

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

“SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA FREnte A INUNDACIONES
CAUSADAS POR EL RÍO SAN LUCAS, CASERÍO BELLA UNIÓN,
CAJAMARCA 2024”

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO CIVIL

AUTOR:
BACH. CARLOS ENRIQUE MORALES FERNANDEZ

ASESOR:
INGº M.CS. MARCO ANTONIO SILVA SILVA

CAJAMARCA – PERÚ
2026

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

- FACULTAD DE INGENIERÍA -

1. Investigador: Carlos Enrique Morales Fernandez

DNI: 72003499

Escuela Profesional: Ingeniería Civil

2. Asesor: M.Cs. Marco Antonio Silva Silva

Facultad: Ingeniería

3. Grado académico o título profesional

Bachiller

Título profesional

Segunda especialidad

Maestro

Doctor

4. Tipo de Investigación:

Tesis

Trabajo de investigación

Trabajo de suficiencia profesional

Trabajo académico

5. Título de Trabajo de Investigación:

"SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA FRENTE A INUNDACIONES CAUSADAS POR
EL RÍO SAN LUCAS, CASERÍO BELLA UNIÓN, CAJAMARCA 2024"

6. Fecha de evaluación: 05/01/2026

7. Software antiplagio:

TURNITIN

URKUND (OURIGINAL) (*)

8. Porcentaje de Informe de Similitud: 4%

9. Código Documento: oid:3117:544321051

10. Resultado de la Evaluación de Similitud:

APROBADO

PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha de emisión: 05 de enero del 2026



FIRMA DEL ASESOR
M.Cs. Marco Antonio Silva Silva
DNI: 26633819



Firmado digitalmente por:
BAZAN DIAZ Laura Sofia
FAU 20148258001 soft
Motivo: En señal de
conformidad
Fecha: 05/01/2026 23:41:19-0500

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI



Universidad Nacional de Cajamarca

"Norte de la Universidad Peruana"

Fundada por Ley 14015 del 13 de Febrero de 1962

FACULTAD DE INGENIERÍA

Teléf. N° 365976 Anexo N° 1129-1130



ACTA DE SUSTENTACIÓN PÚBLICA DE TESIS.

TITULO : *SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA FRENTE A INUNDACIONES CAUSADAS POR EL RÍO SAN LUCAS, CASERÍO BELLA UNIÓN, CAJAMARCA 2024.*

ASESOR : *M.Cs. Ing. Marco Antonio Silva Silva.*

En la ciudad de Cajamarca, dando cumplimiento a lo dispuesto por el Oficio Múltiple N° 0063-2026-PUB-SA-FI-UNC, de fecha 14 de enero de 2026, de la Secretaría Académica de la Facultad de Ingeniería, a los **veintisiete días del mes de enero de 2026**, siendo las quince horas con treinta minutos (03:30 p.m.) en la Sala de Audiovisuales (Edificio 1A - Segundo Piso), de la Facultad de Ingeniería se reunieron los Señores Miembros del Jurado Evaluador:

Presidente : Dr. Ing. Hermes Roberto Mosqueira Ramírez.
Vocal : Dr. Ing. José Francisco Huamán Vidaurre.
Secretario : Dr. Ing. Gaspar Virilo Méndez Cruz.

Para proceder a escuchar y evaluar la sustentación pública de la tesis titulada *SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA FRENTE A INUNDACIONES CAUSADAS POR EL RÍO SAN LUCAS, CASERÍO BELLA UNIÓN, CAJAMARCA 2024*, presentado por el Bachiller en Ingeniería Civil *CARLOS ENRIQUE MORALES FERNANDEZ*, asesorado por el M.Cs. Ing. Marco Antonio Silva Silva, para la obtención del Título Profesional

Los Señores Miembros del Jurado replicaron al sustentante debatieron entre sí en forma libre y reservada y lo evaluaron de la siguiente manera:

EVALUACIÓN PRIVADA : 06 PTS.
EVALUACIÓN PÚBLICA : 12 PTS.
EVALUACIÓN FINAL : 18 PTS **DIECIOSCHOCO** (En letras)

En consecuencia, se lo declara **APROBADO** con el calificativo de **DIECIOSCHOCO** acto seguido, el presidente del jurado hizo saber el resultado de la sustentación, levantándose la presente a las **DIECIOSCHOCO** horas del mismo día, con lo cual se dio por terminado el acto, para constancia se firmó por quintuplicado.

Dr. Ing. Hermes Roberto Mosqueira Ramírez.
Presidente

Dr. Ing. José Francisco Huamán Vidaurre.
Vocal

Dr. Ing. Gaspar Virilo Méndez Cruz.
Secretario

M.Cs. Ing. Marco Antonio Silva Silva.
Asesor

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero expresar mi profundo agradecimiento a Dios, quien me ha brindado la fortaleza y la claridad necesarias para enfrentar cada desafío y alcanzar esta meta.

A mis padres, por su apoyo incondicional, por creer siempre en mí y por brindarme las herramientas necesarias para superar cualquier obstáculo.

Extiendo también mi gratitud al Ingº M.Cs. Marco Antonio Silva Silva y al Ingº Jairo Isaí Alvarez Villanueva, por su compromiso y orientación a lo largo de este trabajo.

Finalmente, a mis amigos: Luis, Edwin, Hans, Holddie y Marialejandra. Gracias por su compañía, por los buenos momentos compartidos y por ser una parte importante de este viaje académico.

DEDICATORIA

Con todo mi amor, dedico este logro a mis padres, Fausto y Edita. Ustedes son el motor de mi vida y la razón por la que sigo adelante. Gracias por su apoyo incondicional, por ser mi fuerza en los momentos difíciles y por enseñarme el valor del esfuerzo y la perseverancia. Su importancia en mi vida es incalculable.

A Dios todopoderoso, quien cada día me bendice y guía con su luz. Gracias por ser mi refugio y por darme la fortaleza necesaria para alcanzar mis metas.

CONTENIDO

AGRADECIMIENTO.....	ii
DEDICATORIA	iii
RESUMEN	xxiii
ABSTRACT	xxv
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Planteamiento del problema	1
1.1.1. Contextualización.....	1
1.1.2. Descripción del problema.....	4
1.1.3. Formulación del Problema	4
1.1.4. Hipótesis.....	5
1.2. Justificación de la Investigación	5
1.2.1. Justificación Científica.....	5
1.2.2. Justificación Técnico Práctica.....	5
1.2.3. Justificación Institucional y Personal.....	5
1.3. Delimitación de la Investigación	6
1.4. Limitaciones de la Investigación	6
1.5. Objetivos.....	6
1.5.1. Objetivo General.....	6
1.5.2. Objetivos Específicos	7
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	8
2.1. Antecedentes Teóricos.....	8
2.1.1. Antecedentes Internacionales	8
2.1.2. Antecedentes Nacionales	9
2.1.3. Antecedentes Locales	11

2.2.	Marco Conceptual.....	12
2.2.1.	Desastres.....	12
2.2.2.	Inundaciones.....	12
2.2.2.1.	Tipos de Inundaciones	13
2.2.3.	Gestión del Riesgo de Desastres.....	14
2.2.4.	Riesgo	14
2.2.5.	Componentes del Riesgo	15
2.2.5.1.	Vulnerabilidad.....	15
2.2.5.2.	Peligro	15
2.2.6.	Metodologías de Evaluación de Riesgos	16
2.2.6.1.	Metodología del Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED)	16
2.2.7.	Cuenca Hidrológica	25
2.2.7.1.	Parámetros de forma.....	25
2.2.7.2.	Parámetros de relieve	28
2.2.7.3.	Parámetros de red de drenaje	30
2.2.8.	Ánálisis de frecuencias	31
2.2.9.	Prueba de datos dudosos	32
2.2.10.	Distribuciones de probabilidad estadística	33
2.2.10.1.	Distribución Normal.....	33
2.2.10.2.	Distribución Log Normal de 2 parámetros.....	33
2.2.10.3.	Distribución Log Normal de 3 parámetros.....	33
2.2.10.4.	Distribución Gamma 2 parámetros	34
2.2.10.5.	Distribución Gamma 3 parámetros	34
2.2.10.6.	Distribución Gumbel	34

2.2.10.7. Distribución Log Gumbel.....	35
2.2.11. Pruebas de bondad de ajuste	35
2.2.12. Ajuste por número de observaciones	36
2.2.13. Modelamiento Hidrológico.....	36
2.2.14. Determinación de caudales máximos	41
2.2.15. Sofware para el Modelamiento Hidrológico.....	46
2.2.16. Modelamiento Hidráulico	47
2.2.17. Sistemas de Alerta Temprana	50
2.2.18. Enfoques para la implementación de los Sistemas de Alerta Temprana	51
2.2.19. Clasificación de los Sistemas de Alerta Temprana.....	53
2.2.20. Estimación de Umbrales de Inundación	54
2.3. Definición de términos básicos.....	55
CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS.....	57
3.1. Ubicación geográfica	57
3.2. Tiempo de realización de la investigación.....	57
3.3. Metodología de la investigación	58
3.3.1. Tipo de investigación.....	58
3.3.2. Nivel de investigación	58
3.3.3. Diseño de investigación.....	58
3.3.4. Método de investigación.....	59
3.3.5. Población de estudio	59
3.3.6. Muestra	60
3.3.7. Unidad de análisis.....	60
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	60
3.4.1. Técnicas	60

3.4.2. Instrumentos	61
3.5. Tratamiento y análisis de datos.....	63
3.5.1. Datos Meteorológicos.....	63
3.5.2. Datos Cartográficos	65
3.5.3. Datos Topográficos.....	66
3.5.4. Mapas Temáticos	66
3.5.5. Información sobre Gestión del Riesgo de Desastres en Cajamarca	66
3.6. Procedimiento	67
3.6.1. Delimitación de la cuenca.....	67
3.6.2. Parámetros de forma de la cuenca	69
3.6.3. Parámetros de relieve de la cuenca.....	71
3.6.4. Parámetros de la red de drenaje	72
3.6.5. Modelamiento Hidrológico.....	73
3.6.6. Modelamiento Hidráulico	85
3.6.7. Sistema de Alerta Temprana.....	93
3.6.7.1. Análisis del marco institucional y de planificación de la Gestión del Riesgo de Desastres en Cajamarca	95
3.6.7.2. Conocimiento del Riesgo	103
3.6.7.3. Monitoreo y pronóstico	133
3.6.7.4. Comunicación y difusión de la alerta.....	143
3.6.7.5. Capacidad de respuesta	145
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	146
4.1. Presentación de resultados	146
4.1.1. Información Meteorológica	146
4.1.2. Parámetros de la cuenca.....	147

4.1.2.1.	Parámetros de forma.....	147
4.1.2.2.	Parámetros de relieve	148
4.1.2.3.	Parámetros de drenaje	148
4.1.3.	Modelamiento Hidrológico.....	148
4.1.4.	Modelamiento Hidráulico.....	149
4.1.4.1.	Modelamiento Hidráulico para Periodo de Retorno de 20 años	150
4.1.4.2.	Modelamiento Hidráulico para Periodo de Retorno de 50 años	152
4.1.4.3.	Modelamiento Hidráulico para Periodo de Retorno de 100 años	154
4.1.4.4.	Modelamiento Hidráulico para Periodo de Retorno de 200 años	156
4.1.5.	Encuesta para la Evaluación de Riesgo	158
4.1.6.	Encuesta para el planteamiento del Sistema de Alerta Temprana.....	166
4.1.7.	Sistema de Alerta Temprana.....	172
4.1.7.1.	Conocimiento del Riesgo	172
4.1.7.2.	Monitoreo y pronostico	179
4.1.7.3.	Comunicación y difusión de la alerta	184
4.1.7.4.	Capacidad de respuesta	189
4.2.	Análisis y discusión de resultados	193
4.2.1.	Información meteorológica.....	193
4.2.2.	Parámetros de la cuenca.....	193
4.2.3.	Modelamiento Hidrológico.....	194
4.2.4.	Modelamiento Hidráulico.....	194
4.2.5.	Encuesta para la Evaluación de Riesgo	195
4.2.6.	Encuesta para el planteamiento del Sistema de Alerta Temprana.....	196
4.2.7.	Sistema de Alerta Temprana.....	197
4.2.7.1.	Conocimiento del Riesgo	197

4.2.7.2. Monitoreo y pronóstico	198
4.2.7.3. Comunicación y difusión de la alerta.....	199
4.2.7.4. Capacidad de respuesta	200
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	201
5.1. Conclusiones.....	201
5.2. Recomendaciones	203
CAPÍTULO VI: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	204
BIBLIOGRAFÍA	204
LINKOGRAFÍA	207
ANEXOS	210

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Niveles de Peligrosidad en el caso de Inundaciones</i>	18
Tabla 2 <i>Parámetros para la dimensión social</i>	21
Tabla 3 <i>Parámetros para la dimensión económica</i>	21
Tabla 4 <i>Parámetros para la dimensión ambiental</i>	22
Tabla 5 <i>Niveles de Vulnerabilidad en el caso de inundaciones</i>	23
Tabla 6 <i>Niveles de Riesgo en caso de inundaciones</i>	24
Tabla 7 <i>Relación entre el Factor de Horton y la forma de la Cuenca</i>	26
Tabla 8 <i>Relación entre el índice de compacidad y la forma de la cuenca</i>	26
Tabla 9 <i>Relación entre la Razón de elongación y la forma de la cuenca</i>	27
Tabla 10 <i>Clasificación del relieve por pendientes medias</i>	29
Tabla 11 <i>Características de la cuenca en función de la Relación de bifurcación</i>	31
Tabla 12 <i>Valores de Kn para la prueba de datos dudosos</i>	32
Tabla 13 <i>Valores críticos “d” en la prueba Kolmogorov-Smirnov</i>	36
Tabla 14 <i>Relación para ajuste por número de observaciones</i>	36
Tabla 15 <i>Valores máximos recomendados de riesgo admisible en obras de drenaje</i> 38	
Tabla 16 <i>Reclasificación por tipo de cobertura</i>	44
Tabla 17 <i>Reclasificación del Tipo de Suelo</i>	44
Tabla 18 <i>Valores de la Curva Número</i>	45
Tabla 19 <i>Coeficientes para el método de Cowan</i>	48
Tabla 20 <i>Umbrales por nivel de peligro</i>	55
Tabla 21 <i>Precipitaciones máximas mensuales de 24 horas de la estación Augusto Weberbauer</i>	63
Tabla 22 <i>Áreas del rectángulo equivalente</i>	70
Tabla 23 <i>Precipitaciones máximas anuales - Estación Augusto Weberbauer</i>	74

Tabla 24 <i>Prueba de bondad de ajuste Kolmogorov - Smirnov</i>	75
Tabla 25 <i>Precipitaciones máximas anuales corregidas considerando diferentes periodos de retorno</i>	76
Tabla 26 <i>Precipitaciones para diferentes periodos de tiempo</i>	76
Tabla 27 <i>Valores de la Curva Número para cada subcuenca</i>	83
Tabla 28 <i>Tiempo de concentración de las subcuenca</i>	83
Tabla 29 <i>Valores de K para el Método de Muskingum</i>	84
Tabla 30 <i>Coeficientes de rugosidad de Manning calculados por el Método de Cowan</i>	86
Tabla 31 <i>Planes de la Municipalidad Provincial de Cajamarca en el marco de la Gestión del Riesgo de Desastres</i>	95
Tabla 32 <i>Integrantes del Centro de Operaciones de Emergencia Provincial - Cajamarca</i>	97
Tabla 33 <i>Protocolos aplicados por la Municipalidad Provincial de Cajamarca en los SAT</i>	98
Tabla 34 <i>Instituciones de Monitoreo de Fenómenos Naturales</i>	101
Tabla 35 <i>Estaciones meteorológicas conformantes del Sistema de Monitoreo Hidrológico</i>	102
Tabla 37 <i>Precipitaciones máximas mensuales de 24 horas durante los Fenómenos El Niño 1982, 1998, 2017 y 2023</i>	104
Tabla 38 <i>Emergencias reportadas por el INDECI en el distrito de Cajamarca (2003-2012)</i>	105
Tabla 39 <i>Emergencias reportadas por el INDECI en el distrito de Cajamarca (2013-2021)</i>	105
Tabla 40 <i>Matriz de Comparación de Pares</i>	122

Tabla 41 <i>Matriz de Comparación de Pares Corregida</i>	123
Tabla 42 <i>Matriz de Normalización</i>	123
Tabla 43 <i>Vector Priorización</i>	123
Tabla 44 <i>Vector Suma Ponderada</i>	124
Tabla 45 <i>Pesos Ponderados de los Parámetros del Análisis de Peligrosidad</i>	126
Tabla 46 <i>Rangos de Peligrosidad</i>	127
Tabla 47 <i>Pesos Ponderados de los Parámetros del Análisis de Vulnerabilidad</i>	128
Tabla 48 <i>Rangos de Peligrosidad</i>	132
Tabla 49 <i>Rangos de Riesgo</i>	133
Tabla 50 <i>Agentes Involucrados en el Sistema de Alerta Temprana</i>	134
Tabla 51 <i>Ventajas y desventajas de los diferentes instrumentos de medición</i>	136
Tabla 52 <i>Umbrales de precipitación establecidos para Cajamarca</i>	139
Tabla 53 <i>Umbrales de caudal para el río San Lucas en base a la RM N°049-2020-PCM</i>	140
Tabla 54 <i>Caudales que inician la inundación en HEC-RAS e IBER</i>	140
Tabla 55 <i>Umbrales de alerta en la estación hidrométrica del río San Lucas en el puente Amarillo</i>	142
Tabla 56 <i>Medidas para la emisión de alertas y alarmas</i>	144
Tabla 57 <i>Precipitaciones máximas mensuales de 24 horas durante los Fenómenos El Niño 1982, 1998, 2017 y 2023</i>	147
Tabla 58 <i>Parámetros de forma de la cuenca del río San Lucas</i>	147
Tabla 59 <i>Parámetros de relieve de la cuenca del río San Lucas</i>	148
Tabla 60 <i>Parámetros de drenaje de la cuenca del río San Lucas</i>	148
Tabla 61 <i>Caudales máximos para los diferentes Periodos de Retorno (TR) considerados</i>	149

Tabla 62 <i>Estratificación del Peligro de Inundación en el Caserío Bella Unión</i>	173
Tabla 63 <i>Estratificación de la Vulnerabilidad por Inundación en el Caserío Bella Unión</i>	175
Tabla 64 <i>Estratificación del Riesgo por Inundación en el Caserío Bella Unión</i>	177
Tabla 65 <i>Componentes de la Estación Meteorológica</i>	179
Tabla 66 <i>Ubicación de las estaciones meteorológicas</i>	180
Tabla 67 <i>Componentes requeridos en la Estación Hidrométrica.....</i>	180
Tabla 68 <i>Umbrales de Inundación en las Estaciones Meteorológicas.....</i>	182
Tabla 69 <i>Umbrales de inundación en las estaciones hidrométricas</i>	183
Tabla 70 <i>Procedimientos operativos del Centro de Operaciones de Emergencia Local (COEL) - Bella Unión.....</i>	184
Tabla 71 <i>Procedimientos operativos de las Brigadas de Emergencia</i>	185
Tabla 72 <i>Mecanismo de difusión de la alerta.....</i>	187
Tabla 73 <i>Componentes requeridos para la difusión de la alerta</i>	187
Tabla 74 <i>Identificación de las rutas de evacuación y zonas seguras</i>	190
Tabla 75 <i>Normas de Conducta de la Población durante la activación de la alerta</i>	192
Tabla 76 <i>Intensidades para los periodos de retorno analizados.....</i>	218
Tabla 77 <i>Profundidad acumulada para los diferentes periodos de retorno.....</i>	218
Tabla 78 <i>Precipitaciones según el método del bloque alterno</i>	219
Tabla 79 <i>Resultados de los hidrogramas en HEC - HMS</i>	219

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Flujograma para la determinación de la Peligrosidad - CENEPRED</i>	17
Figura 2 <i>Flujograma para la determinación de la Vulnerabilidad - CENEPRED</i> ...	19
Figura 3 <i>Etapa de la cuenca en base a la curva hipsométrica</i>	29
Figura 4 <i>Histograma de frecuencias</i>	30
Figura 5 <i>Ejemplo de Curvas IDF</i>	40
Figura 6 <i>Ejemplo de Hietograma de Diseño</i>	41
Figura 7 <i>Mapa conceptual de la determinación de la Curva Número</i>	43
Figura 8 <i>Interacción entre los módulos presentes en IBER</i>	49
Figura 9 <i>Componentes básicos de un Sistema de Alerta Temprana</i>	50
Figura 10 <i>Ubicación Geográfica</i>	57
Figura 11 <i>Mapa conceptual del procedimiento de la investigación</i>	59
Figura 12 <i>Encuesta para la Evaluación de Riesgo</i>	61
Figura 13 <i>Encuesta para determinar la propuesta del Sistema de Alerta Temprana</i> 62	
Figura 14 <i>Modelo Digital de Elevación de ALOS PALSAR</i>	65
Figura 15 <i>Modelo digital de elevación de la zona de interés</i>	67
Figura 16 <i>Dirección del flujo de la zona de interés</i>	67
Figura 17 <i>Acumulación de flujo de la zona de interés</i>	68
Figura 18 <i>Cuenca del río San Lucas</i>	68
Figura 19 <i>Relieve de la cuenca del río San Lucas</i>	69
Figura 20 <i>Longitud de la cuenca del río San Lucas</i>	69
Figura 21 <i>Rectángulo equivalente de la cuenca</i>	70
Figura 22 <i>Pendientes de la cuenca del río San Lucas</i>	71
Figura 23 <i>Curva hipsométrica de la cuenca del río San Lucas</i>	71
Figura 24 <i>Histograma de frecuencias altimétricas de la cuenca del río San Lucas</i> .	72

Figura 25 Número de orden de la cuenca del río San Lucas.....	72
Figura 26 Selección de los Periodos de Retorno	73
Figura 27 Análisis gráfico para la prueba de datos dudosos	73
Figura 28 Parámetros estadísticos de las precipitaciones	75
Figura 29 Determinación de las intensidades máximas y su ecuación de ajuste	77
Figura 30 Curvas IDF de los periodos de retorno (TR) analizados	78
Figura 31 Hietograma de diseño – Periodo de Retorno = 20 años.....	78
Figura 32 Hietograma de diseño - Periodo de Retorno = 50 años	79
Figura 33 Hietograma de diseño - Periodo de Retorno = 100 años	79
Figura 34 Hietograma de diseño - Periodo de Retorno = 200 años	80
Figura 35 Ríos identificados mediante HEC HMS	80
Figura 36 Elementos de la cuenca del río San Lucas	81
Figura 37 Mapa de cobertura vegetal y uso del suelo de la cuenca del río San Lucas	81
Figura 38 Mapa del tipo de suelo de la cuenca del río San Lucas	82
Figura 39 Números de curva presentes en la cuenca del río San Lucas	82
Figura 40 Resultados de la simulación para un Periodo de Retorno = 20 años.....	84
Figura 41 Modelo Digital de Elevación del Caserío Bella Unión.....	85
Figura 42 Capa de Terreno en HEC-RAS.....	85
Figura 43 Capa correspondiente a la rugosidad de Manning en HEC-RAS.....	86
Figura 44 Región de mallado del Caserío Bella Unión.....	87
Figura 45 Creación de los puentes en HEC-RAS	87
Figura 46 Edición de los puentes en HEC-RAS.....	88
Figura 47 Condición de borde aguas abajo.....	88
Figura 48 Condición de borde aguas arriba	89

Figura 49 <i>Visualización de resultados (tirantes máximos) en HEC-RAS para un Periodo de Retorno de 50 años.....</i>	90
Figura 50 <i>Malla de cálculo en IBER</i>	90
Figura 51 <i>Rugosidades de Manning en IBER</i>	91
Figura 52 <i>Condiciones de entrada en IBER</i>	91
Figura 53 <i>Condiciones de salida en IBER</i>	92
Figura 54 <i>Parámetros de tiempo establecidos en IBER</i>	93
Figura 55 <i>Visualización de resultados (tirantes máximos) en IBER para un Periodo de Retorno de 50 años</i>	93
Figura 56 <i>Componentes del Sistema de Alerta Temprana según la Municipalidad Provincial de Cajamarca.....</i>	94
Figura 57 <i>Organigrama de la Plataforma Provincial de Defensa Civil de Cajamarca</i>	96
Figura 58 <i>Estaciones Meteorológicas ubicadas en el 2do. Piso del Pabellón de la Carrera de Ingeniería de la UNC y en la Institución Educativa N° 82123 - Chinchimarca.....</i>	98
Figura 59 <i>Escenario de riesgo Sistema Santa Apolonia.....</i>	99
Figura 60 <i>Organización de respuesta ante emergencias - SEDACAJ.....</i>	100
Figura 61 <i>Estación meteorológica instalada en Sexemayo Lote 02</i>	102
Figura 62 <i>Mapa de anomalías de máximos acumulados de lluvias durante los veranos (enero a marzo) de los Niños Extraordinarios (1983 y 1998) y Niños Costeros (2017 y 2023)</i>	103
Figura 63 <i>Desembocadura de la quebrada San Vicente en el río San Lucas, donde se observa la presencia de árboles</i>	107

Figura 64 Presencia de colmatación y residuos sólidos en el río San Lucas, se observa la construcción de muros por parte de los pobladores	107
Figura 65 Presencia de viviendas en el margen izquierdo del río, asimismo se observa la existencia de un camino transitado	108
Figura 66 Presencia de muros en el margen izquierdo (protección del colegio San Ramón) y margen derecho (construido por los pobladores de la zona)	108
Figura 67 Presencia de muro en la margen izquierda del río y existencia de vegetación y árboles en la margen derecha.....	109
Figura 68 Canalización del río San Lucas - Se aprecia la invasión del cauce del río por parte de los pobladores	110
Figura 69 Puente ubicado en el Jr. Cinco Esquinas cuyo diseño afecta la capacidad hidráulica del cauce.....	110
Figura 70 Presencia de colmatación y residuos sólidos por falta de limpieza y mantenimiento del río San Lucas.....	111
Figura 71 Colmatación a la altura del Puente Amarillo - Desembocadura de la quebrada Romero	111
Figura 72 Muro en proceso de construcción en el margen derecho del río San Lucas, que abarca desde el Puente Amarillo hasta el Complejo Qhapaq Ñan	112
Figura 73 Tramo del río ubicado debajo del Complejo Qhapaq Ñan, se observa la presencia de vegetación y falta de medidas de protección en los márgenes.....	113
Figura 74 Precipitación registrada en la Estación Augusto Weberbauer durante la inundación causada por el río San Lucas el 29 de marzo de 1994.....	114
Figura 75 Precipitación registrada en la Estación Augusto Weberbauer durante la inundación causada por el río San Lucas el 18 de marzo de 1996.....	114

Figura 76 <i>Huella identificada durante la crecida del 19 de marzo del 2025^a la altura del puente Bella Unión</i>	115
Figura 77 <i>Huella identificada durante la crecida del 19 de marzo del 2025^a la altura del puente La Huanga.....</i>	116
Figura 78 <i>Huellas de crecidas pasadas, donde se evidencia la presencia de acumulación de basura y escombros</i>	116
Figura 79 <i>Huellas de crecidas en zona donde las viviendas han invadido los márgenes del río</i>	117
Figura 80 <i>Crecida pasada del río donde se aprecia ingreso de agua a las viviendas</i>	117
Figura 81 <i>Proceso de erosión en los márgenes del río próximos a viviendas producto de la crecida del nivel del agua</i>	118
Figura 82 <i>Erosión en el margen del río, donde se aprecia el nivel alcanzado por el agua</i>	119
Figura 83 <i>Construcción de gaviones por parte de los pobladores para controlar la erosión en los márgenes del río</i>	119
Figura 84 <i>Siembra de árboles en los márgenes del río para controlar la erosión..</i>	120
Figura 85 <i>Parámetros de evaluación del Riesgo</i>	121
Figura 86 <i>Cálculo de λmáx</i>	124
Figura 87 <i>Normalización del parámetro Profundidad y Velocidad de Inundación ..</i>	125
Figura 88 <i>Matriz de doble entrada utilizada para calcular los Niveles de Riesgo ..</i>	133
Figura 89 <i>Gráficos reportados por las estaciones manejadas por la Subgerencia de Gestión del Riesgo de Desastres</i>	138
Figura 90 <i>Sección del Puente Amarillo ubicado en el río San Lucas.....</i>	141
Figura 91 <i>Proceso de comunicación y difusión de la alerta.....</i>	143

Figura 92 <i>Resultados de la encuesta para la selección del Método de Alerta</i>	145
Figura 93 <i>Precipitaciones máximas anuales de 24 horas para el periodo 1973 - 2024</i>	146
Figura 94 <i>Hidrogramas para los diferentes Periodos de Retorno (TR) considerados</i>	149
Figura 95 <i>Tirantes para el Periodo de Retorno de 20 años en HEC-RAS</i>	150
Figura 96 <i>Velocidades para el Periodo de Retorno de 20 años en HEC-RAS</i>	150
Figura 97 <i>Tirantes para el Periodo de Retorno de 20 años en IBER</i>	151
Figura 98 <i>Velocidades para el Periodo de Retorno de 20 años en IBER</i>	151
Figura 99 <i>Tirantes para el Periodo de Retorno de 50 años en HEC-RAS</i>	152
Figura 100 <i>Velocidades para el Periodo de Retorno de 50 años en HEC-RAS</i>	152
Figura 101 <i>Tirantes para el Periodo de Retorno de 50 años en IBER</i>	153
Figura 102 <i>Velocidades para el Periodo de Retorno de 50 años en IBER</i>	153
Figura 103 <i>Tirantes para el Periodo de Retorno de 100 años en HEC-RAS</i>	154
Figura 104 <i>Velocidades para el Periodo de Retorno de 100 años en HEC-RAS</i>	154
Figura 105 <i>Tirantes para el Periodo de Retorno de 100 años en IBER</i>	155
Figura 106 <i>Velocidades para el Periodo de Retorno de 100 años en IBER</i>	155
Figura 107 <i>Tirantes para el Periodo de Retorno de 200 años en HEC-RAS</i>	156
Figura 108 <i>Velocidades para el Periodo de Retorno de 200 años en HEC-RAS</i>	156
Figura 109 <i>Tirantes para el Periodo de Retorno de 200 años en IBER</i>	157
Figura 110 <i>Velocidades para el Periodo de Retorno de 200 años en IBER</i>	157
Figura 111 <i>Grupo Etario de los pobladores de Bella Unión</i>	158
Figura 112 <i>Cantidad de habitantes por vivienda en Bella Unión</i>	159
Figura 113 <i>Acceso al servicio de salud de los pobladores de Bella Unión</i>	159
Figura 114 <i>Servicio de agua en Bella Unión</i>	160

Figura 115 <i>Tipo de alumbrado en Bella Unión</i>	160
Figura 116 <i>Conocimiento de la población de Bella Unión de las causas y consecuencias de las inundaciones.....</i>	161
Figura 117 <i>Capacitación de la población de Bella Unión en gestión de riesgo de inundación</i>	161
Figura 118 <i>Material de construcción de las viviendas de Bella Unión</i>	162
Figura 119 <i>Estado de conservación de las viviendas de Bella Unión</i>	162
Figura 120 <i>Número de pisos de las viviendas de Bella Unión</i>	163
Figura 121 <i>Ingreso promedio mensual de las familias de Bella Unión.....</i>	163
Figura 122 <i>Profesiones de los habitantes de Bella Unión.....</i>	164
Figura 123 <i>Conocimiento de la normativa ambiental en Bella Unión</i>	164
Figura 124 <i>Capacitación de los pobladores de Bella Unión en temas de conservación ambiental</i>	165
Figura 125 <i>Conocimiento ancestral de los pobladores para el manejo de sus recursos naturales</i>	165
Figura 126 <i>Porcentaje de viviendas que han experimentado inundaciones en los últimos años</i>	166
Figura 127 <i>Frecuencia percibida de inundaciones peligrosas en Bella Unión</i>	166
Figura 128 <i>Medios por los cuales la población se informa sobre las inundaciones</i>	167
Figura 129 <i>Preferencias de la población sobre métodos de alerta ante inundaciones</i>	168
Figura 130 <i>Capacidad de respuesta de la población ante alertas de inundación...</i>	168
Figura 131 <i>Predisposición de la población a participar en simulacros.....</i>	169
Figura 132 <i>Conocimiento de la población sobre las rutas de evacuación ante inundaciones</i>	169

Figura 133 <i>Conocimiento de zonas seguras por parte de la población en caso de emergencia</i>	170
Figura 134 <i>Disponibilidad de un plan familiar de evacuación ante inundaciones .</i>	170
Figura 135 <i>Percepción de la población sobre los componentes esenciales de un plan de emergencia</i>	171
Figura 136 <i>Disponibilidad de la comunidad para formar brigadas de emergencia</i>	171
Figura 137 <i>Predisposición de la comunidad a recibir capacitaciones</i>	172
Figura 138 <i>Mapa de Peligrosidad frente a inundaciones causadas por el río San Lucas en el Caserío Bella Unión.....</i>	174
Figura 139 <i>Mapa de Vulnerabilidad frente a inundaciones causadas por el río San Lucas en el Caserío Bella Unión</i>	176
Figura 140 <i>Mapa de Riesgo frente a inundaciones causadas por el río San Lucas en el Caserío Bella Unión</i>	178
Figura 141 <i>Ubicación de las estaciones meteorológicas.....</i>	180
Figura 142 <i>Diagrama de los componentes de la Estación Hidrométrica.....</i>	181
Figura 143 <i>Ubicación de las estaciones hidrométricas.....</i>	181
Figura 144 <i>Ubicación de las estaciones hidrométricas.....</i>	182
Figura 145 <i>Diagrama General del Sistema de Alerta Temprana</i>	183
Figura 146 <i>Flujograma escalonado de activación de alerta</i>	186
Figura 147 <i>Mapa de Ubicación de Bocinas del Sistema de Alerta Temprana frente a Inundaciones en el Caserío Bella Unión, Cajamarca</i>	188
Figura 148 <i>Señalización de rutas de evacuación y zonas seguras</i>	190
Figura 149 <i>Mapa de Rutas de Evacuación frente a inundaciones causadas por el río San Lucas en el Caserío Bella Unión</i>	191
Figura 150 <i>Punto inicial de la zona de estudio - Puente La Huang.....</i>	210

Figura 151 <i>Levantamiento topográfico con GPS diferencial</i>	210
Figura 152 <i>Áreas de uso ganadero</i>	211
Figura 153 <i>Material de Construcción de las viviendas: Adobe y ladrillo</i>	211
Figura 154 <i>Cercanía al río: Menor a 20 metros</i>	212
Figura 155 <i>Pérdida del suelo: Protección inadecuada en los márgenes de corrientes de agua.....</i>	212
Figura 156 <i>Punto final de la zona de estudio - Desembocadura en el río Mashcón.....</i>	213
Figura 157 <i>Ubicación propuesta para la instalación de la estación hidrométrica en el río San Lucas - Puente de acceso al reservorio elevado del Complejo Qhapaq Ñan</i>	213
Figura 158 <i>Ubicación propuesta para la instalación de la estación hidrométrica en el río San Lucas - Puente ubicado en el campus de la Universidad Nacional de Cajamarca</i>	214
Figura 159 <i>Ubicación propuesta para la instalación de la estación hidrométrica en el río San Lucas - Puente Amarillo.....</i>	214

RESUMEN

El caserío Bella Unión de Cajamarca se encuentra expuesto a un alto riesgo de inundación por desbordamiento del río San Lucas. Esta investigación de tipo descriptivo – correlacional buscó proponer un Sistema de Alerta Temprana (SAT) considerando el contexto y la factibilidad para integrarse a los SAT existentes. Para ello, se recopiló información meteorológica y se modeló hidrológicamente la cuenca en HEC-HMS para períodos de retorno de 20, 50, 100 y 200 años, obteniéndose caudales de 38.00 m³/s, 47.80 m³/s, 56.40 m³/s y 65.90 m³/s respectivamente. Posteriormente, se realizó el modelamiento hidráulico con HEC-RAS e IBER, donde las áreas inundadas varían entre 7.2% a 8.4%, los tirantes son mayores en HEC-RAS hasta 9 cm y las velocidades son superiores en IBER. Asimismo, se evaluó el riesgo mediante la metodología CENEPRED, identificándose niveles de riesgo muy alto (68800.02 m²), alto (230852.70 m²) y medio (34806.40 m²). En respuesta, se propuso un SAT compuesto por 02 estaciones meteorológicas con pluviómetros Hobo RG3-M ubicadas en la Universidad Nacional de Cajamarca y la Captación Ronquillo, además de 02 estaciones hidrométricas con sensores ultrasónicos ubicados en el Puente Amarillo y en la Quebrada Calispuquio dentro del Campus Universitario. Se definieron umbrales de alerta moderada, fuerte y extremo, con análisis a cargo del Centro de Operaciones de Emergencia Provincial de Cajamarca vía ThingSpeak, creación del Centro de Operaciones de Emergencia Local Bella Unión y transmisión de mensajes mediante bocinas.

PALABRAS CLAVE

Evaluación de Riesgo. Proceso para identificar, analizar y valorar la probabilidad de ocurrencia de un peligro y sus posibles consecuencias sobre la sociedad.

Inundación. Fenómeno natural en el que el agua desborda el cauce de un río, quebrada o canal, afectando zonas habitadas o productivas.

Modelamiento Hidráulico. Representación de un sistema de fluidos, que, mediante el uso de ecuaciones matemáticas, simula su comportamiento.

Modelamiento Hidrológico. Simulación del ciclo del agua en una cuenca con el propósito de determinar escorrentía, caudales y su variación temporal.

Sistema de Alerta Temprana. Conjunto de herramientas y procedimientos que detectan amenazas, emiten avisos oportunos y facilitan la respuesta comunitaria.

ABSTRACT

The village of Bella Unión in Cajamarca is exposed to a high risk of flooding due to the overflow of the San Lucas River. This descriptive–correlational research aimed to propose an Early Warning System (EWS), taking into account the context and the feasibility of integrating it with existing EWSs. For this purpose, meteorological data were collected, and the watershed was hydrologically modeled using HEC-HMS for return periods of 20, 50, 100, and 200 years, obtaining flow rates of 38.00 m³/s, 47.80 m³/s, 56.40 m³/s, and 65.90 m³/s, respectively. Subsequently, hydraulic modeling was performed using HEC-RAS and IBER, showing that flooded areas ranged from 7.2% to 8.4%, water depths were up to 9 cm higher in HEC-RAS, and flow velocities were greater in IBER. Risk assessment was conducted following the CENEPRED methodology, identifying areas of very high risk (68,800.02 m²), high risk (230,852.70 m²), and medium risk (34,806.40 m²). In response, an EWS was proposed, consisting of two meteorological stations equipped with Hobo RG3-M rain gauges located at the National University of Cajamarca and Ronquillo Intake, and two hydrometric stations with ultrasonic sensors installed at Puente Amarillo and Calispuquio Creek within the university campus. Moderate, strong, and extreme alert thresholds were defined, with data analysis managed by the Provincial Emergency Operations Center of Cajamarca through ThingSpeak, the creation of the Local Emergency Operations Center of Bella Unión, and message transmission via loudspeakers.

KEYWORDS

Risk Assessment. Process to identify, analyze, and evaluate the probability of a hazard occurring and its possible consequences on society.

Flood. Natural phenomenon in which water overflows the channel of a river, stream, or canal, affecting inhabited or productive areas.

Hydraulic Modeling. Representation of a fluid system that, through the use of mathematical equations, simulates its behavior.

Hydrological Modeling. Simulation of the water cycle in a watershed with the purpose of determining runoff, flows, and their temporal variation.

Early Warning System. Set of tools and procedures that detect threats, issue timely alerts, and facilitate community response.

.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

El Problema de la Investigación

1.1. Planteamiento del problema

1.1.1. Contextualización

Entre todos los desastres naturales, las inundaciones son uno de los mayores problemas mundiales que afectan a la humanidad. Aproximadamente 73,1 millones de personas se vieron afectadas por las inundaciones en los años 2008-2017. Según especialistas de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (COP21), los datos indican una tendencia a que la frecuencia e intensidad de las inundaciones puedan estar aumentando. Como resultado, cada día es más importante que la gente se prepare mejor frente a las inundaciones (Ibarreche, J. et al., 2020).

Es así que, como respuesta, muchos países han desarrollado e implementado sistemas de alerta temprana que combinan tecnología avanzada con estrategias de educación y comunicación comunitaria. Geográficamente, en Europa se lleva a cabo los mayores esfuerzos en investigaciones referentes a Sistemas de Alerta Temprana frente a Inundaciones. Asimismo, países como Estados Unidos y Países Bajos están acostumbrados a destinar fondos importantes en la investigación de las inundaciones con el propósito de enfrentar sus consecuencias. En contraste, regiones como Asia, Oceanía y Centroamérica presentan una menor atención frente a los riesgos causados por las inundaciones (Calvo, O. y Quesada, A., 2024).

En el caso de Perú la causa principal de la variabilidad climática interanual es el fenómeno El Niño, que altera las condiciones oceánicas frías usuales del mar con circunstancias cálidas, que, no solo elevan las temperaturas del aire a lo largo de la

costa, sino que también favorecen la ocurrencia de lluvias intensas. Es así que, altas temperaturas del agua se observaron tanto en la costa como en el Pacífico ecuatorial oriental y central durante las inundaciones catastróficas y lluvias torrenciales que ocurrieron durante los episodios intensos de El Niño en 1983 y 1998 (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología [Senamhi], 2021). Otro caso viene siendo el Niño Costero de 2017, el cual fue considerado de magnitud moderada, con condiciones neutras en el Pacífico central, el cual, debido a sus efectos en las inundaciones y las lluvias, puede ser considerado uno de los “Fenómeno El Niño” más intensos en la historia del Perú (Gobierno Regional de Cajamarca [GRC], 2023).

En este escenario, las autoridades vienen tomando medidas para mejorar la gestión de riesgo frente a Inundaciones como viene siendo la implementación del Centro Regional de Crecidas Repentinas (CRCR), cuyo propósito es brindar información en prácticamente tiempo real sobre la ocurrencia de crecidas repentinas y de esta manera poder evaluar posibles peligros relacionados con la activación de quebradas, deslizamientos o inundaciones (Senamhi, 2023). Otro avance importante ha sido la creación del Sistema de Mensajería de Alerta Temprana de Emergencias (SISMATE), que, mediante mensajes de texto y mensajes Cell Broadcast, pretende alertar a la población ante la ocurrencia de un desastre o situación de emergencia o urgencia (Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC], 2019).

A nivel de Cajamarca, los principales peligros ambientales que representan una amenaza son causados por fenómenos de origen climático, ya que, existen períodos de lluvias muy intensas los cuales muchas veces se relacionan con el Fenómeno de El Niño. Específicamente en la ciudad de Cajamarca, los ríos Porcón y San Lucas, que dan origen al río Mashcón, son los elementos hidrográficos que tienen un impacto en esta metrópoli y su actual área de expansión. La escorrentía superficial se incrementa

significativamente durante la temporada de lluvias, lo que conduce a problemas de inundación en las zonas bajas de la ciudad, asociados con obstrucciones por el movimiento de residuos sólidos y sedimentos en la sección del cauce (Instituto Nacional de Defensa Civil [INDECI], 2005).

Es por ello que, en años recientes se ha venido tomando medidas para afrontar tales situaciones, este es el caso del proyecto “Construyendo capacidades de RRD en la Región Cajamarca”, el cual implemento Sistemas de Alerta Temprana en las localidades de Celendín, Baños del Inca, Chilte y Yonán para alertar sobre posibles eventos de inundación (Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional [USAID] y Practical Action, s.f.b). De igual manera, en el distrito de Cajamarca se han instalado dos estaciones meteorológicas ubicadas en Chinchimarcia y en la Universidad Nacional de Cajamarca con el propósito de emitir alertas mediante umbrales de precipitación, las cuales se encuentran administradas por la Subgerencia de Gestión del Riesgo de Desastres de la Municipalidad Provincial de Cajamarca (USAID y Practical Action, s.f.a).

