidas exigen información que no existe en Latinoamérica y propusieron una metodología basada en Sistemas de Información Geográfica (SIG) de bajo requerimiento de datos. La presente investigación se asemeja a dicho planteamiento, por cuanto las pérdidas se estimaron con costos unitarios locales aplicados a cada lote y el mapa de riesgo se obtuvo mediante la superposición (álgebra de mapas) de los mapas de peligro y vulnerabilidad en entorno SIG, sin recurrir a modelos de daño de alta exigencia de información.

Finalmente, las medidas estructurales y no estructurales recomendadas para los sectores de riesgo alto encuentran respaldo en la experiencia de Rojo Ramos et al. (2024) en Bolivia, quienes documentaron que no existe una solución estructural única y que el diseño de obras de mitigación en cuencas de montaña debe adaptarse a la variabilidad geomorfológica y a la aceptación de los actores locales. Este principio es directamente aplicable al presente estudio, donde las medidas se diferenciaron por Zona Crítica según la geoforma y el tipo de defensa existente en cada tramo. Para aquellos sectores en los que una evaluación de detalle determine una condición de riesgo muy alto no mitigable, el marco de intervención corresponde a la Ley N.° 29869 (2012), Ley de Reasentamiento Poblacional para Zonas de Muy Alto Riesgo No Mitigable.

Contrastación con los antecedentes de investigación

A continuación, se sintetiza la contrastación de los resultados obtenidos con cada uno de los antecedentes revisados, indicando su resultado principal y la razón por la cual sus hallazgos se asemejan o difieren de los de la presente investigación.

- ***a) Antecedentes internacionales***

- **Pinos et al. (2017), Ecuador.** Señalan que los modelos internacionales de estimación de pérdidas exigen información que no existe en Latinoamérica y proponen una metodología SIG de bajo requerimiento de datos. Se asemeja porque en esta investigación las pérdidas

se estimaron con costos locales por lote y el mapa de riesgo se obtuvo por superposición de los mapas de peligro y vulnerabilidad en SIG.

- **Rojo Ramos et al. (2024), Bolivia.** Concluyen que no existe una solución estructural única y que el diseño de las obras debe adaptarse a la variabilidad geomorfológica y a la aceptación de los actores locales. Se asemeja porque aquí también las medidas se diferenciaron por Zona Crítica, según la geoforma y el tipo de defensa existente en cada tramo.

- ***b) Antecedentes nacionales***

- **Cuba y Santos (2021), Pichari, Cusco.** Determinaron un 49 % del área con peligro muy alto y un 44 % con vulnerabilidad y riesgo muy alto, en condiciones socioeconómicas y constructivas equivalentes. Se asemeja porque la vulnerabilidad alta se explica por las mismas causas: viviendas precarias y cercanía al cauce; la diferencia en los porcentajes se debe a la mayor extensión de su planicie.

- **Ticlla (2021), Chota, Cajamarca.** Obtuvo peligro muy alto en el 13.60 % del área y riesgo muy alto en el 0.69 %, aplicando el Manual del CENEPRED en una microcuenca andina. Se asemeja porque el 12 % de área en peligro alto y muy alto obtenido en este estudio es del mismo orden de magnitud: el patrón se repite en microcuencas andinas.

- ***c) Antecedentes regionales***

- **Sequeiros y Farfán (2019), Qochoq, Calca.** Reportaron peligro medio para Tr 50, alto para Tr 100 y muy alto para Tr 500, concentrado en las zonas de menor pendiente y mayor cercanía al cauce. Se asemeja porque el río Lucre también es un río de montaña, y el peligro alto y muy alto se localizó exactamente en el tramo de menor pendiente, la planicie de Yanamanchi.

- **Luna Loayza et al. (2020), Písac.** Identificaron peligro alto en los tres períodos de retorno analizados, ponderando los condicionantes mediante el AHP de Saaty. Se asemeja

porque pertenece a la misma cuenca Vilcanota–Urubamba y emplea el mismo procedimiento de ponderación aplicado en esta tesis.

- **Morales e Inca (2025), ==Chancamayo==.** Restringieron el peligro muy alto a 26.24 ha, declaradas no aptas para la expansión urbana, desde un enfoque geológico-geomorfológico. Se asemeja porque comparte el enfoque y llega al mismo tipo de conclusión: el peligro muy alto se restringe a un sector acotado y no a toda el área evaluada.

- ***d) Antecedentes locales***

- **INDECI y PNUD (2011), Lucre–Huacarpay.** Identificaron zonas de inundación de peligro muy alto a lo largo del cauce principal del río Lucre y recomendaron su encauzamiento. Se asemeja porque coincide en la localización del peligro muy alto sobre el cauce; la presente tesis lo precisa a escala de lote y añade el análisis de la vulnerabilidad.

- **De La Quintana et al. (2018), distrito de Lucre y Huacarpay.** Estimaron pérdidas y daños superiores a S/ 194 millones para todo el distrito. Los S/ 1 769 600 cuantificados en este tramo representan el 0.9 % de esa cifra, proporción coherente con la diferencia de escala territorial, lo que constituye una verificación externa de la cuantificación económica.

La lectura conjunta de estos antecedentes permite identificar un patrón que se repite en todas las escalas de análisis: el peligro alto y muy alto se concentra en las superficies de menor pendiente y mayor cercanía al cauce, y la vulnerabilidad alta se asocia a viviendas precarias emplazadas sobre dichas superficies. Las diferencias en los porcentajes reportados no contradicen este patrón, sino que responden a la extensión de la planicie ocupada y a la escala territorial de cada estudio. El aporte diferencial de la presente investigación respecto de los antecedentes locales radica en el análisis a escala de lote, la integración explícita de la vulnerabilidad y la

cuantificación económica de pérdidas probables, elementos que permiten priorizar la intervención en cada Zona Crítica de Riesgo.

Contrastación de hipótesis

A continuación, se contrasta cada hipótesis planteada con lo demostrado por los resultados obtenidos.

Hipótesis general: se cumple parcialmente. Respecto a la hipótesis general, que planteaba un riesgo alto a muy alto en el tramo evaluado, esta se cumple parcialmente. El riesgo alto afecta a 42 de los 111 lotes en uso (38 %), pero la mayor parte del tramo resultó en riesgo medio (56 %) y bajo (6 %), sin registrarse lotes en riesgo muy alto. La condición crítica es real, pero se encuentra focalizada en cuatro Zonas Críticas y no generalizada en todo el tramo. Este matiz constituye un hallazgo y no una limitación del estudio, pues permite orientar una intervención dirigida a los sectores críticos en lugar de una obra uniforme, considerablemente más costosa, a lo largo de todo el cauce.

Primera hipótesis específica: se confirma. La primera hipótesis específica, según la cual el peligro está condicionado por la geología y la geomorfología, se confirma. En la ponderación de los factores condicionantes, la geomorfología recibió el mayor peso (60 %) y explica la distribución espacial observada: el 88 % del área corresponde a terrazas, colinas y montañas con peligro bajo a medio, mientras que la planicie de inundación del tramo final concentra el peligro hidráulico real, en concordancia con lo planteado por el PMA:GCA (2007) y el CENEPRED (2014).

Segunda hipótesis específica: se confirma. La segunda hipótesis específica, que relacionaba la vulnerabilidad con el material predominante de paredes y pisos, también se confirma. Las viviendas de adobe sin reforzamiento representan el 58 % de las viviendas expuestas y concentran la vulnerabilidad alta en las zonas ZCR-3 y ZCR-4; no obstante, los resultados muestran que la fragilidad física no actúa de manera aislada, sino combinada con la exposición social y la baja resiliencia económica de los hogares.

Tercera hipótesis específica: se confirma. Finalmente, la tercera hipótesis específica, que ubicaba las áreas de mayor riesgo en la primera terraza fluvial, se confirma, toda vez que las cuatro Zonas Críticas de Riesgo se emplazan sobre la terraza baja aluvial y la llanura inundable, las dos unidades geomorfológicas de susceptibilidad alta y muy alta verificadas en campo.

CONCLUSIONES

Se determinó que el riesgo por inundación fluvial en el tramo Apu Chellqe–Yanamanchi es predominantemente bajo a medio en la mayor parte del área, con una concentración puntual pero significativa de condiciones críticas en las cuatro Zonas Críticas de Riesgo identificadas (ZCR-1 a ZCR-4), que agrupan 44 lotes (40 % de los evaluados), 181 habitantes expuestos (79 % de la población comunal) y 18 piscigranjas (56 % de las unidades piscícolas locales), con daños y pérdidas probables estimados en S/ 1 376 000 y S/ 393 600 respectivamente. Esto indica que, si bien el peligro por inundación fluvial no domina la totalidad del área de estudio, su combinación con la vulnerabilidad física y social presente en sectores específicos genera focos de riesgo alto que requieren intervención prioritaria y diferenciada, más que una medida uniforme para todo el tramo.

Se determinó que el nivel de peligro por inundación fluvial en el tramo de estudio es predominantemente bajo (74 %) a medio (14 %), correspondiendo el 12 % restante a los niveles alto (8 %) y muy alto (4 %), concentrados específicamente en la planicie de inundación del tramo final, donde la pendiente del cauce disminuye y el flujo se expande lateralmente. Esto indica que el peligro no es homogéneo a lo largo del tramo, sino que depende directamente de la geomorfología local: las zonas de terraza, colina y montaña, al concentrar el 88 % del área evaluada, explican el alto porcentaje de peligro bajo a medio, mientras que la planicie final concentra el peligro hidráulico real.

Se determinó que el nivel de vulnerabilidad, evaluado sobre 111 lotes, es predominantemente medio (66 lotes, 59 %) a bajo (24 lotes, 22 %), con 21 lotes (19 %) en condición de vulnerabilidad alta concentrados en las zonas críticas ZCR-3 y ZCR-4. Esto indica que el 81 % de los predios de Yanamanchi presenta condiciones constructivas y socioeconómicas relativamente estables, y que la vulnerabilidad alta es un fenómeno focalizado en un subconjunto identificable de viviendas, principalmente de adobe sin reforzamiento; tipología que representa el 58 % de las viviendas expuestas y con familias dependientes, lo que permite dirigir las medidas de mitigación a un grupo específico en lugar de intervenir sobre toda la comunidad.

Se determinó que el nivel de riesgo por inundación fluvial, calculado mediante la matriz Peligro × Vulnerabilidad del CENEPRED (2014), es alto en 42 de los 111 lotes evaluados (38 %), medio en 62 (56 %) y bajo en 7 (6 %). Esto indica que, pese a que el peligro físico se concentra en una porción reducida del área (12 %), el riesgo alto afecta a una proporción tres veces mayor de lotes (38 %), lo que evidencia que la vulnerabilidad social y constructiva de la población amplifica significativamente la exposición al peligro; en otras palabras, el riesgo en Yanamanchi está determinado tanto por las condiciones del río como por las condiciones socioeconómicas de sus habitantes, confirmando la pertinencia de un enfoque de gestión de riesgo integral y no solo estructural.

RECOMENDACIONES

Se recomienda que la Municipalidad Distrital de Lucre, en coordinación con la Junta Directiva de la Comunidad Campesina de Yanamanchi, desarrolle campañas permanentes de sensibilización sobre el uso adecuado del suelo y el respeto a la faja marginal del río Lucre (RJ N° 300-2011-ANA). Asimismo, el presente estudio de evaluación de riesgos deberá actualizarse cada 3 a 5 años o ante eventos extraordinarios que modifiquen la geomorfología del cauce.

Se recomienda que toda construcción de viviendas, piscigranjas o equipamiento urbano proyectado en Yanamanchi sea evaluada previamente con el Mapa de Peligro por Inundación Fluvial elaborado en este estudio, garantizando la seguridad física de las inversiones. La Municipalidad Distrital de Lucre deberá incorporarlo oficialmente en su Plan de Acondicionamiento Territorial y exigirlo como requisito para la emisión de licencias de construcción.

Para incrementar la precisión del modelamiento HEC-RAS, se recomienda realizar un levantamiento batimétrico detallado del río Lucre con equipos especializados (sonar, ecosonda o drones LIDAR) y actualizar las curvas IDF con los registros del SENAMHI (estaciones Urcos, Pisac y Granja Kayra). Esto permitirá afinar los caudales máximos para distintos periodos de retorno y optimizar el diseño de las defensas ribereñas.

Se recomienda la implementación progresiva de las Medidas Correctivas y Preventivas del Capítulo VIII, priorizando los ZCR-3 y ZCR-4, donde se concentra la mayor exposición. La Municipalidad Distrital de Lucre deberá formular los expedientes técnicos correspondientes y gestionar su financiamiento mediante Invierte.pe, el FONDES o el Programa Presupuestal 0068 (PREVAED).

Se recomienda que la Municipalidad Distrital de Lucre, en coordinación con el MVCS y CENEPRED, inicie la declaratoria de las viviendas en riesgo muy alto no mitigable (principalmente en ZCR-4) conforme a la Ley N° 29869 y su Reglamento (D.S. N° 126-2013-

PCM). El proceso debe ser participativo y contemplar terrenos seguros dentro de la propia comunidad para evitar el desarraigo cultural.

Se recomienda establecer un Programa de Monitoreo y Mantenimiento Permanente del cauce y de las defensas existentes, mediante convenios entre la MD Lucre, la ANA (ALA Cusco) y la UNSAAC. Debe incluir inspecciones semestrales, batimetría anual y un protocolo de descolmatación técnica supervisada que evite la socavación que hoy afecta a los ZCR-2 y ZCR-3.