En tal sentido, el caserío de Bella Unión, ubicado en la parte baja de la cuenca del río San Lucas, se enfrenta a un alto riesgo de inundación, debido a que, en esta zona, el río manifiesta problemas de colmatación, erosión de márgenes y reducción del cauce, adicionalmente, la población, por falta de conocimiento, ha realizado acciones que incrementan su vulnerabilidad frente a los desastres, tales como la construcción de viviendas dentro de la faja marginal del río. En este contexto, la implementación de un Sistema de Alerta Temprana (SAT) resulta fundamental como medida de preparación y mitigación frente a inundaciones.

1.1.2. Descripción del problema

Cajamarca se enfrenta a constantes problemas de inundación durante los períodos de lluvias, lo mismo que, se incrementan significativamente durante la ocurrencia del Fenómeno El Niño, el cual altera los patrones normales de precipitación, provocando lluvias más intensas, frecuentes y prolongadas en el tiempo, siendo estas las condiciones propicias para el desarrollo de inundaciones que afectan tanto las zonas urbanas como rurales.

En el caserío Bella Unión existe un alto riesgo de inundación por desbordamiento del río San Lucas, donde, la ausencia de medidas preventivas por parte de las autoridades, ha permitido la existencia de procesos de colmatación, erosión de márgenes y reducción del cauce como consecuencia del desarrollo urbano, en el que, la población, sin conocimiento en temas de cuidado ambiental y gestión frente al riesgo, ha invadido los márgenes del río para establecer sus viviendas y desarrollar sus actividades cotidianas. Asimismo, se presenta una baja capacidad de respuesta frente a eventos de inundación, ya que, la comunidad carece de rutas de evacuación y zonas seguras señalizadas, así como medios que alerten de forma anticipada la ocurrencia de estos fenómenos.

Frente a este panorama, resulta importante la implementación de un Sistema de Alerta Temprana que permita mitigar los daños potenciales y garantizar la seguridad de la población.

1.1.3. Formulación del Problema

¿Cuál es la exposición al riesgo de inundación del Caserío Bella Unión por desbordamiento del río San Lucas y falta de alerta temprana?

1.1.4. Hipótesis

La propuesta de un Sistema de Alerta Temprana frente a inundaciones en el río San Lucas permitirá mejorar la detección oportuna de los eventos de inundación, contribuyendo a la reducción del riesgo en el caserío Bella Unión.

1.2. Justificación de la Investigación

1.2.1. Justificación Científica

La investigación aporta al campo de la gestión del riesgo de desastres y al estudio de inundaciones, al proponer un Sistema de Alerta Temprana basado en las características del río San Lucas y del Caserío Bella Unión. Al mismo tiempo, contribuye con un modelo que puede servir como referencia para futuras investigaciones y proyectos similares en otras comunidades vulnerables.

1.2.2. Justificación Técnico Práctica

La propuesta ofrece una solución viable y aplicable a la realidad del caserío, basada en herramientas de monitoreo y comunicación que fortalecen la capacidad de respuesta de la comunidad y sus autoridades. Desde el punto de vista económico, el sistema de alerta temprana constituye una inversión eficiente, ya que permitirá anticipar riesgos, reducir pérdidas humanas y materiales, y acelerar los procesos de recuperación tras una emergencia.

1.2.3. Justificación Institucional y Personal

Este trabajo se vincula con los objetivos de la Universidad Nacional de Cajamarca de formar profesionales comprometidos con la solución de problemas locales, aportando una propuesta que fortalece la seguridad y resiliencia la comunidad frente a fenómenos naturales. Al mismo tiempo, representa una oportunidad para aplicar y consolidar los conocimientos adquiridos durante mi formación académica,

desarrollar competencias en gestión del riesgo e ingeniería, y cumplir con un requisito fundamental para la obtención de mi título profesional

1.3. Delimitación de la Investigación

La investigación se realizó en el caserío Bella Unión, correspondiente a las áreas cercanas al río San Lucas, en el tramo comprendido entre el puente “La Huanga” hasta su desembocadura en el río Mashcón. Ésta se enfocó en estudiar las inundaciones fluviales causadas por el desbordamiento del río San Lucas. Asimismo, se contempló la identificación de tecnologías de monitoreo, establecimiento del protocolo de funcionamiento y la necesidad de capacitación comunitaria en medidas preventivas.

1.4. Limitaciones de la Investigación

Actualmente no existe una estación hidrométrica en el río San Lucas, por lo que se recurrió al uso de datos de precipitaciones máximas mensuales de 24 horas de la estación Augusto Weberbauer. Asimismo, el modelo digital del terreno fue generado a partir de datos obtenidos con GPS diferencial, ya que no fue posible realizar el uso de dron por ser un espacio restringido.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

Proponer un sistema de alerta temprana frente a inundaciones causadas por el río San Lucas en el Caserío Bella Unión, Cajamarca.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Recopilar y evaluar la información meteorológica disponible, asimismo, determinar los parámetros de la cuenca del río San Lucas.
- Realizar el modelamiento hidrológico de la cuenca del río San Lucas mediante HEC-HMS para distintos períodos de retorno.
- Modelar hidráulicamente las máximas avenidas del río San Lucas en el caserío Bella Unión mediante HEC – RAS e IBER, y establecer semejanzas y diferencias.
- Evaluar el riesgo de inundación en el caserío Bella Unión frente a inundaciones causadas por el río San Lucas mediante la metodología del CENEPRED.
- Proponer los componentes del Sistema de Alerta Temprana y su ubicación, así como los umbrales de alerta, mecanismos de difusión de la alerta y procedimientos de operación.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes Teóricos

2.1.1. Antecedentes Internacionales

En la investigación “A review of advances in China’s flash flood early-warning system” cuya traducción viene dada por “Una revisión de los avances en el sistema de alerta temprana de inundaciones repentina en China”, se examinó diversas tecnologías y estrategias que se tomaron a lo largo del tiempo, para mejorar la predicción y respuesta a eventos de inundación. Los resultados mostraron que en un principio se utilizaron enfoques empíricos con una precisión relativamente baja, mientras que, actualmente, se actualmente se ha fomentado el desarrollo de métodos de alerta temprana, siendo el de uso principal el método de relación nivel de agua - caudal. Asimismo, se plantea que a futuro se deben emplear métodos con mayor precisión como el índice de alerta dinámica en tiempo real, el índice de alerta meteorológica y el índice de alerta compuesto (Liu, C et al. ,2018).

En México, se realizó el estudio “Flash Flood Early Warning System in Colima, Mexico” traducido como “Sistema de Alerta Temprana de Inundaciones Repentinas en Colima, México”, que se centró en la implementación de un sistema de alerta temprana, monitoreo y notificación en tiempo real frente a inundaciones en el área metropolitana del estado de Colima. Los resultados mostraron que la combinación de monitoreo en tiempo real y modelos predictivos mejoró significativamente la capacidad de respuesta ante inundaciones. La investigación concluyó que la implantación de dicho sistema es asequible y resulta tecnológicamente funcional, al mismo tiempo que, en coordinación con el uso de pronósticos hidrológicos, puede ayudar a los agentes gubernamentales y a las comunidades a realizar una mejor toma

de decisiones al momento de planificar el desarrollo urbano en zonas de riesgo (Ibarreche, J. et al. ,2020).

En Argelia, el trabajo “Flood modeling using HEC-RAS 2D and IBER 2D: a comparative study” traducido como “Modelado de inundaciones utilizando HEC-RAS 2D e IBER 2D: un estudio comparativo”, analizó la profundidad del agua, la velocidad del flujo y la extensión de las zonas inundadas de la ciudad de El Bayadh en Argelia, para los períodos de retorno de 50, 100 y 1,000 años. Los resultados indicaron que HEC-RAS produce valores entre 15 a 17 cm más altos de profundidad de agua que IBER; pero, con velocidades máximas menores. Mientras que las áreas inundadas presentan una variación entre el 1% al 3% en su extensión (Djafri, S. et al., 2024).

2.1.2. Antecedentes Nacionales

Mediante el estudio “Aspectos geológicos y geodinámicos de flujos aluvionales en la quebrada Jicamarca y análisis de la vulnerabilidad para la implementación de un Sistema de Alerta Temprana (SAT) en el centro poblado Cajamarquilla”, se buscó desarrollar e implementar un Sistema de Alerta Temprana (SAT) basado en los tipos de flujos identificados a través del cartografiado geológico y geodinámico de los depósitos y materiales encontrados en terrazas y abanicos aluviales formados por flujos antiguos. Las conclusiones estiman que existen circunstancias para flujos continuos que podrían amenazar la seguridad física de los asentamientos en la parte baja de la cuenca, siendo el pueblo de Cajamarquilla uno de los más afectados. Así mismo, se determinó que la vulnerabilidad social, económica y ambiental del área de estudio son, respectivamente, de nivel medio, alto y extremadamente alto (Chiroque, C. y Lavado, H. ,2016).

El trabajo “Leveraging multi-model season-ahead streamflow forecasts to trigger advanced flood preparedness in Peru” traducido como “Aplicación de pronósticos de caudal estacional multimodelo para fortalecer la preparación anticipada ante inundaciones en el Perú” evalúa la capacidad de modelos de predicción estacional para activar de manera adecuada acciones de preparación temprana frente a inundaciones usando una probabilidad igual o superior al 75% de exceder el percentil 80 del caudal estacional histórico en los ríos Marañón y Piura. La predicción estadística supera al modelo de base física para el río Marañón al activar correctamente acciones de preparación en tres de las cuatro ocasiones históricas. El modelo estadístico también supera a todos los demás métodos en el río Piura, al activar con precisión las acciones de preparación en un 28% más de ocasiones durante el período de retropronóstico (Keating, C., 2021).

En la investigación “Evaluation of a global ensemble flood prediction system in Peru” traducida como “Evaluación de un sistema global de predicción de inundaciones basado en conjuntos en el Perú” se propone un marco para evaluar la capacidad predictiva del Global Flood Awareness System (GloFAS) en el Perú durante el período 2009–2015. Se contrastan los caudales observados con los simulados por GloFAS en diez estaciones hidrométricas. En general, las regiones de mayor extensión de cuenca aguas arriba y los tramos con mayores caudales muestran un mejor desempeño. Aunque las predicciones en bruto presentan bajas métricas de verificación, logran anticipar correctamente el 82% de las inundaciones registradas. Si bien el post - procesamiento de los pronósticos en bruto mejora la mayoría de las métricas de verificación, el porcentaje de eventos reportados correctamente pronosticados se reduce al 65% (Bischinotis, K. et al., 2019).

2.1.3. Antecedentes Locales

El *Informe de Análisis de Vulnerabilidad Social y Económica, y efectos probables ante el impacto de inundaciones y movimientos en masas asociadas al posible Fenómeno El Niño 2023-2024 Departamento de Cajamarca* determinó los niveles de vulnerabilidad y probables consecuencias en la población de muy alto y alto riesgo ante la ocurrencia de inundaciones y movimientos de masa relacionados con el “Fenómeno El Niño 2023-2024”. Se concluyó que, de las viviendas encuestadas, 2.06 % presentan una vulnerabilidad muy alta, 17.86 % presentan una vulnerabilidad alta, 63.40 % presentan una vulnerabilidad media y 16.68 % presentan una vulnerabilidad baja (Centro Nacional de Estimación Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres [CENEPRED], 2024).

La investigación “Nivel de Riesgo ante Inundación Fluvial aplicando la Metodología Cenepred en el Sector Magllanal -Jaén -Cajamarca” evaluó el grado de riesgo asociado a las inundaciones fluviales mediante la aplicación de la metodología CENEPRED. Los resultados indicaron un Nivel de Vulnerabilidad y un Nivel de Peligro medio. Asimismo, la distribución de los niveles de riesgo por inundación fue: 29.41% (20 lotes) en Nivel Medio, 69.12% (47 lotes) en Nivel Alto y 1.47% (1 lote) en Nivel Muy Alto. Por lo tanto, se pudo concluir que el nivel general de riesgo por inundación fluvial es alto (Muñoz, Y. y Yamunaque, L., 2023).

En el trabajo “Simulación de inundaciones en el río la Llanga (Perú) mediante modelamiento hidrológico con HEC-HMS y HEC-GeoRAS” se modeló eventos de inundación para un tramo de 5066 metros del río Llanga (Cajamarca – Celendín) para Periodos de Retorno de 50 años. Los resultados evidenciaron velocidades máximas de 4.89 m/s, con anchos de inundación de hasta 188 m, donde también existe arrastre de material rocoso y sedimentos (Alcántara, A. et al., 2025).

2.2. Marco Conceptual

2.2.1. Desastres

Se considera como el resultado de pérdidas y daños en las áreas de la salud, los medios de vida, el hábitat físico, la infraestructura, la actividad económica y el ambiente que surgen de una amenaza o peligro cuya severidad causa cambios significativos en la manera en que funcionan las unidades sociales y excede la capacidad de los mecanismos locales de respuesta para abordar adecuadamente sus efectos (CENEPRED, 2015).

En el Perú estos se presentan con mayor frecuencia durante el fenómeno El Niño, que altera las condiciones oceánicas frías usuales del mar con circunstancias cálidas, incrementando las temperaturas del aire a lo largo de la costa, y, de esta manera, favoreciendo la ocurrencia de lluvias intensas. Es así que, altas temperaturas del agua se observaron tanto en la costa como en el Pacífico ecuatorial oriental y central durante las inundaciones catastróficas y lluvias torrenciales que ocurrieron durante los episodios intensos de El Niño a lo largo de nuestra historia (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología [Senamhi], 2021).

2.2.2. Inundaciones

Las inundaciones ocurren cuando el volumen máximo de transporte de un río es sobrepasado, las lluvias intensas o persistentes exceden la capacidad de campo del suelo y el cauce principal se desborda, anegando las áreas circundantes. Las superficies adyacentes a ríos o arroyos que se inundan con frecuencia se conocen como llanuras de inundación o franjas de inundación. Debido a su naturaleza dinámica, las llanuras de inundación y otras zonas propensas a inundaciones deben ser analizadas para

determinar de qué manera podrían influir en el desarrollo o verse afectadas por este (CENEPRED, 2015).

2.2.2.1. Tipos de Inundaciones

Los tipos de inundación pueden determinarse por su duración y por su origen, como se detallan a continuación.

A. Por su duración

➤ Inundaciones rápidas o dinámicas

Se producen por lluvias intensas en ríos con cuencas de pendientes pronunciadas. Las inundaciones fluviales ocurren rápidamente y de manera inesperada. Debido a su tiempo de reacción casi inexistente, son las que causan mayor daño a la población y a la infraestructura (CENEPRED, 2015).

➤ Inundaciones lentas o estáticas

Típicamente ocurren cuando hay lluvias consistentes y generalizadas, lo que eleva progresivamente el caudal del río hasta alcanzar su capacidad máxima de transporte. Como consecuencia, el río se desborda, inundando las llanuras de inundación, que son las áreas planas cercanas (CENEPRED, 2015).

B. Por su origen

➤ Inundaciones pluviales

No siempre está relacionado con el desbordamiento de un cauce fluvial y ocurre cuando la precipitación se acumula en un lugar o área geográfica en particular. Este tipo de inundación resulta de un patrón de lluvias intensas y prolongadas, que pueden ser causadas ya sea por precipitaciones moderadas y persistentes durante un largo período sobre un suelo poco permeable o por un gran volumen de lluvia concentrado en un corto período de tiempo (CENEPRED, 2015).

➤ **Inundaciones fluviales**

Se da durante lo que se conoce como etapa de crecida, que es resultado de lluvias intensas, en dicha época, la cantidad de agua en ríos y arroyos aumenta repentinamente más allá de lo que el lecho o cauce puede contener sin desbordarse (CENEPRED, 2015).

➤ **Inundaciones por operaciones incorrectas de obras de infraestructura hidráulica**

Se genera por la rotura de infraestructura como presas, donde la gravedad del daño depende del caudal circulante. También se produce por la obstrucción de cauces naturales o artificiales en zonas determinadas, como viene dado en la ubicación de puentes (CENEPRED, 2015).

2.2.3. Gestión del Riesgo de Desastres

Este enfoque tiene como objetivo final prevenir, reducir y controlar de manera permanente los factores que incrementan el riesgo de desastres en la sociedad. Asimismo, busca preparar y responder adecuadamente ante situaciones de desastre, teniendo en cuenta las políticas nacionales, con un enfoque particular en aquellas relacionadas con los aspectos económicos, ambientales, de seguridad, defensa nacional y asuntos territoriales de manera sostenible. (CENEPRED, 2015).

2.2.4. Riesgo

Es la posibilidad de que la población y sus medios de subsistencia puedan sufrir pérdidas y daños como resultado de su vulnerabilidad y los efectos de un peligro. Los niveles de riesgo no están determinados únicamente por fenómenos naturales, también dependen de cuán vulnerables sean las áreas urbanas y/o rurales, como su exposición a fallas geológicas, rellenos sanitarios, riberas de ríos, desembocaduras de quebradas

activas, etc. La fragilidad representada por el tipo de infraestructura utilizada para vivienda construida con materiales nobles o precarios y resiliencia, es decir, la capacidad de la población para organizarse, adaptarse y/o recuperarse de los efectos de un fenómeno natural (CENEPRED, 2015).

2.2.5. Componentes del Riesgo

2.2.5.1. Vulnerabilidad

La capacidad de una población, de las edificaciones físicas o de las actividades socioeconómicas de sufrir daños a causa de un peligro o amenaza se conoce como vulnerabilidad. El uso de sistemas organizacionales inadecuados, las tendencias en la ocupación del territorio, el empobrecimiento de amplios sectores de la población, los procesos de urbanización y crecimiento poblacional, así como la presión sobre los recursos naturales, han contribuido al incremento continuo de la susceptibilidad de la población frente a una variedad de fenómenos naturales (CENEPRED, 2015).

2.2.5.2. Peligro

Representa la posibilidad de que ocurra un fenómeno potencialmente peligroso, ya sea natural o inducido por el ser humano, en una zona o localidad conocida, con la capacidad de afectar a un área poblada, infraestructura física y/o al medio ambiente, se conoce como peligro. En otros países, se utiliza la palabra "amenaza" para referirse al mismo concepto; sin embargo, "amenaza" implica peligro inminente (CENEPRED, 2015).

2.2.6. Metodologías de Evaluación de Riesgos

2.2.6.1. Metodología del Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED)

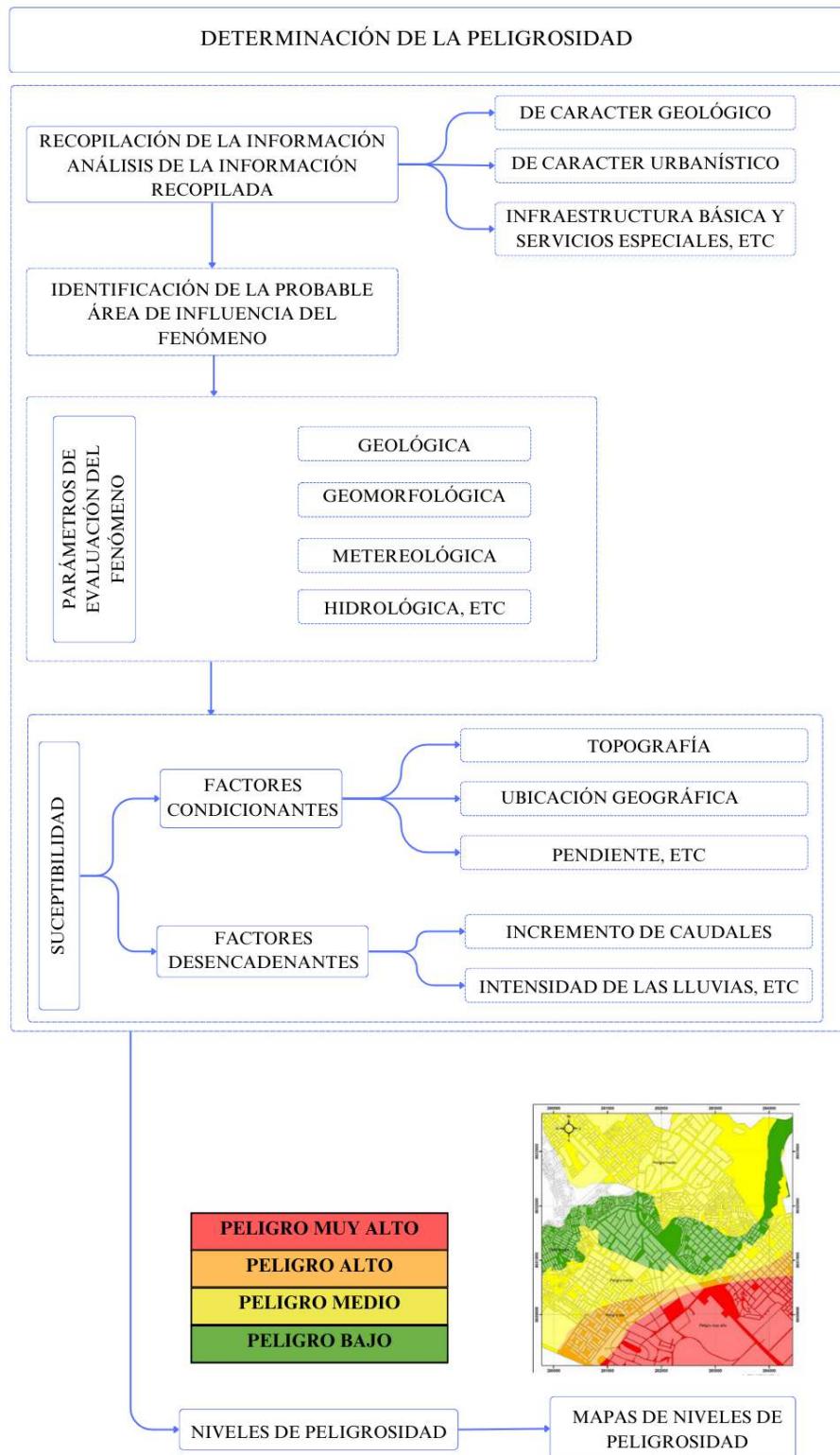
Para evaluar fenómenos naturales y vulnerabilidad, se debe utilizar la técnica multicriterio (proceso de análisis jerárquico) para ponderar los parámetros. Esto permite la estratificación de las categorías de riesgo al indicar la importancia relativa de cada parámetro en el cálculo del riesgo. Esta estrategia, que requiere la participación de un equipo multidisciplinario, tiene una base matemática que facilita la incorporación de información tanto cuantitativa como cualitativa (mediciones de campo, grado de integración de instrumentos de gestión del riesgo, grados de organización social, etc.). Los procedimientos contemplados por esta metodología vienen dados por (CENEPRED, 2015):

A. Análisis y evaluación de la Peligrosidad

Para evaluar un peligro, es necesario estimar o valorar la probabilidad de que ocurra un fenómeno basado en la investigación de su mecanismo generador, monitorear el sistema que está causando la perturbación y/o registrar eventos (que se relacionan con el fenómeno en sí en términos de sus características y magnitud) dentro de un marco temporal y geográfico determinado. La estratificación de la evaluación del peligro permite estimar el impacto de un evento en términos de su magnitud o cómo afectará a una región particular durante un período de tiempo determinado (CENEPRED, 2015). La Figura 1 ilustra el procedimiento a realizar para la determinación de la peligrosidad.

Figura 1

Flujograma para la determinación de la Peligrosidad - CENEPRED



Nota. Adaptado de Manual para la evaluación de Riesgos originados por Fenómenos

Naturales, por CENEPRED, 2015.

Las zonas de peligro pueden clasificarse en cuatro niveles para fines de evaluación de riesgos: bajo, medio, alto y muy alto. Las características y valores de cada nivel se describen mediante la Tabla 1 (CENEPRED, 2015).

Tabla 1

Niveles de Peligrosidad en el caso de Inundaciones

NIVEL	DESCRIPCIÓN
PELIGRO MUY ALTO	Precipitaciones anómalas positivas mayor a 300%, cercanía a la fuente de agua Menor a 20m, intensidad media en una hora (mm/h) Torrenciales: mayor a 60.
PELIGRO ALTO	Precipitaciones anómalas positivas 100% a 300%, cercanía a la fuente de agua Entre 20 y 100m, intensidad media en una hora (mm/h) Muy fuertes: Mayor a 30 y Menor o igual a 60.
PELIGRO MEDIO	Precipitaciones anómalas positivas 50% a 100%, cercanía a la fuente de agua Entre 100 y 500m, intensidad media en una hora (mm/h) Fuertes: Mayor a 15 y Menor o igual a 30.
PELIGRO BAJO	Precipitaciones anómalas positivas menor a 50%, cercanía a la fuente de agua mayor a 1000m, intensidad media en una hora (mm/h) Moderadas: menor a 15.

Nota. Adaptado de Manual para la evaluación de Riesgos originados por Fenómenos

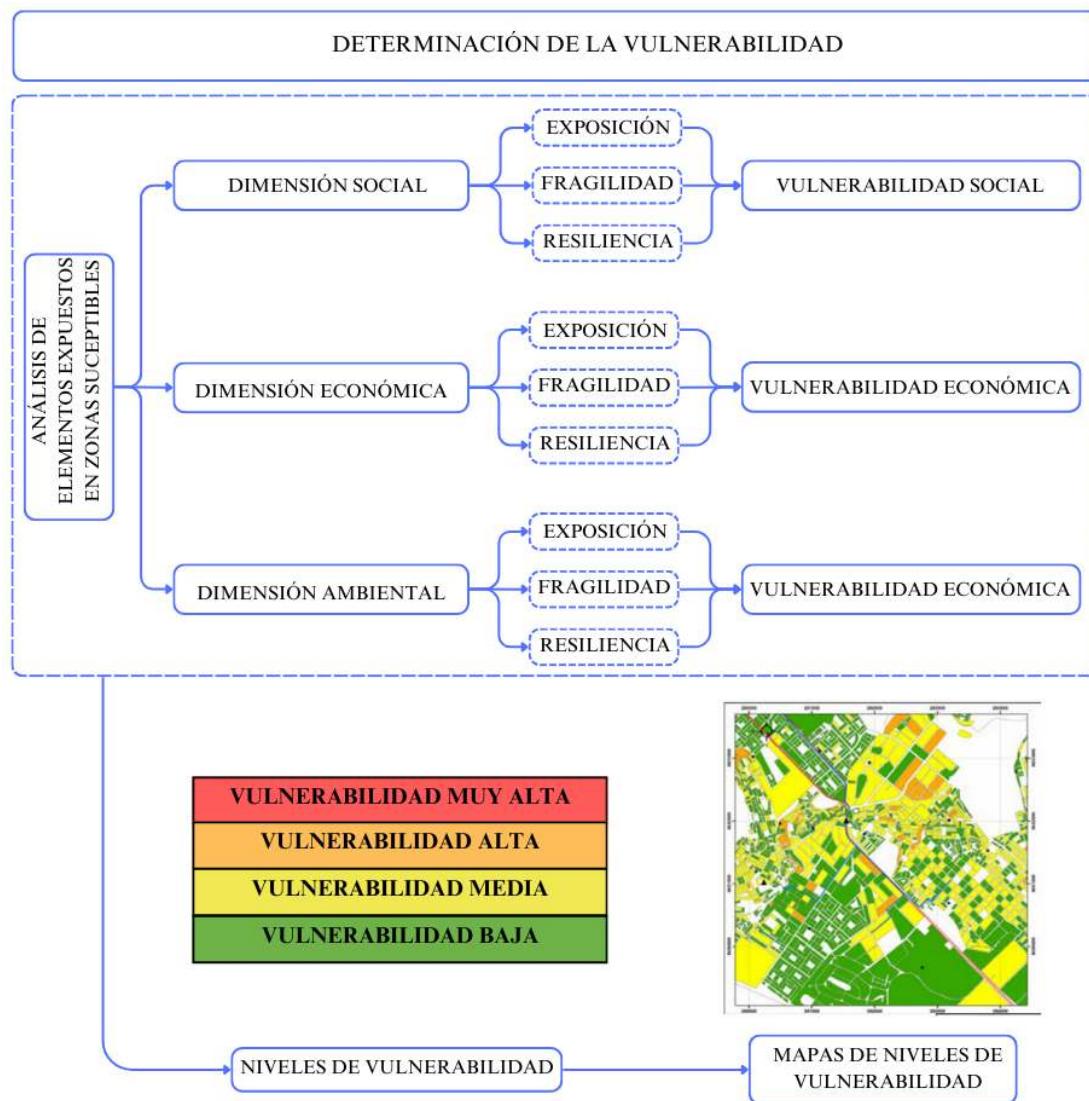
Naturales, por CENEPRED, 2015.

B. Análisis de la Vulnerabilidad

La susceptibilidad de la población a una variedad de peligros naturales ha estado aumentando de manera constante debido a factores como el crecimiento poblacional y los procesos de urbanización, las tendencias en el uso del suelo, el empobrecimiento de grandes segmentos de la población, el uso de sistemas organizacionales deficientes y la presión sobre los recursos naturales. (CENEPRED, 2015). La determinación de la Vulnerabilidad se realiza a través del procedimiento detallado en la Figura 2.

Figura 2

Flujograma para la determinación de la Vulnerabilidad - CENEPRED



Nota. Adaptado de *Manual para la evaluación de Riesgos originados por Fenómenos Naturales*, por CENEPRED, 2015.

B.1. Factores de Vulnerabilidad

➤ Exposición

Las decisiones y acciones que colocan a las personas y sus medios de subsistencia en la trayectoria de un peligro se denominan exposición. El aumento no planificado de la población, la migración descontrolada, la urbanización sin una

adecuada gestión del territorio y/o las estrategias de desarrollo económico no sostenibles pueden generar una relación inadecuada con el medio ambiente (CENEPRED, 2015).

➤ **Fragilidad**

Describe la debilidad relativa o desventaja que las personas y sus medios de subsistencia al enfrentarse a un peligro, esta, generalmente se centra en los problemas físicos de una comunidad y tiene un origen interno, incluyendo, entre otras cosas, prácticas de construcción, incumplimiento de las normativas vigentes de edificación y/o el uso de materiales deficientes. (CENEPRED, 2015).

➤ **Resiliencia**

La capacidad de las personas y sus medios de subsistencia para adaptarse o recuperarse frente a un peligro se conoce como resiliencia. Está relacionada con las circunstancias sociales y organizativas de la población, en este sentido, la vulnerabilidad disminuye a medida que aumenta la resiliencia (CENEPRED, 2015).

B.2. Análisis de los Elementos Expuestos

La causa de la exposición es una interacción inadecuada con el entorno, la cual puede originarse por un crecimiento poblacional no controlado, procesos migratorios desordenados, urbanización sin una adecuada gestión del uso del suelo y/o estrategias de desarrollo económico no sostenibles (CENEPRED, 2015).

➤ **Dimensión Social**

Al separar los grupos vulnerables de los no vulnerables, se identifica la población expuesta dentro del área de influencia del fenómeno natural, posteriormente, se somete a la población vulnerable a un análisis de fragilidad social y resiliencia social, esto ayuda a evaluar los niveles de vulnerabilidad social. (CENEPRED, 2015).

Tabla 2*Parámetros para la dimensión social*

FACTOR	PARÁMETROS
FRAGILIDAD SOCIAL	Servicios educativos, de salud, estrato social, tipo de aumbrado.
RESILIENCIA SOCIAL	Profesión del jefe de familia, nivel de instrucción, principal fuente de ingreso, grado de relación entre instituciones y organizaciones, capacitación en temas de gestión de riesgos.
EXPOSICIÓN SOCIAL	Grupo etáreo, servicios expuestos, servicios de salud.

Nota. Adaptado de *Manual para la evaluación de Riesgos originados por Fenómenos Naturales*, por CENEPRED, 2015.

➤ Dimensión Económica

Se identifican la infraestructura y las actividades económicas expuestas dentro del área de influencia del fenómeno natural, haciendo una distinción entre los elementos expuestos vulnerables y no vulnerables. Luego, se incluye un análisis de la fragilidad económica y la resiliencia económica, esto ayuda a evaluar los niveles de vulnerabilidad económica (CENEPRED, 2015).

Tabla 3*Parámetros para la dimensión económica*

FACTOR	PARÁMETROS
GRAGILIDAD ECONÓMICA	Material de la estructura predominante, antigüedad de la edificación, estado de conservación, número de pisos.
RESILIENCIA ECONÓMICA	Ingreso promedio mensual, organización, capital social, diversidad económica.
EXPOSICIÓN ECONÓMICA	Localización de la edificación, servicios básicos de agua potable, servicios de empresas eléctricas expuestas, área agrícola.

Nota. Adaptado de *Manual para la evaluación de Riesgos originados por Fenómenos Naturales*, por CENEPRED, 2015.

➤ Dimensión Ambiental

Para diferenciar entre los recursos naturales vulnerables y no vulnerables, se identifican los recursos renovables y no renovables expuestos dentro del área de influencia del fenómeno natural. Luego, se incluye un análisis de la resiliencia ambiental y la fragilidad ambiental, de esta forma, se ayuda a evaluar el grado de susceptibilidad ambiental (CENEPRED, 2015).

Tabla 4

Parámetros para la dimensión ambiental

FACTOR	PARÁMETROS
FRAGILIDAD AMBIENTAL	Explotación de los recursos naturales, localización de los Centros Poblados.
RESILIENCIA AMBIENTAL	Conocimiento y cumplimiento de la normativa ambiental, conocimiento ancestral para la explotación de los recursos naturales, capacitación en conservación ambiental.
EXPOSICIÓN AMBIENTAL	Deforestación, pérdida del suelo, pérdida del agua, etc.

Nota. Adaptado de *Manual para la evaluación de Riesgos originados por Fenómenos Naturales*, por CENEPRED, 2015.

B.3. Niveles de Vulnerabilidad

Las zonas de vulnerabilidad pueden categorizarse en cuatro niveles para fines de evaluación de riesgos (CENEPRED, 2015):

- Vulnerabilidad muy alta.
- Vulnerabilidad alta.
- Vulnerabilidad media.
- Vulnerabilidad baja.

Mediante la Tabla 5, se describen las características y valores asociados con cada nivel.

Tabla 5*Niveles de Vulnerabilidad en el caso de inundaciones*

NIVEL	DESCRIPCIÓN
VULNERABILIDAD MUY ALTA	Grupo etario: de 0 a 5 años y mayor a 65 años. Materia de construcción: estera/cartón. Estado de conservación de la edificación: Muy malo. Incumplimiento de procedimientos constructivos de acuerdo a normatividad vigente: mayor a 80%. Localización de la edificación: Muy cerca 0 a 0.20km. Antigüedad de construcción: de 40 a 50 años. Organización y capacitación institucional: presentan poca efectividad en su gestión, desprestigio y aprobación popular.
VULNERABILIDAD ALTA	Grupo etario: de 5 a 12 años y de 60 a 65 años. Materia de construcción: madera. Estado de conservación de la edificación: Malo. Actitud frente al riesgo: escasamente provisoria de la mayoría de la población. Localización de la edificación: cercana 0.20 a 1km.
VULNERABILIDAD MEDIA	Grupo etario: de 12 a 15 años y de 50 a 60 años. Materia de construcción: quincha (caña con barro). Estado de conservación de la edificación: Regular. Actitud frente al riesgo: parcialmente provisoria de la mayoría de la población, asumiendo el riesgo sin implementación de medidas para prevenir. Localización de la edificación: medianamente cerca 1 a 3km.
VULNERABILIDAD BAJA	Grupo etario: de 15 a 50 años. Materia de construcción: ladrillo o bloque de cemento. Estado de conservación de la edificación: Bueno a muy bueno. Incumplimiento de procedimientos constructivos de acuerdo a normatividad vigente: menor a 40%. Actitud frente al riesgo: parcial y/o provisoria de la mayoría o totalidad de la población, implementando medidas para prevenir el riesgo. Localización de la edificación: alejada a muy alejada mayor a 3km.

Nota. Adaptado de *Manual para la evaluación de Riesgos originados por Fenómenos Naturales*, por CENEPRED, 2015.

C. Estimación o cálculo del Riesgo

El riesgo es el resultado de relacionar el peligro con la vulnerabilidad de los elementos expuestos, para ello, se utiliza una matriz de doble entrada compuesta por una matriz de nivel de vulnerabilidad y una matriz de nivel de peligro para estratificar el nivel de riesgo. Por lo tanto, es necesario haber determinado previamente el análisis

de vulnerabilidad y el grado de severidad y probabilidad de ocurrencia de un peligro en particular (CENEPRED, 2015). La Tabla 6 detalla las características de los distintos niveles de riesgo.

Tabla 6

Niveles de Riesgo en caso de inundaciones

NIVEL	DESCRIPCIÓN
RIESGO MUY ALTO	Organización poblacional nula. Población en extrema pobreza. No hay difusión en diversos medios de comunicación sobre Gestión del Riesgo. Edificaciones en muy mal estado. Ambiental: terrenos sin vegetación. Erosión provocada por lluvias con pendientes pronunciadas. Inundación: precipitaciones anómalas positivas mayor a 300%, cercanía a la fuente de agua Menor a 20m, intensidad media en una hora (mm/h) Torrenciales: mayor a 60.
RIESGO ALTO	Organización poblacional efímera. Población en condición de pobreza. Escasa difusión en diversos medios de comunicación sobre temas de Gestión de Riesgo. Edificaciones en mal estado. Ambiental: áreas de cultivo. Deforestación agravada, uso indiscriminado de suelos. Inundación: precipitaciones anómalas positivas 100% a 300%, cercanía a la fuente de agua Entre 20 y 100m, intensidad media en una hora (mm/h) Muy fuertes: Mayor a 30 y Menor o igual a 60.
RIESGO MEDIO	Organización social limitada. Población de clase media baja. Difusión masiva y poco frecuente en diversos medios de comunicación sobre temas de Gestión del Riesgo. Edificaciones en regular estado. Ambiental: tierras dedicadas al cultivo de pastos. Protección inadecuada en los márgenes de corrientes de agua. Inundación: precipitaciones anómalas positivas 50% a 100%, cercanía a la fuente de agua Entre 100 y 500m, intensidad media en una hora (mm/h) Fuertes: Mayor a 15 y Menor o igual a 30.
RIESGO BAJO	Organización social activa. Difusión masiva y frecuente en medios de comunicación en temas de Gestión del Riesgo. Edificaciones en buen estado. Estructura de concreto armado y acero, con adecuadas técnicas de construcción. Ambiental: áreas de bosques. Factor cultivo y contenido en sales ocasiona pérdidas por desertificación. Inundación: precipitaciones anómalas positivas menor a 50%, cercanía a la fuente de agua mayor a 1000m, intensidad media en una hora (mm/h) Moderadas: menor a 15.

Nota. Adaptado de *Manual para la evaluación de Riesgos originados por Fenómenos*

Naturales, por CENEPRED, 2015.

2.2.7. Cuenca Hidrológica

Representa un área definida topográficamente, drenada por un curso de agua o una red de cursos de agua, que tiene una única salida para descargar el caudal total.

2.2.7.1. Parámetros de forma

Las características del hidrograma de descarga de una corriente determinada están significativamente influenciadas por la forma de la cuenca, particularmente durante los periodos de flujo máximo (Lux, B., 2016). Estos parámetros son:

- **Área (A):** Se describe como la extensión horizontal de toda la superficie de drenaje de un sistema de escorrentía que está dirigida, directa o indirectamente, hacia el mismo cauce natural (Lux, B., 2016).
- **Perímetro (P):** Es la distancia que recorre la divisoria de aguas sobre un plano horizontal. Este parámetro se mide en unidades de longitud y generalmente se expresa en metros o kilómetros (Lux, B., 2016).
- **Longitud de la cuenca (L):** Es la separación entre la desembocadura y el punto más lejano de la divisoria de aguas de la cuenca. Este parámetro se define como la longitud que corre aproximadamente paralela al curso principal y conecta los puntos extremos de la cuenca (Camino, M. et al., 2018).
- **Ancho de la Cuenca (B):** Es la proporción de la longitud de la cuenca con respecto a su área superficial (Camino, M. et al., 2018).

$$B = \frac{A}{L} \quad (1)$$

- **Factor de Forma de Horton (Kf):** Es el resultado de dividir el área de la cuenca entre el cuadrado de su longitud. Intenta medir el potencial de cuadratura (alargamiento) de la cuenca (Lux, B., 2016).

Tabla 7*Relación entre el Factor de Horton y la forma de la Cuenca*

FACTOR DE FORMA	FORMA DE LA CUENCA
< 0.22	Muy alargada
0.22 a 0.30	Alargada
0.30 a 0.37	Ligeramente alargada
0.37 a 0.45	Ni alargada ni ensanchada
0.45 a 0.60	Ligeramente ensanchada
0.60 a 0.80	Ensanchada
0.80 a 1.20	Muy ensanchada
> 1.20	Rodeando el desagüe

Nota. Adaptado de *Conceptos básicos de Morfometría de Cuencas Hidrográficas*, por Lux, B., 2016.

- **Coeficiente de compacidad (Kc):** Esta medida adimensional compara el perímetro de la cuenca con el perímetro de un círculo hipotético cuya área es igual a la de la cuenca (Camino, M. et al., 2018).

$$k_c = \frac{P}{P_c} = \frac{P}{2\pi R} = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} \quad (2)$$

Donde: P = Perímetro de la cuenca

Pc = Perímetro de la circunferencia

R = Radio de la circunferencia

Tabla 8*Relación entre el índice de compacidad y la forma de la cuenca*

CLASE	ÍNDICE DE COMPACIDAD	FORMA DE LA CUENCA
Clase I	1.0 a 1.25	Casi redonda a oval - redonda
Clase II	1.26 a 1.50	Oval - redonda a oval - oblonga
Clase III	1.51 o más de 2.0	Oval - oblonga a rectangular - oblonga

Nota. Adaptado de *Conceptos básicos de Morfometría de Cuencas Hidrográficas*, por Lux, B., 2016.

- **Razón de elongación (Re):** Se define como la razón entre el diámetro de un círculo con la misma área que la cuenca y la longitud máxima de la cuenca. Valores entre 0.6 y 0.8 se relaciona con un relieve elevado con pendientes pronunciadas, mientras que valores cercanos a 1.0 se presentan en zonas con poco relieve (Kadam, A. et al., 2016).

$$R_e = \frac{D}{L_c} = \frac{1.1284\sqrt{A_c}}{L_c} \quad (3)$$

Donde: Re = Relación de elongación

D = Diámetro de un círculo con igual área que la cuenca

Lc = Longitud de la cuenca

Ac = Área de la cuenca

Tabla 9

Relación entre la Razón de elongación y la forma de la cuenca

RAZÓN DE ELONGACIÓN	FORMA DE LA CUENCA
0.9 - 1.0	Circular
0.8 - 0.9	Ovalada
0.7 - 0.8	Poco alargada
0.5 - 0.7	Alargada
Menor a 0.7	Muy alargada

Nota. Adaptado de *Geomorphometric characterization and prioritization of watershed from semi-arid region, India for green growth potential*, por Kadam, A. et al., 2016.

- **Relación de circularidad (Rci):** Se expresa como el área de una cuenca dividida entre el área de un círculo con el mismo radio que el perímetro de la cuenca. Valores cercanos a 1.0 indican que una cuenca es circular. (Kadam, A. et al., 2016).

$$R_{ci} = \frac{4\pi A}{P^2} \quad (4)$$

- **Rectángulo Equivalente:** Una modificación geométrica conocida como el rectángulo equivalente permite representar una cuenca en forma de rectángulo, el cual comparte la misma área y perímetro (Lux, B., 2016).

$$L_2, L_1 = \frac{Kc\sqrt{A}}{1.128} \left[1 \pm \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{Kc} \right)^2} \right] \quad (5)$$

Donde: L_2 = Lado mayor del rectángulo

L_1 = Lado menor del rectángulo

Kc = Coeficiente de compacidad

A = Área de la cuenca

2.2.7.2. Parámetros de relieve

Involucra los niveles de elevación de una cuenca hidrográfica, que conforman su tercera dimensión (Camino, M. et al., 2018).