Se recomienda implementar un Sistema de Alerta Temprana (SAT) comunitario con sensores en la cuenca alta y mecanismos de difusión accesibles (sirena, radio, WhatsApp), articulado al SAT distrital y registrado ante INDECI. Debe complementarse con simulacros bianuales y capacitaciones permanentes en Gestión del Riesgo coordinadas con la UGEL Quispicanchi.

BIBLIOGRAFÍA

Alaska Satellite Facility [ASF]. (s.f.). *ALOS PALSAR digital elevation model*. https://asf.alaska.edu

Autoridad Nacional del Agua [ANA]. (2011). *Resolución Jefatural N.° 300-2011-ANA: Reglamento para la delimitación y mantenimiento de fajas marginales en cursos fluviales y cuerpos de agua naturales y artificiales*. Diario Oficial El Peruano.

Autoridad Nacional del Agua [ANA]. (2012). *Delimitación y codificación de unidades hidrográficas del Perú: Memoria descriptiva*. Dirección de Conservación y Planeamiento de Recursos Hídricos.

Autoridad Nacional del Agua [ANA]. (2015). *Mapa de rutas de evacuación Q. Yanamanchi-Lucre*. Sistema de Información para la Gestión del Riesgo de Desastres (SIGRID), CENEPRED.

Blaikie, P., Cannon, T., Davis, I., y Wisner, B. (1994). *At risk: Natural hazards, people's vulnerability, and disasters*. Routledge.

Carlotto, V., Cárdenas, J., y Carlier, G. (2011). *Geología del cuadrángulo de Cusco, hoja 28-s, escala 1:50 000* (Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional, N.° 138). INGEMMET.

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.

Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres [CENEPRED]. (2021). *Escenario de riesgo por lluvias intensas*.

Chow, V. T. (1959). *Open-channel hydraulics*. McGraw-Hill.

Cuba, M., y Santos, E. (2021). *Evaluación de riesgos por inundación fluvial en los márgenes del río Pichari en la provincia La Convención - Cusco, 2020* [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo].

Dávila Burga, J. (2011). *Diccionario geológico* (3.ª ed.). INGEMMET.

De La Quintana Solís, J. L., Gómez Elorrieta, J. C., Jiménez Villavicencio, G. R., Morales Araoz, J., y Quispe Mendoza, R. (2018). Evaluación de riesgo por inundación pluvial en el distrito de Lucre y centro poblado de Huacarpay de la provincia de Quispicanchis, región Cusco. *Mastariy*, 74-80.

Gaspari, F. J., Rodríguez Vagaría, A. M., Senisterra, G., Denegri, G., Besteiro, S., y Delgado, M. L. (2012). Caracterización morfométrica de la cuenca alta del río Sauce Grande, Buenos Aires, Argentina. *AUGMDOMUS*, *4*, 1-17.

Gobierno del Perú. (2011). *Decreto Supremo N.° 048-2011-PCM: Reglamento de la Ley N.° 29664, Ley que crea el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD)*. Presidencia del Consejo de Ministros.

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., y Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.ª ed.). McGraw-Hill.

Hewitt, K. (Ed.). (1983). *Interpretations of calamity: From the viewpoint of human ecology*. Allen & Unwin.

Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico [INGEMMET]. (2016). *Mapa geomorfológico del Perú*. GEOCATMIN.

Instituto Nacional de Defensa Civil [INDECI], y Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD]. (2011). *Mapa de peligros y medidas de mitigación ante desastres de la ciudad de Lucre-Huacarpay*. SIGRID, CENEPRED.

Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI]. (2008). *Censos Nacionales 2007: XI de población y VI de vivienda*.

Kirpich, Z. P. (1940). Time of concentration of small agricultural watersheds. *Civil Engineering*, *10*(6), 362.

Ley N.° 29869, Ley de Reasentamiento Poblacional para Zonas de Muy Alto Riesgo No Mitigable. (2012). Diario Oficial El Peruano.

Luna Loayza, C., Almanza Ascue, M., y Nina Mamani, R. (2020). Peligro de inundación del río Vilcanota en el centro poblado de Písac, Cusco 2018. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, *41*(2), 18-32.

Malpartida Chamorro, C. A. (2020). *Instalación de los servicios de protección contra inundaciones tramo Puente Copesco hasta la desembocadura del río Lucre, comunidad Muyna, distrito de Lucre* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco].

Manning, R. (1891). On the flow of water in open channels and pipes. *Transactions of the Institution of Civil Engineers of Ireland*, *20*, 161-207.

Medina, L., Núñez, M., Vílchez, M., Peña, F., Gómez, H., y Sosa, N. (2021). *Peligro geológico por movimientos en masa e inundación fluvial en la ciudad de Cusco* (Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, N.° 80). INGEMMET.

Morales Segovia, C., y Inca Maqquerhua, R. D. (2025). *Evaluación del riesgo geológico por inundación fluvial en el centro poblado de Chamcamayo para proponer un área de expansión urbana adecuada* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco].

Municipalidad Distrital de Lucre. (2012). *Plan de Desarrollo Concertado del distrito de Lucre 2012-2021*.

Municipalidad Distrital de Lucre. (2026). *Plan de trabajo 2026*.

Municipalidad Distrital de Oropesa, Quispicanchi, Cusco. (2023). *Evaluación de riesgo por inundación fluvial del centro poblado de Huasao, provincia de Quispicanchi, departamento del Cusco*. SIGRID, CENEPRED.

Pinos, J., Timbe, L., y Orellana, D. (2017). Métodos para la evaluación del riesgo de inundación fluvial: revisión de literatura y propuesta metodológica para Ecuador. *Maskana*, *8*(2), 147-162.

Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas [PMA:GCA]. (2007). *Movimientos en masa en la región andina: Una guía para la evaluación de amenazas* (Publicación Geológica Multinacional N.° 4). Servicio Nacional de Geología y Minería.

Rojo Ramos, J., Álvarez Fernández, C., Tejerina, B., Núñez, J., Sampedro, N., Villa, A., y Macho Morales, E. A. (2024). Análisis del riesgo de desastres por inundaciones y diseño de obras de mitigación en cuencas priorizadas en Bolivia. En *VII Jornadas de Ingeniería del Agua* (pp. 924-934).

Saaty, T. L. (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology*, *15*(3), 234-281.

Saaty, T. L. (1980). *The analytic hierarchy process*. McGraw-Hill.

Sequeiros Cuba, M. N., y Farfán Encalada, S. L. (2019). *Evaluación hidrológico e hidráulico con el modelo Iber para determinar el riesgo por inundación en la población ribereña al río Qochoq, provincia Calca – región Cusco 2017* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco].

Ticlla, Y. (2021). *Evaluación del nivel de riesgo a inundación según la metodología CENEPRED, en el río San Mateo, tramo puente "San Mateo" al puente "Lloque Yupanqui", Chota* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Autónoma de Chota].

US Army Corps of Engineers [USACE]. (2016). *HEC-RAS river analysis system: User's manual, version 5.0*. Hydrologic Engineering Center. *(pendiente confirmar versión real usada)*

Varnes, D. J. (1984). *Landslide hazard zonation: A review of principles and practice* (Natural Hazards N.° 3). UNESCO.