- **Pendiente media de la cuenca (J):** Este parámetro brinda información sobre las propiedades de los hidrogramas y la velocidad de escorrentía. A medida que aumentan los caudales, las cuencas con pendientes más pronunciadas suelen reaccionar más rápidamente ante las precipitaciones (Camino, M. et al., 2018).

$$J = 100 * \frac{(\sum Li)(E)}{A} \quad (6)$$

Donde: J = Pendiente media de la cuenca (%)

$\sum Li$ = Suma de las longitudes de las curvas de nivel (Km)

E = Equidistancia entre las curvas de nivel.

A = Superficie de la cuenca (Km^2)

Tabla 10

Clasificación del relieve por pendientes medias

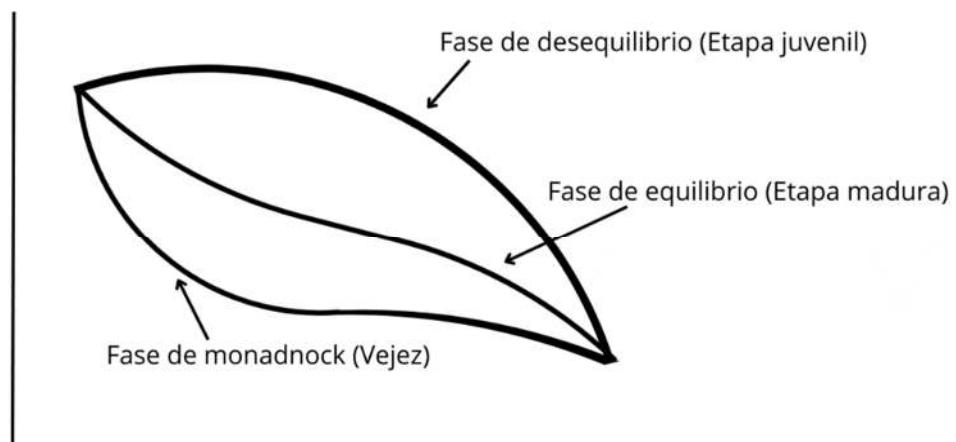
PENDIENTE DE (%)	TIPO DE RELIEVE
0 - 3	Plano
3 - 7	Suave
7 - 12	Mediano
12 - 35	Accidentado
35 - 50	Fuerte
50 - 75	Muy fuerte
> 75	Escarpado

Nota. Adaptado de *Estudio morfométrico de las cuencas de drenaje de la vertiente sur del sudeste de la provincia de Buenos Aires*, por Camino, M. et al., 2018.

- **Curva Hipsométrica:** Además de estimar la superficie acumulada para cada cota, permitirá la caracterización del relieve derivado de las cotas de altitud registradas. Adicionalmente, permite conoce la etapa de la cuenca (Lux, B., 2016).

Figura 3

Etapa de la cuenca en base a la curva hipsométrica

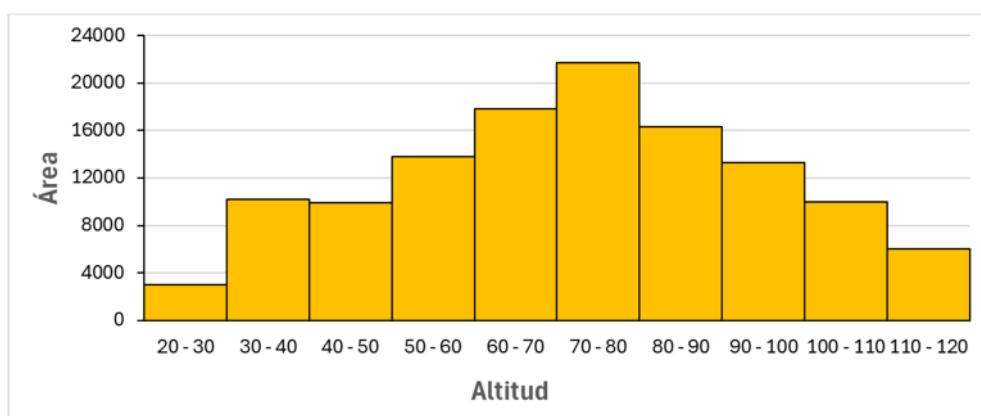


Nota. Adaptado de *Conceptos básicos de Morfometría de Cuencas Hidrográficas*, por Lux, B., 2016.

- **Elevación media:** Se aplicará un porcentaje al eje 'X' del gráfico una vez que se haya calculado la elevación media equivalente al 50% del área de la cuenca a partir de la curva hipsométrica (Lux, B., 2016).
- **Histograma de frecuencias:** Es un gráfico que permite el análisis de frecuencias altimétricas dentro de cada rango de altitud (Lux, B., 2016).

Figura 4

Histograma de frecuencias



Nota. Adaptado de *Conceptos básicos de Morfometría de Cuencas Hidrográficas*, por Lux, B., 2016.

2.2.7.3. Parámetros de red de drenaje

Estos factores aportan información sobre las propiedades del sustrato y las superficies de las cuencas, además de explicar la estructura y el comportamiento del sistema de drenaje. (Camino, M. et al., 2018).

- **Densidad de drenaje:** Es la relación entre el área de una cuenca (A) y la longitud total (Lt) de sus cursos de agua. (Camino, M. et al., 2018).

$$D_d = \frac{L}{A} \quad (7)$$

Donde: D_d = Densidad de drenaje

L = Suma de las longitudes de las corrientes de la cuenca (km)

A = Área de la cuenca (km²)

- **Orden de la cuenca:** Es la cifra que indica cuánto se ramifica un sistema hidrográfico (Camino, M. et al., 2018).
- **Relación de bifurcación (R_b):** El número total de cauces en un determinado orden dividido por el número total de cauces en el orden inmediato superior determinan esta relación (Camino, M. et al., 2018).

$$R_b = \frac{N_u}{N_{u+1}} \quad (8)$$

Donde: R_b = Relación de bifurcación

N_u = Número de cauces de un determinado orden

N_{u+1} = Número de cauces de orden inmediato superior

Tabla 11

Características de la cuenca en función de la Relación de bifurcación

RELACIÓN DE BIFURCACIÓN	FORMA DE LA CUENCA
3 a 5	Cuenca homogénea
> 10	Cuenca muy elongada

Nota. Adaptado de *Estudio morfométrico de las cuencas de drenaje de la vertiente sur del sudeste de la provincia de Buenos Aires*, por Camino, M. et al., 2018.

2.2.8. Análisis de frecuencias

Uno de los mayores problemas en la práctica de la ingeniería es elegir el modelo de distribución adecuado. Por lo tanto, es esencial evaluar los modelos de distribución disponibles para identificar uno que ofrezca estimaciones confiables (Álvarez, M. y MacGregor, A., 2023).

2.2.9. Prueba de datos dudosos

Se debe realizar una prueba de Outliers o Datos Dudosos antes del análisis de frecuencias para identificar cualquier dato que se desvíe de la tendencia de la información y que impacte los parámetros estadísticos. Estos outliers podrían resultar de variables que dificultan las distribuciones o de errores cometidos al capturar los datos (Álvarez, M. y MacGregor, A., 2023). Los valores se calculan:

$$Y_{H,L} = \bar{y} \pm K_n S_y \quad (9)$$

Donde: Y_H, Y_L = Datos dudosos altos y bajos

\bar{y} = Logaritmo medio de los picos sistemáticos

K_n = Valor adimensional

S_y = Desviación estándar

Tabla 12

Valores de K_n para la prueba de datos dudosos

TAMAÑO DE LA MUESTRA	K_n						
10	2.036	24	2.467	38	2.661	60	2.837
11	2.088	25	2.486	39	2.671	65	2.866
12	2.134	26	2.502	40	2.682	70	2.893
13	2.175	27	2.519	41	2.692	75	2.917
14	2.213	28	2.534	42	2.700	80	2.940
15	2.247	29	2.549	43	2.710	85	2.961
16	2.279	30	2.563	44	2.719	90	2.981
17	2.309	31	2.577	45	2.727	95	3.000
18	2.335	32	2.591	46	2.736	100	3.017
19	2.361	33	2.604	47	2.744	110	3.049
20	2.385	34	2.616	48	2.753	120	3.078
21	2.408	35	2.628	49	2.760	130	3.104
22	2.429	36	2.639	50	2.768	140	3.129
23	2.448	37	2.650	55	2.804		

Nota. Adaptado de *Determinación de los períodos de retorno utilizando el ajuste de distribución de probabilidad para la estación meteorológica de La Playa Norte de Santander*, Álvarez, M. y MacGregor, A., 2023.

2.2.10. Distribuciones de probabilidad estadística

2.2.10.1. Distribución Normal

La distribución está dada por (MTC, 2011):

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right\}, -\infty < x < \infty \quad (10)$$

Donde: μ = Media

σ = Desviación estándar

2.2.10.2. Distribución Log Normal de 2 parámetros

La función de distribución es (MTC, 2011):

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot x\beta} \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x - \alpha}{\beta}\right)^2\right\} \quad (11)$$

Donde: α = Media de los log naturales (parámetro de escala)

β = Desviación estándar de los log naturales (parámetro de forma)

2.2.10.3. Distribución Log Normal de 3 parámetros

Su función de densidad viene dada por (MTC, 2011):

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \frac{1}{(x - x_0)\beta} \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln(x - x_0) - \alpha}{\beta}\right)^2\right\} \quad (12)$$

Donde: α_0 = Parámetro de posición en el dominio x

α = Parámetro de escala en el dominio x

β = Parámetro de forma en el dominio x

2.2.10.4. Distribución Gamma 2 parámetros

La función es (MTC, 2011):

$$f(x) = \frac{x^{\gamma-1} e^{-\frac{x}{\beta}}}{\beta^\gamma \Gamma(\gamma)} \quad (13)$$

Donde: γ = Parámetro de forma

β = Parámetro de escala

$\Gamma(\gamma)$ = Función de gamma completa

2.2.10.5. Distribución Gamma 3 parámetros

Su función de densidad es representada por la ecuación (MTC, 2011):

$$f(x) = \frac{(x - x_0)^{\gamma-1} e^{-\frac{(x-x_0)}{\beta}}}{\beta^\gamma \Gamma(\gamma)} \quad (14)$$

Donde: x_0 = Parámetro de posición

γ = Parámetro de forma

β = Parámetro de escala

$\Gamma(\gamma)$ = Función de gamma completa

2.2.10.6. Distribución Gumbel

Es la distribución de valores Tipo I o doble exponencial (MTC, 2011):

$$f(x) = e^{-e^{-\alpha(x-\beta)}}, \text{ para } -\infty < x < \infty \quad (15)$$

Donde: α y β representan parámetros de distribución.

$$\alpha = \frac{1.2825}{\sigma}$$

$$\beta = \mu - 0.45\sigma$$

2.2.10.7. Distribución Log Gumbel

La variable viene dada por (MTC, 2011):

$$f(x) = e^{-e^{-\alpha(\ln x - \beta)}} \quad (16)$$

Donde: α = Parámetro de escala

β = Parámetro de posición

2.2.11. Pruebas de bondad de ajuste

Para establecer si un conjunto de datos determinado es una muestra independiente de la distribución elegida, los investigadores emplean las pruebas de bondad de ajuste o pruebas de hipótesis (MTC, 2011).

➤ Prueba Kolmogorov-Smirnov

Es una técnica que permite confirmar la bondad de ajuste de las distribuciones, igualmente hace posible elegir la más representativa, o la de mejor ajuste. Consiste en comparar el valor absoluto más alto de la diferencia D entre la función de distribución de probabilidad estimada $F(x_m)$ y la observada $F_0(x_m)$ (MTC, 2011).

$$D = \max[F_0(x_m) - F(x_m)] \quad (17)$$

En caso que $D < d$, la hipótesis resulta nula, y la función de distribución de probabilidad resulta en:

$$F_0(x_m) = 1 - \frac{m}{n + 1} \quad (18)$$

Donde: m = Número de orden de x_m es una lista descentente

n = número de datos

Tabla 13*Valores críticos “d” en la prueba Kolmogorov-Smirnov*

TAMAÑO DE LA MUESTRA	$\alpha = 0.10$	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.01$
5	0.51	0.56	0.67
10	0.37	0.41	0.49
15	0.30	0.34	0.40
20	0.26	0.29	0.35
25	0.24	0.26	0.32
30	0.22	0.24	0.29
40	0.19	0.21	0.25
n grande	$1.22/\sqrt{n}$	$1.36/\sqrt{n}$	$1.63/\sqrt{n}$

Nota. Adaptado de *Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje*, por MTC, 2011.**2.2.12. Ajuste por número de observaciones**

Los datos de las series subestiman las cantidades máximas reales para las duraciones correspondientes a los intervalos de observación (Linsley, R. et al., 1977).

Tabla 14*Relación para ajuste por número de observaciones*

NÚMERO DE INTERVALOS DE OBSERVACIÓN	RELACIÓN
1	1.13
2	1.04
3 - 4	1.03
5 - 8	1.02
9 - 24	1.01

Nota. Adaptado de *Hidrología para ingenieros*, por Linsley, R. et al., 1977.**2.2.13. Modelamiento Hidrológico**

La reacción de una cuenca hidrográfica a un evento de lluvia individual puede observarse mediante el modelado hidrológico, estas simulaciones utilizan técnicas de

modelado conceptual y físico bien establecidas, en las que, se pueden calcular las velocidades y los calados para un tramo fluvial específico.

➤ **Intensidad**

La profundidad por unidad de tiempo (mm/h) se conoce como intensidad, esta puede describir la intensidad en un momento dado o la intensidad promedio durante el transcurso de la lluvia. La intensidad promedio se expresa como (MTC, 2011):

$$I = \frac{P}{Td} \quad (19)$$

Donde: P = Profundidad de lluvia (mm)

Td = Duración (horas)

La metodología de Dick Peschke, que vincula la duración de la tormenta con la precipitación máxima en 24 horas, puede utilizarse para calcular las intensidades máximas en tormentas de duración inferior a una hora o en situaciones donde no se disponga de datos pluviográficos para obtenerlas (MTC, 2011).

$$P_d = P_{24h} \left(\frac{d}{1440} \right)^{0.25} \quad (20)$$

Donde: P_d = Precipitación total (mm)

d = Duración (min)

P_{24h} = Precipitación máxima de 24 horas (mm)

➤ **Periodo de retorno**

El Período de Retorno es el número promedio de años en que el valor del caudal pico de una crecida particular es igualado o superado una vez cada "T" años. La probabilidad de falla para la vida útil de una obra puede calcularse si se asume que los eventos anuales son independientes (MTC, 2011).

La relación entre la probabilidad de excedencia de un evento, la vida útil de la estructura y el riesgo de falla admisible debe tenerse en cuenta al diseñar una estructura con el fin de establecer el período de retorno (MTC, 2011). El riesgo de falla admisible considerando la vida útil de la obra y el periodo de retorno se calcula mediante:

$$R = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n \quad (21)$$

Donde: TR = Periodo de retorno

n = Vida útil de la obra

R = Riesgo de falla admisible (Probabilidad de ocurrencia del evento a lo largo de la vida útil de la obra)

Tabla 15

Valores máximos recomendados de riesgo admisible en obras de drenaje

TIPO DE OBRA	RIESGO ADMISIBLE (%)
Puentes	25
Alcantarillas de paso de quebradas importantes y badenes	30
Alcantarillas de paso quebradas menores y descarga de agua de cunetas	35
Drenaje de la plataforma (a nivel longitudinal)	40
Subdrenes	40
Defensas Ribereñas	25

Nota. Adaptado de *Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje*, por MTC, 2011.

Vida útil de obras hidráulicas:

- Puentes y Defensas Ribereñas n= 40 años.
- Alcantarillas de quebradas importantes n= 25 años.
- Alcantarillas de quebradas menores n= 15 años.
- Drenaje de plataforma y Sub-drenes n= 15 años

➤ Tiempo de concentración

Representa la duración del trayecto de una gota de lluvia desde el punto hidráulicamente más alejado de la cuenca hasta la sección de salida (Lux, B., 2016). Existen varios métodos para calcular su valor (Alvarez, J. y Huamán, V., 2024):

Método de Kirpich: En 1940 fue elaborado a partir del análisis de seis cuencas rurales pequeñas, es el más empleado mundialmente.

$$t_c = 0.0663xL^{0.77}xS^{-0.385} \quad (22)$$

Método de Ven Te Chow: Se basa en el estudio de veinte cuencas pequeñas ubicadas al oeste de Estados Unidos, fue desarrollada a través de regresión.

$$t_c = 0.1602xL^{0.64}xS^{-0.32} \quad (23)$$

Método del Cuerpo de Ingenieros USA: Desarrollado en Estados Unidos, se emplearon veinticinco cuencas rurales para su formulación. Es recomendado para cuencas con un área menor a 12000 km².

$$t_c = 0.191xL^{0.76}xS^{-0.19} \quad (24)$$

Método de Pasini: Se formuló en 1914 a partir de datos provenientes de cuencas rurales con baja pendiente de Italia.

$$t_c = 0.108xA^{0.333}xL^{0.333}xS^{-0.5} \quad (25)$$

Método de Dooge: Fue planteada por Dooge en 1973, a partir de información proveniente de cuencas rurales de Irlanda.

$$t_c = 0.3649xA^{0.41}xS^{-0.17} \quad (26)$$

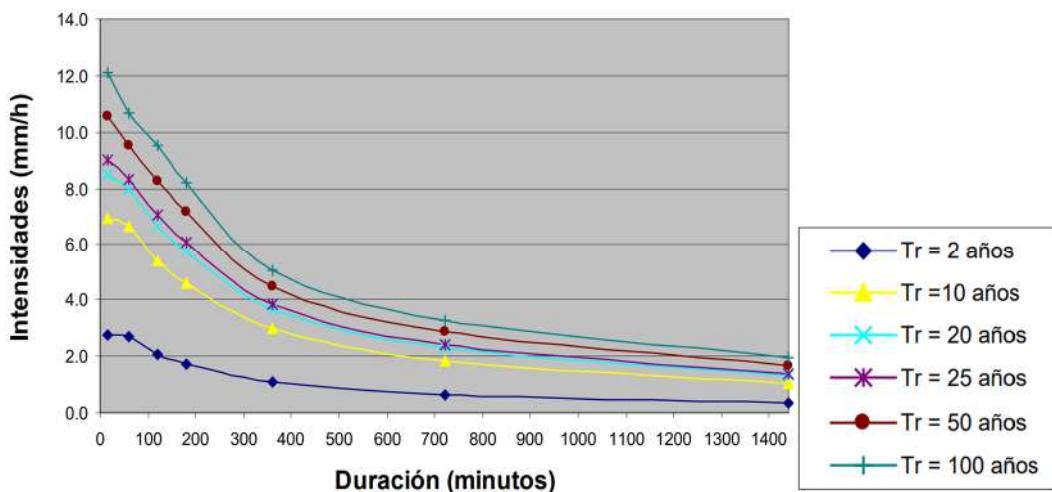
En cada una de las fórmulas el resultado será el tiempo de concentración (tc) en horas. En cuanto a las variables involucradas: L es la longitud máxima del río (km), S es la pendiente del cauce principal (m/m) y A es el área de la cuenca (km²).

➤ Curvas de Intensidad – Duración – Frecuencia

Un elemento de diseño que relaciona la intensidad, la duración y la frecuencia de la lluvia, es decir, su probabilidad de ocurrencia o período de retorno (MTC, 2011).

Figura 5

Ejemplo de Curvas IDF



Nota. Tomado de *Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje*, por MTC, 2011.

➤ **Hietograma de diseño**

Las técnicas hidrológicas más avanzadas requieren una distribución temporal, que analiza cómo las tormentas se distribuyen a lo largo del tiempo (MTC, 2011).

➤ **Método del bloque alterno**

Es una técnica sencilla para crear un hietograma de diseño utilizando una curva IDF donde se especifica la profundidad de precipitación durante n intervalos de tiempo consecutivos de duración Δt , para un período total de $d=n \cdot \Delta t$. Tras la selección de los períodos de retorno de diseño, se utiliza la curva IDF para cada duración para determinar la intensidad de cada periodo (MTC, 2011).

$$P = IxD \quad (27)$$

Donde: P = Precipitación acumulada (mm)

I = Intensidad (mm/h)

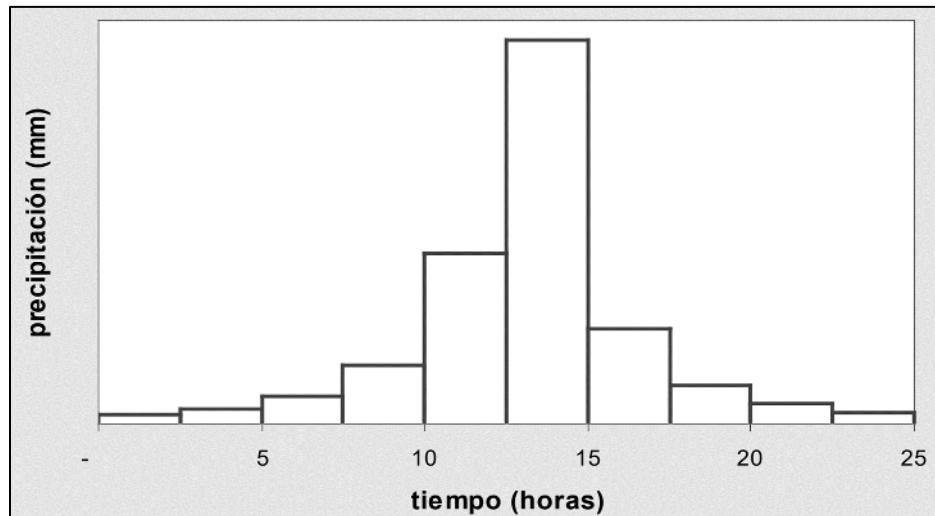
D = Duración (horas)

Luego, se calcula la cantidad de precipitación que debe añadirse por unidad de tiempo calculando las diferencias entre dos valores sucesivos de la profundidad

acumulada de precipitación y, finalmente, los bloques se apilan descendentemente a partir del bloque central donde queda la intensidad más alta (MTC, 2011).

Figura 6

Ejemplo de Hietograma de Diseño



Nota. Tomado de *Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje*, por MTC, 2011.

2.2.14. Determinación de caudales máximos

Las corrientes máximas instantáneas anuales para la estación más cercana al punto de interés se analizan estadísticamente cuando hay suficientes datos de caudal disponibles. En ausencia de estos, se utilizan datos de precipitación como entrada, ya que, la lluvia hace que la cuenca se humedezca cada vez más y la escorrentía superficial se convierte en caudal (MTC, 2011).

➤ Método SCS

Es una técnica para determinar la cantidad de precipitación de una tormenta creada por el Servicio de Conservación de Suelos en 1972. Esta supone que, la escorrentía directa P_e para la tormenta resulta siempre menor o igual a la profundidad de precipitación P ; igualmente, la cantidad adicional de agua retenida en la cuenca

posterior al comienzo de la escorrentía resulta menor o igual a la retención potencial máxima S (MTC, 2011). La escorrentía directa se calcula con:

$$Pe = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \quad (28)$$

Donde: Q = Escurrimiento medio por evento (mm)

P = Precipitación efectiva por evento (mm)

S = Retención máxima potencial (mm)

Según este concepto, la escorrentía superficial efectiva comienza cuando la lluvia acumulada alcanza un valor específico, $Ia = 0.2 \times S$ (MTC, 2011). El valor de “S” está en función de un parámetro denominado curva número:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (29)$$

Donde: CN = Curva Número

Posteriormente, mediante el hidrograma sintético triangular del SCS es posible determinar la distribución de los caudales resultantes a lo largo del tiempo suponiendo que 1 cm de escorrentía representa el área bajo el hidrograma (MTC, 2011).

$$q_p = \frac{2.08A}{Tp} \quad (30)$$

Donde: A = Área de drenaje en Km^2

Tp = Tiempo de ocurrencia del pico en horas

➤ Curva Número

Para aplicar la metodología previamente descrita, es necesario calcular el número de curva correspondiente a la región particular en estudio, lo cual solo puede hacerse mediante técnicas de calibración. (MTC, 2011).

El Soil Conservation Service ha calculado los Números de Curva según el uso de la tierra y el tipo de suelo. Existen cuatro categorías de suelo (MTC, 2011):

Grupo A: Limos agregados, arenas profundas y suelos profundos depositados por el viento.

Grupo B: Margas arenosas y suelos poco profundos depositados por el viento.

Grupo C: Incluye margas arcillosas, margas arenosas poco profundas, suelos con bajo contenido orgánico y suelos con alto contenido de arcilla.

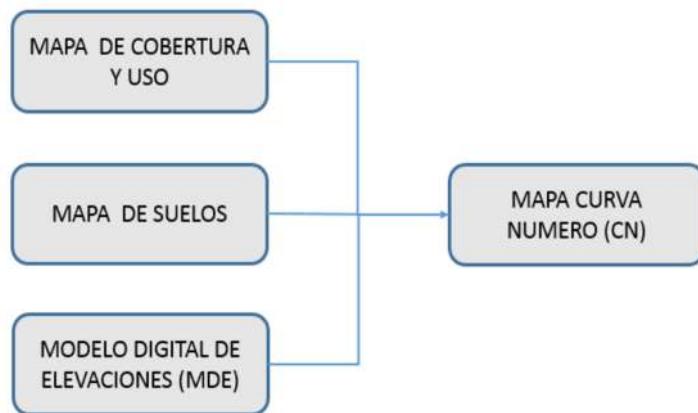
Grupo D: Arcillas altamente plásticas, algunos suelos salinos y suelos que se expanden considerablemente cuando se mojan.

➤ **Determinación de la Curva Número**

El enfoque se basa en utilizar herramientas de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) que facilitan la integración de varios tipos de datos, incluidos los modelos digitales de elevación (MDE), mapas de suelos y mapas de cobertura vegetal (Autoridad Nacional del Agua [ANA], 2015).

Figura 7

Mapa conceptual de la determinación de la Curva Número



Nota. Tomado de *Generación del mapa temático de Curva Número (CN)*, por ANA, 2015.

La reclasificación en base a la cobertura se describe en la Tabla 16.

Tabla 16*Reclasificación por tipo de cobertura*

DESCRIPCION DE COBERTURAS	RECLASIFICACION
Cuerpos de agua	1
Nevados	2
Centros poblados	3
Cultivos/Áreas intervenidas	4
Matorral arbustivo abierto	5
Pradera en zona de clima frio	6
Sabana de árboles leñosos	7
Sabana hidromorfica	8
Selva lluviosa tropical	9
Selva lluviosa tropical con bambúes	10
Selva temporal de hojas anchas	11
Selva hidrolítica	12
Desierto en zona de clima árido	13

Nota. Adaptado de *Generación del mapa temático de Curva Número (CN)*, por ANA, 2015.

A continuación, se procede a identificar el grupo hidrológico en la Tabla 17.

Tabla 17*Reclasificación del Tipo de Suelo*

DESCRIPCION DE SUELOS	SIMBOLOGIA	GRUPO HIDROLOGICO
Acrisol háplico - Alisol háplico - Lixisol háplico	ACh-ALh-LXh	C
Acrisol háplico - Alisol háplico - Luvisol crómico	ACh-ALh-LVx	C
Arenosol háplico - Solonchak háplico	ARh-SCh	A
Cambisol dístico - Acrisol háplico	Cmd-ACh	C
Cambisol dístico - Acrisol háplico - Lixisol háplico	Cmd-ACh-LXh	C
Cambisol dístico - Alisol háplico	Cmd-ALh	C
Cambisol dístico - Nitisol háplico	Cmd-NTh	C
Cambisol éutrico - Phaeozem háplico	CMe-PHh	B
Cambisol éutrico - Vertisol éutrico	CMe-VRe	C
Fluvisol éutrico - Gleysol éutrico	FLe-GLe	B
Fluvisol éutrico - Regosol éutrico	FLe-RGe	B
Gleysol dístico - Cambisol dístico	GLd-CMd	B
Gleysol dístico - Histosol fíbrico	GLd-HSf	D
Gleysol dístico - Lixisol háplico - Fluvisol dístico	GLd-LXh-FLd	A
Leptosol dístico - Afloramiento lítico	LPd-R	B
Leptosol dístico - Andosol mbrico - Afloramiento lítico	LPd-ANu-R	B
Leptosol dístico - Andosol vítrico	LPd-ANz	B
Leptosol dístico - Cambisol dístico - Regosol dístico	LPd-CMd-RGd	B
Leptosol dístico - Regosol dístico - Afloramiento lítico	LPd-RGd-R	B
Leptosol éutrico - Afloramiento lítico	LPe-R	B

DESCRIPCION DE SUELOS	SIMBOLOGIA	GRUPO HIDROLOGICO
Leptosol éutrico - Cambisol éutrico	LPe-CMe	C
Leptosol éutrico - Cambisol éutrico - Regosol éutrico	LPe-CMe-RGe	B
Leptosol éutrico - Kastanozem háplico - Afloramiento lítico	LPe-KSh-R	B
Leptosol éutrico - Regosol éutrico - Afloramiento lítico	LPe-RGe-R	B
Leptosol lítico - Afloramiento lítico	LPq-R	B
Lixisol háplico - Gleysol dístico	LXh-GLd	B
Luvisol crómico - Cambisol éutrico	LVx-CMe	C
Regosol dístico - Afloramiento lítico	RGd-R	B
Regosol dístico - Cambisol dístico	RGd-CMd	C
Regosol éutrico - Andosol mólico	RGe-ANm	C
Regosol éutrico - Calcisol háplico	RGe-CLh	C
Regosol éutrico - Cambisol éutrico	RGe-CMe	C
Solonchak háplico - Leptosol éutrico	SCh-LPe	A

Nota. Adaptado de *Generación del mapa temático de Curva Número (CN)*, por ANA, 2015.

Finalmente se asigna el valor de la Curva Número a partir de los parámetros anteriores, estos valores se describen en la Tabla 18.

Tabla 18

Valores de la Curva Número

DESCRIPCION DEL USO DE LA TIERRA	GRUPO HIDROLOGICO			
	A	B	C	D
Cuerpos de agua	100	100	100	100
Nevados	98	98	98	98
Centros poblados	77	85	90	92
Cultivos/Áreas intervenidas	62	71	78	81
Matorral arbustivo abierto	45	66	77	83
Pradera en zona de clima frio	68	79	86	89
Sabana de árboles leñosos	45	66	77	83
Sabana hidromorfica	25	55	70	77
Selva lluviosa tropical	25	55	70	77
Selva lluviosa tropical con bambúes	25	55	70	77
Selva temporal de hojas anchas	25	55	70	77
Selva hidrofitica	39	61	74	80
Desierto en zona de clima árido	72	81	88	91

Nota. Adaptado de *Generación del mapa temático de Curva Número (CN)*, por ANA, 2015.

2.2.15. Sofware para el Modelamiento Hidrológico

➤ HIDROESTA2

Es un software que facilita el cálculo de parámetros estadísticos, así como, regresiones polinómicas, regresiones simples y múltiples, y cálculos lineales y no lineales. HidroEsta2 es una contribución a la simplificación de los estudios hidrológicos, es significativo porque (Villón, M., 2016):

- Proporciona a ingenieros civiles, ingenieros agrícolas, ingenieros agrónomos y otros expertos que trabajan en sectores relacionados con los estudios hidrológicos una herramienta avanzada y fácil de usar.
 - Simplifica los cálculos complejos y el procesamiento de datos.
 - Permite modelar parámetros de diseño para la construcción de estructuras basándose en la información recopilada.
 - Reduce significativamente el tiempo de cálculo.
- **Modelamiento mediante Hydrologic Engineering Center's Hydrologic Modeling System (HEC – HMS)**

El Hydrologic Engineering Center's Hydrologic Modeling System (HEC-HMS) es un programa desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de Estados Unidos, cuyo objetivo es replicar los procesos naturales y alterados que transforman la lluvia en escorrentía dentro de cuencas dendríticas. La entrada de datos y la estructura de la simulación están definidas por los cuatro módulos fundamentales del programa (Pascual, J. y Díaz, M., 2016):

Entrada de Datos: El software incluye un sistema de entrada de datos, los que, posteriormente, serán procesados de acuerdo con los diferentes submódulos de modelado que los requieran.

Modelo de Cuenca: Sirve para modelar las características físicas de la cuenca.

En este, el usuario agrega y conecta componentes hidrológicos para crear un modelo de cuenca, donde los componentes hidrológicos describen los procesos físicos que ocurren en la cuenca utilizando modelos matemáticos.

Modelo de Precipitación: Determina la cantidad de precipitación necesaria en una subcuenca. Es posible utilizar datos de precipitación puntual o datos distribuidos geográficamente, asimismo, el módulo es capaz de simular evapotranspiración, así como precipitación líquida y sólida.

Módulo de Control: La duración de cada ejecución de simulación está determinada por las especificaciones de control. Estas deben incluir la fecha de inicio, la fecha de finalización y la duración de la simulación.

2.2.16. Modelamiento Hidráulico

Mediante el modelamiento hidráulico se puede analizar el comportamiento de los cursos de agua en determinados eventos propuestos, como las inundaciones. De esta manera se puede lograr tener una comprensión mayor de los caudales y alturas de tirante que se pueden alcanzar en un río durante la época de lluvia. Actualmente existen tanto modelos unidimensionales como bidimensionales para representar diferentes eventos de crecidas e inundaciones.

➤ **Coeficiente de Manning**

Para su determinación se requiere basarse en experiencia, antecedentes similares, tablas y la información recopilada en campo (MTC, 2011)

Método de Cowan: Este autor sugiere un método para estimar la rugosidad mediante la siguiente fórmula (MTC, 2011).

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) * n_5 \quad (31)$$

Los valores de n_i y m_i se determinan utilizando una tabla que considera variables como el material del perímetro, la irregularidad, la variación de la sección transversal, el impacto de las obstrucciones, la vegetación y las curvaturas en planta (MTC, 2011).

Tabla 19

Coeficientes para el método de Cowan

CONDICIONES DEL CANAL		VALORES
Material Involucrado (n_0)		
Tierra		0.020
Corte en Roca		0.025
Grava Fina		0.024
Grava Gruesa		0.028
Grado de Irregularidad (n_1)		
Suave		0.000
Menor		0.005
Moderado		0.010
Severo		0.020
Variaciones de la Sección Transversal (n_2)		
Gradual		0.000
Ocasionalmente Alternante		0.050
Frecuentemente Alternante		0.010-0.015
Efecto Relativo de las Obstrucciones (n_3)		
Insignificante		0.000
Menor		0.010-0.015
Apreciable		0.020-0.030
Severo		0.040-0.060
Vegetación (n_4)		
Baja		0.005-0.010
Media		0.010-0.025
Alta		0.025-0.050
Muy Alta		0.050-0.100
Grado de los Efectos por Meandro (m_5)		
Menor		1.000
Apreciable		1.150
Severo		1.300

Nota. Adaptado de *Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje*, por MTC, 2011.

➤ Modelamiento Hidráulico mediante HEC-RAS

El programa HEC-RAS, fue creado por el Centro de Ingeniería Hidrológica del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos, y permite simular el flujo de agua en ríos, canales naturales o canales artificiales (Córdova, P. et al., 2022).

Asimismo, este programa está diseñado con la capacidad de realizar cuatro tipos de análisis en ríos (Córdova, P. et al., 2022):

- Modelado de flujo de régimen permanente y no permanente.
 - Modelado de transporte de sedimentos.
 - Análisis de la calidad del agua.

➤ Modelamiento Hidráulico mediante IBER

IBER representa un modelo numérico bidimensional que se utiliza para modelar procesos ambientales y el flujo turbulento en lámina libre no permanente en hidráulica fluvial capaz de representar fenómenos ambientales y de flujo en lámina libre de gran complejidad. Este incluye un motor de cálculo hidrodinámico completamente acoplado con los procesos de transporte de sedimentos. (Sanz, M. et al., 2022).

Figura 8

Interacción entre los módulos presentes en IBER



Nota. Adaptado de *Iber v3. Manual de referencia e interfaz de usuario de las nuevas implementaciones*, por Sanz, M. et al., 2022.

2.2.17. Sistemas de Alerta Temprana

Comprende un sistema destinado a la rápida difusión de datos climáticos e hidrometeorológicos para alertar a una comunidad que se debe encontrar organizada y capacitada, provocando, de esta forma, que respondan de manera oportuna y anticipada. Constituye uno de los componentes primarios de la reducción del riesgo de catástrofes (Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno de El Niño [CIIFEN], 2017).

Debido al incremento actual de los eventos de inundación, la creación de sistemas de alerta temprano constituye una respuesta efectiva que desempeña un rol importante al momento de identificar, monitorear y predecir las inundaciones. Al mismo tiempo resulta en una medida que permite la preparación y respuesta en caso de desastres (Calvo, O. y Quesada, A., 2024).

Figura 9

Componentes básicos de un Sistema de Alerta Temprana



Nota. Adaptado de Sistemas de Alerta Temprana con enfoque participativo: Un desafío para la Gestión del Riesgo en Colombia, por López, J. et al., 2017.

2.2.18. Enfoques para la implementación de los Sistemas de Alerta Temprana

➤ Enfoque de la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNDRR)

Para prevenir o mitigar los efectos de un desastre, los SAT se definen como el conjunto de herramientas y recursos necesarios para crear y distribuir un aviso oportuno sobre el riesgo que podría desencadenar un desastre. Un SAT consta de cuatro componentes esenciales: Conocimiento del riesgo; Monitoreo, análisis y pronóstico de la amenaza; Comunicación o distribución de alertas y avisos; y Capacidades locales para responder a la alerta recibida (López, J. et al., 2017).

➤ Conocimiento del Riesgo y Vulnerabilidad

La estimación de estas variables resulta fundamental para las decisiones realizadas durante la planificación de las respuestas, ya que, permite identificar las zonas prioritarias, al mismo tiempo que ofrece información útil en la prevención, manejo de riesgos y ordenamiento territorial (CIIHEN, 2017).

Su evaluación no solo se basa en analizar los fenómenos naturales, sino también están influenciados por el grado de vulnerabilidad de las áreas urbanas y/o rurales, como su proximidad a fallas geológicas, rellenos sanitarios, riberas de ríos o desembocaduras de quebradas activas, el tipo de infraestructura habitacional construida con materiales duraderos o frágiles y la capacidad de la población para unirse, adaptarse y/o recuperarse de los efectos de un fenómeno natural (CENEPRED, 2015)

➤ Monitoreo y pronóstico

El uso de tecnologías de monitoreo, como estaciones meteorológicas y estaciones pluviométricas, permite conocer en tiempo real las precipitaciones y nivel

de agua, que, unido a un análisis de pronóstico y una adecuada toma de decisiones, ayuda a brindar una oportuna emisión de aviso ante la ocurrencia de inundaciones (Liu, C et al. ,2018).

Los expertos que ayudan a identificar signos de la activación del peligro y sus niveles máximos, conocidos como “Umbrales”, los cuales servirán para proporcionar la alerta o alarma, deben asesorar la implementación de los procesos de monitoreo y seguimiento (INDECI, 2018).

➤ **Difusión de alertas**

La difusión de alertas debe ser rápida, mediante el uso de los canales óptimos de comunicación y difusión de alerta. Al mismo tiempo, se deben realizar mensajes comprensibles por la población, los cuales brinden información relevante emitida por las instituciones que realizan el monitorio y por aquellas encargadas de brindar la respuesta en caso de la ocurrencia de los desastres (CIIIFEN, 2017).

La persona encargada de procesar los datos hidrológicos en el Centro de Operaciones de Emergencia (COE) notifica a las autoridades y personas apropiadas que están a cargo de distribuir la Alerta o Alarma, las cuales señalan el inicio de la evacuación de la población hacia zonas seguras, cuando encuentra que los datos recibidos se están acercando a los umbrales predeterminados (INDECI, 2018).

➤ **Capacidad de respuesta**

La capacidad de respuesta se refiere a la preparación y la capacidad de las comunidades y las autoridades para actuar de manera rápida y efectiva ante una alerta. Para ello se debe llevar a cabo capacitaciones referentes a los riesgos que se presenten además de la elaboración, de manera participativa, de los planes de gestión de riesgo de desastres (CIIIFEN, 2017).

2.2.19. Clasificación de los Sistemas de Alerta Temprana

Existen múltiples enfoques para la clasificación de los Sistemas de Alerta Temprana; no obstante, centrándose en aquellos destinados a las inundaciones, se pueden reconocer los tipos mencionados a continuación.

➤ Sistemas de Alerta Temprana Comunitarios

Con una organización continua y la participación de la población, constituye un marco operativo para la preparación y respuesta. Este sistema se puede utilizar localmente porque no requiere trabajadores especializados para su funcionamiento, es sencillo de manejar y solo requiere instrumentos básicos. Su implementación involucra a muchos actores diferentes, siendo el asentamiento organizado el elemento central y su participación voluntaria. No hay muchos recursos disponibles para su desarrollo y mantenimiento. Se siguen los principios de gradualidad y subsidiariedad del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres en el proceso de toma de decisiones, que dirige la comunicación desde el asentamiento organizado hacia el gobierno local y otros niveles (INDECI, 2018).

➤ Sistemas de Alerta Temprana Centralizados

Un sistema de alerta temprana centralizado es aquel que utiliza tecnología y requiere una alta especialización técnica para observar y monitorear el evento y crear pronósticos. Las redes telemétricas de estaciones de lluvia y nivel de ríos sirven como base para la observación y monitoreo, lo que permite pronósticos de inundaciones precisos y rápidos. También emplea una base científica que requiere la participación de expertos con formación y conocimientos avanzados para desarrollar modelos hidrometeorológicos, que sirven como base para los pronósticos de inundaciones.

Gracias a estos pronósticos, se pueden emitir advertencias antes que las alertas, brindando a las personas más tiempo para prepararse (Mora, D. y Rosas, J., 2016).

Típicamente, organizaciones públicas o comerciales están a cargo de supervisar y gestionar este tipo de Sistema de Alerta Temprana (SAT). Se basa en la implementación de redes de equipos tecnológicos para la vigilancia, el funcionamiento de centros de monitoreo las 24 horas del día, sistemas tecnológicos extensos para la distribución de alertas y medidas territoriales para la preparación y reacción ante posibles emergencias (Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres [UNGRD], 2021).

➤ **Sistemas de Alerta Temprana Mixtos**

Combinando las dos formas anteriores en una, un sistema mixto requiere la integración de herramientas y procesos institucionales con prácticas, conocimientos y estructuras comunitarias. Se aconseja que los territorios adopten este tipo de sistema, ya que fomenta la apropiación por parte de la comunidad y les permite gestionar sus propios riesgos (UNGRD, 2021).

2.2.20. Estimación de Umbrales de Inundación

El “Protocolo para la emisión de avisos, alertas y alarmas ante lluvias intensas y peligros asociados”, que fue aprobado por la Resolución Ministerial N.º 049-2020-PCM, establece que los umbrales son valores numéricos que se utilizan para determinar el nivel de peligro. Estos valores se derivan de datos históricos y cálculos matemáticos.

Tabla 20*Umbrales por nivel de peligro*

Peligro	Umbrales**	Nivel de peligro
Lluvias intensas	90 percentiles	Moderado
	95 percentiles	Fuerte
	99 percentiles	Extremo
Caudales de los ríos*	Basado en los períodos de retorno de 2.33 años	Moderado
	Basado en los períodos de retorno de 5 años	Fuerte
	Basado en los períodos de retorno de 10 años	Extremo
Activación de quebradas	Los umbrales son definidos por el SENAMHI, en base al acumulado de lluvia antecedente y pronosticada, así como en la susceptibilidad a movimientos en masa, los cuales son publicados en su portal institucional.	

Nota. Tomando de RM N°049-2020-PCM “Protocolo para la emisión de avisos, alertas y alarmas ante lluvias intensas y peligros asociados “, por Presidencia del Consejo de ministros [PCM], 2020.

Los Gobiernos Regionales y Locales, junto con el SENAMHI, establecen los umbrales para las crecidas de ríos, los cuales luego se publican en los portales institucionales. Los parámetros indicados en la Tabla 20 se utilizan si no pudieran ser determinados. Además, los aumentos rápidos podrían tomarse en cuenta al emitir notificaciones de nivel moderado (PCM, 2020).