Villón Béjar, M. (2006). *Hidrología estadística*. Editorial Tecnológica de Costa Rica. *(pendiente confirmar si usaste este libro)*

Villón Béjar, M. (2022). *Hidrología* (2.ª ed.). Editorial Tecnológica de Costa Rica.

White, G. F. (Ed.). (1974). *Natural hazards: Local, national, global*. Oxford University Press.

ANEXOS

Figura 35. Modelo de encuesta de vulnerabilidad ante inundación fluvial aplicada en la Comunidad Campesina de Yanamanchi



"EVALUACIÓN DE RIESGO POR INUNDACIÓN FLUVIAL DESDE EL APU CHELLQE HASTA LA COMUNIDAD DE YANAMANCHI DEL DISTRITO LUCRE, PROVINCIA QUISPICANCHI, CUSCO – 2025"

ENCUESTA DE VULNERABILIDAD ANTE INUNDACIÓN FLUVIAL

Tramo Apu Chelque – Yanamanchi, distrito de Lucre, provincia de Quispicanchi, Cusco

Dimensiones social, económica y ambiental — Metodología CENEPRED (2014)

Instrucciones: marque con un aspa (X) dentro del recuadro ☐ que mejor describa la condición actual de la vivienda o del hogar en cada variable. Marque una sola opción por variable.

I. DATOS GENERALES

N.° de encuesta: _____	N.° de lote / vivienda: _____
Sector crítico de riesgo (ZCR): _____	Fecha: ____ / ____ / 2026
Nombre del jefe(a) de hogar: _____	N.° de miembros del hogar: _____
Encuestador(a): _____	Firma / huella: _____

II. DIMENSIÓN SOCIAL

2.1 Exposición social

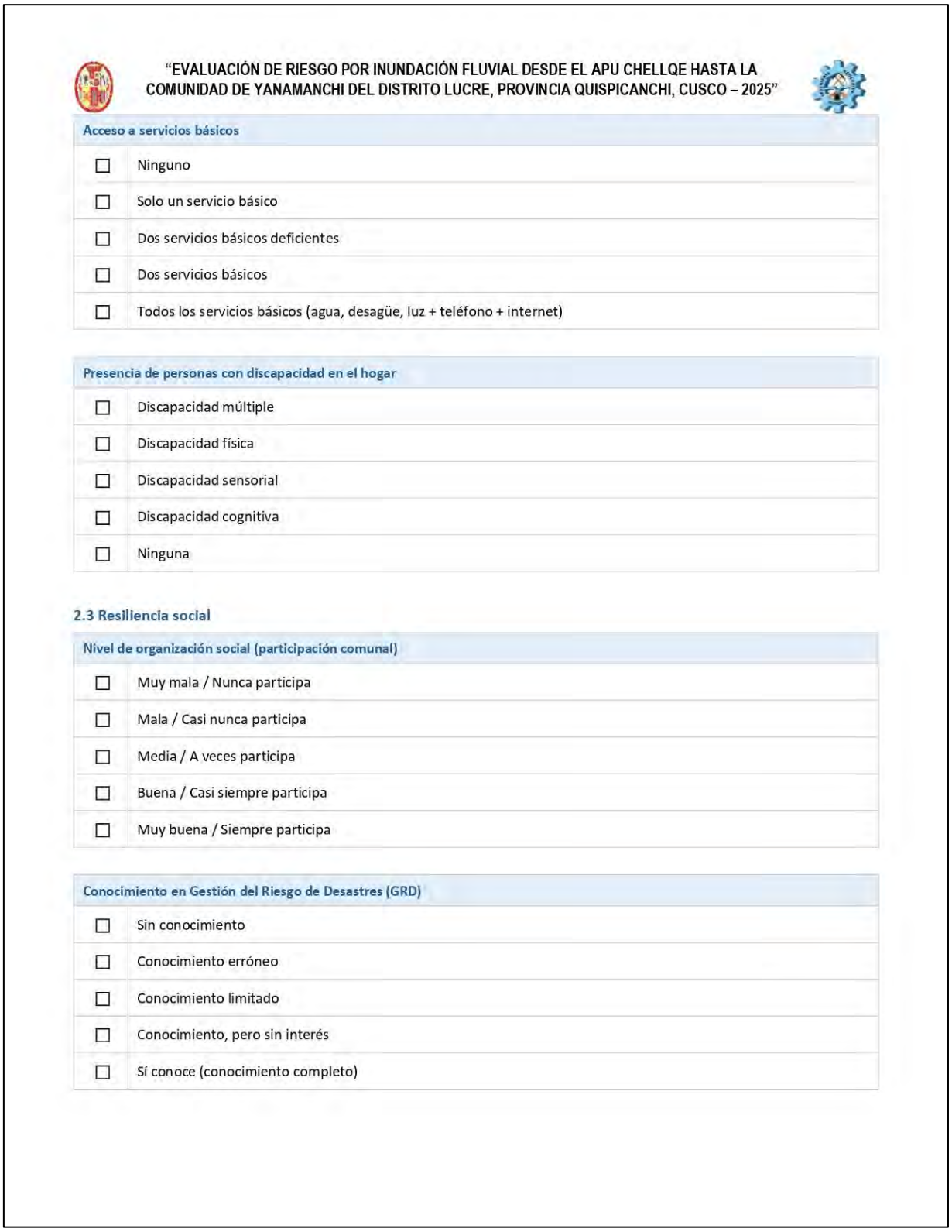
Número de habitantes por lote	
☐	Más de 10 personas
☐	De 7 a 10 personas
☐	De 4 a 6 personas
☐	De 2 a 3 personas
☐	1 persona

2.2 Fragilidad social

Rango de edades predominante en el hogar	
☐	0 a 5 años y mayores de 65 años
☐	6 a 12 años y 55 a 65 años
☐	13 a 18 años
☐	19 a 30 años
☐	31 a 54 años

Fuente. Elaboración propia

Figura 36. Modelo de encuesta de vulnerabilidad ante inundación fluvial aplicada en la Comunidad Campesina de Yanamanchi



"EVALUACIÓN DE RIESGO POR INUNDACIÓN FLUVIAL DESDE EL APU CHELLQE HASTA LA COMUNIDAD DE YANAMANCHI DEL DISTRITO LUCRE, PROVINCIA QUISPICANCHI, CUSCO – 2025"

Acceso a servicios básicos	
☐	Ninguno
☐	Solo un servicio básico
☐	Dos servicios básicos deficientes
☐	Dos servicios básicos
☐	Todos los servicios básicos (agua, desagüe, luz + teléfono + internet)

Presencia de personas con discapacidad en el hogar	
☐	Discapacidad múltiple
☐	Discapacidad física
☐	Discapacidad sensorial
☐	Discapacidad cognitiva
☐	Ninguna