2.3.Definición de términos básicos

- a. Gestión del riesgo de desastres:** Conjunto de acciones para prevenir, reducir y controlar de manera permanente los factores que incrementan el riesgo de desastres en la sociedad. Asimismo, busca preparar y responder adecuadamente ante situaciones de desastre. (CENEPRED, 2015).
- b. Sistema de alerta temprana:** Un conjunto de herramientas y capacidades requeridas para producir y distribuir una alerta de manera oportuna, advirtiendo

sobre la posible ocurrencia de un evento natural o provocado por el hombre que podría causar un desastre, con el objetivo de prevenir o disminuir sus efectos. (López, J. et al., 2017).

- c. **Evaluación de riesgos:** Consiste en una serie de acciones destinadas a identificar, evaluar y analizar los riesgos y el daño posible que pueden causar (INDECI, 2018).
- d. **Vulnerabilidad:** Describe qué tan susceptible es una región a acontecimientos naturales desfavorables. Teniendo en cuenta características físicas, sociales, económicas, demográficas y organizacionales, se consideran tanto sus elementos socioeconómicos como biofísicos (CIIFEN, 2017).
- e. **Umbrales de inundación:** Para determinar el grado de peligro, los umbrales son valores numéricos que se derivan de datos históricos y cálculos matemáticos (PCM, 2020).
- f. **Plan de contingencia:** El plan se basa en un caso específico para un cierto tipo de riesgo. Debido a que comprende protocolos particulares para la coordinación, alerta, movilización y respuesta en caso de desastre, su aplicación es tanto crucial como esencial (INDECI, 2018).
- g. **Inundación:** Eventos que se producen cuando el volumen máximo de tránsito de un río es superado, las lluvias intensas o persistentes exceden la capacidad de campo del suelo y el cauce principal se desborda, inundando las áreas circundantes (CENEPRED, 2015).

CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación geográfica

El desarrollo de la investigación se llevó a cabo en el caserío Bella Unión, del distrito de Cajamarca, ubicado al margen izquierdo de la carretera de Cajamarca - Baños del Inca.

Departamento: Cajamarca

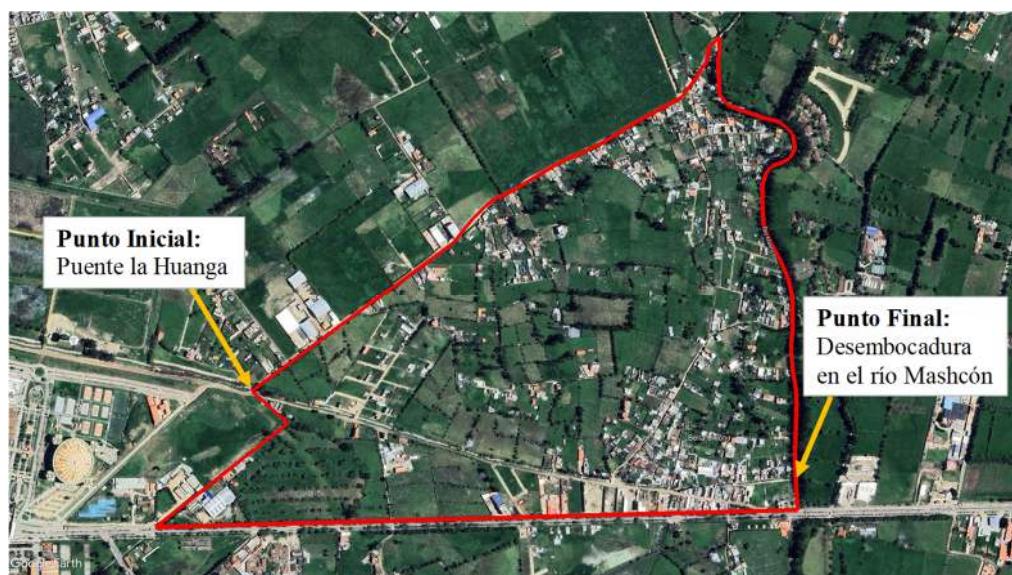
Provincia: Cajamarca

Distrito: Cajamarca

Localidad: Caserío Bella Unión

Figura 10

Ubicación Geográfica



3.2. Tiempo de realización de la investigación

El desarrollo de la investigación comenzó en noviembre del 2024, a partir del cual se empezó con un diagnóstico del estado de arte correspondiente al tema en

estudio, posteriormente, durante los meses de diciembre a febrero, se continuó con la obtención de datos topográficos y datos meteorológicos de fuentes confiables como el ALOS PALSAR y SENAMHI respectivamente, asimismo se hizo un estudio de campo en el Caserío Bella Unión mediante el uso de encuestas para la obtención de la información necesaria para la evaluación de riesgo, así como el levantamiento topográfico con uso de GPS diferencial para la elaboración del modelo digital de elevación. Finalmente, se continuó con la fase de gabinete, donde se procesaron los datos recopilados para culminar con el planteamiento del Sistema de Alerta Temprana frente a inundaciones.

3.3. Metodología de la investigación

3.3.1. Tipo de investigación

Esta investigación se clasifica como descriptivo-correlacional, ya que tiene como propósito describir las características de las variables relacionadas con la gestión de alertas tempranas ante inundaciones en la cuenca del río San Lucas.

3.3.2. Nivel de investigación

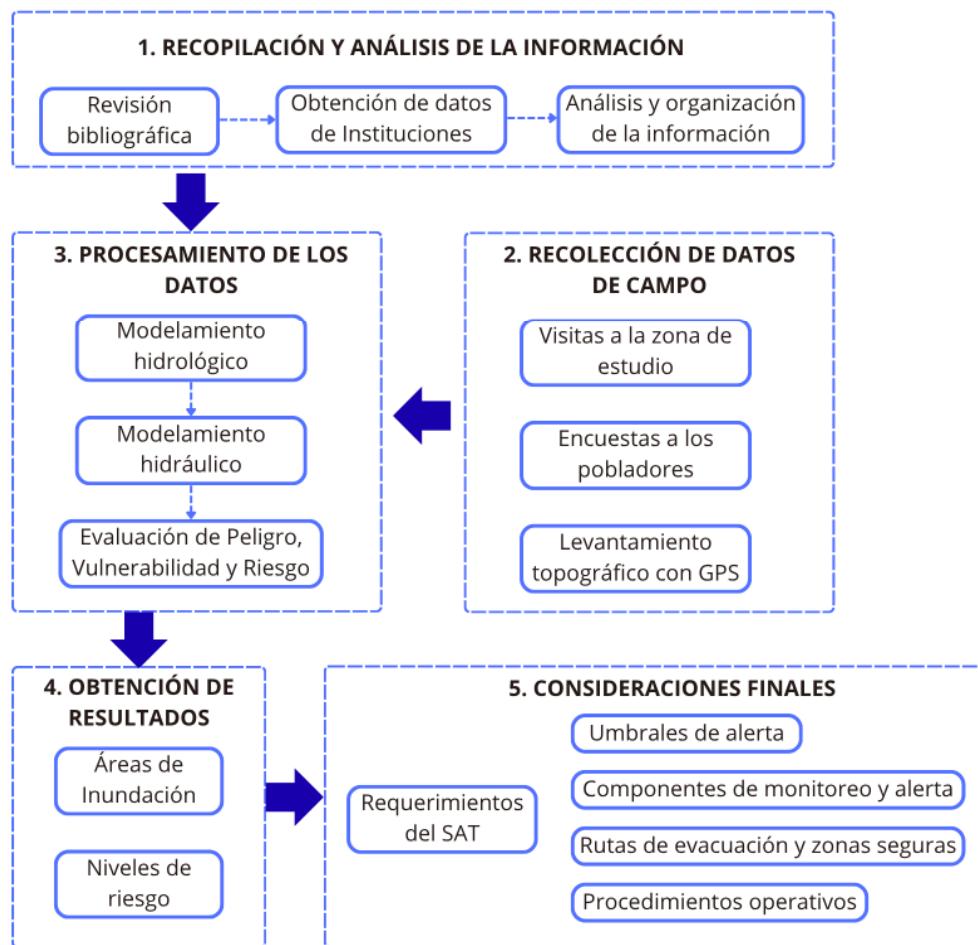
El nivel de investigación es descriptivo puesto que se enfoca en describir las características y condiciones de la cuenca del río San Lucas y la información meteorológica disponible, al mismo tiempo que propone soluciones específicas.

3.3.3. Diseño de investigación

El diseño de la investigación se enfoca como no experimental puesto que no se manipulan variables independientes de manera intencional, sino que se observan y analizan fenómenos tal como ocurren en su entorno natural.

Figura 11

Mapa conceptual del procedimiento de la investigación



3.3.4. Método de investigación

Se empleó el método descriptivo – correlacional y se enfocó en caracterizar las variables vinculadas al sistema de alerta temprana ante inundaciones en la cuenca del río San Lucas con el fin de comprender cómo se asocian los diferentes factores que intervienen en la gestión del riesgo.

3.3.5. Población de estudio

La población de esta investigación está compuesta por todas las cuencas fluviales y los sistemas de gestión de datos meteorológicos del río San Lucas.

3.3.6. Muestra

La muestra corresponde al tramo del río San Lucas comprendido entre el puente “La Huanga” hasta su desembocadura en el río Mashcón.

3.3.7. Unidad de análisis

El tramo del río San Lucas comprendido entre el puente La Huanga y su desembocadura en el río Mashcón, incluyendo las áreas de inundación y los elementos expuestos dentro de esta zona, sobre los cuales se evaluaron la peligrosidad, vulnerabilidad y nivel de riesgo, y se propuso la implementación de un Sistema de Alerta Temprana.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1. Técnicas

➤ Observación directa.

Observación directa y estructurada de las condiciones actuales de la cuenca del río San Lucas.

➤ Revisión documental

Se recopiló y analizó documentos y registros históricos sobre eventos de inundación, datos meteorológicos y estudios previos relacionados.

➤ Información de campo

Se realizó el levantamiento topográfico de la zona de estudio, asimismo, se realizaron encuestas a los pobladores como conocer el panorama de la comunidad respecto a los eventos de inundación.

3.4.2. Instrumentos

- Para la observación directa se utilizaron fichas de control estructuradas que permitieron registrar de manera sistemática y objetiva las características observadas.
- Para la revisión documental se utilizaron investigaciones previas, datos meteorológicos brindados por el SENAMHI, el DEM proveniente de ALOS PALSAR, mapas temáticos e información relacionada con la Gestión del Riesgo de Desastres en Cajamarca facilitada por la MPC y SEDACAJ.
- Para la información de campo se emplearon encuestas con el objetivo de analizar los factores que inciden en el riesgo frente a inundaciones y proponer el Sistema de Alerta Temprana.

Figura 12

Encuesta para la Evaluación de Riesgo

SECCIÓN 01: IDENTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN					
Universidad	Universidad Nacional de Cajamarca				
Tesis	“Sistema de Alerta Temprana frente a inundaciones causadas por el río San Lucas, Caserío Bella Unión, Cajamarca 2024”				
Departamento	Cajamarca	Evaluador	Bach. Carlos Enrique Morales Fernandez		
Provincia	Cajamarca	Asesor	Ingº M.Cs. Marco Antonio Silva Silva		
Distrito	Cajamarca	Fecha	Abril, 2025		
Sector en estudio	Viviendas a los márgenes del Rio San Lucas, Cacerío Bella Unión				
SECCIÓN 02: ANÁLISIS DE LA DIMENSIÓN SOCIAL					
1. Grupo Etario					
De 0 a 5 años y mayor a 65 años	De 5 a 12 años y de 60 a 65 años	De 12 a 15 años y de 50 a 60 años	De 15 a 30 años	De 30 a 50 años	
2. Número de habitantes por vivienda					
Menos de 3	De 3 a 4	De 5 a 6	De 7 a 10	Más de 10	
3. Acceso a los servicios de salud					
A menos de 30 minutos	Entre 30 minutos y 1 hora	A más de 1 hora	Sin acceso a los servicios de salud		
4. Acceso al servicio de agua					
Red Pública en la vivienda	Red pública fuera de la vivienda	Pilón de uso público	Camión cisterna o similar	Pozo, río, otro	
5. Tipo de alumbrado					
Electricidad	Lamparín, similar	Petroleo, gas	Velas u otros	No tiene	
6. Conocimiento sobre las causas y consecuencias de pasadas inundaciones					
Total desconocimiento	Escaso conocimiento	Conocimiento regular	Amplio conocimiento	Total conocimiento	
7. Capacitación en temas de gestión de riesgo de inundación					
No existe ninguna capacitación	Existe una escasa capacitación	Capacitación con regular frecuencia	Capacitación constante y mayoritaria	Capacitación constante y total	

SECCIÓN 02: ANÁLISIS DE LA DIMENSIÓN ECONÓMICA				
8. Material de construcción de la edificación				
Estera / Cartón	Madera	Quincha	Adobe o tapia	Ladrillo
9. Estado de conservación de la edificación				
Muy malo	Malo	Regular	Bueno	Muy bueno
10. Número de pisos de la edificación				
5 a más pisos	4 pisos	3 pisos	2 pisos	1 piso
11. Ingreso familiar promedio mensual				
Menor al sueldo mínimo	De 1130 a 1500 soles	De 1500 a 2260 soles	De 2260 a 3390 soles	Mayor a 3390 soles
12. Profesión del jefe del hogar				
Profesión superior, militar	Profesión técnica superior, comerciantes.	Pequeños comerciantes y productores	Obrero especializado, sector informal	Obrero no especializado, sector informal
SECCIÓN 03: ANÁLISIS DE LA DIMENSIÓN AMBIENTAL				
13. Conocimiento y cumplimiento de la normativa ambiental				
Existe total conocimiento de la normativa, respetandola y cumpliéndola	Existe conocimiento de la normativa y se cumple regularmente	Existe un conocimiento moderado, cumpliéndola parcialmente	Existe escaso conocimiento de la normativa, llevando al incumplimiento	Existe desconocimiento total de la normativa
14. Capacitación en temas de conservación ambiental				
Se tiene una capacitación total y constante	Se realiza una capacitación constante	Se realiza una capacitación regularmente	Se realiza una capacitación escasa	No presentan capacitación
15. Conocimiento ancestral para la explotación de sus recursos naturales				
Manejo total del conocimiento ancestral	Amplio manejo del conocimiento ancestral	Manejo parcial del conocimiento ancestral	Escaso manejo del conocimiento ancestral	No existe manejo del conocimiento ancestral

Asimismo, se empleó otra encuesta con el objetivo de evaluar las condiciones que influyen en la propuesta del Sistema de Alerta Temprana.

Figura 13

Encuesta para determinar la propuesta del Sistema de Alerta Temprana

ENCUESTA PARA PROPUESTA DEL SAT					
SECCIÓN 04: CONOCIMIENTO Y EXPERIENCIA EN INUNDACIONES					
16. ¿Ha experimentado alguna inundación en los últimos años?					
Sí	No				
17. ¿Cómo ha recibido la información sobre las inundaciones ocurridas?					
Por vecinos	Por la radio/ TV	Por autoridades locales	Experiencia directa		
19. ¿Con qué frecuencia considera que ocurren inundaciones peligrosas en la zona?					
Cada año	Cada 5 años	Cada 10 años o más	Nunca ha ocurrido		
SECCIÓN 05: PREFERENCIAS Y FORMAS DE ALERTA					
20. ¿Cuál cree que sería el método más efectivo para recibir una alerta de inundación? (Seleccione todas las que apliquen)					
Sirenas o bocinas en la comunidad	Mensajes de texto en el celular	Llamadas telefónicas	Redes sociales (WhatsApp, Facebook, etc.)	Avisos por radio local	
Otro (especificar)					
21. ¿Sabe cómo actuar ante una alerta de inundación?					
Sí	No				
22. ¿Estaría dispuesto a participar en simulacros de evacuación?					
Sí	No				

SECCIÓN 06: CAPACIDAD DE RESPUESTA											
23. ¿Conoce las rutas de evacuación en caso de inundación?											
Sí	No										
24. ¿Sabe dónde se encuentran las zonas seguras en caso de una emergencia?											
Sí	No										
25. ¿Cuenta su familia con un plan de evacuación en caso de una inundación?											
Sí	No										
26. ¿Qué elementos considera importantes en un plan de emergencia comunitario? (Seleccione todas las que apliquen)											
Puntos de reunión seguros	Transporte durante evacuación	Comunicación rápida con autoridades		Otros (Especificar)							
SECCIÓN 06: DISPONIBILIDAD PARA PARTICIPAR EN EL SAT											
27. ¿Le gustaría formar parte de una brigada comunitaria para ayudar en emergencias?											
Sí	No										
28. ¿Estaría dispuesto a recibir capacitación sobre cómo actuar ante inundaciones?											
Sí	No										

3.5. Tratamiento y análisis de datos

3.5.1. Datos Meteorológicos

Los datos empleados pertenecen a precipitaciones máximas mensuales de 24 horas, obtenidos de la Estación Meteorológica Augusto Weberbauer, ubicada en el distrito, provincia y región de Cajamarca, con coordenadas UTM WGS 84 Zona 17S: Este 777955.8 m y Norte 9207064.7 m, a una altitud de 2673 m.s.n.m. Esta información fue proporcionada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), correspondiente al periodo histórico de 1973 hasta 2024.

Tabla 21

Precipitaciones máximas mensuales de 24 horas de la estación Augusto Weberbauer

AÑO/MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1973	22.9	16.2	11.2	15.0	10.7	5.4	3.3	5.2	20.0	9.8	11.7	12.9
1974	12.4	16.8	14.2	18.2	3.7	6.4	2.6	9.7	8.5	20.0	10.3	17.0
1975	20.4	20.8	37.7	30.1	9.9	3.5	3.9	5.6	10.9	14.6	18.4	0.3
1976	36.5	22.5	16.0	15.2	19.7	11.4	0.1	2.8	3.9	8.8	24.0	12.8
1977	40.5	20.1	29.0	22.9	11.6	2.4	7.1	0.1	6.6	10.6	12.0	11.3
1978	4.6	11.9	10.0	9.5	18.1	3.8	2.0	3.8	8.0	5.9	12.0	14.8
1979	20.6	10.5	28.0	5.8	5.2	1.8	3.9	7.3	9.4	10.0	7.5	17.2
1980	9.8	7.8	13.3	8.1	3.0	10.7	2.1	2.3	2.2	28.8	16.7	19.2
1981	21.4	23.1	39.3	12.2	4.9	2.3	2.6	4.8	8.0	15.2	11.9	29.5
1982	29.9	25.1	S/D	28.2	13.2	3.6	1.1	6.4	7.6	18.5	20.7	30.5
1983	19.4	28.0	28.1	16.8	8.2	4.7	6.5	1.2	8.9	18.9	6.8	29.8
1984	6.8	25.1	23.3	13.3	21.2	9.5	10.8	13.9	16.5	16.3	27.6	23.5
1985	7.7	7.0	11.2	11.9	19.8	0.4	3.4	5.9	13.3	16.2	5.4	8.3
1986	17.0	12.0	27.4	16.7	4.5	0.5	1.0	5.1	1.1	11.6	11.0	8.0
1987	12.5	14.9	9.6	17.2	2.8	2.6	4.0	10.1	9.8	12.8	24.3	18.2
1988	15.8	18.2	11.0	16.0	2.4	3.3	0.0	0.4	5.4	10.5	11.2	11.9

AÑO/MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1989	14.7	30.0	13.5	16.6	15.5	4.8	1.4	2.8	11.5	20.0	16.3	1.1
1990	18.0	24.7	11.7	6.5	9.5	7.1	0.8	6.2	13.2	14.6	20.5	25.4
1991	10.4	29.7	20.5	19.4	7.1	0.3	0.4	0.3	3.7	9.7	9.3	18.7
1992	10.8	9.7	12.0	11.9	6.7	12.8	2.3	3.8	10.5	17.7	7.9	6.7
1993	9.2	12.5	20.6	12.8	8.0	1.5	3.3	1.9	22.5	17.0	20.2	13.9
1994	14.2	18.7	24.5	22.7	4.9	1.4	0.0	0.2	3.1	8.7	21.3	28.5
1995	8.3	19.3	16.4	20.6	3.9	1.3	7.8	6.1	3.0	16.1	19.5	16.0
1996	11.3	25.6	16.6	15.7	3.4	0.4	0.4	6.4	3.7	13.0	35.1	10.5
1997	16.3	16.3	7.1	8.3	7.5	6.6	0.2	0.0	7.6	10.2	27.6	23.8
1998	12.5	16.5	31.7	22.3	6.3	4.1	1.3	3.5	4.6	17.7	14.6	9.8
1999	15.9	38.8	13.5	10.4	13.9	6.4	11.6	0.5	21.8	14.3	18.6	13.1
2000	17.3	36.1	18.6	19.7	14.4	5.3	1.8	5.0	10.9	3.3	17.9	20.4
2001	27.6	17.7	28.2	14.3	14.7	1.0	6.9	0.0	5.7	14.7	20.3	15.9
2002	8.2	10.8	15.7	18.2	12.7	5.4	4.7	3.4	7.7	22.3	16.8	10.6
2003	18.7	18.4	20.1	8.8	6.7	7.0	1.6	6.1	8.9	19.2	17.1	20.8
2004	11.9	21.5	10.5	12.4	6.5	0.9	6.0	10.2	4.0	9.5	28.1	22.7
2005	20.2	10.0	19.7	10.8	3.6	3.5	0.3	3.5	14.3	9.3	11.6	15.3
2006	15.2	13.5	18.8	17.0	2.2	6.2	1.6	5.4	10.2	4.0	20.6	12.3
2007	15.6	6.8	25.4	21.0	5.2	1.4	3.0	4.0	10.2	19.0	15.7	16.7
2008	20.2	17.1	23.6	27.0	7.4	6.0	1.3	4.8	11.6	10.8	19.7	S/D
2009	21.9	16.4	20.5	17.8	18.2	9.1	5.3	0.9	5.2	18.1	22.2	12.6
2010	14.6	36.4	34.0	21.6	12.6	2.8	2.2	1.3	10.5	16.8	12.8	21.9
2011	14.9	16.4	25.5	22.4	9.7	0.4	5.1	0.0	12.7	9.3	5.2	27.7
2012	18.0	27.9	26.7	11.3	10.8	0.3	0.0	1.9	12.8	24.2	27.3	17.6
2013	11.7	13.1	35.3	15.9	10.2	4.5	2.5	5.7	1.9	19.4	6.1	9.6
2014	13.7	15.3	22.1	24.4	6.8	2.4	2.0	1.7	5.8	13.5	11.1	20.2
2015	23.3	14.0	25.4	11.9	19.5	2.3	3.2	0.1	25.2	4.6	20.5	10.7
2016	13.1	16.7	32.4	12.6	2.6	0.7	1.4	1.1	17.9	17.3	4.5	11.9
2017	12.9	11.6	14.3	14.1	9.6	6.3	2.3	8.2	10.4	21.7	18.2	51.8
2018	16.9	33.5	18.3	12.1	8.7	5.0	0.4	0.0	11.2	13.7	14.0	16.2
2019	14.6	14.8	25.5	12.9	8.5	4.9	4.4	0.0	3.0	19.0	15.7	20.2
2020	11.4	6.5	S/D	S/D	S/D	S/D	10.9	0.4	5.1	14.6	17.2	14.4
2021	15.5	32.6	29.1	31.5	9.8	2.7	1.6	4.7	5.7	20.6	17.2	11.9
2022	12.0	27.4	40.4	22.3	20.7	3.6	4.4	9.2	7.8	9.6	5.9	15.5
2023	19.3	21.2	26.2	9.6	10.0	0.0	1.9	3.0	1.0	22.4	21.2	28.2
2024	11.2	32.7	19.5	17.4	21.6	6.4	2.8	0.6	19.9	20.5	16.4	25.6

Nota. Datos de *Precipitaciones Máximas Mensuales de 24 horas* obtenidos mediante solicitud directa al SENAMHI, enviados por correo electrónico en archivo Excel (comunicación personal, 2025).

Los datos recopilados fueron empleados como punto de partida para el ajuste estadístico de las precipitaciones extremas, de esta forma, se estimaron precipitaciones de diseño para distintos períodos de retorno. Posteriormente, mediante el método del bloque alterno, se construyeron los hietogramas de diseño, que fueron utilizados para el modelamiento hidrológico en HEC-HMS.

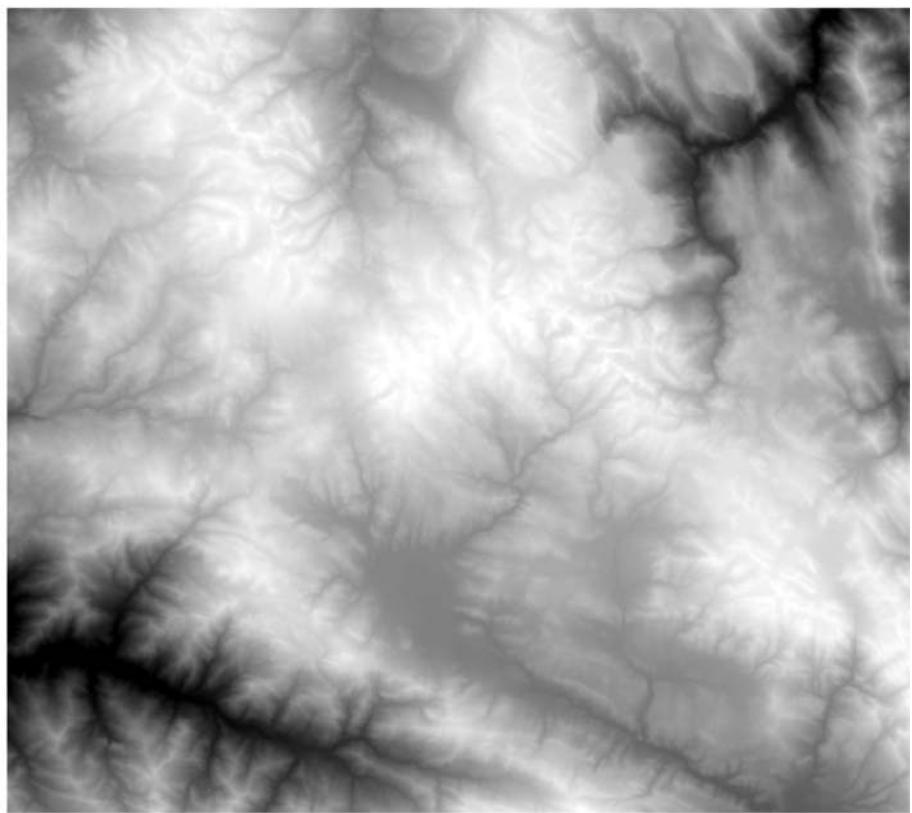
3.5.2. Datos Cartográficos

Se empleó el Modelo Digital de Elevación (DEM) proveniente de ALOS PALSAR, el que posee una resolución espacial de 12,5 m x 12,5 m. Mediante esta alta resolución se logró una delimitación más precisa de la cuenca del río San Lucas y un mejor modelamiento hidrológico.

Dicha elección se basó en el hecho de que las cartas nacionales disponibles, para la zona de interés, no contaban con una adecuada resolución para los objetivos del presente estudio.

Figura 14

Modelo Digital de Elevación de ALOS PALSAR



Nota. Adaptado del Modelo Digital de Elevación ALOS PALSAR RTC con resolución de 12,5 m, descargado del Alaska Satellite Facility (ASF), 2024. Todos los derechos reservados por JAXA.

3.5.3. Datos Topográficos

El levantamiento topográfico se llevó a cabo mediante el uso de GPS Diferencial, con lo cual se logró obtener gran precisión referente a la topografía del terreno. A partir de estos datos se generó el Modelo Digital de Elevación que fue empleado en el Modelamiento Hidráulico. Los equipos utilizados para el mismo fueron los siguientes:

- 01 trípode de aluminio para Estación.
- 01 base TDL 450 Trimble.
- 01 GPS Diferencial.
- Wincha de 5 metros.
- Libreta de campo.
- Cámara fotográfica digital

3.5.4. Mapas Temáticos

Se emplearon múltiples mapas temáticos para caracterizar el área de estudio y realizar la evaluación de riesgo. Estos fueron obtenidos de la mapoteca de la Zonificación Ecológica Económica (ZEE) de Cajamarca. Entre los principales mapas destacan el mapa geológico y el mapa de uso de suelos, asimismo, se empleó el plano de catastro rural obtenido del Sistema de Información Catastral para Predios Rurales (SICAR).

3.5.5. Información sobre Gestión del Riesgo de Desastres en Cajamarca

En base a los documentos brindados por la Municipalidad Provincial de Cajamarca y SEDACAJ se analizó el estado de arte de la Gestión del Riesgo de Desastres en Cajamarca con el propósito de que la integración SAT propuesto sea compatible con los planes y protocolos seguidos por las instituciones públicas.

3.6. Procedimiento

3.6.1. Delimitación de la cuenca

Para la delimitación de la cuenca se hizo uso del modelo digital de elevación (DEM) proveniente de ALOS PALSAR, el cual presenta una alta resolución en la zona de estudio. En primer lugar, mediante el uso del Software Arc Gis se aisló la zona de interés dentro del modelo digital de elevación.

Figura 15

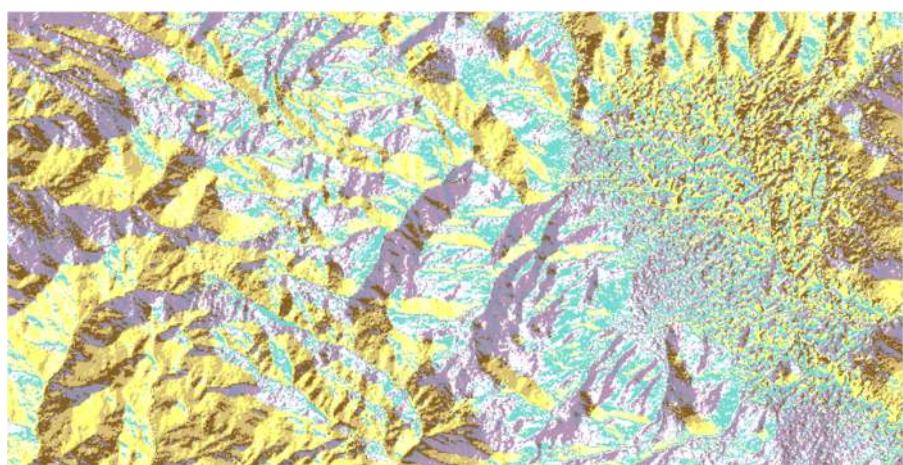
Modelo digital de elevación de la zona de interés



A continuación, se empleó la herramienta Flow Direction, en Arc Gis, para obtener la dirección del flujo a partir de modelo digital de elevación.

Figura 16

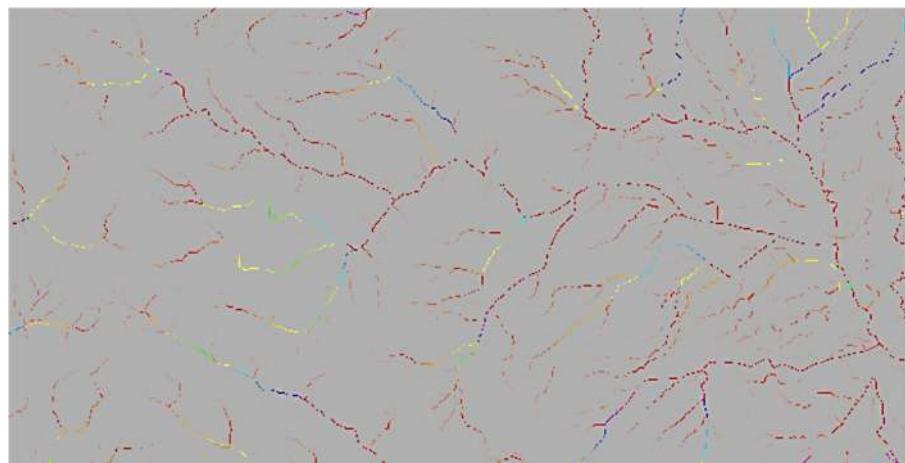
Dirección del flujo de la zona de interés



Una vez identificada la dirección del flujo se procedió a determinar la acumulación mediante el uso de la herramienta Flow Accumulation.

Figura 17

Acumulación de flujo de la zona de interés



A continuación, se procedió a colocar el punto emisor de la cuenca, es cual se encuentra ubicado en las coordenadas 778502.48E y 9207317.04N, a una altitud de 2660 m.s.n.m., y finalmente, se empleó la herramienta Watershed para delimitar la cuenca del río San Lucas.

Figura 18

Cuenca del río San Lucas

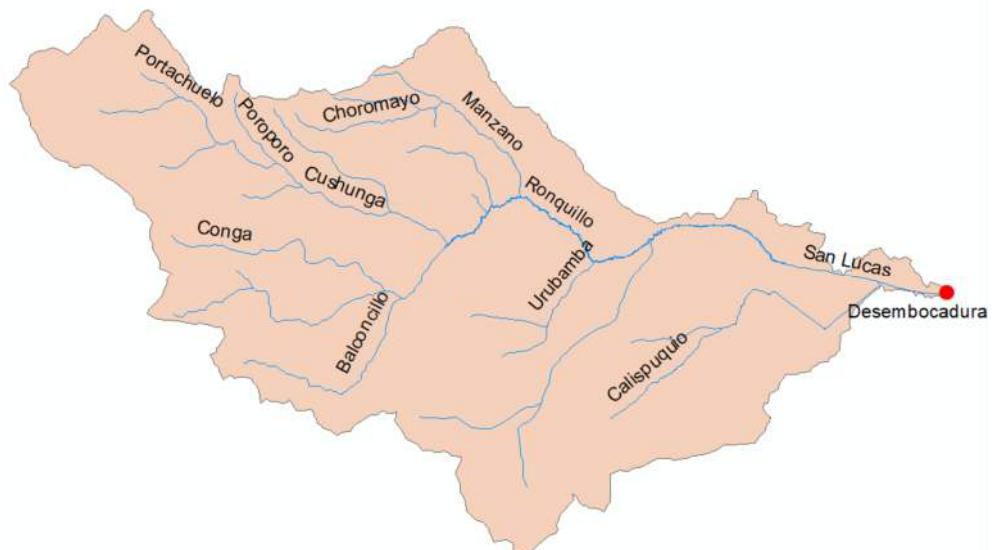
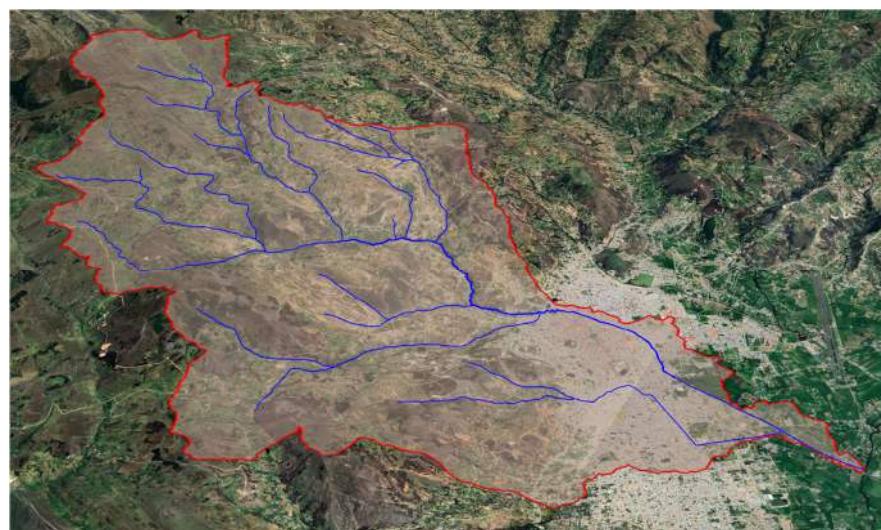


Figura 19

Relieve de la cuenca del río San Lucas

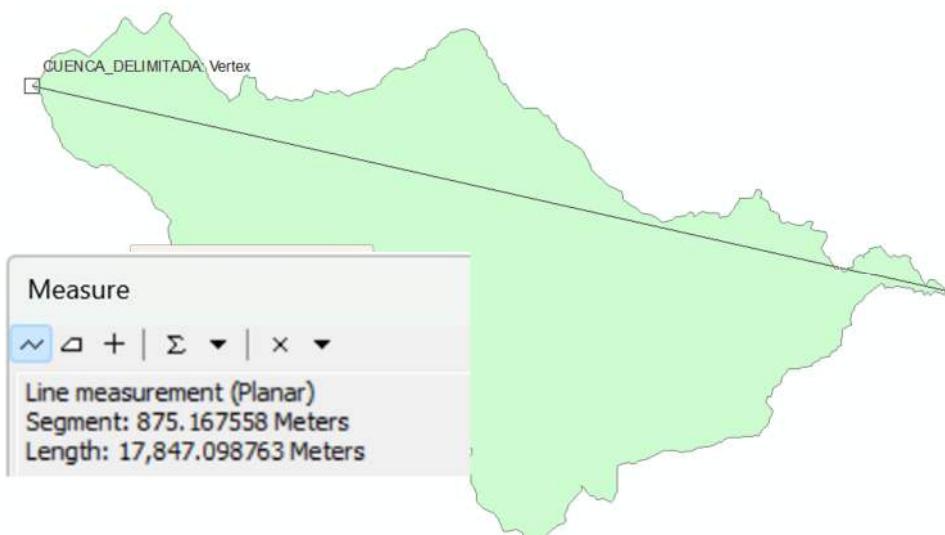


3.6.2. Parámetros de forma de la cuenca

Una vez delimitada la cuenca, se procedió a calcular los parámetros de forma de la misma. En primer lugar, se determinó su área y su perímetro, para lo cual, se empleó la tabla de atributos en Arc Gis. Asimismo, se utilizó la herramienta Measure para poder calcular la longitud de la cuenca del río San Lucas.

Figura 20

Longitud de la cuenca del río San Lucas



Una vez determinados estos parámetros, y en base a las fórmulas descritas anteriormente, se procedió a utilizar Excel para calcular los valores correspondientes al ancho de la cuenca, factor de forma de Horton, coeficiente de compacidad, razón de elongación, relación de circularidad y de los lados del rectángulo equivalente.

Finalmente, para el rectángulo equivalente, se hizo uso de la herramienta Reclassify en Arc Gis para determinar las áreas correspondientes a los intervalos de curvas cada 200 metros. Los cuales fueron tabulados y posteriormente graficados.

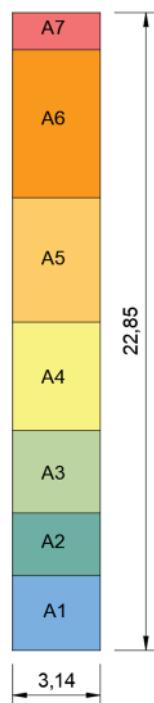
Tabla 22

Áreas del rectángulo equivalente

Nº	Cota (msnm)		Áreas Parciales (Km ²)	Lado (Km)
	Mínima	Máxima		
A1	2669	2800	8.41	2.68
A2	2800	3000	7.05	2.24
A3	3000	3200	9.28	2.95
A4	3200	3400	12.21	3.89
A5	3400	3600	14.00	4.46
A6	3600	3800	16.65	5.30
A7	3800	3986	4.18	1.33

Figura 21

Rectángulo equivalente de la cuenca

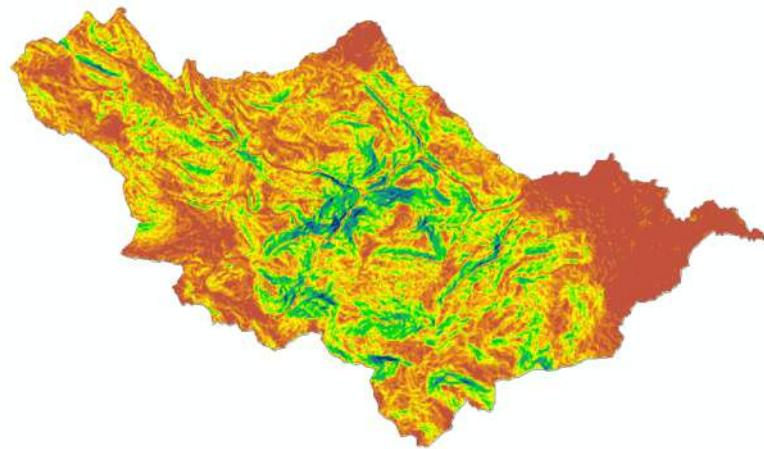


3.6.3. Parámetros de relieve de la cuenca

El cálculo de la pendiente se realizó mediante el software Arc Gis, para ello se generó un archivo raster de las pendientes de la cuenca, que mediante la tabla de atributos se obtuvo la pendiente media.

Figura 22

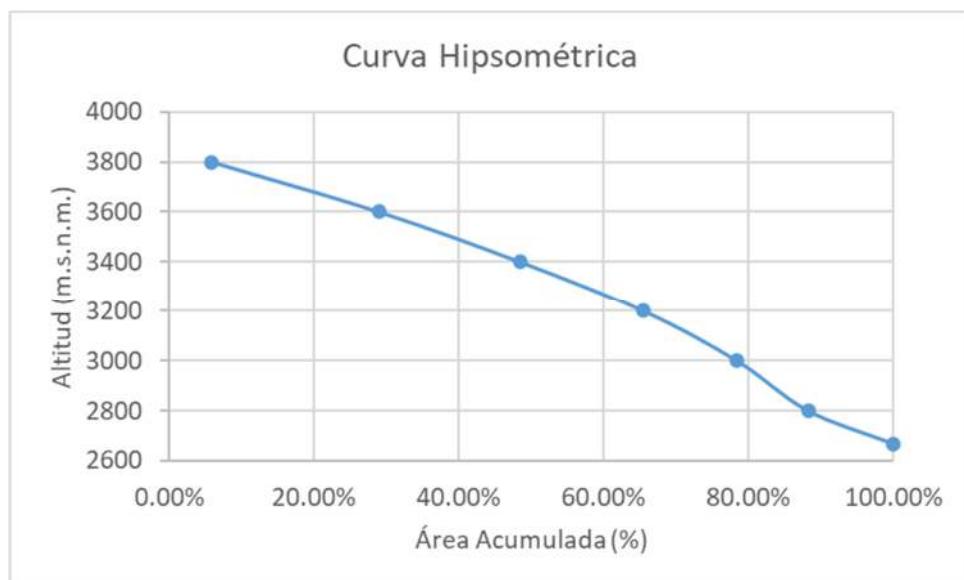
Pendientes de la cuenca del río San Lucas



Para graficar la curva hipsométrica se partió de las áreas sobre las curvas de nivel, las cuales fueron previamente obtenidas.

Figura 23

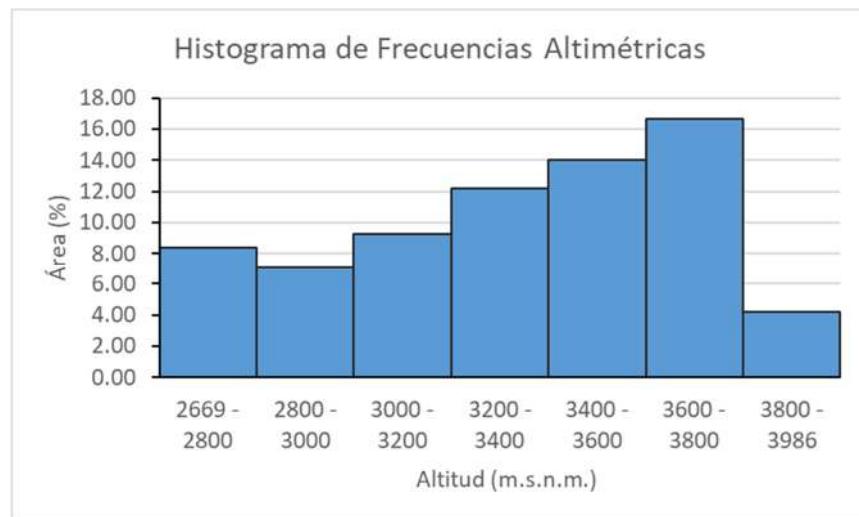
Curva hipsométrica de la cuenca del río San Lucas



En base a la curva hipsométrica se determinó el valor de la altura media, para finalmente, graficar el histograma de frecuencias altimétricas.