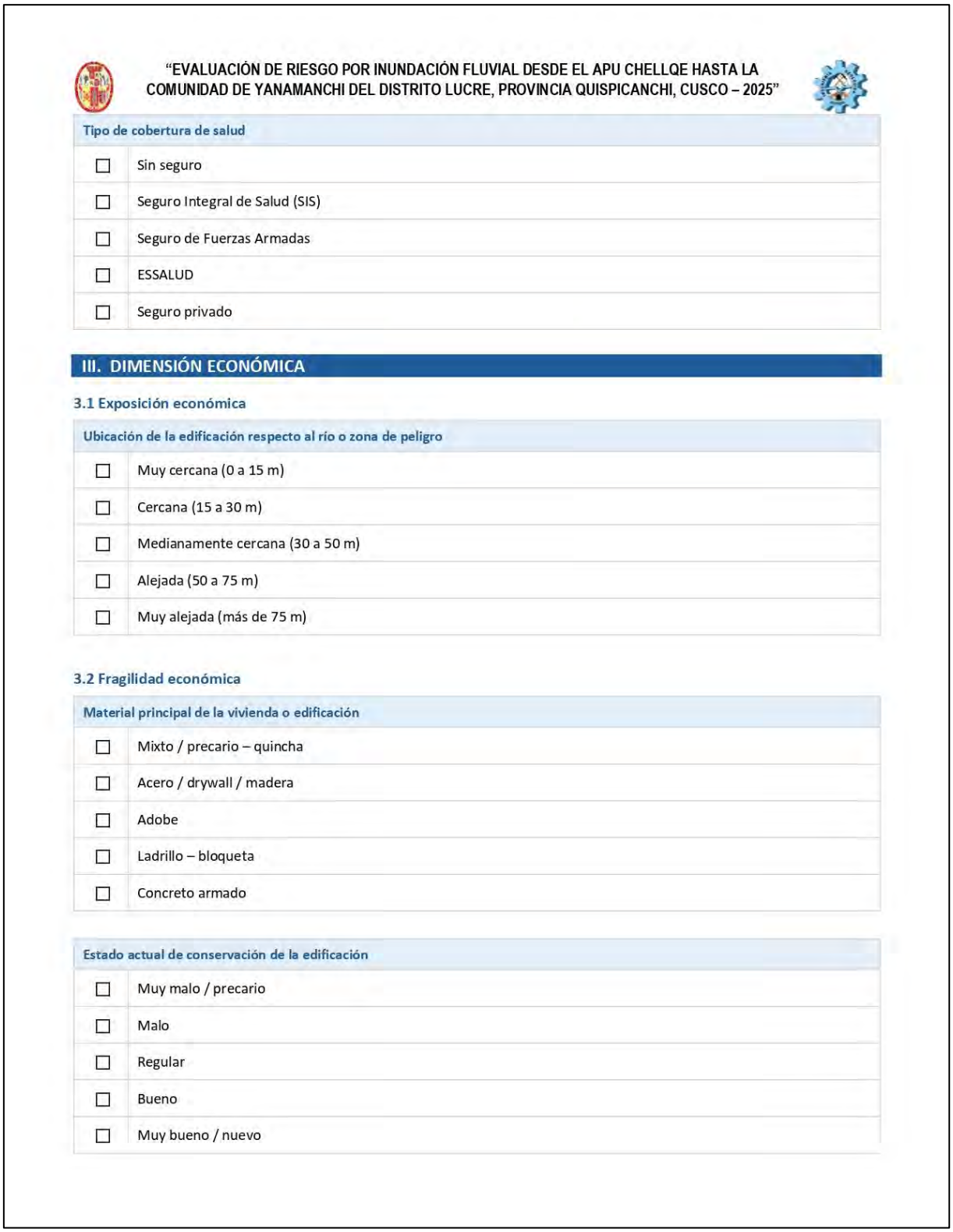
2.3 Resiliencia social

Nivel de organización social (participación comunal)	
☐	Muy mala / Nunca participa
☐	Mala / Casi nunca participa
☐	Media / A veces participa
☐	Buena / Casi siempre participa
☐	Muy buena / Siempre participa

Conocimiento en Gestión del Riesgo de Desastres (GRD)	
☐	Sin conocimiento
☐	Conocimiento erróneo
☐	Conocimiento limitado
☐	Conocimiento, pero sin interés
☐	Sí conoce (conocimiento completo)

Fuente. Elaboración propia

Figura 37. Modelo de encuesta de vulnerabilidad ante inundación fluvial aplicada en la Comunidad Campesina de Yanamanchi



"EVALUACIÓN DE RIESGO POR INUNDACIÓN FLUVIAL DESDE EL APU CHELLQE HASTA LA COMUNIDAD DE YANAMANCHI DEL DISTRITO LUCRE, PROVINCIA QUISPICANCHI, CUSCO – 2025"

Tipo de cobertura de salud	
☐	Sin seguro
☐	Seguro Integral de Salud (SIS)
☐	Seguro de Fuerzas Armadas
☐	ESSALUD
☐	Seguro privado

III. DIMENSIÓN ECONÓMICA

3.1 Exposición económica

Ubicación de la edificación respecto al río o zona de peligro	
☐	Muy cercana (0 a 15 m)
☐	Cercana (15 a 30 m)
☐	Medianamente cercana (30 a 50 m)
☐	Alejada (50 a 75 m)
☐	Muy alejada (más de 75 m)

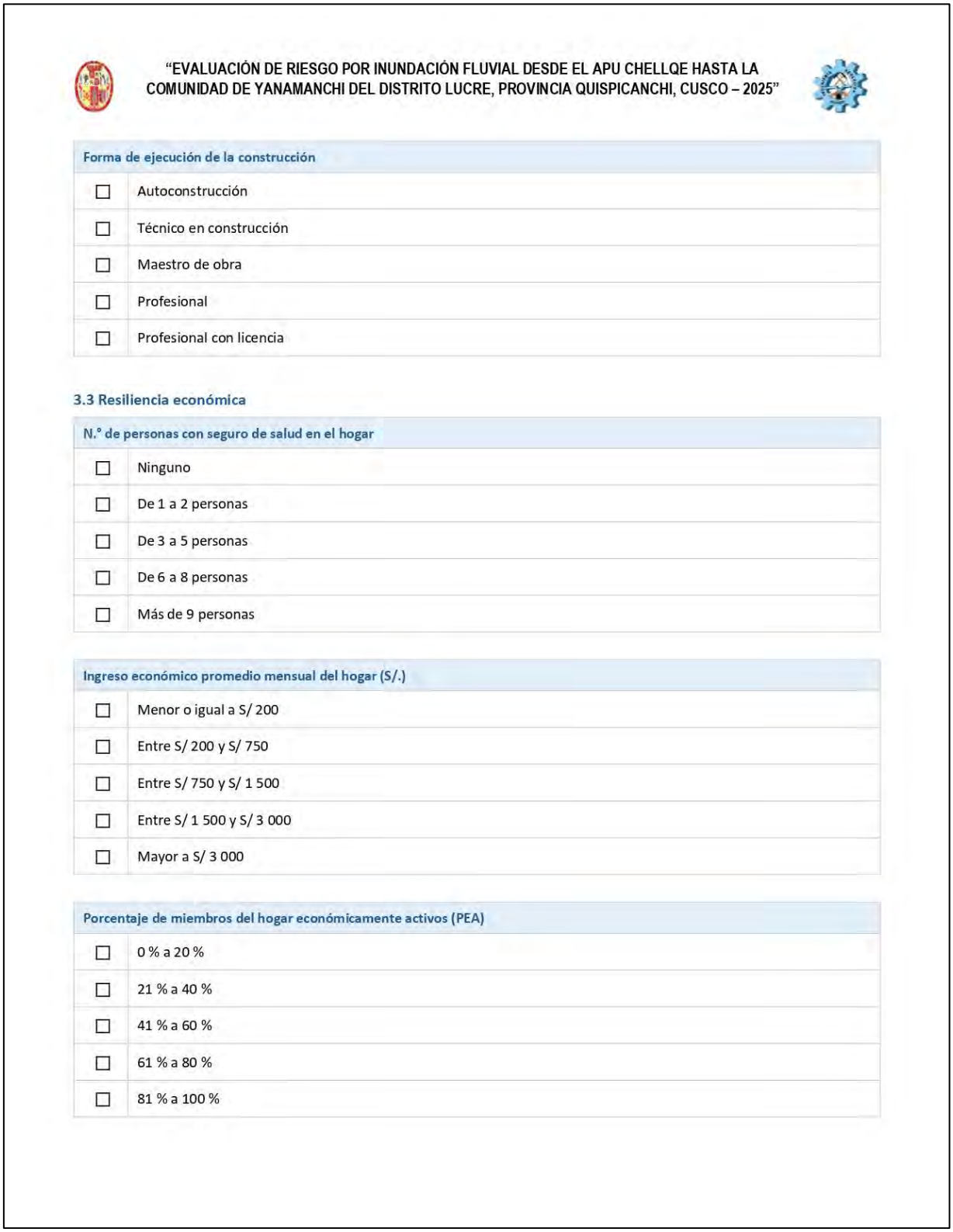
3.2 Fragilidad económica

Material principal de la vivienda o edificación	
☐	Mixto / precario – quincha
☐	Acero / drywall / madera
☐	Adobe
☐	Ladrillo – bloqueta
☐	Concreto armado

Estado actual de conservación de la edificación	
☐	Muy malo / precario
☐	Malo
☐	Regular
☐	Bueno
☐	Muy bueno / nuevo

Fuente. Elaboración propia

Figura 38. Modelo de encuesta de vulnerabilidad ante inundación fluvial aplicada en la Comunidad Campesina de Yanamanchi



"EVALUACIÓN DE RIESGO POR INUNDACIÓN FLUVIAL DESDE EL APU CHELLQE HASTA LA COMUNIDAD DE YANAMANCHI DEL DISTRITO LUCRE, PROVINCIA QUISPICANCHI, CUSCO – 2025"

Forma de ejecución de la construcción	
☐	Autoconstrucción
☐	Técnico en construcción
☐	Maestro de obra
☐	Profesional
☐	Profesional con licencia

3.3 Resiliencia económica

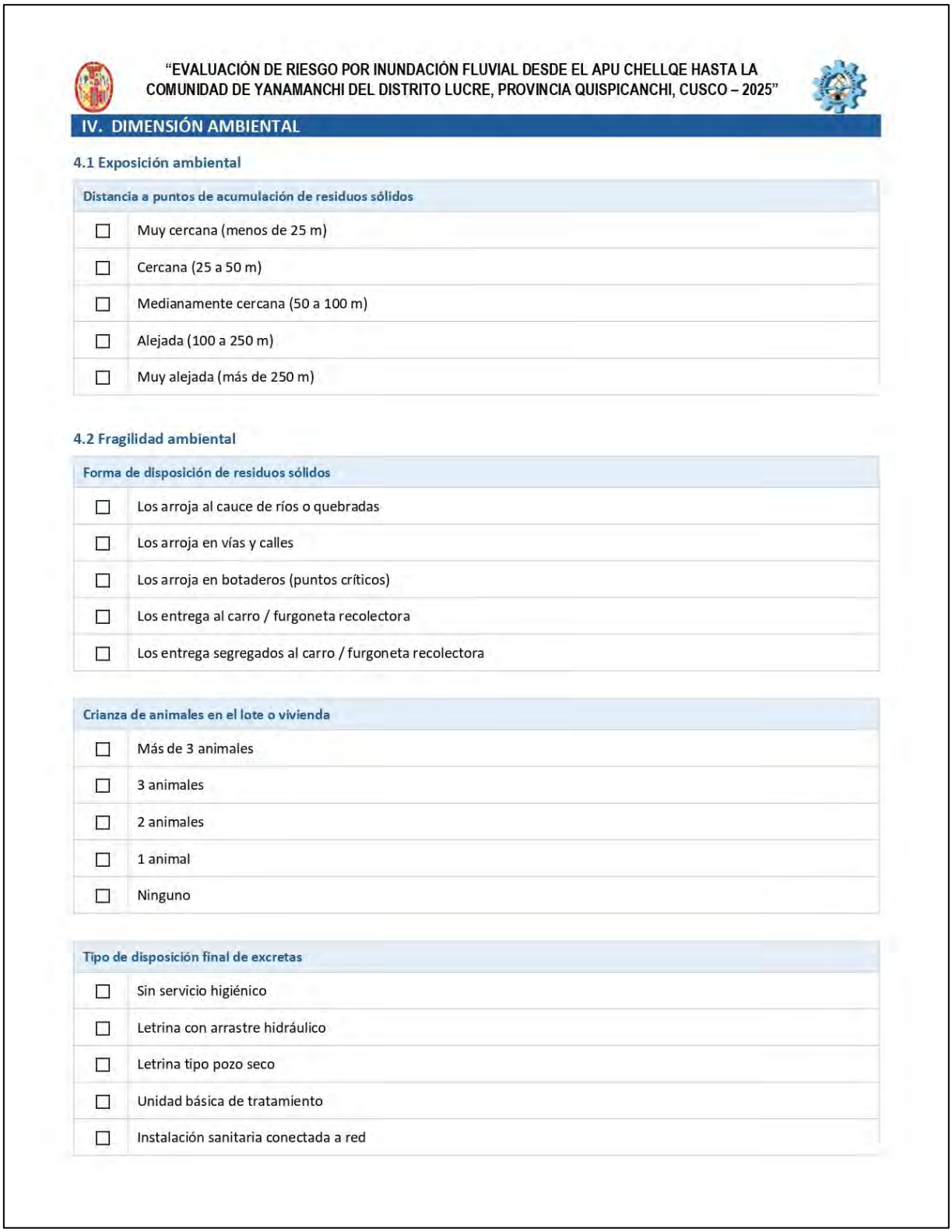
N.° de personas con seguro de salud en el hogar	
☐	Ninguno
☐	De 1 a 2 personas
☐	De 3 a 5 personas
☐	De 6 a 8 personas
☐	Más de 9 personas