Figura 24

Histograma de frecuencias altimétricas de la cuenca del río San Lucas

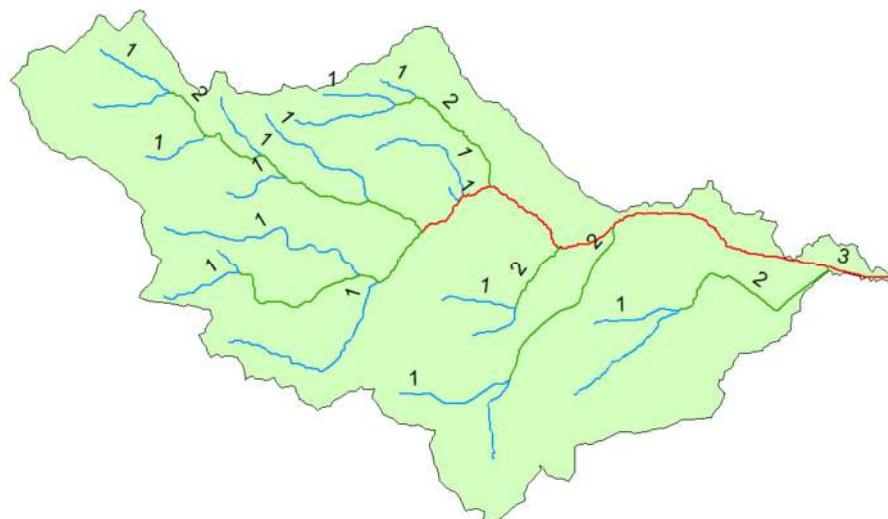


3.6.4. Parámetros de la red de drenaje

En primer lugar, se identificó el número de orden de la cuenca mediante el Método de Horton. La densidad de drenaje y la relación de bifurcación se calcularon en base a las fórmulas 9 y 10 respectivamente.

Figura 25

Número de orden de la cuenca del río San Lucas



3.6.5. Modelamiento Hidrológico

Como primer punto, se seleccionaron los Periodos de Retorno en base a la vida útil del Sistema de Alerta Temprana (SAT) y el riesgo de falla admisible. Considerando una vida útil de 20 años para el Sistema de Alerta Temprana, los periodos de retorno y los riesgos de falla son los siguientes:

Figura 26

Selección de los Periodos de Retorno

VIDA ÚTIL DEL SAT	PERÍODO DE RETORNO	RIESGO DE FALLA
20 años	20 años	64%
20 años	50 años	33%
20 años	100 años	18%
20 años	200 años	10%

Para el diseño del SAT se adoptó una vida útil de 20 años, considerando un periodo de retorno de 200 años y un riesgo de falla admisible del 10 %.

Utilizando los datos del SENAMHI se determinaron las precipitaciones máximas anuales y se analizó la presencia de datos dudosos, obteniéndose un coeficiente de asimetría de 0.05; los umbrales alto y bajo fueron 54.86 mm y 13.89 mm, respectivamente, sin identificarse valores fuera de rango.

Figura 27

Ánalisis gráfico para la prueba de datos dudosos

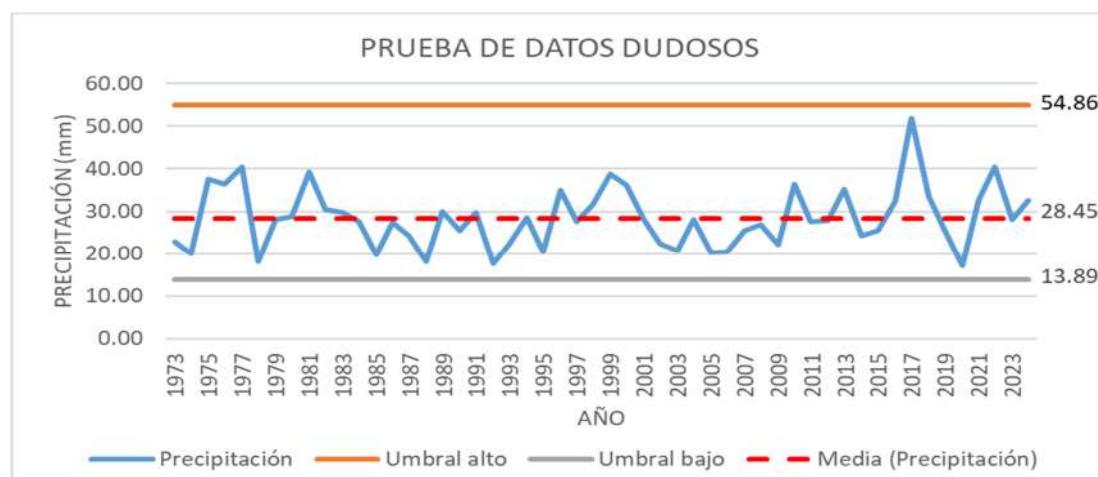


Tabla 23*Precipitaciones máximas anuales - Estación Augusto Weberbauer*

Año	Pmáx24 (mm)
1973	22.90
1974	20.00
1975	37.70
1976	36.50
1977	40.50
1978	18.10
1979	28.00
1980	28.80
1981	39.30
1982	30.50
1983	29.80
1984	27.60
1985	19.80
1986	27.40
1987	24.30
1988	18.20
1989	30.00
1990	25.40
1991	29.70
1992	17.70
1993	22.50
1994	28.50
1995	20.60
1996	35.10
1997	27.60
1998	31.70
1999	38.80
2000	36.10
2001	28.20
2002	22.30
2003	20.80
2004	28.10
2005	20.20
2006	20.60
2007	25.40
2008	27.00
2009	22.20
2010	36.40
2011	27.70
2012	27.90
2013	35.30
2014	24.40
2015	25.40
2016	32.40
2017	51.80
2018	33.50
2019	25.50
2020	17.20
2021	32.60
2022	40.40
2023	28.20
2024	32.70

Con las precipitaciones máximas anuales ya determinadas, se continuó con el cálculo de los parámetros estadísticos de las mismas y finalmente se realizó en análisis de frecuencias, mediante el uso del software HidroEsta 2.

Figura 28

Parámetros estadísticos de las precipitaciones

Parámetros	Muestrales	Poblacionales	Momentos Lineales
Media:	28.4481	28.4481	28.4481
Varianza:	50.7457	49.7698	15.9141
Desviación Estándar:	7.1236	7.0548	3.9893
Coeficiente Variación:	0.2504	0.2480	0.1402
Coeficiente de Sesgo:	0.7144	0.6936	0.1071
Coeficiente de Curtosis:	3.9769	3.6740	0.1259

A continuación, se aplicó la prueba de bondad de ajuste Kolmogorov – Smirnov, con el fin de identificar la distribución teórica que asemeja mejor a los datos. Los resultados concluyeron que la mejor opción era la Distribución Gamma de 2 parámetros, al presentar el Δ teórico más pequeño y siendo, además, este menor al Δ tabular.

Tabla 24

Prueba de bondad de ajuste Kolmogorov - Smirnov

PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE SMIRNOV KOLGOMOROV										
Delta	Delta Teórico de las Distribuciones									
	Normal	Log Nornal de 2 parámetros	Log Nornal de 3 parámetros	Gamma de 2 parámetros	Gamma de 3 parámetros	Log Person Tipo III	Gumbel	Log Gumbel		
Tabular	0.1886	0.0841	0.0726	0.0947	0.0614	0.073	-	0.0925	0.1425	0.0614

Una vez determinada la distribución teórica, se realizó el cálculo de las precipitaciones máximas anuales considerando diferentes períodos de retorno. Los valores resultantes fueron sometidos a un ajuste, debido a que, por el número de observaciones realizadas en los datos de precipitación, estos son propensos a ser menores a los reales.

Tabla 25

Precipitaciones máximas anuales corregidas considerando diferentes períodos de retorno

T (Años)	Precipitación (mm)
2	31.5157
5	38.4765
20	46.0023
50	50.1720
70	51.6071
100	53.0761
200	55.8107
500	59.2233
750	60.6584

Como siguiente punto, se utilizó la fórmula (25) para calcular las precipitaciones máximas para diferentes períodos de tiempo, considerando desde los 5 minutos hasta los 1440 minutos (24 horas).

Tabla 26

Precipitaciones para diferentes períodos de tiempo

DURACIÓN (MINUTOS)	PERÍODO DE RETORNO (AÑOS)								
	2	5	20	50	70	100	200	500	750
5	7.65	9.34	11.17	12.18	12.53	12.88	13.55	14.38	14.72
10	9.10	11.11	13.28	14.48	14.90	15.32	16.11	17.10	17.51
15	10.07	12.29	14.70	16.03	16.49	16.96	17.83	18.92	19.38
20	10.82	13.21	15.79	17.22	17.72	18.22	19.16	20.33	20.82
25	11.44	13.97	16.70	18.21	18.73	19.27	20.26	21.50	22.02
30	11.97	14.62	17.48	19.06	19.61	20.16	21.20	22.50	23.05
35	12.44	15.19	18.16	19.81	20.38	20.96	22.04	23.38	23.95
40	12.87	15.71	18.78	20.48	21.07	21.67	22.78	24.18	24.76
45	13.25	16.18	19.34	21.09	21.70	22.32	23.47	24.90	25.50
50	13.60	16.61	19.86	21.66	22.28	22.91	24.09	25.56	26.18
55	13.93	17.01	20.34	22.18	22.81	23.46	24.67	26.18	26.82
60	14.24	17.38	20.78	22.67	23.32	23.98	25.22	26.76	27.41
120	16.93	20.67	24.72	26.96	27.73	28.52	29.99	31.82	32.59
180	18.74	22.88	27.35	29.83	30.69	31.56	33.19	35.21	36.07
240	20.14	24.58	29.39	32.06	32.97	33.91	35.66	37.84	38.76
300	21.29	25.99	31.08	33.90	34.87	35.86	37.71	40.01	40.98
360	22.28	27.21	32.53	35.48	36.49	37.53	39.46	41.88	42.89
420	23.16	28.28	33.81	36.87	37.93	39.01	41.01	43.52	44.58
480	23.95	29.24	34.95	38.12	39.21	40.33	42.41	45.00	46.09

DURACIÓN (MINUTOS)	PERÍODO DE RETORNO (AÑOS)								
	2	5	20	50	70	100	200	500	750
	PRECIPITACIÓN (MM)								
540	24.66	30.11	36.00	39.26	40.38	41.53	43.67	46.34	47.47
600	25.32	30.91	36.96	40.31	41.46	42.64	44.84	47.58	48.73
660	25.93	31.66	37.85	41.28	42.46	43.67	45.92	48.73	49.91
720	26.50	32.35	38.68	42.19	43.40	44.63	46.93	49.80	51.01
780	27.04	33.01	39.47	43.04	44.27	45.53	47.88	50.81	52.04
840	27.54	33.63	40.20	43.85	45.10	46.39	48.77	51.76	53.01
900	28.02	34.21	40.90	44.61	45.89	47.19	49.62	52.66	53.93
960	28.48	34.77	41.57	45.34	46.63	47.96	50.43	53.51	54.81
1020	28.91	35.30	42.20	46.03	47.34	48.69	51.20	54.33	55.65
1080	29.33	35.81	42.81	46.69	48.03	49.39	51.94	55.11	56.45
1140	29.73	36.29	43.39	47.33	48.68	50.07	52.64	55.86	57.22
1200	30.11	36.76	43.95	47.94	49.31	50.71	53.32	56.58	57.96
1260	30.48	37.21	44.49	48.52	49.91	51.33	53.98	57.28	58.67
1320	30.84	37.65	45.01	49.09	50.50	51.93	54.61	57.95	59.35
1380	31.18	38.07	45.52	49.64	51.06	52.51	55.22	58.60	60.02
1440	31.52	38.48	46.00	50.17	51.61	53.08	55.81	59.22	60.66

En base a estos datos, y con ayuda del software HidroEsta2, se determinaron las intensidades máximas, su ecuación de ajuste y se graficó las curvas IDF.

Figura 29

Determinación de las intensidades máximas y su ecuación de ajuste

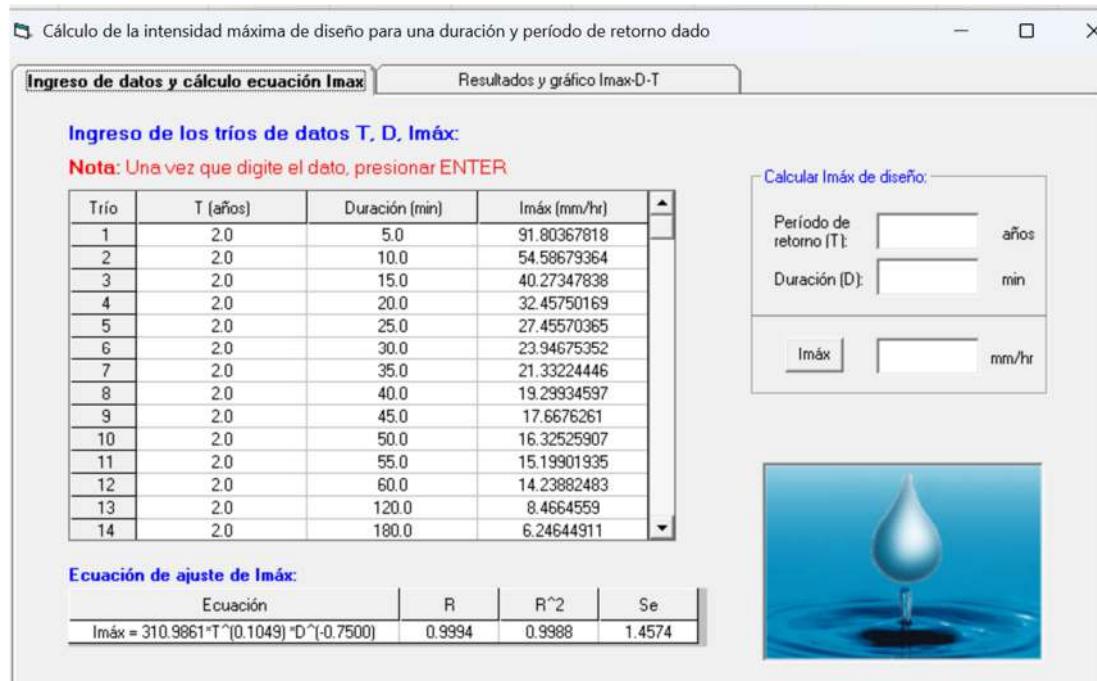
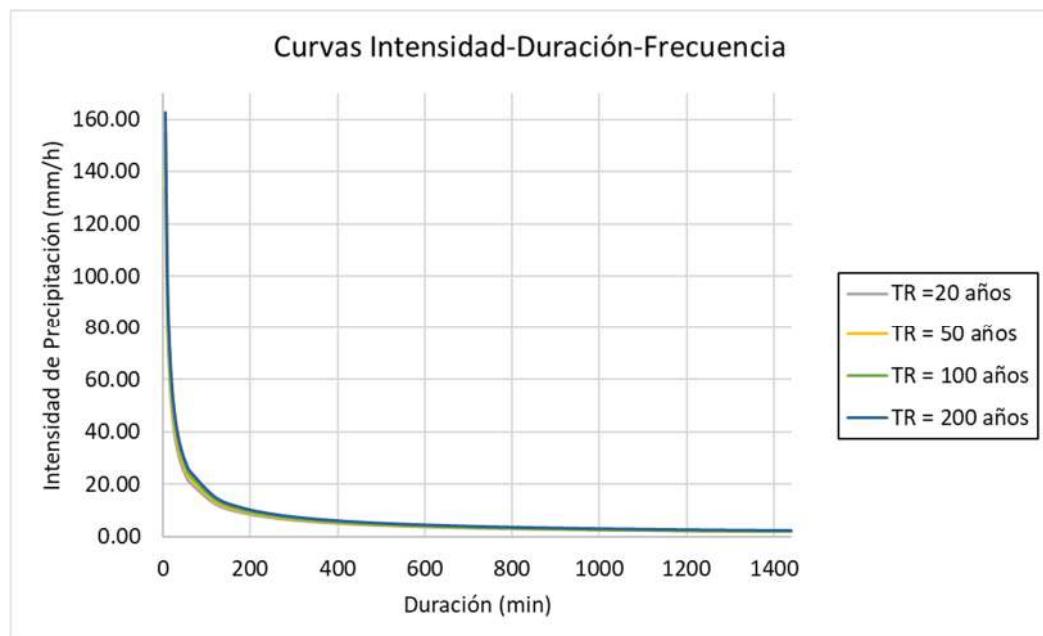


Figura 30

Curvas IDF de los períodos de retorno (TR) analizados



Mediante el Método del Bloque Alterno, se obtuvieron los hietogramas de diseño utilizando los resultados de las curvas IDF para calcular las precipitaciones acumuladas.

Figura 31

Hietograma de diseño – Período de Retorno = 20 años

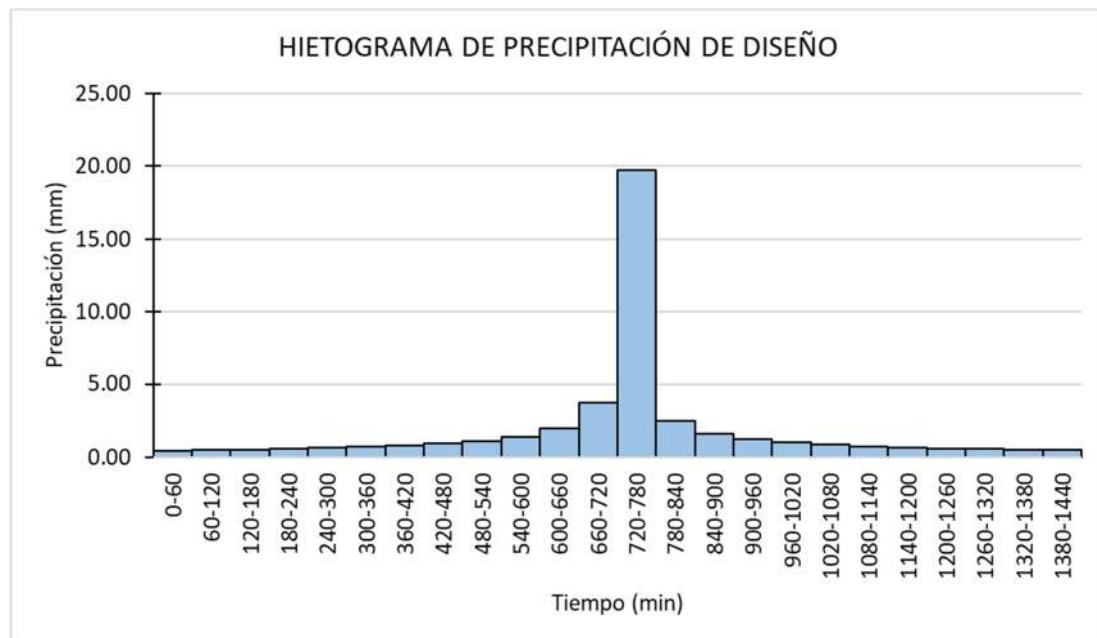


Figura 32

Histograma de diseño - Periodo de Retorno = 50 años

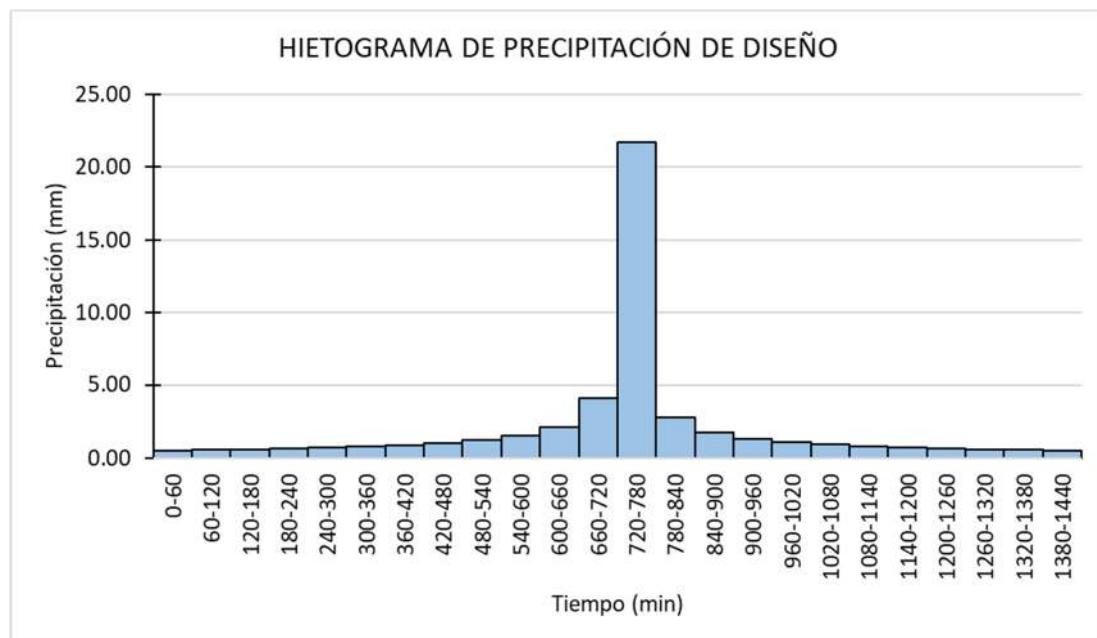


Figura 33

Histograma de diseño - Periodo de Retorno = 100 años

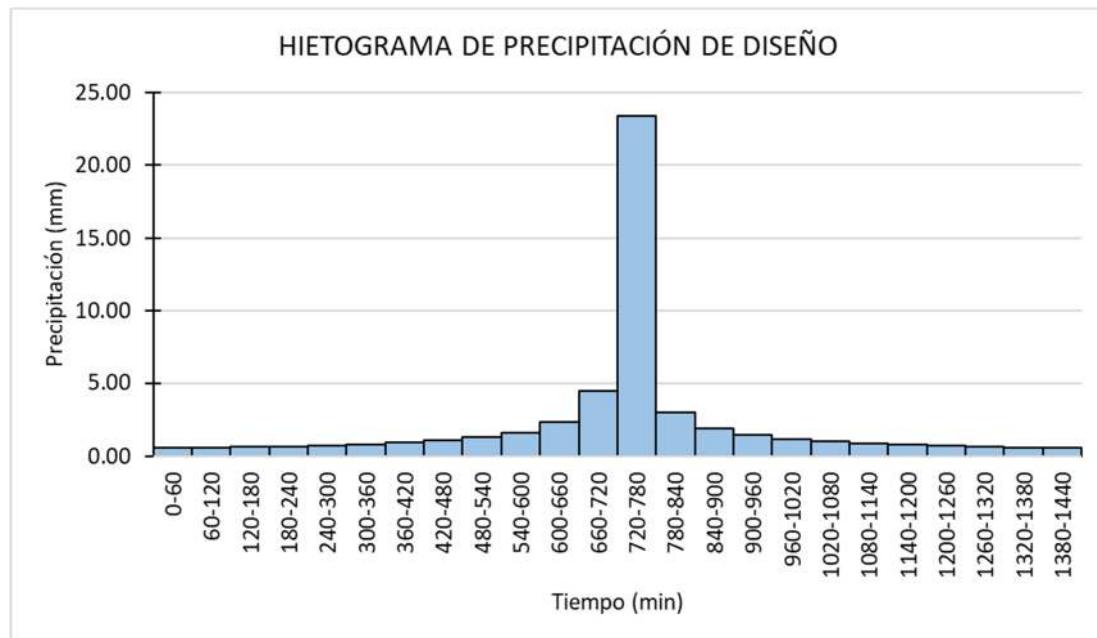
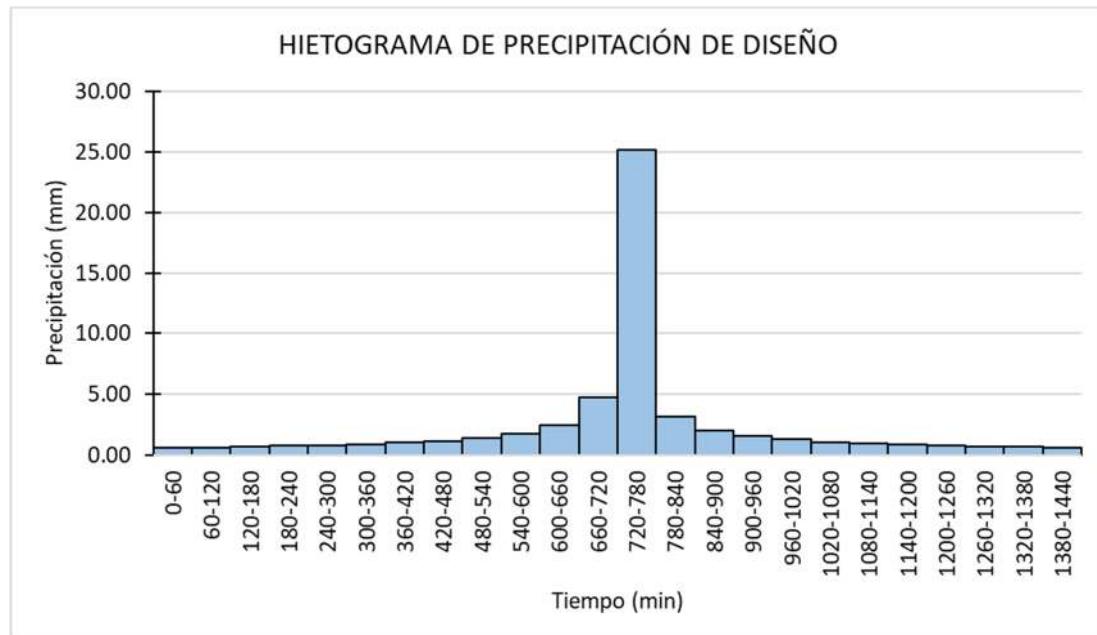


Figura 34

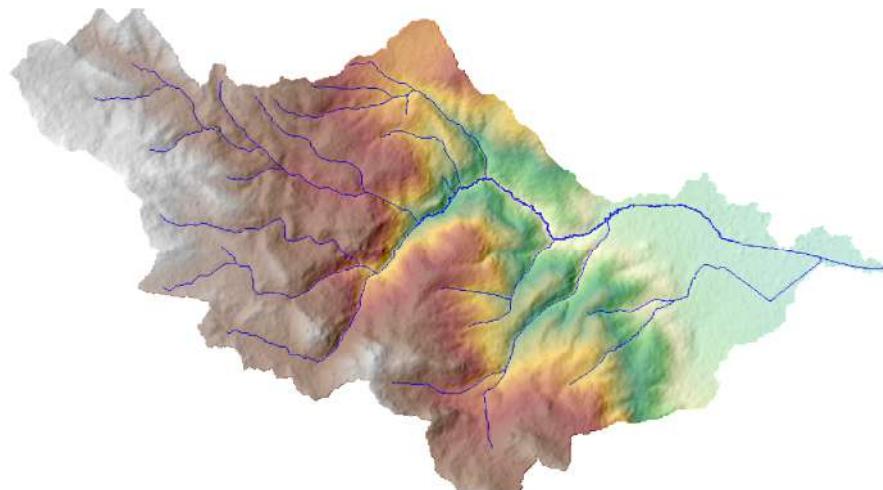
Histograma de diseño - Periodo de Retorno = 200 años



A continuación, se procedió con el modelamiento en HEC HMS, para lo cual se exportó el DEM de la cuenca, luego se identificaron los ríos y se estableció el punto de aforo.

Figura 35

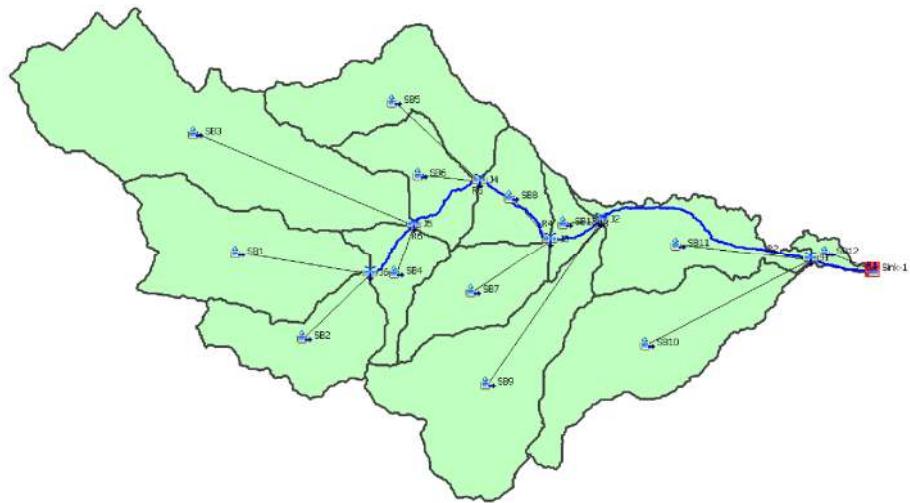
Ríos identificados mediante HEC HMS



Mediante Delineate Elements Options se generaron los elementos de la cuenca, otorgándoles a cada uno de ellos un prefijo que sirva para identificarlos.

Figura 36

Elementos de la cuenca del río San Lucas



Se estableció el método de pérdida como la Curva Número del SCS y el método de transformación el Hidrograma Unitario del SCS. La obtención de la Curva Número de cada subcuenca partió del Mapa Temático de la Autoridad Nacional del Agua, donde se aprecia estas se encuentran dentro de dos rangos, el primero entre 81 a 90 y el segundo de 74 a 81. Para identificar los valores exactos, se generaron los Mapas Temáticos de Cobertura Vegetal y Tipo de Suelo de la cuenca del río San Lucas.

Figura 37

Mapa de cobertura vegetal y uso del suelo de la cuenca del río San Lucas



Figura 38

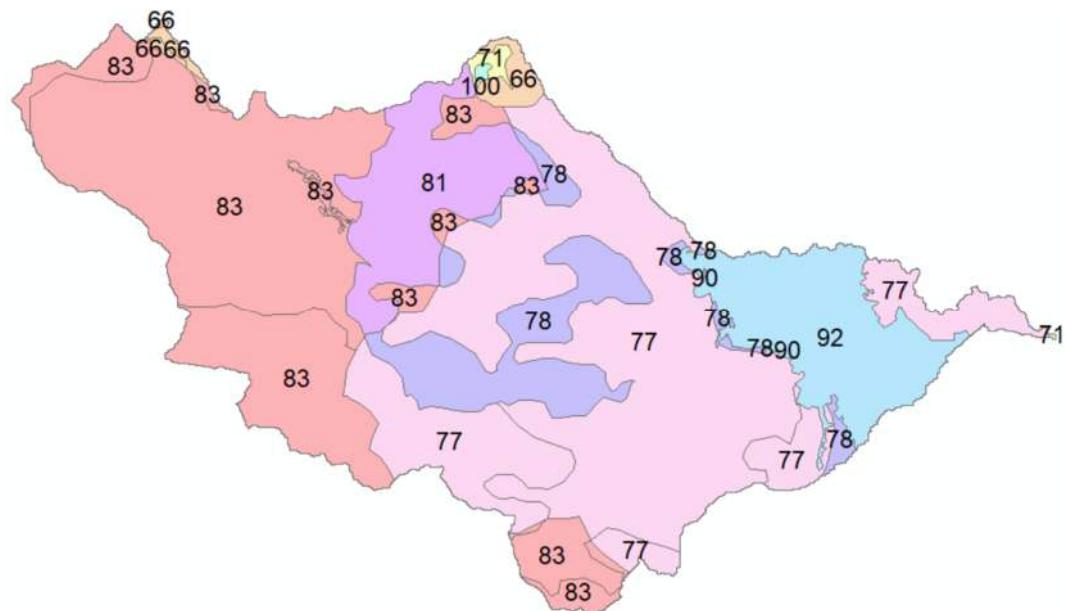
Mapa del tipo de suelo de la cuenca del río San Lucas



A partir de los mapas, se continuó con la reclasificación de la cobertura vegetal y la identificación del Grupo Hidrológico del tipo de suelo mediante las tablas proporcionada por la ANA, para finalmente interseccar los mapas.

Figura 39

Números de curva presentes en la cuenca del río San Lucas



Para obtener el valor de la Curva Número de cada subcuenca, se determinó el área en cada intersección, a cada uno de estos valores se los multiplicó por su Curva Número correspondiente y se los dividió entre el área total de cada subcuenca, obteniéndose los resultados mostrados en la Tabla 27. A continuación, estos valores fueron asignados en el programa HEC HMS en la pestaña Loss.

Tabla 27

Valores de la Curva Número para cada subcuenca

SUBCUENCA	SB1	SB2	SB3	SB4	SB5	SB6	SB7	SB8	SB9	SB10	SB11	SB12	SB13
CURVA NÚMERO	82	80	82	78	78	79	77	77	78	82	88	77	81

El siguiente paso consistió en asignar los valores del Lag Time a cada subcuenca, siendo este equivalente al 60% del tiempo de concentración. Para el cálculo del tiempo de concentración se emplearon cinco métodos, los cuales fueron considerados los más adecuados de acuerdo las características de la cuenca: Kirpich-Tennessee, Ven te Chow, Cuerpo de ingenieros USA, Pasini, Dooge.

Tabla 28

Tiempo de concentración de las subcuenca

SUBCUENCA	SB1	SB2	SB3	SB4	SB5	SB6	SB7	SB8	SB9	SB10	SB11	SB12	SB13
TIEMPO DE													
CONCENTRACIÓN	1.12	0.97	1.70	0.61	1.04	0.73	0.76	0.67	1.25	1.34	1.29	0.82	0.44
(HORAS)													
LAG TIME	40.38	35.02	61.18	21.98	37.31	26.42	27.19	24.07	44.96	48.37	46.31	29.63	15.80
(MINUTOS)													

A continuación, se estableció el Método de Muskingum para el Tránsito de Avenidas. Los valores de K se calcularon con la siguiente fórmula empírica:

$$K = 0.18 \left(\frac{L}{S^{0.25}} \right)^{0.76} \quad (32)$$

Donde: L = longitud del tramo del río (km)

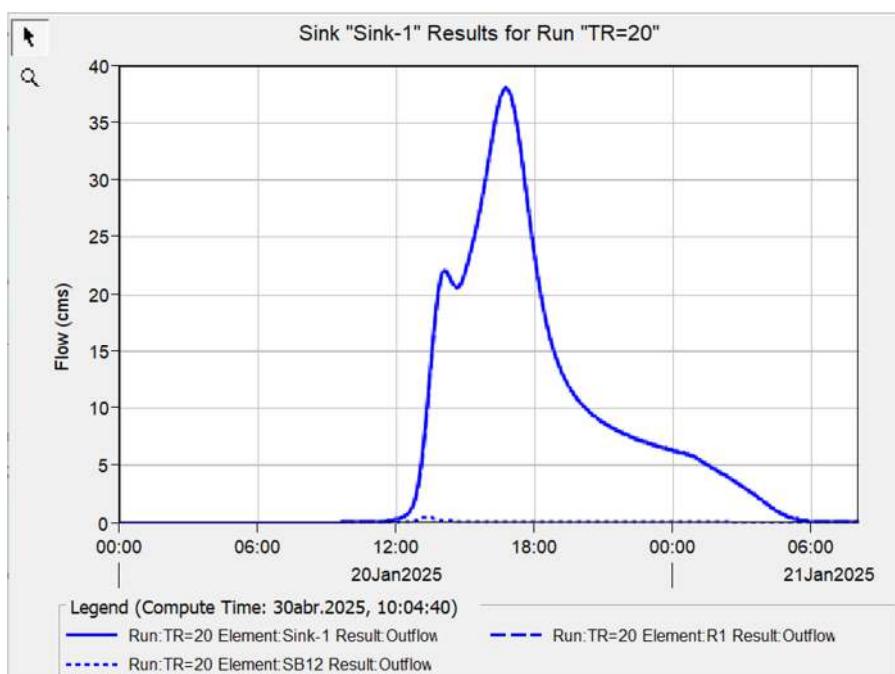
S = Pendiente del río (m/m)

Tabla 29*Valores de K para el Método de Muskingum*

TRAMO	LONGITUD (KM)	PENDIENTE	K (HORAS)
R1	1.28	0.01	0.51
R2	4.75	0.02	1.28
R3	1.20	0.05	0.37
R4	2.08	0.04	0.58
R5	1.81	0.08	0.46
R6	1.44	0.10	0.37

Por su parte, los valores de X se estiman que varían entre 0 y 0.5, por lo que se tomó el valor de 0.2 para los cálculos.

Posteriormente, se crearon los Time Series Data en base a los datos obtenidos en los histogramas de diseño para los períodos de retorno definidos. Seguidamente, se generaron los modelos meteorológicos y las especificaciones de control para cada simulación. Una vez definidos todos los parámetros del modelo, se procedió a realizar las corridas de las simulaciones para los períodos de retorno evaluados.

Figura 40*Resultados de la simulación para un Periodo de Retorno = 20 años*

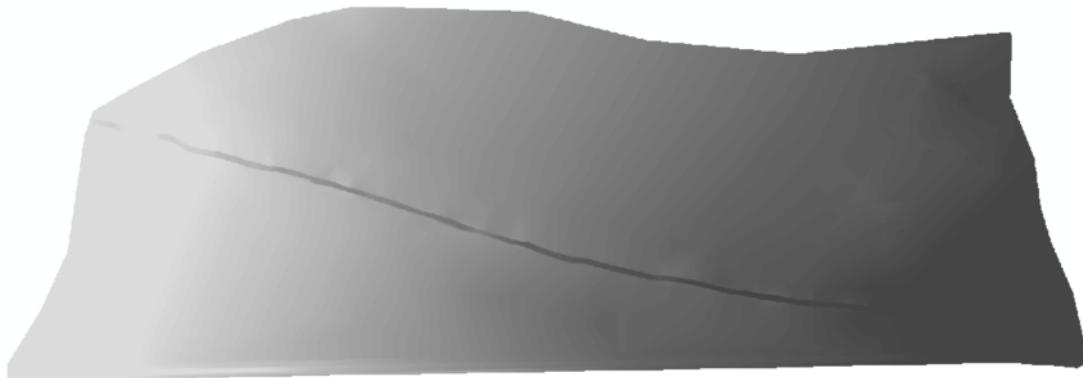
3.6.6. Modelamiento Hidráulico

3.6.6.1. Modelamiento Hidráulico en HEC-RAS

El modelamiento hidráulico en HEC-RAS partió del modelo digital de elevación de la zona de estudio, para lo cual, fue necesario realizar un Levantamiento Topográfico con GPS Diferencial en el Caserío Bella Unión considerando una extensión de 200 metros en cada margen del río San Lucas.

Figura 41

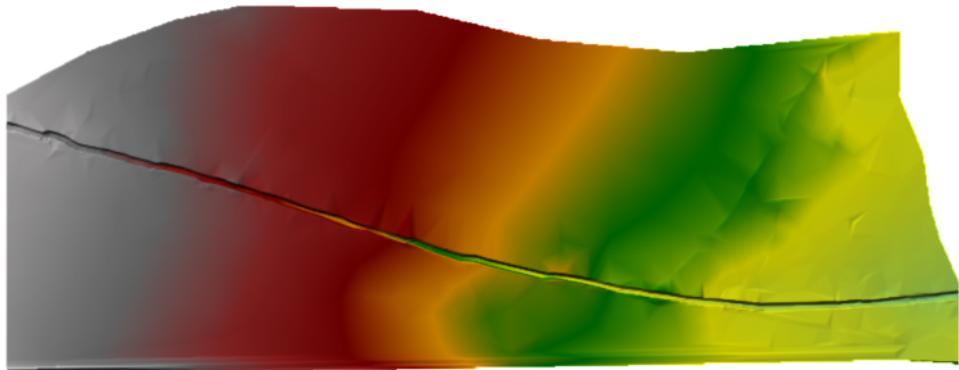
Modelo Digital de Elevación del Caserío Bella Unión



Mediante el uso de RAS MAPPER se importó el modelo digital de elevación a HEC-RAS a través de una capa de terreno, la cual se utilizó como base para establecer las características del modelamiento.

Figura 42

Capa de Terreno en HEC-RAS



Los valores de la rugosidad de Manning se calcularon mediante el método de Cowan tomando en cuenta las características del área. Estos valores fueron implementados en el modelo hidráulico mediante una capa vectorial (shapefile).

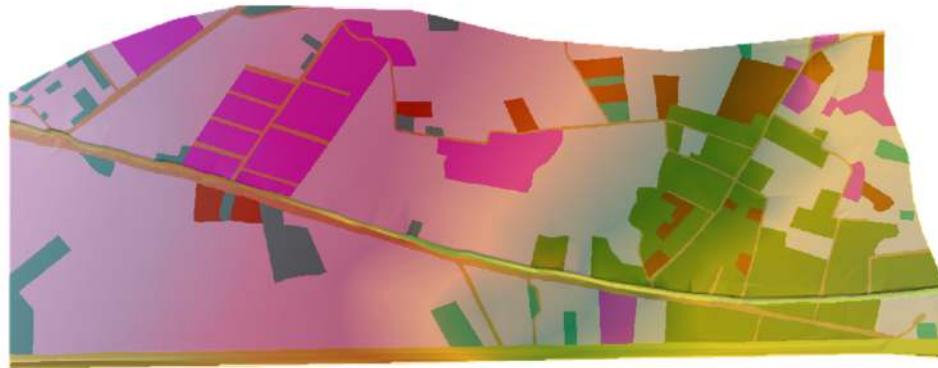
Tabla 30

Coeficientes de rugosidad de Manning calculados por el Método de Cowan

USO DEL SUELO	COEFICIENTES						N MANNING
	n₀	n₁	n₂	n₃	n₄	m₅	
Pastisal	0.020	0.001	0.000	0.004	0.010	1.000	0.035
Curso de Agua	0.024	0.007	0.001	0.005	0.003	1.000	0.040
Concreto	0.013	0.001	0.000	0.001	0.000	1.000	0.015
Afirmado	0.020	0.007	0.000	0.003	0.001	1.000	0.031
Cultivos	0.020	0.002	0.000	0.002	0.021	1.000	0.045
Zona Urbana	0.020	0.020	0.000	0.030	0.020	1.000	0.090
Zona Urbana Discontinua	0.020	0.020	0.000	0.025	0.015	1.000	0.080
Vivienda Aislada	0.020	0.005	0.000	0.010	0.000	1.000	0.035

Figura 43

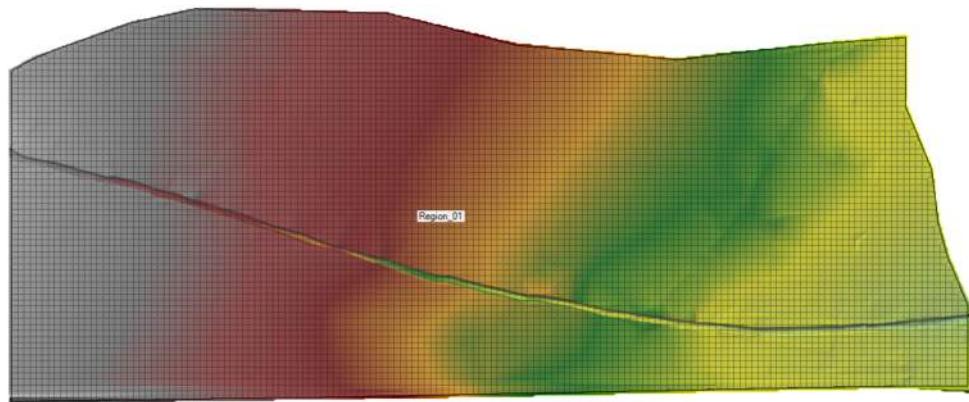
Capa correspondiente a la rugosidad de Manning en HEC-RAS



Como siguiente punto, se creó la Geometría del proyecto a través del comando New Geometry y se continuó con la creación del mallado del 2D Flow Area sobre la capa de terreno, a este se le asignó un tamaño de celda de 8x8 y un refinamiento de 4x4 en la zona correspondiente al cauce del río.