Ingreso económico promedio mensual del hogar (S/.)	
☐	Menor o igual a S/ 200
☐	Entre S/ 200 y S/ 750
☐	Entre S/ 750 y S/ 1 500
☐	Entre S/ 1 500 y S/ 3 000
☐	Mayor a S/ 3 000

Porcentaje de miembros del hogar económicamente activos (PEA)	
☐	0 % a 20 %
☐	21 % a 40 %
☐	41 % a 60 %
☐	61 % a 80 %
☐	81 % a 100 %

Fuente. Elaboración propia

Figura 39. Modelo de encuesta de vulnerabilidad ante inundación fluvial aplicada en la Comunidad Campesina de Yanamanchi



"EVALUACIÓN DE RIESGO POR INUNDACIÓN FLUVIAL DESDE EL APU CHELLQE HASTA LA COMUNIDAD DE YANAMANCHI DEL DISTRITO LUCRE, PROVINCIA QUISPICANCHI, CUSCO – 2025"

IV. DIMENSIÓN AMBIENTAL

4.1 Exposición ambiental

Distancia a puntos de acumulación de residuos sólidos	
☐	Muy cercana (menos de 25 m)
☐	Cercana (25 a 50 m)
☐	Medianamente cercana (50 a 100 m)
☐	Alejada (100 a 250 m)
☐	Muy alejada (más de 250 m)

4.2 Fragilidad ambiental

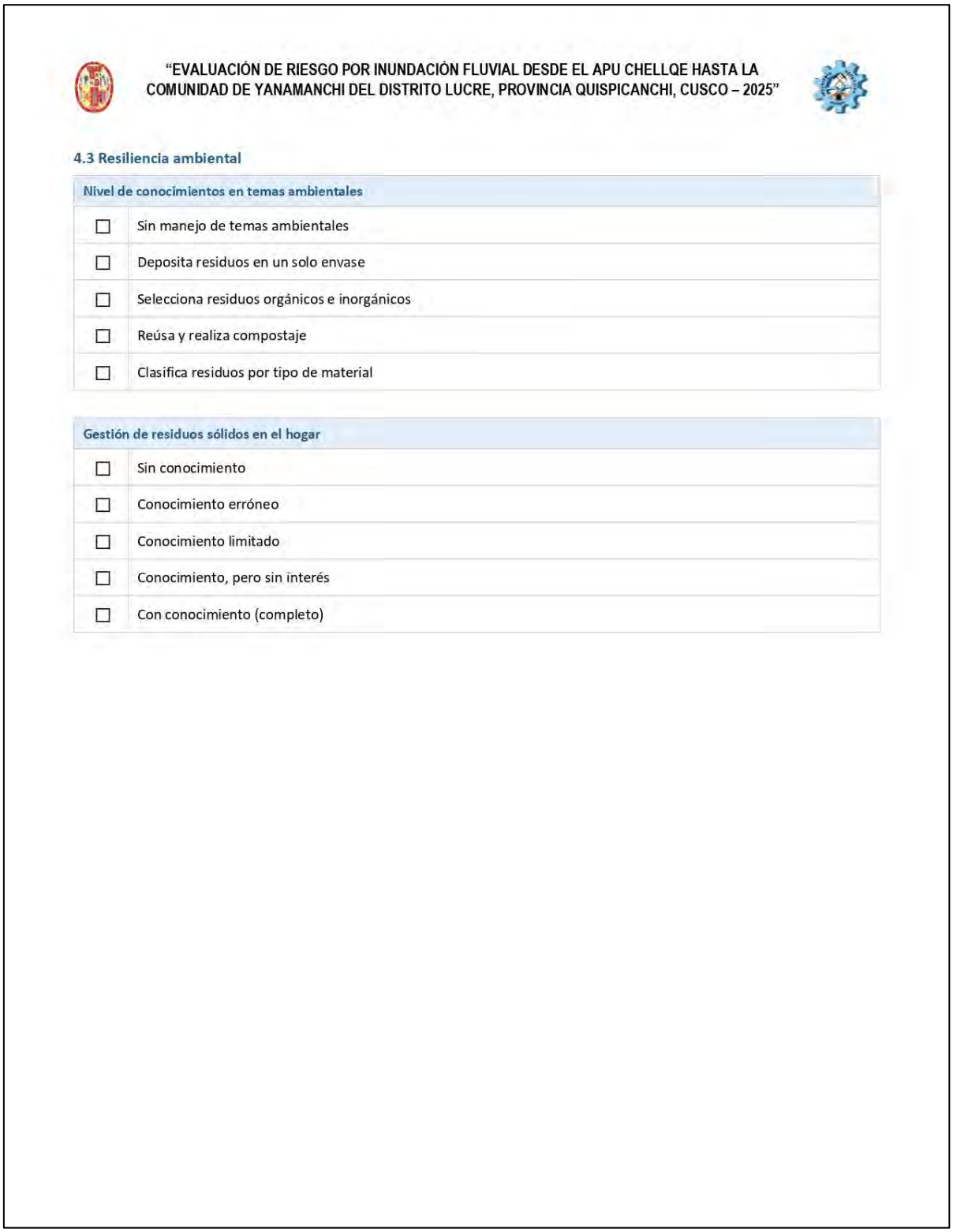
Forma de disposición de residuos sólidos	
☐	Los arroja al cauce de ríos o quebradas
☐	Los arroja en vías y calles
☐	Los arroja en botaderos (puntos críticos)
☐	Los entrega al carro / furgoneta recolectora
☐	Los entrega segregados al carro / furgoneta recolectora

Crianza de animales en el lote o vivienda	
☐	Más de 3 animales
☐	3 animales
☐	2 animales
☐	1 animal
☐	Ninguno

Tipo de disposición final de excretas	
☐	Sin servicio higiénico
☐	Letrina con arrastre hidráulico
☐	Letrina tipo pozo seco
☐	Unidad básica de tratamiento
☐	Instalación sanitaria conectada a red

Fuente. Elaboración propia

Figura 40. Modelo de encuesta de vulnerabilidad ante inundación fluvial aplicada en la Comunidad Campesina de Yanamanchi



"EVALUACIÓN DE RIESGO POR INUNDACIÓN FLUVIAL DESDE EL APU CHELLQE HASTA LA COMUNIDAD DE YANAMANCHI DEL DISTRITO LUCRE, PROVINCIA QUISPICANCHI, CUSCO – 2025"

4.3 Resiliencia ambiental

Nivel de conocimientos en temas ambientales	
☐	Sin manejo de temas ambientales
☐	Deposita residuos en un solo envase
☐	Selecciona residuos orgánicos e inorgánicos
☐	Reúsa y realiza compostaje
☐	Clasifica residuos por tipo de material

Gestión de residuos sólidos en el hogar	
☐	Sin conocimiento
☐	Conocimiento erróneo
☐	Conocimiento limitado
☐	Conocimiento, pero sin interés
☐	Con conocimiento (completo)

Fuente. Elaboración propia

MATRIZ DE CONSISTENCIA

Evaluación de riesgo por inundación fluvial desde el Apu Chellqe hasta la comunidad de Yanamanchi, distrito de Lucre, provincia de Quispicanchi, Cusco – 2025

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES E INDICADORES	METODOLOGÍA
Problema general ¿Cuál es el nivel de riesgo por inundación fluvial desde el Apu Chellqe hasta la comunidad de Yanamanchi, distrito de Lucre, provincia de Quispicanchi, Cusco – 2025?	**Objetivo general** Determinar el nivel de riesgo por inundación fluvial desde el Apu Chellqe hasta la comunidad de Yanamanchi, distrito de Lucre, provincia de Quispicanchi, Cusco – 2025.	**Hipótesis general** El riesgo por inundación fluvial en el tramo Apu Chellqe–Yanamanchi es alto a muy alto, debido a la influencia de las características geológicas, geomorfológicas y la dinámica fluvial del río Lucre.	**Variable dependiente** Riesgo por inundación fluvial • Nivel de riesgo por lote • Zonas Críticas de Riesgo • Daños y pérdidas probables (S/)	**Enfoque:** mixto **Tipo:** aplicada **Nivel:** descriptivo **Diseño:** no experimental, transversal **Método técnico:** Manual para la Evaluación de Riesgos Originados por Fenómenos Naturales, CENEPRED (2014), con enfoque heurístico y Proceso de Análisis Jerárquico (Saaty)
Problema específico 1 ¿Cuál es el nivel de peligro por inundación fluvial en el tramo comprendido entre el Apu Chellqe y la comunidad de Yanamanchi?	**Objetivo específico 1** Determinar el nivel de peligro por inundación fluvial en el tramo comprendido entre el Apu Chellqe y la comunidad de Yanamanchi.	**Hipótesis específica 1** El peligro por inundación fluvial está condicionado por la geología y la geomorfología del tramo de estudio.	**Variable independiente 1** Peligro por inundación fluvial • Factores condicionantes: geomorfología, pendiente, geología • Factor desencadenante: precipitación máxima • Parámetro de evaluación: tirante/caudal para el período de retorno	**Población:** 111 lotes en uso de la Comunidad Campesina de Yanamanchi (228 habitantes), en un tramo de 3 km del río Lucre **Muestra:** censal (se evaluó la totalidad de lotes en uso; no hubo muestreo)
Problema específico 2 ¿Cuál es el nivel de vulnerabilidad por inundación fluvial en el área de estudio?	**Objetivo específico 2** Determinar el nivel de vulnerabilidad por inundación fluvial en el área de estudio.	**Hipótesis específica 2** La vulnerabilidad por inundación fluvial depende principalmente del material predominante de paredes y pisos de las viviendas.	**Variable independiente 2** Vulnerabilidad • Dimensión social • Dimensión económica • Dimensión ambiental (cada una por exposición, fragilidad y resiliencia)	**Técnicas:** observación y trabajo de campo, encuesta, entrevista, análisis documental, modelamiento hidráulico y análisis SIG **Instrumentos:** ficha de encuesta por lote, fichas de campo, GPS, cinta métrica, cámara fotográfica
Problema específico 3 ¿Cuál es el nivel de riesgo por inundación fluvial resultante de la integración del peligro y la vulnerabilidad?	**Objetivo específico 3** Determinar el nivel de riesgo por inundación fluvial mediante la integración de los mapas de peligro y vulnerabilidad.	**Hipótesis específica 3** Las áreas de mayor riesgo por inundación fluvial se ubican en la primera terraza fluvial.	Riesgo = Peligro × Vulnerabilidad • Matriz de doble entrada (CENEPRED, 2014) • Delimitación de Zonas Críticas (ZCR-1 a ZCR-4)	**Procesamiento:** matrices de Saaty, HEC-RAS, ArcGIS/QGIS, hojas de cálculo **Ámbito y tiempo:** tramo Apu Chellqe–Yanamanchi, distrito de Lucre, 2025

Fuente. Elaboración propia

MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Evaluación de riesgo por inundación fluvial desde el Apu Chellqe hasta la comunidad de Yanamanchi, distrito de Lucre, provincia de Quispicanchi, Cusco – 2025

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA / INSTRUMENTO
Peligro por inundación fluvial (Variable independiente)	Probabilidad de que el desborde de un río, con una determinada intensidad, afecte un área específica en un período de tiempo dado (CENEPRED, 2014).	Se determina ponderando la susceptibilidad (factores condicionantes y desencadenante, 60 %) y el parámetro de evaluación (40 %) mediante el Proceso de Análisis Jerárquico de Saaty.	Factores condicionantes Factor desencadenante Parámetro de evaluación	• Unidades geomorfológicas • Pendiente del terreno (°) • Unidades geológicas • Precipitación máxima diaria (mm) • Tirante y caudal de diseño para el período de retorno (m, m^3/s)	Ordinal: bajo, medio, alto, muy alto Instrumentos: mapas temáticos, fichas de campo, modelamiento HEC-RAS, SIG
Vulnerabilidad (Variable independiente)	Susceptibilidad de la población, la estructura física o las actividades socioeconómicas de sufrir daños por acción de un peligro (Ley N.° 29664).	Se determina por lote aplicando una ficha de encuesta y ponderando los parámetros de cada dimensión según su exposición, fragilidad y resiliencia (CENEPRED, 2014).	Social Económica Ambiental	• Exposición: número de habitantes, distancia al cauce, población dependiente • Fragilidad: material de paredes y pisos, estado de conservación • Resiliencia: ingreso, actividad económica, capacitación en GRD, manejo de residuos	Ordinal: bajo, medio, alto, muy alto Instrumento: ficha de encuesta por lote (111 lotes)
Riesgo por inundación fluvial (Variable dependiente)	Probabilidad de que la población y sus medios de vida sufran daños y pérdidas a consecuencia de su vulnerabilidad y del impacto de un peligro (CENEPRED, 2014).	Se obtiene por lote integrando los niveles de peligro y vulnerabilidad en la matriz de doble entrada; se delimitan Zonas Críticas y se cuantifican los efectos probables.	Nivel de riesgo Zonas Críticas de Riesgo Efectos probables	• Nivel de riesgo por lote • Lotes, habitantes y piscigranjas expuestos • Daños probables en infraestructura (S/) • Pérdidas probables de bienes y producción (S/)	Ordinal: bajo, medio, alto, muy alto; razón: número y soles Instrumentos: matriz P × V, SIG, cuadros de costos

Fuente. Elaboración propia con base en CENEPRED (2014) y Ley N.° 29664.