Figura 44

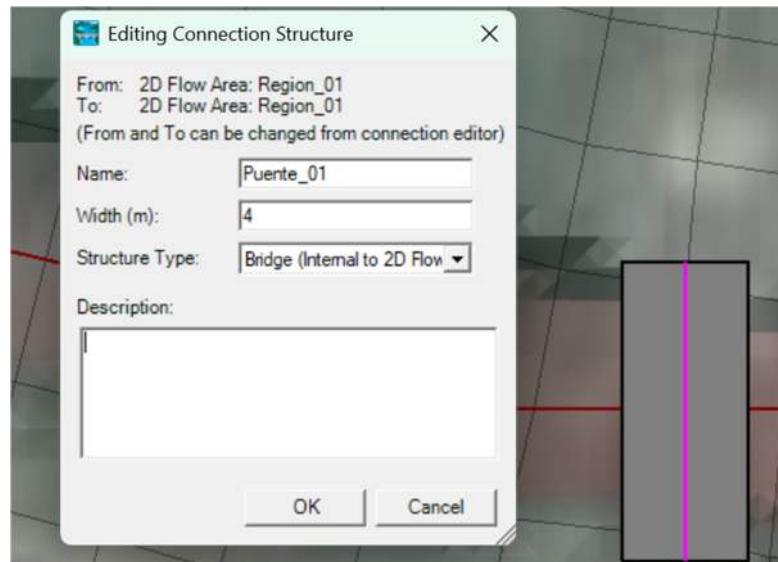
Región de mallado del Caserío Bella Unión



Se crearon las condiciones de borde aguas arriba y aguas abajo, y, a continuación, se introdujeron los puentes de la zona mediante la opción SA/2D connections, allí se definió el tipo de estructura como Bridge y se le colocó su respectivo ancho a cada elemento.

Figura 45

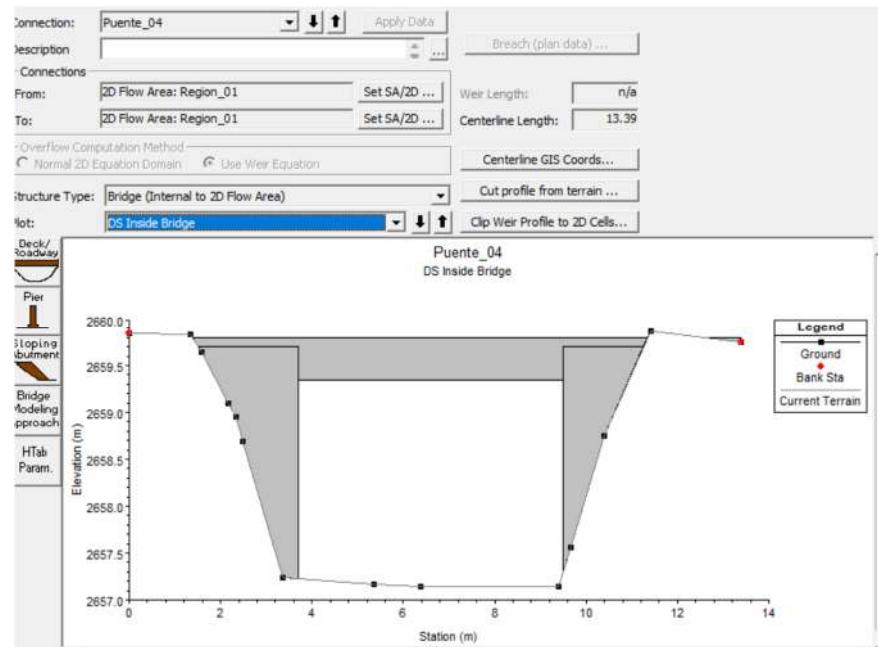
Creación de los puentes en HEC-RAS



Se procedió a cargar la geometría en el proyecto y como siguiente punto, se continuó con la edición de los puentes, donde se colocaron las dimensiones de los elementos del puente y sus características.

Figura 46

Edición de los puentes en HEC-RAS



El siguiente paso fue establecer las características de las condiciones de borde aguas arriba y aguas abajo. En el caso de la condición aguas arriba se empleó los hidrogramas generados en HEC HMS. Por otro lado, la condición de borde aguas abajo fue designada como Normal Deph, en donde la pendiente de fricción se estableció igual al valor de la pendiente del río aguas abajo.

Figura 47

Condición de borde aguas abajo

Normal Depth Downstream Boundary

2D: Geo 2D BCLine: Aguas Abajo

Friction Slope:

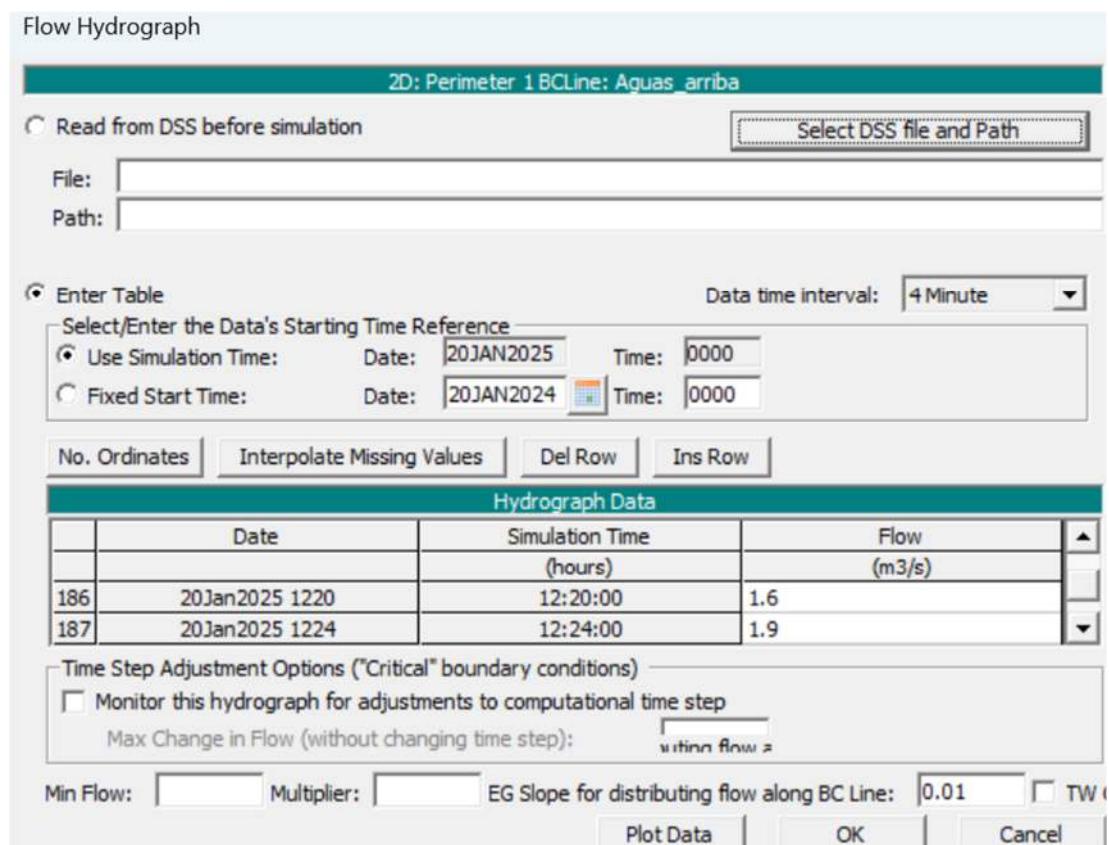
2D Flow Area Boundary Condition Parameters

Compute separate water surface elevation per face along BC Line

Compute single water surface for entire BC Line

Figura 48

Condición de borde aguas arriba

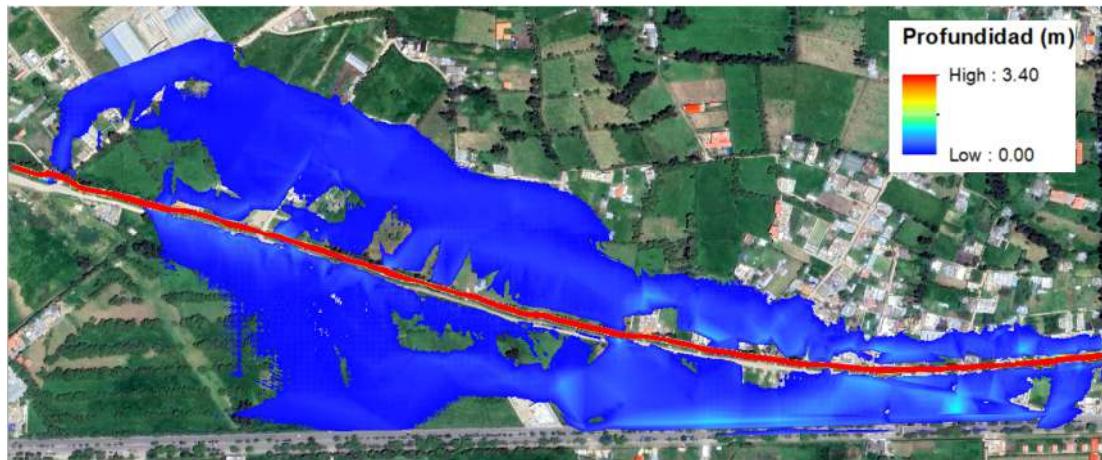


En la pestaña Perform an unsteady Flow simulation, se establecieron los planes de simulación para cada periodo de retorno estudiado, donde se tomó en cuenta el tiempo de simulación y un intervalo de computación adecuado.

Finalmente, se procedió a correr la simulación, obteniéndose como resultado las velocidades y las profundidades de inundación para los diferentes períodos de retorno.

Figura 49

Visualización de resultados (tirantes máximos) en HEC-RAS para un Periodo de Retorno de 50 años



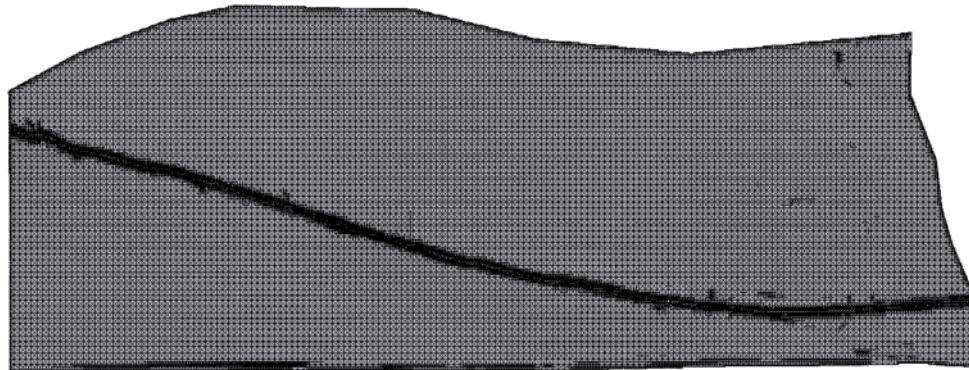
Si bien no ha existido una inundación de gran magnitud en épocas recientes, se ha podido identificar mediante testimonios de los pobladores que inundaciones pasadas coinciden con el modelamiento para un Periodo de Retorno de 50 años.

3.6.6.2. Modelamiento Hidráulico en IBER

En primer lugar, el modelo digital de elevación fue exportado en estilo ASCII para elaborar, en IBER, la malla de cálculo con lados máximos de 8 m y lados mínimos de 1 m.

Figura 50

Malla de cálculo en IBER



A continuación, se asignaron las rugosidades de Manning mediante un archivo ASCII obtenido a partir del Shapefile generado previamente.

Figura 51

Rugosidades de Manning en IBER



Posteriormente, se añadió la imagen georreferenciada de la zona de estudio y se establecieron las condiciones de entrada utilizando los hidrogramas obtenidos en HEC HMS para los diferentes períodos de retorno y las condiciones de salida aguas abajo.

Figura 52

Condiciones de entrada en IBER

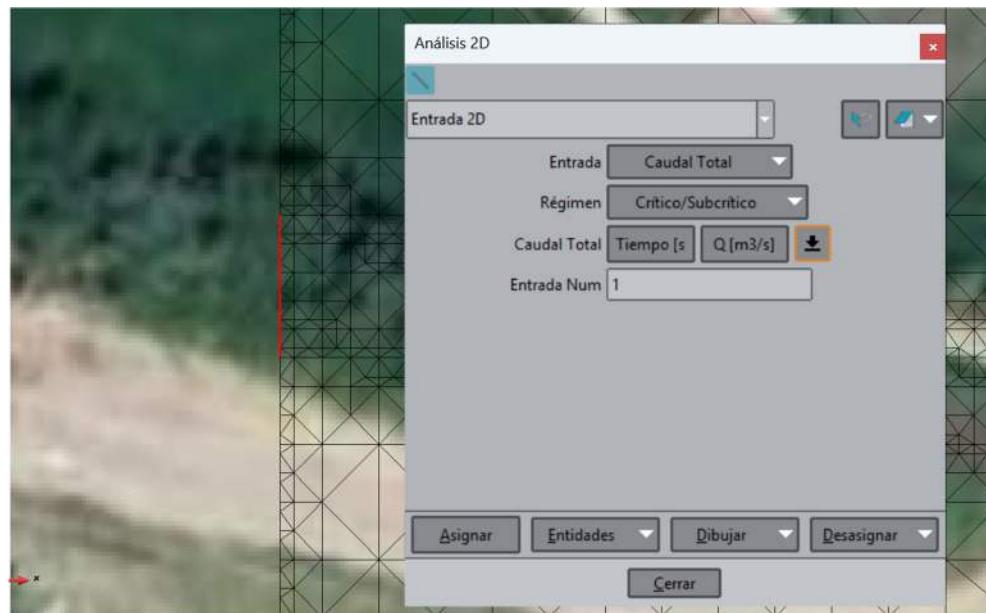
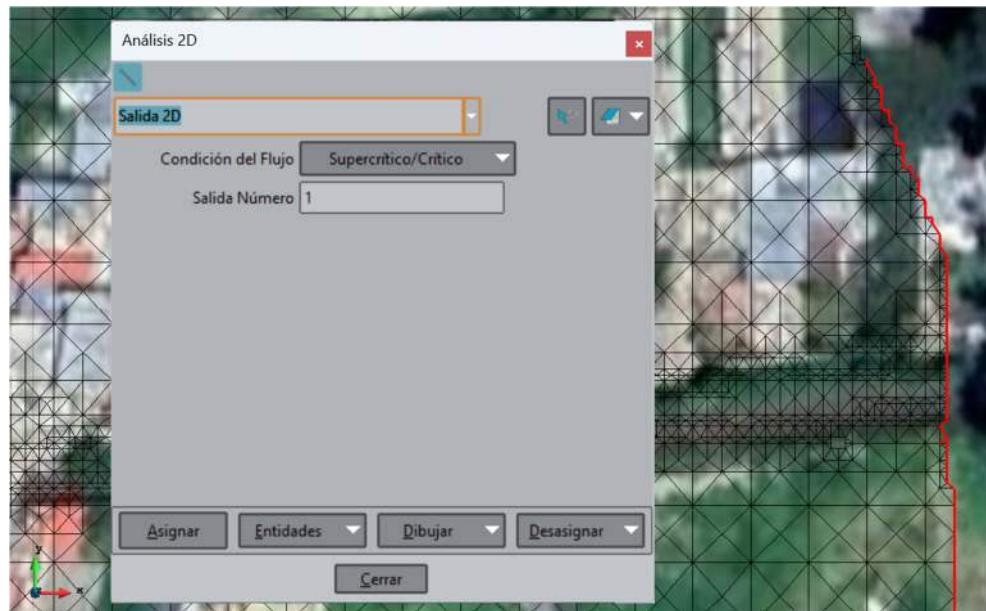
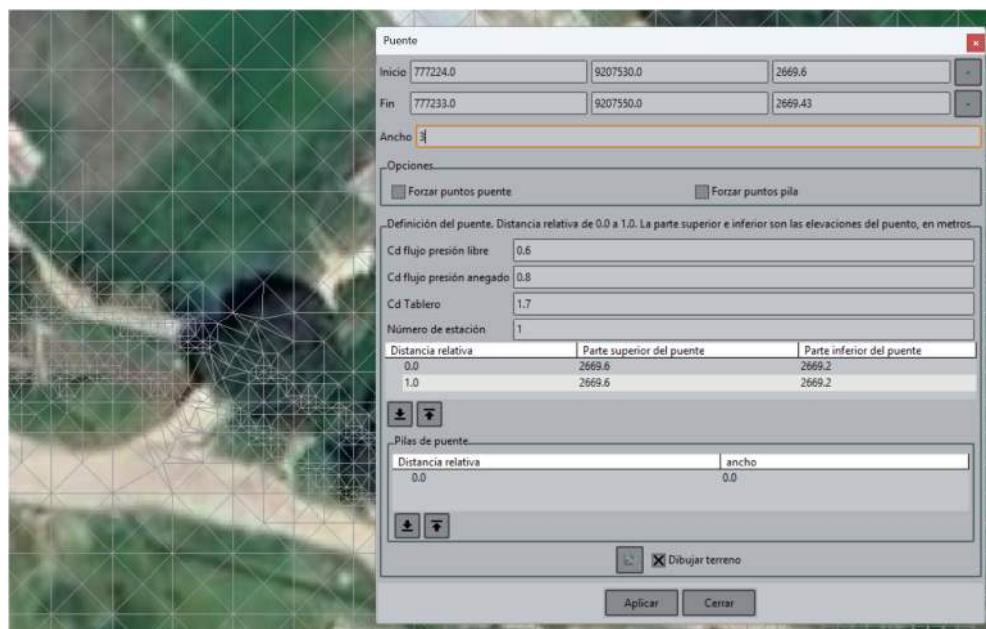


Figura 53

Condiciones de salida en IBER



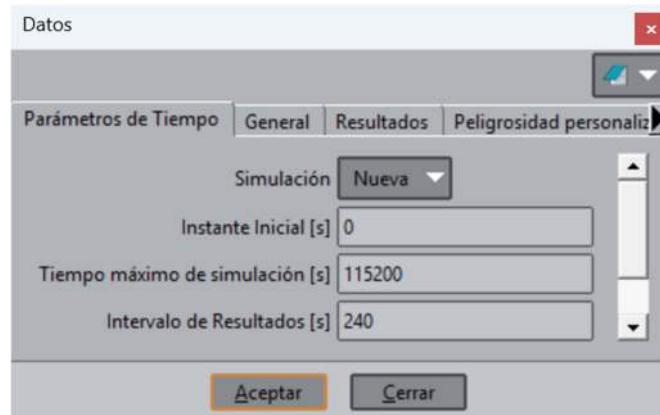
Mediante el uso de estructuras en malla se crearon los puentes existentes en Bella Unión, a estos se les asignaron sus respectivas características y dimensiones.



Seguidamente, se colocó el instante inicial, el tiempo máximo de simulación y el intervalo de resultados deseados.

Figura 54

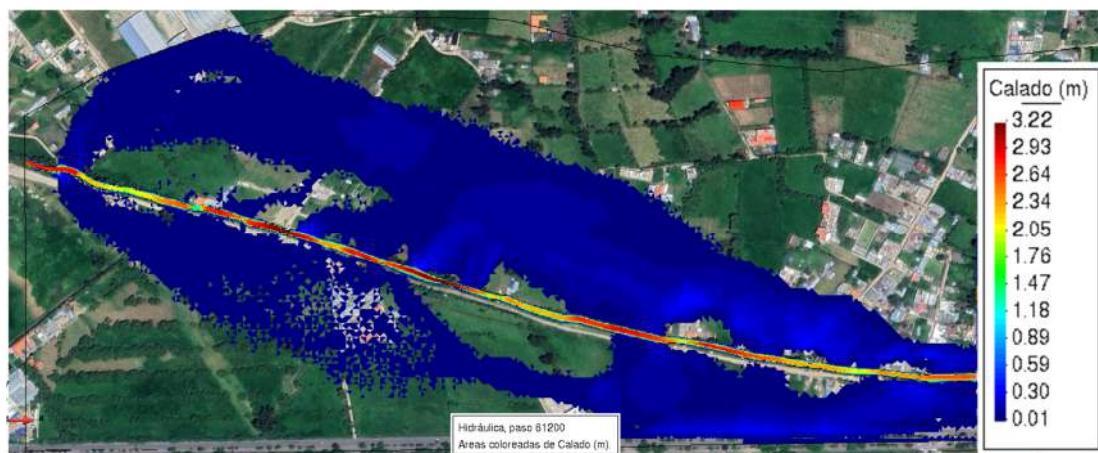
Parámetros de tiempo establecidos en IBER



Finalmente, se ejecutó la modelación de donde se obtuvo como resultados los valores de los tirantes y velocidades para los distintos períodos de retorno.

Figura 55

Visualización de resultados (tirantes máximos) en IBER para un Período de Retorno de 50 años



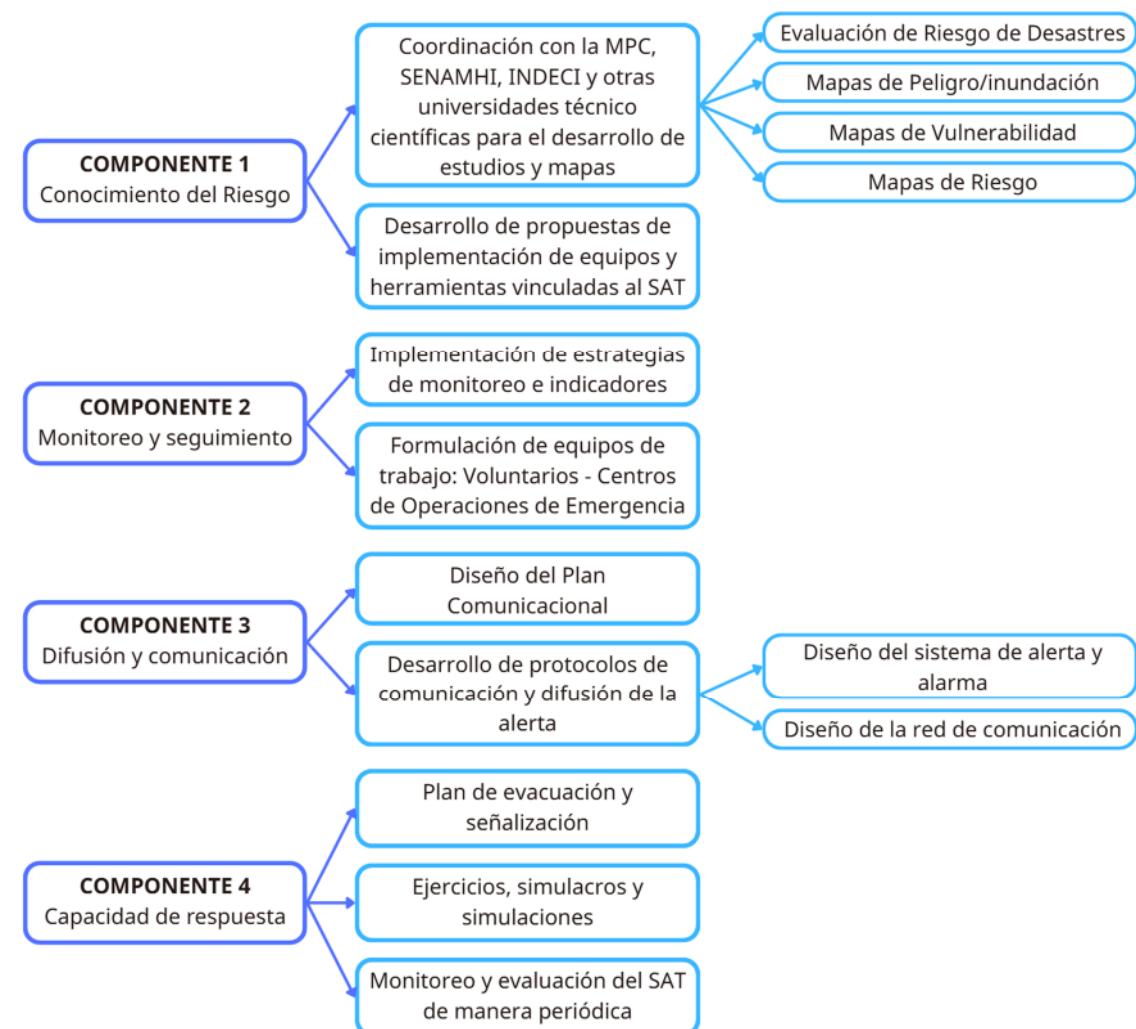
3.6.7. Sistema de Alerta Temprana

Para la propuesta del Sistema de Alerta Temprana se tomó en cuenta los protocolos utilizados por la Municipalidad Provincial de Cajamarca, de esta manera se buscó que el modelo propuesto sea compatible con la red de Sistemas de Alerta manejados por las autoridades en Cajamarca. Cabe mencionar, que estos protocolos

toman como referencia el enfoque de la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNDRR), debido a que, este representa un modelo integral basado en el conocimiento del riesgo, monitoreo, comunicación y capacidad de respuesta. Además, presenta gran adaptabilidad a los diferentes contextos socioculturales, económicos y ambientales que puedan presentarse.

Figura 56

Componentes del Sistema de Alerta Temprana según la Municipalidad Provincial de Cajamarca



Nota. Tomado de Plan de Operaciones de Emergencia de la provincia de Cajamarca 2024 - 2026, por MPC, 2024.

3.6.7.1. Análisis del marco institucional y de planificación de la Gestión del Riesgo de Desastres en Cajamarca

En este acápite se analizó el proceso de Gestión del Riesgo de Desastres en Cajamarca por las entidades como la Municipalidad Provincial de Cajamarca y SEDACAJ. El propósito es lograr la articulación y compatibilidad de la propuesta del Sistema de Alerta Temprana en este entorno.

A. Municipalidad Provincial de Cajamarca

Respecto a la implementación de la Gestión del Riesgo de Desastres la Municipalidad Provincial de Cajamarca se ha centrado en sus componentes mediante la creación de planes, estos se describen en la Tabla 31.

Tabla 31

Planes de la Municipalidad Provincial de Cajamarca en el marco de la Gestión del Riesgo de Desastres

PLAN	APROBACIÓN	DESCRIPCIÓN
Plan de Preparación de la provincia de Cajamarca 2024 - 2026	Resolución de Alcadía N° 216-2024-A-MPC	Instrumento cuyo propósito es preparar y fortalecer a los integrantes del Grupo de Trabajo para la Gestión del Riesgo de Desastres de la Municipalidad Provincial de Cajamarca, así como a los miembros conformantes de la Plataforma Provincial de Defensa Civil de Cajamarca.
Plan de operaciones de emergencia de la provincia de Cajamarca 2024 - 2026	Resolución de Alcadía N° 217-2024-A-MPC	Instrumento técnico operativo que detalla las acciones destinadas a responder de una manera efectiva ante situaciones de peligro inminente y emergencia o desastre, originados por todo tipo de peligro.
Plan de Contingencia ante lluvias intensas y peligros asociados 2024 - 2026	Resolución de Alcadía N° 218-2024-A-MPC	Establece los procedimientos específicos de coordinación, alerta, movilización y respuesta de las entidades de los integrantes de la Plataforma Provincial de Defensa Civil de Cajamarca ante la inminencia u ocurrencia de lluvias intensas.

Asimismo, la Municipalidad Provincial de Cajamarca cuenta con grupos encargados de administrar los componentes de la Gestión del Riesgo de Desastres.

➤ **Grupo de Trabajo de la Gestión del Riesgo de Desastres de la Municipalidad Provincial de Cajamarca (GT-GRD-MPC)**

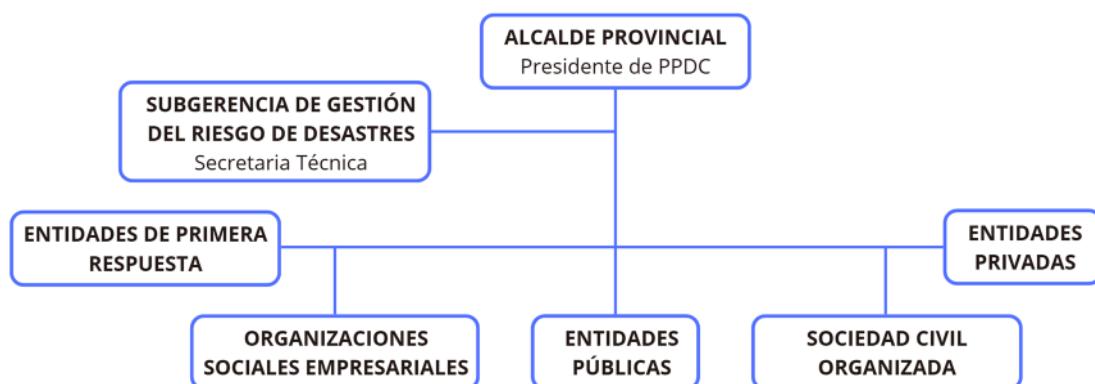
A través del Sistema Regional de Defensa Civil, se encargan de manejar la Gestión Reactiva para facilitar las acciones de respuesta que garanticen la atención oportuna de la población durante las emergencias, está conformada por: Alcalde Provincial, Gerente Municipal, Sub gerente de Gestión del Riesgo de Desastres, Gerente de Desarrollo Territorial y Urbano, Jefe de la Oficina General de Planeamiento y Presupuesto, Gerente de Desarrollo Social y Humano, Gerente de Desarrollo Ambiental, Gerente de Infraestructura Pública, Sub gerente de Salud (MPC, 2024).

➤ **Plataforma Provincial de Defensa Civil de Cajamarca**

Instituciones públicas y privadas que representan componentes de apoyo en la preparación, respuesta y rehabilitación, lo realizan mediante participación, coordinación, convergencia de esfuerzos e integración de propuestas (MPC, 2024).

Figura 57

Organigrama de la Plataforma Provincial de Defensa Civil de Cajamarca



Nota. Tomado de Plan de Operaciones de Emergencia de la provincia de Cajamarca 2024 - 2026, por MPC, 2024.

➤ Centro de Operaciones de Emergencia Provincial – Cajamarca

Constituye el ente que conduce y coordina las acciones ante emergencias. Su organización permite una atención oportuna y articulada con instituciones públicas y privadas, la ejecución del EDAN provincial y distrital, evacuaciones, rescates y la atención inmediata de las necesidades básicas de la población afectada. Asimismo, facilita el restablecimiento de servicios públicos esenciales, la evacuación de damnificados, una comunicación constante con INDECI y los COE locales, y la difusión oportuna de información a la población mediante los niveles de alerta establecidos (MPC, 2024).

Tabla 32

Integrantes del Centro de Operaciones de Emergencia Provincial - Cajamarca

ROL	RESPONSABLE
Jefe del COEP	Alcade de la MPC
Coordinador del COEP	Subgerente de GRD
Módulo de Operaciones	Designado por el subgerente de GRD
Módulo de Análisis y Monitoreo	Designado por el subgerente de GRD
Módulo de Comunicaciones	Oficina General de Imagen y comunicaciones Institucionales

➤ Brigadas voluntarias de defensa civil

Está conformado por Efectivos del Serenazgo de la Municipalidad Provincial de Cajamarca, estas serán llamadas para la atención ante emergencias o desastres que se produzcan en la provincia de Cajamarca (MPC, 2024).

➤ Monitoreo y Alerta Temprana

A partir del 2019 la Municipalidad Provincial de Cajamarca cuenta con dos Sistemas de Alerta Temprana compuestos por estaciones meteorológicas en el distrito de Cajamarca, estas se encuentran administradas por el Centro de Operaciones de Emergencia Provincial de Cajamarca (MPC, 2024).

Figura 58

Estaciones Meteorológicas ubicadas en el 2do. Piso del Pabellón de la Carrera de Ingeniería de la UNC y en la Institución Educativa N° 82123 - Chinchimarca



Tabla 33

Protocolos aplicados por la Municipalidad Provincial de Cajamarca en los SAT

INSUMO	ACCIONES	RESPONSABLE	EJECUTOR	PRODUCTO
Reacción solidaria de autoayuda de la población afectada	Búsqueda y rescate inicial Primeros auxilios Apoyo solidario a la población vulnerable Evacuación hacia zonas seguras Comunicaciones de emergencia	Líderes de la Población en Organizada	Población general	Población rescatada, atendida con primeros auxilios y evacuada
Datos hidrometeorológicos	Activación del protocolo de comunicaciones con los distritos	SENAMHI	INDECI	Emisión de la alerta o alarma y/o cancelación
EDAN Rápido	Coordinaciones para el despliegue y de repliegue de recursos materiales y recurso humano Coordinaciones para la búsqueda y salvamento, asistencia humanitaria, logística y comunicaciones	Grupo de Trabajo de Riesgo de Desastres	Grupo de Gestión del Trabajo de Riesgo de Desastres	Listado de recursos para desplegar del Riesgo de Desastres Acciones de población en intervención general, serenazgo

B. SEDACAJ

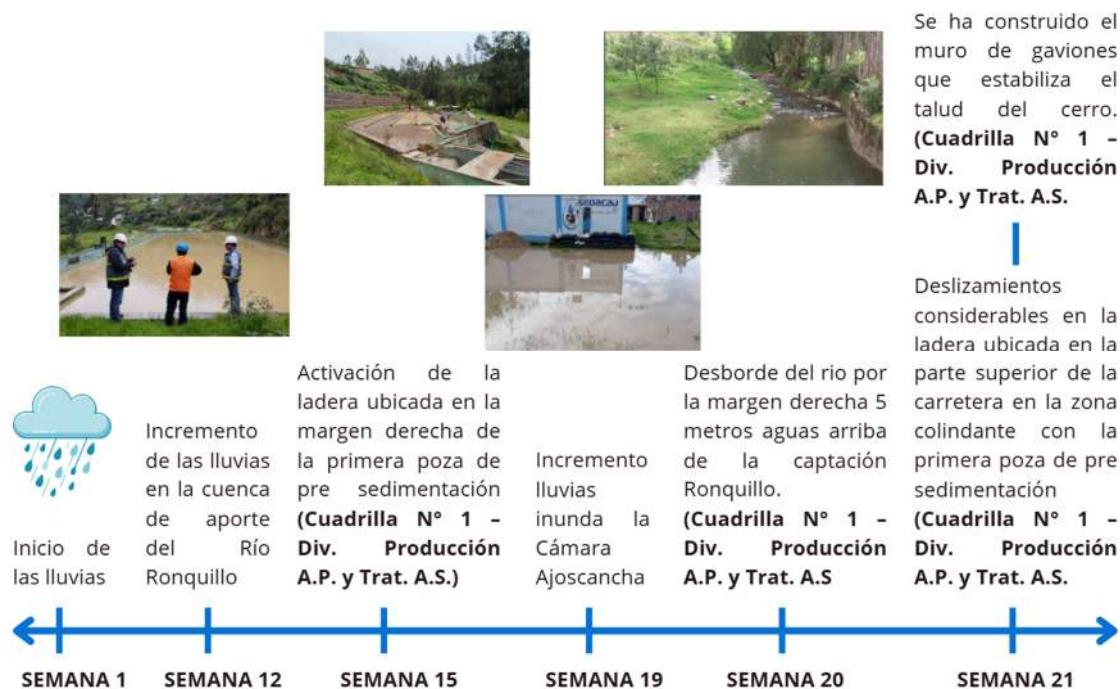
SEDACAJ presenta una influencia elevada en la parte alta del río San Lucas, donde se ubica la captación Ronquillo. Si bien no cuentan con un Sistema de Alerta Temprana propiamente dicho, desde el año 2019 esta entidad viene manejando planes de gestión de riesgo y contingencia como medidas de Gestión del Riesgo de Desastres.

➤ Plan de Contingencia de la localidad de Cajamarca – EPS SEDACAJ S.A. – ante escenarios de lluvias intensas 2025

Busca fortalecer la preparación ante la ocurrencia de emergencias y desastres en la época de lluvias, con el propósito de lograr una respuesta y rehabilitación adecuada (SEDACAJ, 2024). En el río Ronquillo se idéntico el siguiente escenario:

Figura 59

Escenario de riesgo Sistema Santa Apolonia



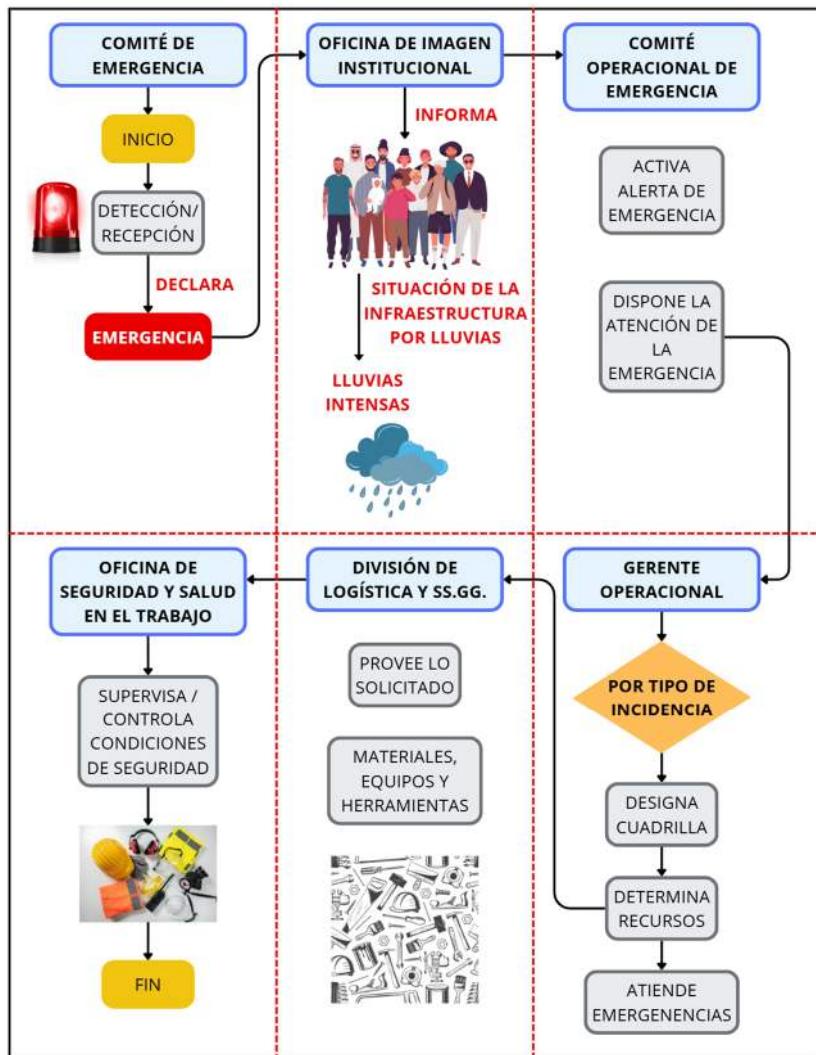
Nota. Adaptado de Plan de Contingencia de la localidad de Cajamarca – EPS

SEDACAJ S.A. – ante escenarios de lluvias intensas 2025, por SEDACAJ, 2024.

Ante los diferentes escenarios de riesgo, SEDACAJ maneja un protocolo de respuesta establecido, este se describe en la Figura 61.

Figura 60

Organización de respuesta ante emergencias - SEDACAJ



Nota. Adaptado de *Plan de Contingencia de la localidad de Cajamarca – EPS*

SEDACAJ S.A. – ante escenarios de lluvias intensas 2025, por SEDACAJ, 2024.

En cuanto al monitoreo de los fenómenos naturales, SEDACAJ utiliza información recopilada de otras instituciones.

Tabla 34*Instituciones de Monitoreo de Fenómenos Naturales*

FASE	ENTIDAD	INFORMACIÓN	ACCIONES	RESULTADO
<i>Monitoreo, pronóstico y boletines de aviso</i>	SENAMHI	Obtener información de datos meteorológicos	Realizar seguimientos de monitoreo permanente de pronósticos de lluvias	Avisos metrológicos: Largo plazo y intensas.
<i>Análisis de información</i>	INDECI – COER	– Obtener información de intensidad reportados por eventos extremos en largo o corto plazo.	Analizar los niveles de SENAMHI, e identificar las zonas con probables afectaciones.	Aviso mediante boletín de información. Enlace de El COER informa sobre las lluvias intensas y sus efectos para las acciones permanentes.

Nota. Tomado de *Plan de Contingencia de la localidad de Cajamarca – EPS SEDACAJ S.A. – ante escenarios de lluvias intensas 2025*, por SEDACAJ, 2024.

➤ **Mecanismos de Retribución por Servicios Ecosistémicos Hídricos (MRSEH) en la cuenca del río Ronquillo**

Actualmente, SEDACAJ viene desarrollando el proyecto MRSEH en la cuenca del río Ronquillo, el cual busca lograr acciones de conservación, recuperación y uso sostenible de los ecosistemas hídricos de las comunidades de Sexemayo Lote 2, Lote 01 y los caseríos de de Cushunga y Carhuaquero. (SEDACAJ, 2025b).

Hasta la fecha, se ha construido el Vivero “El Milagro” con una capacidad actual de 30 000 plantones, se han realizado trabajos de forestación/reforestación en un área de 80 hectáreas con especies nativas y exóticas, zanjas de infiltración, sistemas silvopastoriles y clausura de pastos (SEDACAJ, 2025b).

Por otra parte, se viene realizando la implementación del Sistema de Monitoreo Hidrológico con el propósito de medir el impacto de las acciones de conservación y

recuperación que se vienen realizando. Dicho sistema está compuesto por 02 estaciones hidrométricas y 03 estaciones meteorológicas, entre las variables que se miden están: precipitación, radiación solar, contenido de agua en el suelo, temperatura, humedad relativa y nivel de agua (SEDACAJ, 2025b).

Tabla 35

Estaciones meteorológicas conformantes del Sistema de Monitoreo Hidrológico

ESTACIÓN	DESCRIPCIÓN
Estación Meteorológica 01	Está ubicada a los 3660 m.s.n.m., en el caserío Sexemayo Lote 02 y monitorea la unidad de análisis 02 del río Tuluyano.
Estación Meteorológica 02	Está ubicada a los 3838 m.s.n.m., en el terreno comunal del caserío Sexemayo Lote 02 y monitorea la unidad de análisis 03 del río Conga.
Estación Meteorológica 03	Está ubicada a los 2829 m.s.n.m., en el caserío Carhuaquero y monitorea la unidad de análisis 04 del río Cushunga.

Nota. Tomado de *MRSEH de SEDACAJ instala estaciones meteorológicas*, por SEDACAJ, 2025a.

Figura 61

Estación meteorológica instalada en Sexemayo Lote 02



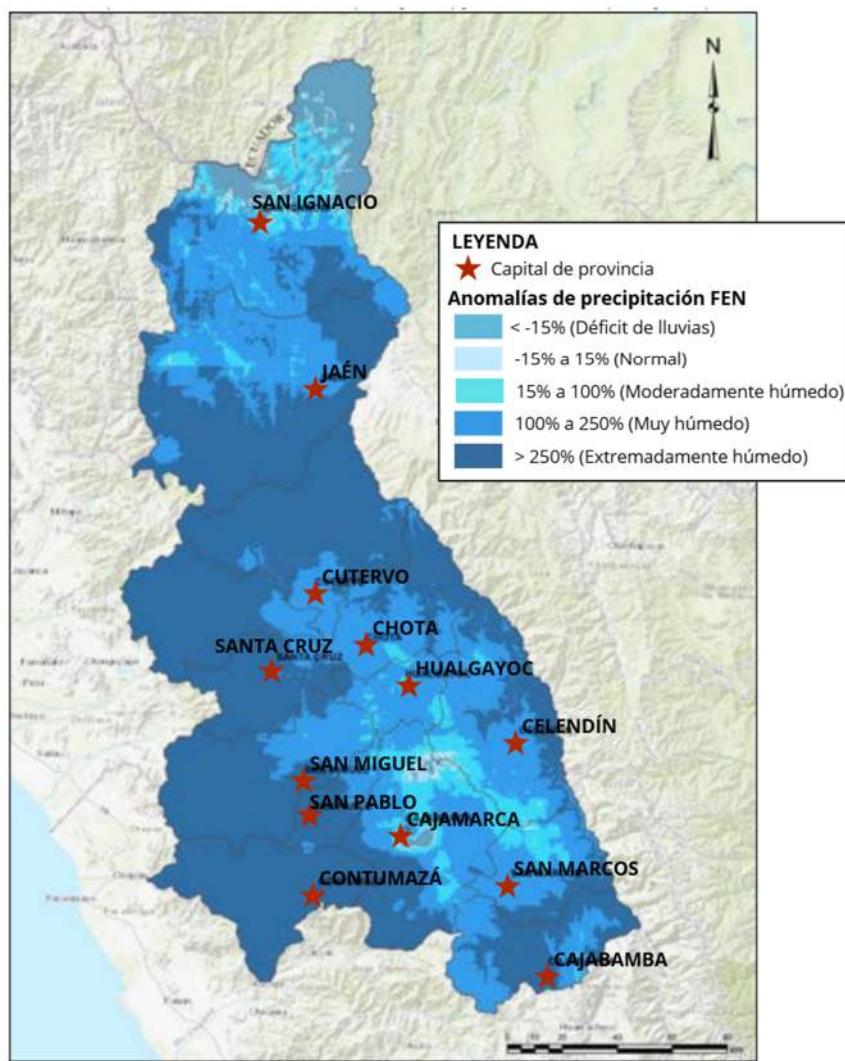
Nota. Tomado de *MRSEH de SEDACAJ instala estaciones meteorológicas*, por SEDACAJ, 2025a.

3.6.7.2. Conocimiento del Riesgo

Como primer punto, se analizó el impacto que tiene el Fenómeno El Niño, ya que este se caracteriza por producir lluvias intensas, las cuales suelen causar eventos de inundación a nivel de Cajamarca.

Figura 62

Mapa de anomalías de máximos acumulados de lluvias durante los veranos (enero a marzo) de los Niños Extraordinarios (1983 y 1998) y Niños Costeros (2017 y 2023)



Nota. Tomado de Plan de prevención y reducción del Riesgo de Desastres de la Región Cajamarca 2023-2030 ante inundaciones y movimientos en masa por lluvias asociadas al fenómeno de El Niño, por GRC, 2023.

En la Figura 62 se aprecia la distribución espacial de las anomalías porcentuales de precipitación en base a los máximos valores de acumulación de lluvia en el periodo de enero a marzo de eventos El Niño de mayor impacto a nivel nacional, es decir, de los tuvieron lugar en los años 1982, 1998, 2017 y 2023. A partir de esta, se observa que, Cajamarca se encuentra en el rango de anomalías moderadamente húmedo a muy húmedo, por lo cual, el Fenómeno de El Niño puede causar que, en temporada de lluvias, las precipitaciones se intensifiquen hasta 3.5 veces más de lo esperado trayendo consigo eventos de inundación que pueden poner en riesgo a la población.

Tabla 36

Precipitaciones máximas mensuales de 24 horas durante los Fenómenos El Niño

1982, 1998, 2017 y 2023

P (mm)	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
<i>Pm24hP</i>	16.15	19.43	21.46	16.30	9.77	4.06	3.11	3.80	9.33	14.71	16.26	17.32
FEN 1982												
1982	-	-	-	-	-	-	1.10	6.40	7.60	18.50	20.70	30.50
1983	19.40	28.00	28.10	16.80	8.20	4.70	6.50	1.20	8.90	18.90	6.80	-
FEN 1998												
1997	-	-	7.10	8.30	7.50	6.60	0.20	0.00	7.60	10.20	27.60	23.80
1998	12.50	16.50	31.70	22.30	6.30	4.10	1.30	3.50	4.60	-	-	-
FEN 2017												
2016	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11.90
2017	12.90	11.60	14.30	14.10	9.60	-	-	-	-	-	-	-
FEN 2023												
2023	-	21.20	26.20	9.60	10.00	0.00	1.90	3.00	1.00	22.40	21.20	28.20
2024	11.20	32.70	19.50	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Asimismo, en la Tabla 36 se evaluaron las precipitaciones máximas mensuales de 24 horas registradas en la estación Augusto Weberbauer durante los fenómenos El Niño de los años 1982, 1998, 2017 y 2023. En esta se observa que, durante la época de lluvia, que va desde octubre a abril, las precipitaciones máximas mensuales de 24 horas promedio son superadas recurrente mente en los eventos de 1982, 1998 y 2023, siendo el episodio del 2017 el único que presenta valores inferiores, ya que este fue un Fenómeno del Niño Costero que afecto principalmente la zona norte y centro del Perú.

Otro punto importante a analizar fueron los eventos pasados de inundación, para lo cual se utilizó la información brindada por la Municipalidad Provincial de Cajamarca a través de la Oficina de Gestión del Riesgo de Desastres.

Tabla 37

Emergencias reportadas por el INDECI en el distrito de Cajamarca (2003-2012)

Emergencia/Año	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Huayco										
Tormenta eléctrica										
Derrumbe de cerro						1				
Erosión	1			1						
Incendio forestal							1	6		1
Deslizamiento					1	3	3			3
Bajas temperaturas		2			2		1	1		
Inundación	1			5	6	2		1		4
Vientos fuertes			3	2	1	3	2		1	1
Lluvias intensas	1	4	2	14	47	26	43	13	1	7
Total	3	6	6	21	58	34	50	21	2	16

Nota. Tomado de *Condiciones climáticas y umbrales para la Alerta ante Inundaciones Ciudad de Cajamarca / Quebrada “Huayllapampa”*, por USAID y Practical Action, s.f.a.

Tabla 38

Emergencias reportadas por el INDECI en el distrito de Cajamarca (2013-2021)

Emergencia/Año	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Huayco				1					
Tormenta eléctrica			1						
Derrumbe de cerro							1		1
Erosión									1
Incendio forestal									
Deslizamiento			1	1		5	2		5
Bajas temperaturas					1	10	3		
Inundación	3				2	1		1	
Vientos fuertes	3		1	1		3	4	3	9
Lluvias intensas	10	1	11	1	8	15	7	4	18
Total	16	2	14	3	11	34	17	8	34

Nota. Tomado de *Condiciones climáticas y umbrales para la Alerta ante Inundaciones Ciudad de Cajamarca / Quebrada “Huayllapampa”*, por USAID y Practical Action, s.f.a.

A partir de los datos proporcionados, se concluye que, de 356 emergencias registradas en el distrito de Cajamarca, 26 están asociadas a inundaciones y 233 a lluvias intensas, siendo, por lo tanto, uno de los principales riesgos a los que se enfrenta la población.

Por otro lado, se analizó la situación del río San Lucas en su recorrido a lo largo de la ciudad de Cajamarca, en el se puede apreciar las siguientes zonas:

- Un primer tramo comprendido desde el origen del río San Lucas, en la confluencia del río Ronquillo con el río Urubamba, hasta la intersección del Jr. Comercio con el Jr. Ucayali en el denominado Arco del Triunfo. Este tramo no presenta canalización; no obstante, se observa la construcción de muros de concreto en ciertas zonas, los cuales han sido construidos por los pobladores para proteger sus viviendas. También presentan muros los sectores próximos a instituciones públicas como el colegio San Ramón. Los principales impactos negativos que se aprecian son la invasión de la faja marginal como consecuencia del desarrollo urbano, la presencia de residuos sólidos, la colmatación del cauce y presencia de vegetación y árboles producto del abandono de las autoridades, que puede desencadenar en obstrucciones del cauce en épocas de lluvia.

Figura 63

Desembocadura de la quebrada San Vicente en el río San Lucas, donde se observa la presencia de árboles



Figura 64

Presencia de colmatación y residuos sólidos en el río San Lucas, se observa la construcción de muros por parte de los pobladores



Figura 65

Presencia de viviendas en el margen izquierdo del río, asimismo se observa la existencia de un camino transitado

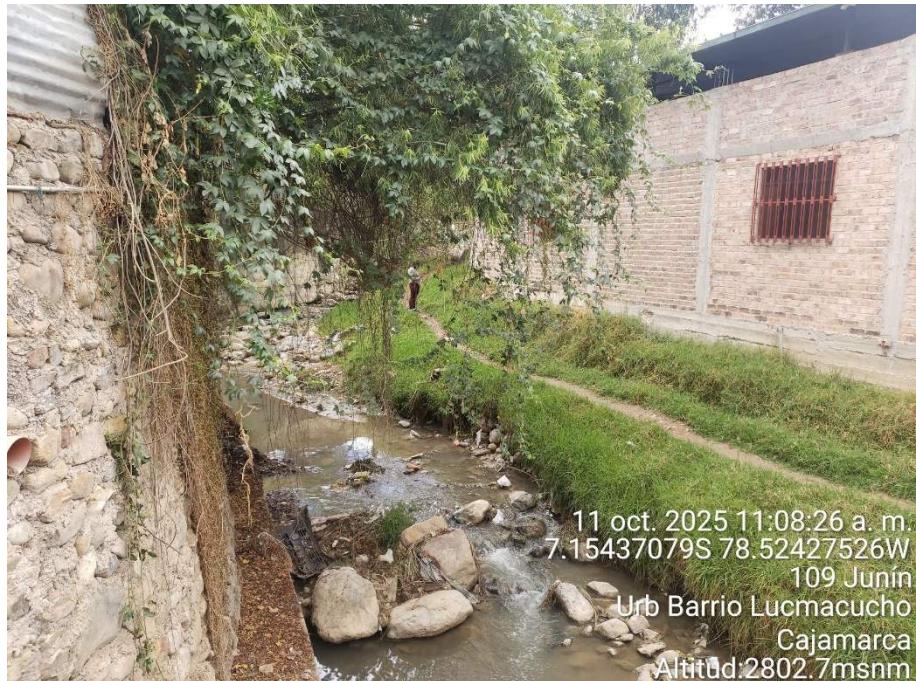
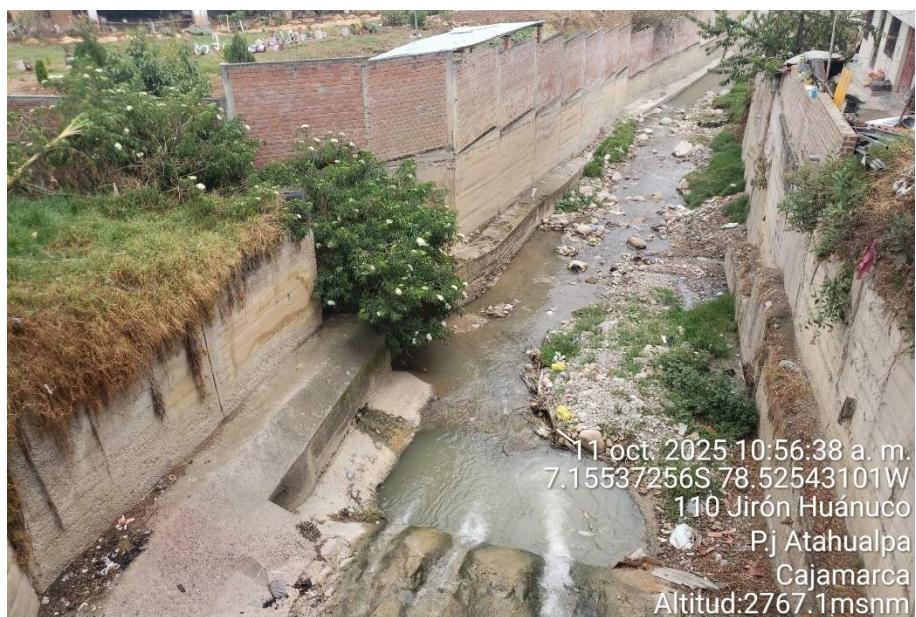


Figura 66

Presencia de muros en el margen izquierdo (protección del colegio San Ramón) y margen derecho (construido por los pobladores de la zona)



➤ Un segundo tramo comprendido entre la intersección del Jr. Comercio con el Jr. Ucayali en el Arco del Triunfo hasta la intersección del Jr. El Inca con la Av. Vía de Evitamiento Sur (Altura del Puente Amarillo, en la desembocadura de la quebrada Romero) el cual se encuentra canalizado (INDECI, 2005). Este tramo atraviesa el eje central del área urbana de la ciudad de Cajamarca, en gran parte de su recorrido las edificaciones han sido construidas en ambos márgenes del río, sin respetar la faja marginal. También se aprecia la falta de limpieza y manteniendo, ya que, se observa la colmatación del cauce y el crecimiento de vegetación, así como, el deterioro de los muros de encauzamiento. Otro factor relevante es la presencia de puentes que, en varios casos, debido a su diseño, reducen la capacidad hidráulica del cauce. En este sentido, un punto crítico es el Puente Amarillo, donde existe una evidente acumulación de sedimentos; además, al coincidir con la desembocadura de la quebrada Romero, constituye una zona de alta probabilidad de inundación.

Figura 67

Presencia de muro en la margen izquierda del río y existencia de vegetación y árboles en la margen derecha



Figura 68

Canalización del río San Lucas - Se aprecia la invasión del cauce del río por parte de los pobladores



Figura 69

Puente ubicado en el Jr. Cinco Esquinas cuyo diseño afecta la capacidad hidráulica del cauce



11 oct. 2025 12:05:56 p.m.
7.15488375S 78.50982488W
1118 Cinco Esquinas
Cajamarca
Altitud 2757.6msnm

Figura 70

Presencia de colmatación y residuos sólidos por falta de limpieza y mantenimiento del río San Lucas



Figura 71

Colmatación a la altura del Puente Amarillo - Desembocadura de la quebrada Romero



➤ Un tercer tramo comprendido desde el Puente Amarillo hasta su desembocadura en el río Mashcón. Este tramo no se encuentra canalizado, actualmente se viene construyendo un muro en el margen izquierdo del río como parte del proyecto “Creación del Servicio de Movilidad Urbana en el Camino del Inca entre Av. Vía de Evitamiento Sur (Puente Amarillo) hasta la prog. 0 + 618 – Sector 9 Pueblo Libre, distrito de Cajamarca de la provincia de Cajamarca del departamento de Cajamarca”, dicho muro se construirá desde el Puente Amarillo hasta la altura del complejo Qhapaq Ñan, a partir de este lugar el río San Lucas no presenta muros en sus márgenes. Ese tramo también presenta problemas de colmatación, desarrollo de vegetación y árboles y a esto se adiciona la erosión por falta de medidas de protección en los márgenes. En esta zona también se observa un proceso de urbanización sin planificación, donde en sectores como el Caserío Bella Unión se vienen construyendo viviendas en los márgenes del río y en muchos casos se produce la reducción de su cauce natural.

Figura 72

Muro en proceso de construcción en el margen derecho del río San Lucas, que abarca desde el Puente Amarillo hasta el Complejo Qhapaq Ñan

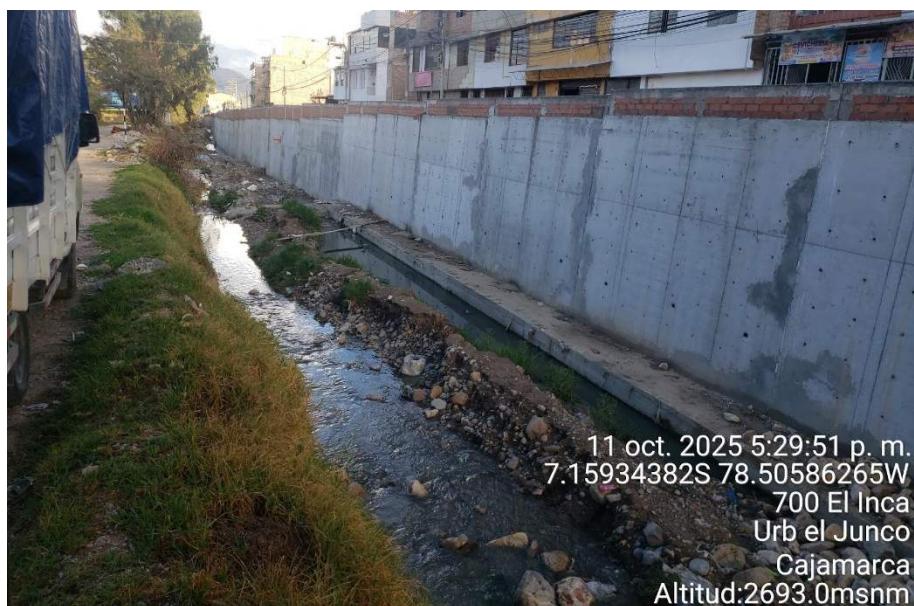


Figura 73

Tramo del río ubicado debajo del Complejo Qhapaq Ñan, se observa la presencia de vegetación y falta de medidas de protección en los márgenes



Asimismo, en el río San Lucas se registraron dos eventos de inundación, el primero el 29 de marzo de 1994 y el segundo el 18 de marzo de 1996, tales emergencias se produjeron a la altura del Puente Amarillo, por lo cual, esta localización representa una zona crítica en el monitoreo del Sistema de Alerta Temprana. Adicionalmente, se observó en las Figuras 92 y 93 que la estación Augusto Weverbauer registró una precipitación de 21 mm durante la inundación de 1994, mientras que en la de 1996 solo alcanzó 0.9 mm. Esta diferencia pone en evidencia la ausencia de registros pluviométricos adecuados en el tramo superior del río San Lucas. En ese sentido, se plantea la implementación de una estación de medición en la zona de la captación Ronquillo, con el fin de mejorar la cobertura y precisión del monitoreo de precipitaciones en la cuenca.

Figura 74

Precipitación registrada en la Estación Augusto Weberbauer durante la inundación causada por el río San Lucas el 29 de marzo de 1994



Nota. Tomado de Condiciones climáticas y umbrales para la Alerta ante Inundaciones Ciudad de Cajamarca / Quebrada “Huayllapampa”, por USAID y Practical Action, s.f.a.

Figura 75

Precipitación registrada en la Estación Augusto Weberbauer durante la inundación causada por el río San Lucas el 18 de marzo de 1996



*Nota. Tomado de *Condiciones climáticas y umbrales para la Alerta ante Inundaciones Ciudad de Cajamarca / Quebrada “Huayllapampa”*, por USAID y Practical Action, s.f.a.*

Adicionalmente, se analizaron los tramos críticos en la zona de investigación, para ello, se hizo uso del Modelo Hidráulico, el testimonio de los pobladores y las huellas de las crecidas extraordinarias del río, donde se destaca la ocurrida el 19 de marzo del 2025, donde esta alcanzó el borde del cauce en varios puntos. En base a dicha información, se estableció que los tramos más propensos a sufrir el desbordamiento del río se encuentran próximos al puente “La Huanga” y el puente “Bella Unión”, siendo estos puntos claves al encontrarse próximos a las zonas de mayor desarrollo urbano del Caserío Bella Unión.

Figura 76

Huella identificada durante la crecida del 19 de marzo del 2025 a la altura del puente Bella Unión



Figura 77

Huella identificada durante la crecida del 19 de marzo del 2025 a la altura del puente La Huanga



Figura 78

Huellas de crecidas pasadas, donde se evidencia la presencia de acumulación de basura y escombros



Figura 79

Huellas de crecidas en zona donde las viviendas han invadido los márgenes del río



Figura 80

Crecida pasada del río donde se aprecia ingreso de agua a las viviendas



Nota. Fotografía proporcionada por el Ingº M.Cs. Marco Antonio Silva Silva (comunicación personal, 2025).

De igual manera, se logró identificar zonas en las que se evidencia un proceso de erosión en los márgenes del río, especialmente en sectores próximos a viviendas, donde esta condición representa un alto nivel de peligrosidad. Asimismo, se observaron intervenciones realizadas por los pobladores con el fin de mitigar los efectos de la erosión, aunque en algunos casos estas no constituyen soluciones técnicamente adecuadas ni sostenibles.

Figura 81

Proceso de erosión en los márgenes del río próximos a viviendas producto de la crecida del nivel del agua



Figura 82

Erosión en el margen del río, donde se aprecia el nivel alcanzado por el agua



Figura 83

Construcción de gaviones por parte de los pobladores para controlar la erosión en los márgenes del río



Figura 84

Siembra de árboles en los márgenes del río para controlar la erosión

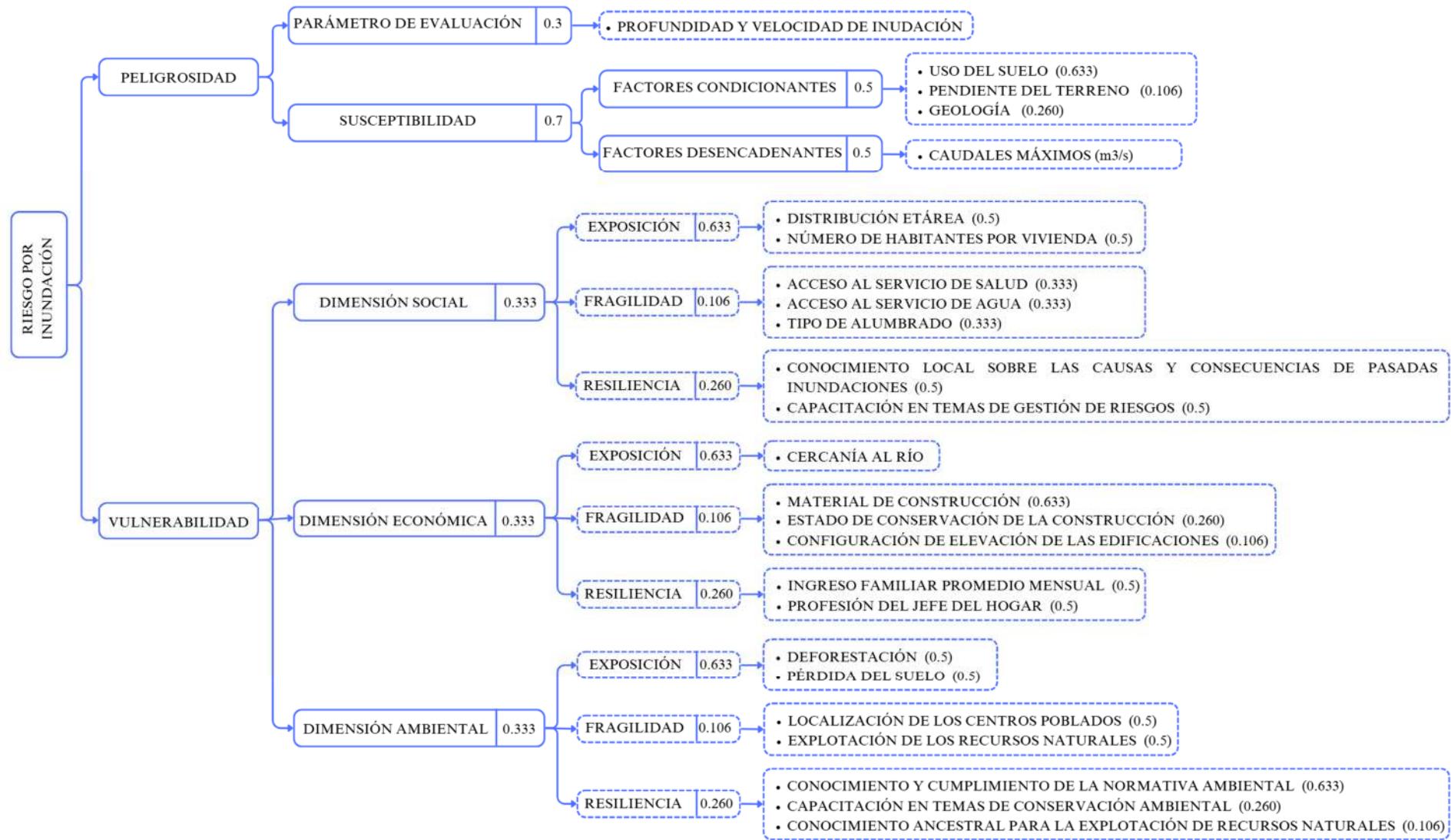


Finalmente se realizó la Evaluación de Riesgo en el Caserío Bella Unión siguiendo la metodología propuesta por el Centro nacional de estimación, prevención y reducción del riesgo de desastres (CENEPRED), ya que, esta es una metodología estructurada que permite un análisis completo del riesgo. Además, esta es oficialmente reconocida por el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD) para realizar la Evaluación de Riesgos de Desastres a nivel nacional.

En tal sentido, la selección de los parámetros utilizados para la evaluación del riesgo por inundación en el Caserío Bella Unión se ejecutó en base a los criterios establecidos por el CENEPRED en sus diferentes manuales, dando como resultado la estructura descrita en la Figura 85.

Figura 85

Parámetros de evaluación del Riesgo



➤ Evaluación de Peligrosidad

Una vez definidos los parámetros necesarios para analizar la Peligrosidad, se procedió a determinar los pesos ponderados de los mismos, así como de cada uno de los descriptores que los conforman; para ello, se empleó el Proceso de Análisis Jerárquico utilizando la escala de Saaty, tal como indica el Centro nacional de estimación, prevención y reducción del riesgo de desastres.

En primer lugar, se identificaron los descriptores del parámetro, para el caso de la Profundidad y Velocidad de Inundación, estos fueron:

- Profundidad (H) x Velocidad (V) > 1.5 m²/s
- 0.5 m²/s < Profundidad (H) x Velocidad (V) < 1.5 m²/s
- 0.25 m²/s < Profundidad (H) x Velocidad (V) < 0.5 m²/s
- Profundidad (H) x Velocidad (V) < 0.25 m²/s

A continuación, se elaboró la Matriz de Comparación de Pares, asignando la importancia relativa de los descriptores en base a la escala de Saaty.

Tabla 39

Matriz de Comparación de Pares

PARÁMETRO	HxV>1.5 m ² /s	0.5 m ² /s < HxV < 1.5 m ² /s	0.25 m ² /s < HxV < 0.5 m ² /s	HxV < 0.25 m ² /s
HxV>1.5 m ² /s	1	3	5	7
0.5 m ² /s < HxV < 1.5 m ² /s	1/3	1	3	5
0.25 m ² /s < HxV < 0.5 m ² /s	1/5	1/3	1	3
HxV < 0.25 m ² /s	1/7	1/5	1/3	1

Se convirtieron a decimales todos los valores de la matriz, para luego sumarlos en cada columna y así obtener finalmente la inversa de las sumas.

Tabla 40*Matriz de Comparación de Pares Corregida*

PARÁMETRO	HxV>1.5 m2/s	0.5 m2/s<HxV<1.5 m2/s	0.25 m2/s<HxV<0.5 m2/s	HxV<0.25 m2/s
	m2/s	m2/s	m2/s	
HxV>1.5 m2/s	1	3	5	7
0.5 m2/s<HxV<1.5 m2/s	0.333	1	3	5
0.25 m2/s<HxV<0.5 m2/s	0.200	0.333	1	3
HxV<0.25 m2/s	0.143	0.200	0.333	1
SUMA	1.676	4.533	9.333	16.000
1/SUMA	0.597	0.221	0.107	0.063

Se elaboró la matriz de normalización multiplicando la inversa de las sumas por cada elemento en su respectiva columna. Asimismo, se obtuvo el vector priorización (ponderación) al calcular el promedio de cada fila de la matriz de normalización.

Tabla 41*Matriz de Normalización*

PARÁMETRO	HxV>1.5 m2/s	0.5 m2/s<HxV<1.5 m2/s	0.25 m2/s<HxV<0.5 m2/s	HxV<0.25 m2/s
	m2/s	m2/s	m2/s	
HxV>1.5 m2/s	0.597	0.662	0.536	0.438
0.5 m2/s<HxV<1.5 m2/s	0.199	0.221	0.321	0.313
0.25 m2/s<HxV<0.5 m2/s	0.119	0.074	0.107	0.188
HxV<0.25 m2/s	0.085	0.044	0.036	0.063
SUMA	1.000	1.000	1.000	1.000

Tabla 42*Vector Priorización*

PARÁMETRO	VECTOR PRIORIZACIÓN	PORCENTAJE
HxV>1.5 m2/s	0.558	55.8%
0.5 m2/s<HxV<1.5 m2/s	0.263	26.3%
0.25 m2/s<HxV<0.5 m2/s	0.122	12.2%
HxV<0.25 m2/s	0.057	5.7%

Una vez determinados los pesos, se calculó la Relación de Consistencia para comprobar si el criterio utilizado en la comparación de pares fue el adecuado. Es así que, se obtuvo el Vector Suma Ponderada multiplicando la Matriz de Comparación de Pares con el Vector Priorización.

Tabla 43*Vector Suma Ponderada*

PARÁMETRO	VECTOR SUMA PONDERADA
$HxV > 1.5 \text{ m}^2/\text{s}$	2.356
$0.5 \text{ m}^2/\text{s} < HxV < 1.5 \text{ m}^2/\text{s}$	1.099
$0.25 \text{ m}^2/\text{s} < HxV < 0.5 \text{ m}^2/\text{s}$	0.492
$HxV < 0.25 \text{ m}^2/\text{s}$	0.230

Seguidamente, se halló λ_{\max} al dividir los valores del Vector Suma ponderada y el Vector de Priorización, siendo este el promedio de los valores de la matriz resultante.

Figura 86*Cálculo de λ_{\max}*

VECTOR SUMA PONDERADA	VECTOR PRIORIZACIÓN	λ_{\max}
2.356	0.558	4.222
1.099	0.263	4.175
0.492	0.122	4.036
0.230	0.057	4.041
$\lambda_{\max} = \text{Promedio}$		4.1185

A continuación, se calculó el Índice de Consistencia (IC) y la Relación de Consistencia (RC) en base a las siguientes fórmulas:

$$IC = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (33)$$

$$RC = \frac{IC}{IA} \quad (34)$$

Donde: n = Número de descriptores del parámetro

IA = Índice Aleatorio

Asimismo, la Relación de Consistencia (RC) debe ser menor a 0.04 para tres descriptores, menor a 0.08 para cuatro descriptores y menor a 0.10 para cinco descriptores.

Para el caso del Parámetro Profundidad y Velocidad de Inundación, estos valores fueron de $IC = 0.039$ y $RC = 0.045$, cumpliéndose la condición establecida con anterioridad.

Finalmente, debido a que era necesario que todos los parámetros contasen con cinco descriptores para poder establecer los rangos de Peligrosidad, se duplicó aquellos con mayor área y se normalizó sus pesos para que su suma resultante fuera igual a uno.

Figura 87

Normalización del parámetro Profundidad y Velocidad de Inundación

DESCRIPTOR	PESO		DESCRIPTOR	PESO	
$HxV > 1.5 \text{ m}^2/\text{s}$	0.558	→	$HxV > 1.5 \text{ m}^2/\text{s}$	0.558	$\div 1.057 =$
$0.5 \text{ m}^2/\text{s} < HxV < 1.5 \text{ m}^2/\text{s}$	0.263		$0.5 \text{ m}^2/\text{s} < HxV < 1.5 \text{ m}^2/\text{s}$	0.263	
$0.25 \text{ m}^2/\text{s} < HxV < 0.5 \text{ m}^2/\text{s}$	0.122		$0.25 \text{ m}^2/\text{s} < HxV < 0.5 \text{ m}^2/\text{s}$	0.122	
$HxV < 0.25 \text{ m}^2/\text{s}$	0.057		$HxV < 0.25 \text{ m}^2/\text{s}$	0.057	
			$HxV < 0.25 \text{ m}^2/\text{s}$	0.057	
DESCRIPTOR	PESO		DESCRIPTOR	PESO	
$HxV > 1.5 \text{ m}^2/\text{s}$	0.528		$HxV > 1.5 \text{ m}^2/\text{s}$	0.528	
$0.5 \text{ m}^2/\text{s} < HxV < 1.5 \text{ m}^2/\text{s}$	0.249		$0.5 \text{ m}^2/\text{s} < HxV < 1.5 \text{ m}^2/\text{s}$	0.249	
$0.25 \text{ m}^2/\text{s} < HxV < 0.5 \text{ m}^2/\text{s}$	0.115		$0.25 \text{ m}^2/\text{s} < HxV < 0.5 \text{ m}^2/\text{s}$	0.115	
$HxV < 0.25 \text{ m}^2/\text{s}$	0.054		$HxV < 0.25 \text{ m}^2/\text{s}$	0.054	
			$HxV < 0.25 \text{ m}^2/\text{s}$	0.054	

De manera semejante se procedió con el cálculo del resto de parámetros y sus respectivos descriptores, siendo el resultado final de sus pesos ponderados el detallado en la Tabla 44.

Tabla 44*Pesos Ponderados de los Parámetros del Análisis de Peligrosidad*

PARÁMETRO/DESCRIPTOR	PESO PONDERADO
1. PARÁMETROS DE EVALUACIÓN DEL FENÓMENO	0.300
1.1. Profundidad de inundación (H) y velocidad de inundación (V)	1.000
<i>Si la velocidad de inundación (V) < 2 m/s</i>	
H > 1.5 m	0.528
0.5 m < H < 1.5 m	0.249
0.25 < H x V < 0.5 m	0.115
H x V < 0.25 m	0.054
<i>Si la velocidad de inundación (V) > 2 m/s</i>	
H x V > 1.5 m ² /s	0.528
0.5 m ² /s < H x V < 1.5 m ² /s	0.249
0.25 m ² /s < H x V < 0.5 m ² /s	0.115
H x V < 0.25 m ² /s	0.054
2. SUCESIBILIDAD	0.700
2.1. FACTORES CONDICIONANTES	0.500
<i>2.1.1. Uso del Suelo</i>	
Zona Urbana	0.633
Áreas de Expansión Urbana	0.503
Áreas de uso ganadero	0.260
Áreas de uso agrícola	0.134
Tierras sin uso	0.068
Tierras sin uso	0.035
<i>2.1.2. Pendiente del Terreno</i>	
Fuertemente Empinado: >45°	0.106
Moderadamente Empinado: 26°- 45°	0.503
Fuertemente Inclinado: 16°-25°	0.260
Moderadamente Inclinado: 6-15°	0.134
Ligeramente Inclinado: 0-5°	0.068
Ligeramente Inclinado: 0-5°	0.035
<i>2.1.3. Geología</i>	
Depósitos Lacustres	0.260
Depósitos Fluvio - Aluviales	0.334
Casco Urbano	0.138
Casco Urbano	0.056
2.2. FACTORES DESENCADENANTES	0.500
<i>2.2.1. Caudales máximos (m³/s)</i>	<i>1.000</i>
65.9 m ³ /s (TR=200 años)	0.037
56.4 m ³ /s (TR=100 años)	0.078
47.8 m ³ /s (TR=50 años)	0.169
38 m ³ /s (TR=20 años)	0.358

Para determinar los rangos correspondientes a los niveles de Peligrosidad se multiplicó los pesos de los descriptores de cada parámetro por el peso correspondiente al parámetro, para posteriormente ser sumados.

Tabla 45*Rangos de Peligrosidad*

VALORES DE LOS RANGOS DE PELIGRO		NIVELES DE PELIGRO	
0.298	$< P \leq$	0.444	MUY ALTO
0.141	$< P \leq$	0.298	ALTO
0.074	$< P \leq$	0.141	MEDIO
0.043	$< P \leq$	0.074	BAJO

Con los valores ya definidos se procedió a generar capas vectoriales (shapefiles), en Arc Gis, para cada uno de los parámetros como se describe a continuación:

- Profundidad y velocidad de inundación: Se generó en base al Periodo de Retorno de 200 años, al ser este el que se utilizara como base para el SAT.
- Uso del Suelo: Se realizó a partir del mapa de Uso de Suelos de la Zonificación Ecológica Económica y Ordenamiento Territorial en Cajamarca, el cual fue modificado en base a las visitas de campo realizadas.
- Pendiente del Terreno: En Arc Gis se generó el mapa de pendientes del terreno a partir del modelo digital de elevación del Caserío Bella Unión.
- Geología: Se elaboró a partir del mapa Geológico de la Zonificación Ecológica Económica y Ordenamiento Territorial en Cajamarca.
- Caudales máximos: Se obtuvo a partir de las superficies de inundación calculadas en el Modelamiento Hidráulico para los diferentes periodos de retorno.
- Se obtuvo el Catastro Rural del Caserío Bella Unión mediante el Map Server del Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI).

A los mapas resultantes, se les asignó sus pesos ponderados correspondientes y luego fueron intersecados para obtener el Mapa de Peligrosidad frente a Inundaciones causadas por el río San Lucas en el Caserío Bella Unión.

➤ Evaluación de Vulnerabilidad

Los pesos ponderados de los Parámetros de la Vulnerabilidad y sus descriptores se calcularon mediante Proceso de Análisis Jerárquico, siguiendo los mismos pasos utilizados en la Peligrosidad, los resultados obtenidos se reflejan en la Tabla 46.

Tabla 46

Pesos Ponderados de los Parámetros del Análisis de Vulnerabilidad

PARÁMETRO/DESCRIPTOR	PESO PONDERADO
1. DIMENSIÓN SOCIAL	0.333
1.1. EXPOSICIÓN SOCIAL	0.633
<i>1.1.1. Distribución etaria</i>	<i>0.500</i>
De 0 a 5 años y mayor a 65 años	0.503
De 5 a 12 años y de 60 a 65 años	0.260
De 12 a 15 años y de 50 a 60 años	0.134
De 15 a 30 años	0.068
De 30 a 50 años	0.035
<i>1.1.2. Número de habitantes por vivienda</i>	<i>0.500</i>
Más de 10 habitantes	0.503
7 a 10 habitantes	0.260
5 a 6 habitantes	0.134
3 a 4 habitantes	0.068
Menos de 3 habitante	0.035
1.2. FRAGILIDAD SOCIAL	0.106
<i>1.2.1. Acceso al Servicio de Salud</i>	<i>0.333</i>
Crítico (Sin acceso a los servicios de salud)	0.528
Baja (Más de 1 hora, servicios bastante limitado)	0.249
Moderada (Entre 30 min y 1 hora, con servicios limitados o intermitentes)	0.115
Alta (A menos de 30min, con disponibilidad de servicios básicos)	0.054
<i>1.2.2. Acceso al Servicio de Agua</i>	<i>0.333</i>
Red Pública dentro de la vivienda	0.035
Red Pública fuera de la vivienda	0.068
Pilón de uso público	0.134
Camión cisterna o similar	0.260
Pozo, río, otro	0.503
<i>1.2.3. Tipo de alumbrado</i>	<i>0.333</i>
Electricidad	0.035
Querosene, mechero, lamparín	0.068
Petróleo, gas	0.134
Vela u otros	0.260
No tiene	0.503

PARÁMETRO/DESCRIPTOR	PESO PONDERADO
1.3. RESILIENCIA SOCIAL	0.260
1.3.1. Conocimiento local sobre las causas y consecuencias de las inundaciones pasadas	0.500
Existe un total desconocimiento	0.503
Existe un conocimiento escaso	0.260
Existe un regular conocimiento	0.134
Existe un conocimiento amplio	0.068
Existe un total conocimiento	0.035
1.3.2. Capacitación en temas de gestión de riesgo	0.500
La población no cuenta con ninguna capacitación	0.503
La población está escasamente capacitada	0.260
La población se capacita con regular frecuencia	0.134
La población se capacita constantemente, siendo su difusión y cobertura mayoritaria	0.068
La población se capacita constantemente, siendo su difusión y cobertura total	0.035
2. DIMENSIÓN ECONÓMICA	0.333
2.1. EXPOSICIÓN ECONÓMICA	0.633
2.1.1. Cercanía al río	1.000
Menor a 20m	0.503
Entre 20 y 100m	0.260
Entre 100 y 500m	0.134
Entre 500 y 1000m	0.068
Mayor a 1000m	0.035
2.2. FRAGILIDAD ECONÓMICA	0.106
2.2.1. Material de Construcción	0.633
Estera / Cartón	0.503
Madera	0.260
Quincha	0.134
Adobe o tapia	0.068
Ladrillo o bloques de cemento	0.035
2.2.2. Estado de conservación de la construcción	0.260
Muy malo: La estructuras presentan un deterioro que presume su colapso	0.503
Malo: La estructura presenta amplio deterioro sin mantenimiento.	0.260
Regular: Las estructuras no presentan deterioro o tienen un deterioro subsanable.	0.134
Bueno: Se presentan ligeros deterioros en acabados producto del uso normal.	0.068
Muy bueno: No se presenta deterioro alguno, existe un mantenimiento permanente.	0.035

PARÁMETRO/DESCRIPTOR	PESO PONDERADO
2.2.3. <i>Configuración de elevación de las edificaciones</i>	0.106
1 piso	0.503
2 pisos	0.260
3 pisos	0.134
4 pisos	0.068
5 a más pisos	0.035
2.3. RESILIENCIA ECONÓMICA	0.260
2.3.1. <i>Ingreso familiar promedio mensual</i>	0.500
Mayor a 3390 soles	0.035
De 2260 a 3390 soles	0.068
De 1500 a 2260 soles	0.134
De 1130 a 1500 soles	0.260
Menor al sueldo mínimo	0.503
2.3.2. <i>Profesión del jefe del hogar</i>	0.500
Profesión superior, oficial de las fuerzas armadas	0.035
Profesión técnica superior, medianos comerciantes o productores	0.068
Sin profesión universitaria, con técnica media, pequeños comerciantes o productores	0.134
Obreros especializados y parte del sector informal con primaria completa	0.260
Obreros no especializados y parte del sector informal sin primaria completa	0.503
3. DIMENSIÓN AMBIENTAL	0.333
3.1. EXPOSICIÓN AMBIENTAL	0.633
3.1.1. <i>Deforestación</i>	0.500
Áreas sin vegetación. Terrenos eriazos y/o áreas donde se levanta diverso tipo de infraestructura	0.503
Áreas de cultivo. Tierras dedicadas a cultivos	0.260
Pastos. Tierras dedicadas al cultivo de pastos para fines de alimentación de ganado	0.134
Otras tierras con árboles. Tierras que se con árboles capaces de alcanzar una altura de 5 m	0.068
Bosques. Tierras dotadas de árboles de una altura superior a 5 m	0.035
3.1.2. <i>Pérdida del suelo</i>	0.500
Erosión provocada por las lluvias	0.503
Deforestación agravada, expansión urbana, sobrepastoreo	0.260
Protección inadecuada en los márgenes de corrientes de agua	0.134
Longitud de la pendiente del suelo, relaciona las pérdidas de un campo de cultivo	0.068
Factor cultivo y contenido en sales ocasiona pérdidas por desertificación.	0.035

PARÁMETRO/DESCRIPTOR	PESO PONDERADO
3.2. FRAGILIDAD AMBIENTAL	0.106
3.2.1. Localización de los Centros Poblados	0.500
Muy cercana 0 km – 0.2 km	0.503
Cercana 0.2 km – 1 km	0.260
Medianamente cerca 1 – 3 km	0.134
Alejada 3 – 5 km	0.068
Muy alejada > 5 km	0.035
3.2.1. Explotación de los recursos naturales	0.500
Prácticas negligentes e intensas de degradación en el cauce y márgenes del río	0.503
Prácticas negligentes periódicas o estacionales de degradación en el cauce y márgenes del río	0.260
Prácticas de degradación del cauce y márgenes del río sin asesoramiento	0.134
Prácticas de consumo/uso del cauce y márgenes del río con escaso asesoramiento	0.068
Prácticas de consumo/uso del cauce y márgenes del río con asesoramiento técnico permanente	0.035
3.3. RESILIENCIA AMBIENTAL	0.260
3.3.1. Conocimiento y cumplimiento de la normativa ambiental	0.633
Existe total conocimiento de la normativa, respetandola y cumpliéndola	0.035
Existe conocimiento de la normativa y se cumple regularmente	0.068
Existe un conocimiento moderado, cumpliéndola parcialmente	0.134
Existe escaso conocimiento de la normativa, llevando al incumplimiento	0.260
Existe desconocimiento total de la normativa	0.503
3.3.2. Capacitación en temas de conservación ambiental	0.260
La población se capacita constantemente, difusión y cobertura total	0.035
La población se capacita constantemente, difusión mayoritaria	0.068
La población se capacita regularmente, difusión parcial	0.134
La población se encuentra escasamente capacitada, difusión escasa	0.260
La totalidad de la población no recibe capacitaciones	0.503
3.3.2. Conocimiento ancestral para la explotación de sus recursos naturales	0.106
La Población en su totalidad posee y aplica conocimientos para explotar recursos	0.035
La población mayoritariamente posee y aplica conocimientos para explotar recursos	0.068

PARÁMETRO/DESCRIPTOR	PESO PONDERADO
Parte de la población posee y aplica conocimientos para explotar recursos	0.134
Algunos pobladores poseen y aplican conocimientos para explotar recursos	0.260
La población total ha perdido los conocimientos ancestrales para explotar recursos	0.503

Para determinar los rangos correspondientes a los niveles de Vulnerabilidad se multiplicó los pesos de los descriptores de cada parámetro por el peso correspondiente al parámetro, para posteriormente ser sumados.

Tabla 47

Rangos de Peligrosidad

VALORES DE LOS RANGOS DE VULNERABILIDAD		NIVELES DE VULNERABILIDAD	
0.246	< V ≤	0.453	MUY ALTO
0.138	< V ≤	0.246	ALTO
0.081	< V ≤	0.138	MEDIO
0.054	< V ≤	0.081	BAJO

Finalmente, se elaboraron capas vectoriales (shapefiles), en Arc GIS, de los parámetros evaluados; para ello, se empleó la información obtenida mediante la encuesta realizada a la población. A los mapas resultantes, se les asignó sus pesos ponderados correspondientes y luego fueron intersecados para obtener el Mapa de Vulnerabilidad frente a Inundaciones causadas por el río San Lucas en el Caserío Bella Unión.

➤ **Evaluación de Riesgo**

Los Niveles de Riesgo se determinaron mediante una matriz de doble entrada, en base a la información correspondiente a los rangos de peligrosidad y la vulnerabilidad, tal como se muestra en la Figura 88.

Figura 88*Matriz de doble entrada utilizada para calcular los Niveles de Riesgo*

PMA	0.444	0.036	0.061	0.109	0.201
PA	0.298	0.024	0.041	0.073	0.135
PMA	0.141	0.011	0.019	0.035	0.064
PB	0.074	0.006	0.010	0.018	0.033
		0.081	0.138	0.246	0.453
		VB	VM	VA	VMA

Tabla 48*Rangos de Riesgo*

VALORES DE LOS RANGOS DE RIESGO		NIVELES DE RIESGO	
0.073	< V ≤	0.201	MUY ALTO
0.024	< V ≤	0.073	ALTO
0.006	< V ≤	0.024	MEDIO
0.001	< V ≤	0.006	BAJO

Una vez identificados los rangos de riesgo se procedió a intersecar los mapas de peligrosidad y vulnerabilidad, asimismo, fueron multiplicados los pesos correspondientes en ambas capas, el mapa resultante fue reclasificado en función de los rangos de riesgo dando como resultado final el Mapa de Riesgo frente a Inundaciones causadas por el río San Lucas en el Caserío Bella Unión.

3.6.7.3. Monitoreo y pronóstico

➤ Agentes Involucrados

En primer lugar, se identificaron los actores clave necesarios para el correcto funcionamiento del Sistema de Alerta Temprana, considerando sus roles específicos en cada etapa del sistema y en base a la estructura empleada en los sistemas de alerta manejados por la Municipalidad Provincial de Cajamarca.

Tabla 49*Agentes Involucrados en el Sistema de Alerta Temprana*

AGENTE/ACTOR	ROL EN EL SAT	GRUPO/ENTIDAD REQUERIDA	OBSERVACIONES
Municipalidad de Cajamarca	Apoyo logístico, validación de COEL, gestión territorial y normas de urbanización.	Diversas sugerencias que lo conforman	Debe ejecutar acciones destinadas a reducir el riesgo de desastres en la población. Define estrategias para actuar en emergencias.
Subgerencia de Gestión del Riesgo de Desastres - MPC	Central de monitoreo y análisis de datos. Transmisión de avisos.	Centro de Operaciones de Emergencia Provincial - COEP	Debe coordinar, liderar y evaluar los simulacros. Responsable de implementar campañas educativas con apoyo de INDECI.
Oficina General de Planeamiento y Presupuesto - MPC	Gestionar la adquisición e implementación de equipamiento necesario.	Adquisición propia o entidad con la que se realice el convenio	Incorpora las actividades en base al presupuesto institucional o mediante convenios con otras entidades públicas o privadas.
Universidad Nacional de Cajamarca (UNC)	Custodia de los instrumentos ubicados en el campus universitario	Personal de vigilancia existente	Puede apoyar en campañas educativas y simulacros a través de estudiantes o programas de proyección social.
SEDACAJ	Custodia del sensor ubicados en sus instalaciones	Personal de vigilancia existente	Garantiza seguridad del equipo. Puede colaborar con el mantenimiento.
Población de Bella Unión	Receptores de alerta, ejecución de respuesta comunitaria.	COEL, brigadas de alerta, evacuación y primeros auxilios	Se requiere fuerte componente de capacitación y motivación comunitaria.
Teniente gobernador de Bella Unión	Coordinador comunitario local.	Líder del COEL	Puede canalizar información y convocar a la comunidad.
INDECI	Asesoramiento técnico y validación del SAT. Capacitación a entidades públicas.	Coordinación con entidades públicas	Encargado de capacitación y provisión de asistencia técnica.
SENAMHI	Provisión de datos complementarios hidrometeorológicos.	Centro regional del SENAMHI	Asesora técnicamente y colabora en campañas educativas climáticas.
Grupos de trabajo comunitarios	Ejecución del plan de respuesta: evacuación, primeros auxilios, comunicación.	Brigadas de monitoreo, evacuación, apoyo y asistencia.	Necesarios para operativizar la respuesta ante una alerta real.
Centro de Operaciones de Emergencia Local (COEL) - Bella Unión	Coordinación y ejecución local del sistema de alerta y respuesta ante emergencias.	Comité con representantes comunitarios	Coordina con INDECI y Municipalidad para realizar simulacros y acciones de sensibilización.

➤ Mecanismos de monitoreo y alerta

Una vez identificados los agentes involucrados en el SAT, se procedió a definir los instrumentos que serán empleados para monitorear el comportamiento del río San Lucas. Teniendo en cuenta las condiciones descritas en la evaluación del riesgo se contempló la necesidad de contar con dos tipos de equipos, en primer lugar, estaciones meteorológicas encargadas de registrar las precipitaciones en puntos estratégicos de la cuenca y, en segundo lugar, estaciones hidrométricas destinadas a medir el nivel del río en diferentes puntos de su cauce.

En el caso de las estaciones meteorológicas, cabe señalar que la Universidad Nacional de Cajamarca cuenta actualmente con una estación ubicada en el segundo piso del pabellón de la Escuela de Ingeniería Civil, la cual registra y transmite en tiempo real los datos de precipitación, siendo administrada por el Centro de Operaciones de Emergencia Provincial de Cajamarca. En tal sentido, se propone la integración de dicha estación al presente Sistema de Alerta Temprana por Inundación, aprovechando su operatividad y capacidad de transmisión en tiempo real. Asimismo, debido a la necesidad de contar con información pluviométrica representativa de la parte alta de la cuenca, se plantea la instalación de una segunda estación meteorológica a la altura de la captación del río Ronquillo, la cual deberá presentar las mismas características que la estación actualmente existente.

Por otro lado, no existen estaciones hidrométricas en el río San Lucas, por lo cual, se realizó un análisis de los diferentes instrumentos de medición disponibles, con el fin de seleccionar aquel que mejor se aadecue al Sistema de Alerta propuesto y al mismo tiempo sea compatible con los lineamientos seguidos por la Municipalidad Provincial de Cajamarca en Sistemas de Alerta Temprana presentes en la zona.

Tabla 50*Ventajas y desventajas de los diferentes instrumentos de medición*

INSTRUMENTO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Linímetro manual (regla graduada)	<ul style="list-style-type: none"> - Económico y simple - Fácil instalación - No requiere energía 	<ul style="list-style-type: none"> - Lectura manual - No apto para tiempo real - Riesgoso en crecidas
Sensor de presión sumergible	<ul style="list-style-type: none"> - Preciso en cauces tranquilos - Relación costo-beneficio aceptable - Bajo mantenimiento si está bien instalado 	<ul style="list-style-type: none"> - Puede dañarse por sedimentos o golpes - Difícil mantenimiento en caudales turbulentos
Sensor ultrasónico (no contacto)	<ul style="list-style-type: none"> - No se sumerge en el agua - Fácil instalación en puentes o estructuras - Bueno en ambientes limpios 	<ul style="list-style-type: none"> - Puede ser afectado por niebla, condiciones de bloqueo o fauna (aves, ramas)
Sensor radar (no contacto)	<ul style="list-style-type: none"> - Alta precisión y confiabilidad - No se ve afectado por condiciones climáticas - No requiere mantenimiento en contacto con el agua 	<ul style="list-style-type: none"> - Costo elevado - Requiere buena instalación estructural (ej. sobre puente)
Sensor de burbujeo (bubbler)	<ul style="list-style-type: none"> - Muy Preciso - Ideal para sitios con muchas partículas o cambios bruscos de nivel - el sensor No está en contacto directo con el agua 	<ul style="list-style-type: none"> - Requiere suministro constante de aire - Más complejo de instalar y mantener
Sensor láser (tecnología avanzada)	<ul style="list-style-type: none"> - Muy alta precisión - Ideal en instalaciones permanentes y sistemas modernos 	<ul style="list-style-type: none"> - Alto costo - Puede ser excesivo para cauces rurales o sistemas simples

En base al análisis se optó por seleccionar el uso de Sensores ultrasónicos porque ofrecen una buena precisión a bajo costo, además, pueden instalarse de forma sencilla sobre estructuras como puentes y al no estar en contacto con el agua requieren poco mantenimiento. Asimismo, permiten la transmisión en tiempo real de la información, el cual representa un punto importante dentro del Sistema de Alerta Temprana.

Como siguiente punto, se estableció la ubicación de las estaciones hidrométricas, para lo cual se tuvo en cuenta que el caserío Bella Unión se encuentra aguas abajo de

la confluencia entre la quebrada Calispuquio y el río San Lucas, asimismo, se tuvo en cuenta que estas deberían cumplir con las siguientes características:

- Deben estar ubicados en tramos de acceso fácil para instalar los instrumentos de medición.
- Ser puntos estratégicos cuya distancia del caserío Bella Unión permitan un tiempo de respuesta adecuado a la población.
- Deben permitir la transmisión rápida y efectiva de la información a los diferentes agentes involucrados.
- Ser zonas seguras, donde se garantice la protección contra actos vandálicos y daños.

En base a dichas consideraciones se identificó los lugares estratégicos para la ubicación de las estaciones de medición de nivel, siendo estos los siguientes:

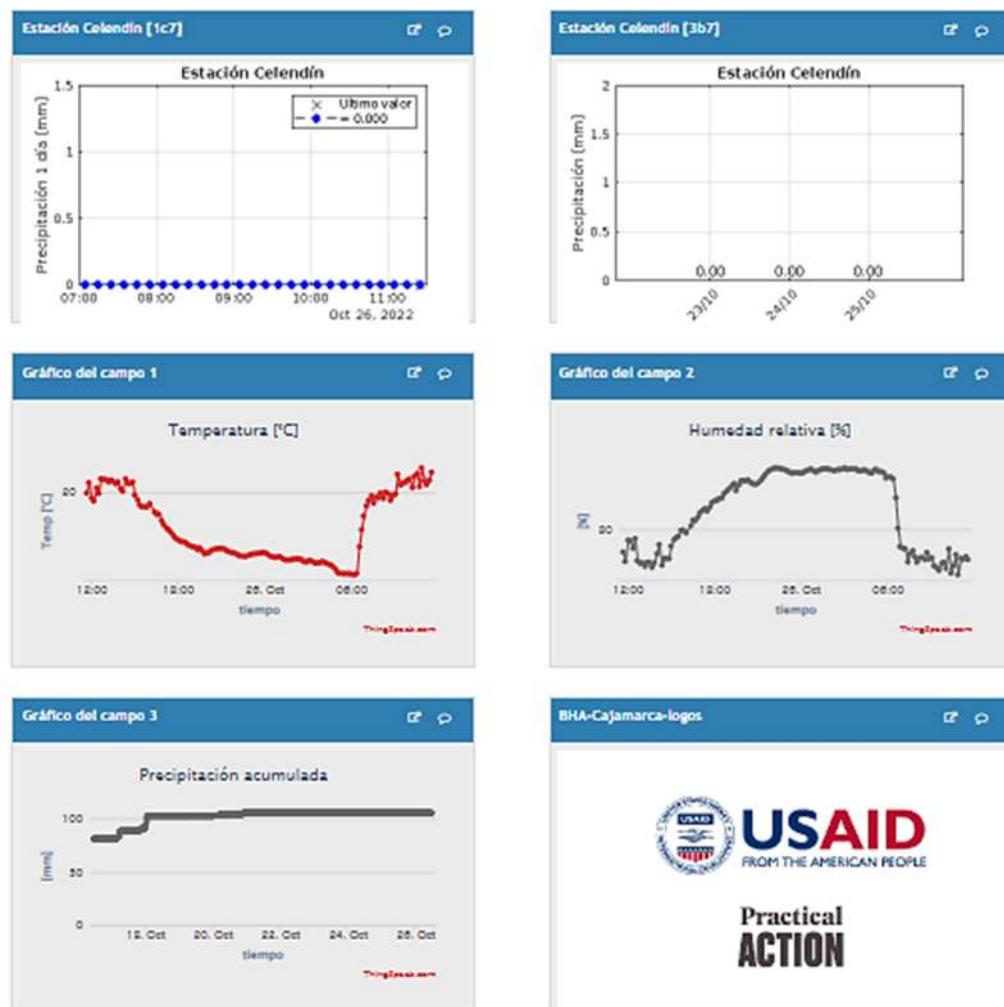
- En el río San Lucas, a la altura del puente amarillo correspondiente a las coordenadas UTM WGS 84 Zona 17S: Este 775444.20 m y Norte 9207896.37 m
- En la quebrada Calispuquio, el puente ubicado dentro del campus de la Universidad Nacional de Cajamarca en la Av. Túlio Sánchez Atalaya correspondiente a las coordenadas UTM WGS 84 Zona 17S: Este 776420.85 m y Norte 9206768.01 m.

Finalmente, el monitoreo de los datos estará a cargo del Centro de Operaciones de Emergencia Provincial de Cajamarca, el cual forma parte de la Subgerencia de Gestión del Riesgo de Desastres. La información será transmitida vía wifi a la plataforma denominada Thingspeak, la cual recibe los datos captados por las estaciones y posteriormente almacenar y realizar el análisis correspondiente a cada

variable. Dicha plataforma es la utilizada en los Sistemas de Alerta Temprana de Cajamarca ya que representa una plataforma gratuita que además permite el libre acceso a la información por parte de la población.

Figura 89

Gráficos reportados por las estaciones manejadas por la Subgerencia de Gestión del Riesgo de Desastres



Nota. Tomado de *Manual interpretación de datos meteorológicos y seguimiento para la toma de decisiones*, por USAID y Practical Action, s.f.b.

➤ **Umbrales de Inundación**

Como se observa en la Tabla 20, para establecer los umbrales en las Estaciones Meteorológicas se considera que los días lluviosos que superan el percentil 90 se

clasifican como días de “Peligro moderado”; los “Días muy lluviosos” que superan el percentil 95 de los días con lluvia se clasifican como días de “Peligro fuerte”; y los “Días extremadamente lluviosos” que superan el percentil 99 se clasifican como días de “Peligro extremo”.

En el caso de Cajamarca, el COEP trabaja con umbrales establecidos a partir de la Estación Augusto Weberbauer, los cuales se detallan en la Tabla 51.

Tabla 51

Umbrales de precipitación establecidos para Cajamarca

UMBRAL DE PELIGRO	PERCENTIL	PRECIPITACIÓN (mm)	CARACTERIZACIÓN DE LLUVIAS EXTREMAS
Moderado	Percentil 90	10.80	Lluvioso
Fuerte	Percentil 95	14.50	Muy lluvioso
Extremo	Percentil 99	23.60	Extremadamente lluvioso

Nota. Tomado de *Condiciones climáticas y umbrales para la Alerta ante Inundaciones Ciudad de Cajamarca / Quebrada “Huayllapampa”*, por USAID y Practical Action, s.f.a.

Es fundamental notar que las alertas deben considerar la lluvia previa (durante varios días) y su intensidad; es decir, la acumulación de precipitación durante días pasados. Como resultado, de acuerdo con el registro de emergencias DESINVENTAR de 1970–2020, el INDECI y el monitoreo de lluvias del SENAMHI, las inundaciones que causaron daños tuvieron un contexto previo de 02–11 días con acumulaciones de precipitación que iban de 20 a 96 mm, y en el mismo día, de 00 a 35 mm (USAID y Practical Action, s.f.a.).

En contraste, en el río San Lucas no se han establecido umbrales para las crecidas del río, por lo tanto, en las estaciones hidrométricas se ha considerado utilizar los umbrales de peligro en base a los caudales generados para períodos de retorno de 2.33

años para un nivel de peligro moderado, 5 años para un nivel de peligro fuerte y 10 años para un nivel de peligro extremo. Esta información fue obtenida a partir del modelamiento hidrológico del río y sus resultados se presentan en la Tabla 52.

Tabla 52

Umbrales de caudal para el río San Lucas en base a la RM N°049-2020-PCM

UMBRAL DE PELIGRO	PERIODO DE RETORNO	CAUDAL (m ³ /s)
Moderado	2.33 años	20.80
Fuerte	5 años	26.10
Extremo	10 años	31.70

Los valores obtenidos fueron contrastados con el modelamiento hidráulico para comprobar su validez, para ello se analizó el caudal presente en el momento que se iniciaba la inundación tanto en IBER como en HEC RAS.

Tabla 53

Caudales que inician la inundación en HEC-RAS e IBER

MODELO HIDRÁULICO	CAUDAL QUE INICIA LA INUNDACIÓN (m ³ /s)				
	TR = 20 años	TR = 50 años	TR = 100 años	TR = 200 años	Promedio
HEC-RAS	34.30	35.50	36.50	35.90	35.55
IBER	31.80	31.60	31.70	32.10	31.80

Se observó que el umbral crítico presenta valores similares a los determinados mediante IBER, mientras que son menores a los caudales identificados en HEC -RAS, por lo cual, se decidió mantener los valores de los umbrales críticos calculados.

Ya determinados los umbrales de inundación, se procedió a calcular las alturas y caudales correspondientes en las estaciones hidrométricas, para lo cual, se empleó la fórmula de Manning:

$$Q = \frac{A x R^{\frac{2}{3}} x S^{\frac{1}{2}}}{n}; R = \frac{A}{P} \quad (35)$$

Donde: $Q = \text{Caudal (m}^3/\text{s)}$

$A = \text{Área de la sección hidráulica (m}^2)$

$P = \text{Perímetro mojado (m)}$

$R = \text{Radio hidráulico (m)}$

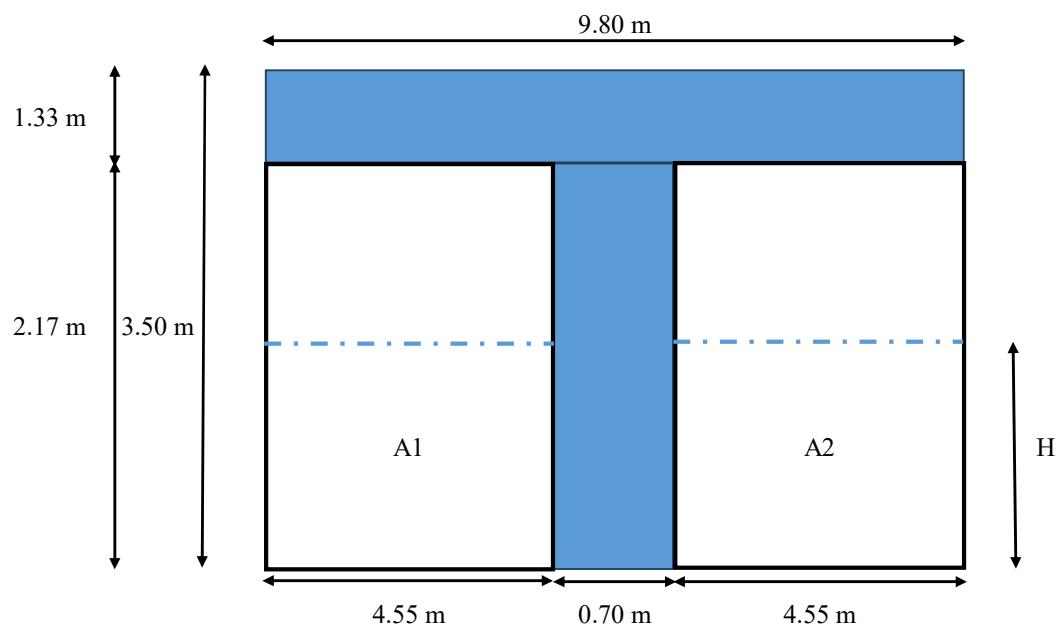
$S = \text{Pendiente de fondo (m/m)}$

$n = \text{Coeficiente de Manning}$

Las dimensiones de las secciones de los puentes fueron obtenidas a través de mediaciones en campo, mientras que, la pendiente y el coeficiente de Manning se obtuvo en base a las características de los cursos de agua correspondientes a 100 metros aguas arriba de las estaciones hidrométricas. A continuación, se detalla el proceso seguido para determinar los umbrales en la estación del río San Lucas a la altura del puente Amarillo.

Figura 90

Sección del Puente Amarillo ubicado en el río San Lucas



A partir de la sección del puente se obtuvo las ecuaciones correspondientes al Área y el Perímetro, por otro lado, se empleó el método de Cowan para el cálculo de la rugosidad y la pendiente del río se obtuvo a través de la diferencia de cotas correspondiente al tramo analizado del río, los datos obtenidos fueron los siguientes:

$$A_{1,2} = 4.55H$$

$$P_{1,2} = 4.55 + 2H$$

$$n = 0.035$$

$$S = 0.01$$

Reemplazando en la fórmula de Manning se obtuvo la siguiente ecuación para el caudal:

$$Q = Q_1 + Q_2 = 26 * \left(\frac{4.55H}{4.55 + 2H} \right)^{2/3}$$

Mediante iteraciones en Excel se logró determinar el valor de H correspondiente a cada caudal, los resultados se muestran en la Tabla 54.

Tabla 54

Umbrales de alerta en la estación hidrométrica del río San Lucas en el puente Amarillo

UMBRAL	CAUDAL (m ³ /s)	ALTURA (m)
Moderado	20.08	0.99
Fuerte	26.10	1.19
Extremo	31.70	1.36

De manera similar se realizaron los cálculos para la otra estación ubicada en la quebrada Calispuquio.

3.6.7.4. Comunicación y difusión de la alerta

En este apartado se planteó el funcionamiento del Sistema de Alerta Temprana de manera Integral, estableciendo el proceso de transmisión de la información en base a actores involucrados, de tal forma que se garantice una implementación eficaz y adecuada y los mecanismos de difusión de la alerta a la comunidad, así como la ubicación de los mismos.

El primer paso fue establecer un esquema del proceso a seguir desde que el nivel del río sobrepasa los umbrales establecidos hasta la transmisión de la alerta en la comunidad.

Figura 91

Proceso de comunicación y difusión de la alerta



De igual manera se establecieron las medidas a tomar para la emisión de alertas y alarmas, para lo cual se tomó en cuenta los protocolos establecidos en la RM N°049-2020-PCM y el Plan de preparación de la provincia de Cajamarca 2024 - 2026.

Tabla 55*Medidas para la emisión de alertas y alarmas*

FASE	RESPONSABLES	ACCIONES
Monitoreo y pronóstico	Centro de Operaciones de Emergencia Provincial (COEP) Cajamarca	Realizar el seguimiento, monitoreo permanente y pronóstico de caudales y niveles, así como las características de la población vulnerable frente a la materialización del peligro.
Ánalisis de la información	Centro de Operaciones de Emergencia Provincial (COEP) Cajamarca	Analizar los umbrales e identificar las zonas de probable afectación. Elaborar mensajes de alerta y alarmas incorporando las recomendaciones a las autoridades locales y a la población en general.
Emisión de alerta	Centro de Operaciones de Emergencia Provincial (COEP) Cajamarca Centro de Operaciones de Emergencia Local (COEL) Bella Unión	Difundir alertas o alarmas en base al monitoreo de los peligros y las características de la población que podría ser afectada. Verificar recepción de alerta o alarma.

Nota. Elaborado en base a la RM N°049-2020-PCM y el Plan de preparación de la provincia de Cajamarca 2024 – 2026.

En cuanto al medio por el cual la población recibirá los avisos, se estableció el uso de bocinas, ya que este sistema fue considerado el de mayor aceptación dentro de la población y se valida en el hecho de que permite difundir mensajes de emergencia de manera inmediata y simultánea que pueden ser escuchadas en largas distancias, garantizando que incluso aquella población más vulnerable reciba la advertencia y actúe de manera adecuada ante la amenaza.

La localización de las bocinas se definió en función de la distribución espacial de la población y del alcance sonoro estimado, de modo que su cobertura permita la difusión uniforme de los avisos en toda el área expuesta al riesgo. Se priorizaron los puntos estratégicos con mayor densidad poblacional, buscando maximizar la

efectividad del sistema y asegurar que el mensaje de alerta sea percibido por la mayor cantidad posible de habitantes.

Figura 92

Resultados de la encuesta para la selección del Método de Alerta



3.6.7.5. Capacidad de respuesta

En el presente ítem se identificaron las rutas de evacuación y las zonas seguras en base a las características propias del caserío Bella Unión, para lo cual se culminó con un plano que sirva de guía para su identificación. De igual manera se plantearon las acciones que la población debería realizar durante la activación del Sistema de Alerta Temprana y se identificaron algunas medidas necesarias para mejorar la capacidad de respuesta comunitaria.

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

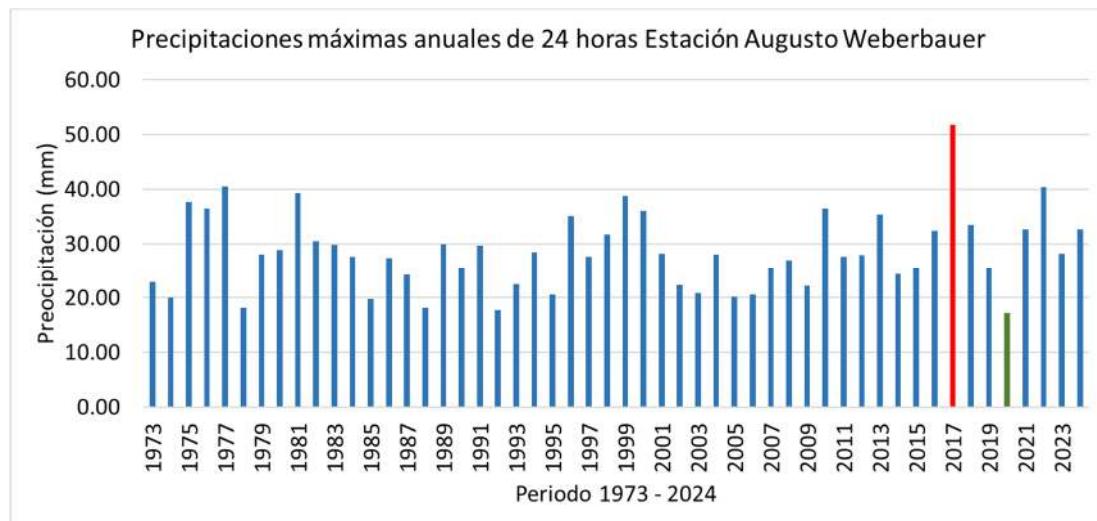
4.1. Presentación de resultados

4.1.1. Información Meteorológica

Utilizando los datos brindados por el SENAMHI, se elaboró un gráfico de las precipitaciones máximas anuales de 24 horas, donde se puede apreciar que la precipitación máxima se registró en el año 2017 y fue de 51.80 mm, mientras que el mínimo registrado fue de 17.20 mm en el año 2020.

Figura 93

Precipitaciones máximas anuales de 24 horas para el periodo 1973 - 2024



De igual forma, se analizó su comportamiento durante los fenómenos El Niño de los años 1982, 1998, 2017 y 2023. Se observó que, durante estos eventos, la precipitación máxima mensual de 24 horas promedio durante la época de lluvias en Cajamarca (octubre a abril) fue superada en los eventos de 1982, 1997 y 2023, y solo presenta valores menores en el evento del 2017, siendo este un Fenómeno del Niño Costero, que tuvo mayor impacto en la zona norte y central de la costa peruana.

Tabla 56*Precipitaciones máximas mensuales de 24 horas durante los Fenómenos El Niño**1982, 1998, 2017 y 2023*

P (mm)	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
Pm24hP	16.15	19.43	21.46	16.30	9.77	4.06	3.11	3.80	9.33	14.71	16.26	17.32
FEN 1982												
1982	-	-	-	-	-	-	1.10	6.40	7.60	18.50	20.70	30.50
1983	19.40	28.00	28.10	16.80	8.20	4.70	6.50	1.20	8.90	18.90	6.80	-
FEN 1998												
1997	-	-	7.10	8.30	7.50	6.60	0.20	0.00	7.60	10.20	27.60	23.80
1998	12.50	16.50	31.70	22.30	6.30	4.10	1.30	3.50	4.60	-	-	-
FEN 2017												
2016	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11.90
2017	12.90	11.60	14.30	14.10	9.60	-	-	-	-	-	-	-
FEN 2023												
2023	-	21.20	26.20	9.60	10.00	0.00	1.90	3.00	1.00	22.40	21.20	28.20
2024	11.20	32.70	19.50	-	-	-	-	-	-	-	-	-

4.1.2. Parámetros de la cuenca

4.1.2.1. Parámetros de forma

En la Tabla 57 se describen los parámetros de forma de la cuenca del río San Lucas.

Tabla 57*Parámetros de forma de la cuenca del río San Lucas*

PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD
Área	71.78	Km ²
Perímetro	52.05	Km
Longitud de la Cuenca	16.97	Km
Ancho de la Cuenca	4.23	Km
Factor de Forma de Horton	0.25	-
Coeficiente de compacidad	1.73	-
Razón de elongación	0.56	-
Relación de circularidad	0.33	-
Rectángulo Equivalente		
L =	22.85	Km
1 =	3.14	Km

4.1.2.2. Parámetros de relieve

En la Tabla 58 se mencionan los resultados obtenidos para los parámetros de relieve de la cuenca del río San Lucas.

Tabla 58

Parámetros de relieve de la cuenca del río San Lucas

PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD
Pendiente media de la cuenca	26.98	%
Curva hipsométrica	Tipo B	-
Elevación media de la cuenca	3334.86	m.s.n.m

4.1.2.3. Parámetros de drenaje

En la Tabla 59 se presentan los parámetros de drenaje correspondientes a la cuenca del río San Lucas.

Tabla 59

Parámetros de drenaje de la cuenca del río San Lucas

PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD
Densidad de Drenaje	1.01	/km
Orden de la cuenca	3°	-
Relación de bifurcación		
2° orden	3.50	-
3° orden	6.00	-

4.1.3. Modelamiento Hidrológico

Para el modelamiento hidrológico se utilizó el software HEC – HMS, los Periodos de Retorno (TR) considerados para el análisis fueron de 20, 50, 100 y 200 años, los cuales se seleccionaron tomando en cuenta el riesgo admisible y la vida útil del Sistema de Alerta Temprana propuesto, la cual fue de 30 años.

Los caudales máximos y los hidrogramas obtenidos se presentan en la Tabla 60 y en la Figura 94 respectivamente.

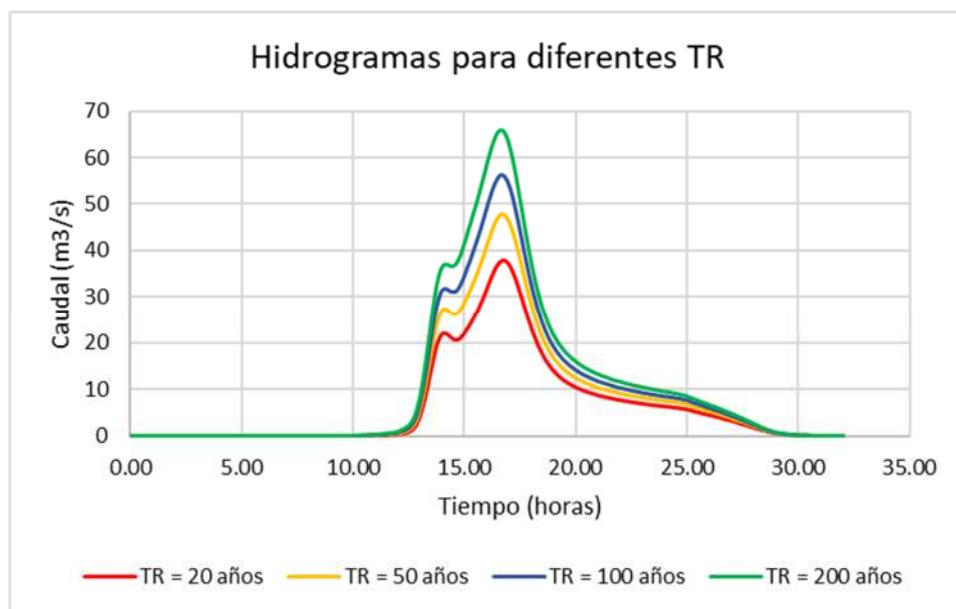
Tabla 60

Caudales máximos para los diferentes Periodos de Retorno (TR) considerados

PERIODO DE RETORNO (TR)	RIESGO ADMISIBLE	CAUDAL (m ³ /s)
20 años	79%	38.00
50 años	45%	47.80
100 años	26%	56.40
200 años	14%	65.90

Figura 94

Hidrogramas para los diferentes Periodos de Retorno (TR) considerados



4.1.4. Modelamiento Hidráulico

Se realizó el modelamiento hidráulico bidimensional (2D) utilizando HEC-RAS e IBER. El área de estudio comprendió 626 140.18 m² y se consideró una extensión de 200 metros en cada margen del río San Lucas, desde el puente La Huanga hasta su desembocadura en el río Mashcón. En HEC-RAS se utilizó una malla base de 8 m x 8 m con un refinamiento a 3 m x 3 m en las zonas cercanas al cauce, mientras que, en IBER se asignó una malla con un lado máximo de 8 m y un lado mínimo de 1 m.

4.1.4.1. Modelamiento Hidráulico para Periodo de Retorno de 20 años

➤ HEC-RAS

Se presentó un área inundada de 39873.18 m², el tirante máximo para el Periodo de Retorno de 20 años fue de 3.03 m en el cauce del río y entre 0.01 m a 0.30 m en las zonas inundadas. Por otro lado, la velocidad máxima registrada en el cauce fue de 4.44 m/s, mientras que en las zonas inundadas alcanza una velocidad máxima de 1.05 m/s.

Figura 95

Tirantes para el Periodo de Retorno de 20 años en HEC-RAS



Figura 96

Velocidades para el Periodo de Retorno de 20 años en HEC-RAS



➤ **IBER**

Se presentó un área inundada de 110850.70 m², el tirante máximo para el Periodo de Retorno de 20 años fue de 3.10 m en el cauce del río y entre 0.01 m a 0.28 m en las zonas inundadas. Por otro lado, la velocidad máxima registrada en el cauce fue de 5.80 m/s, mientras que en las zonas inundadas alcanza una velocidad máxima de 1.43 m/s.

Figura 97

Tirantes para el Periodo de Retorno de 20 años en IBER



Figura 98

Velocidades para el Periodo de Retorno de 20 años en IBER



4.1.4.2. Modelamiento Hidráulico para Periodo de Retorno de 50 años

➤ HEC-RAS

Se presentó un área inundada de 257390.39 m², el tirante máximo para el Periodo de Retorno de 50 años fue de 3.21 m en el cauce del río y entre 0.01 m a 0.39 m en las zonas inundadas. Por otro lado, la velocidad máxima registrada en el cauce fue de 4.53 m/s, mientras que en las zonas inundadas alcanza una velocidad máxima de 1.71 m/s.

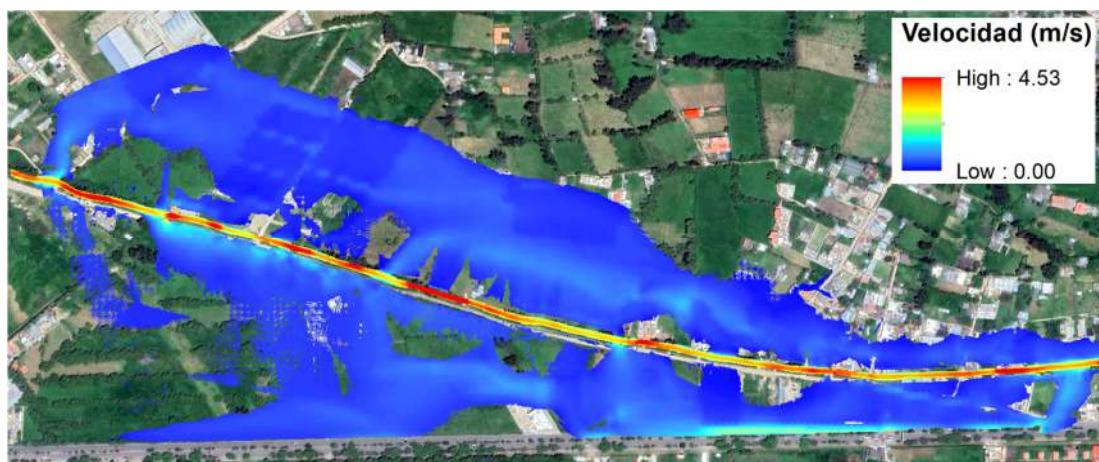
Figura 99

Tirantes para el Periodo de Retorno de 50 años en HEC-RAS



Figura 100

Velocidades para el Periodo de Retorno de 50 años en HEC-RAS



➤ **IBER**

Se presentó un área inundada de 276044.04 m², el tirante máximo para el Periodo de Retorno de 50 años fue de 3.22 m en el cauce del río y entre 0.01 m a 0.39 m en las zonas inundadas. Por otro lado, la velocidad máxima registrada en el cauce fue de 7.56 m/s, mientras que en las zonas inundadas alcanza una velocidad máxima de 1.82 m/s.

Figura 101

Tirantes para el Periodo de Retorno de 50 años en IBER



Figura 102

Velocidades para el Periodo de Retorno de 50 años en IBER



4.1.4.3. Modelamiento Hidráulico para Periodo de Retorno de 100 años

➤ HEC-RAS

Se presentó un área inundada de 366514.69 m^2 , el tirante máximo para el Periodo de Retorno de 100 años fue de 3.28 m en el cauce del río y entre 0.01 m a 0.55 m en las zonas inundadas. Por otro lado, la velocidad máxima registrada en el cauce fue de 4.54 m/s, mientras que en las zonas inundadas alcanza una velocidad máxima de 2.00 m/s.

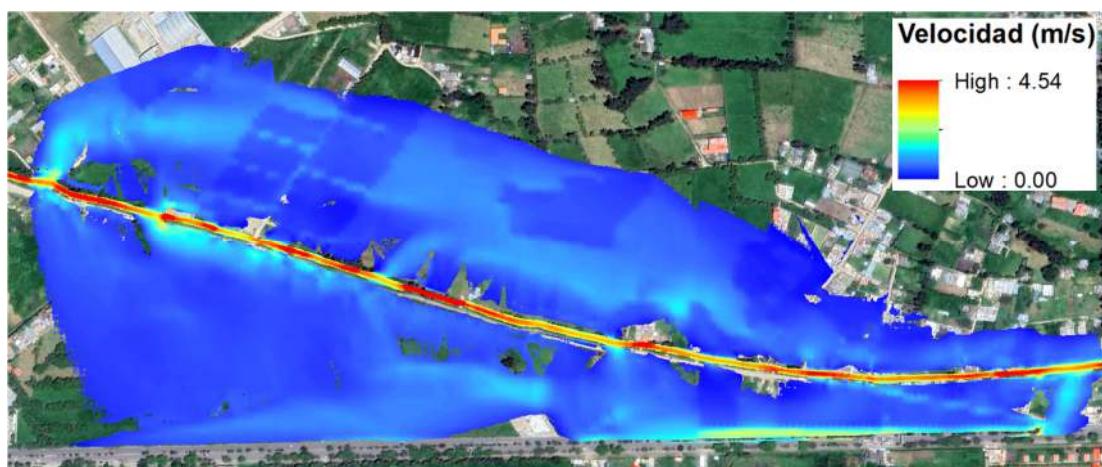
Figura 103

Tirantes para el Periodo de Retorno de 100 años en HEC-RAS



Figura 104

Velocidades para el Periodo de Retorno de 100 años en HEC-RAS



➤ **IBER**

Se presentó un área inundada de 334734.78 m^2 , el tirante máximo para el Periodo de Retorno de 100 años fue de 3.24 m en el cauce del río y entre 0.01 m a 0.46 m en las zonas inundadas. Por otro lado, la velocidad máxima registrada en el cauce fue de 7.80 m/s, mientras que en las zonas inundadas alcanza una velocidad máxima de 2.05 m/s.

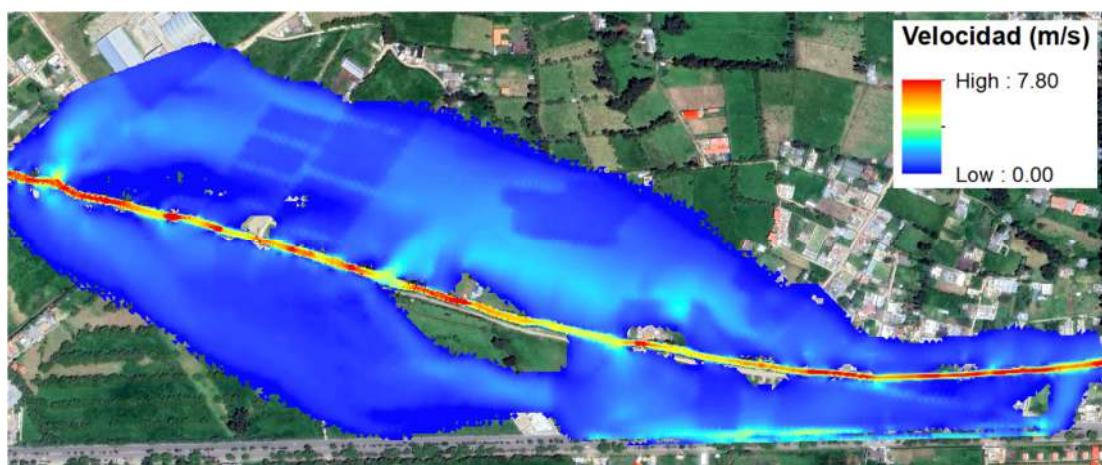
Figura 105

Tirantes para el Periodo de Retorno de 100 años en IBER



Figura 106

Velocidades para el Periodo de Retorno de 100 años en IBER



4.1.4.4. Modelamiento Hidráulico para Periodo de Retorno de 200 años

➤ HEC-RAS

Se presentó un área inundada de 398606.50 m², el tirante máximo para el Periodo de Retorno de 200 años fue de 3.34 m en el cauce del río y entre 0.01 m a 0.64 m en las zonas inundadas. Por otro lado, la velocidad máxima registrada en el cauce fue de 4.54 m/s, mientras que en las zonas inundadas alcanza una velocidad máxima de 2.26 m/s.

Figura 107

Tirantes para el Periodo de Retorno de 200 años en HEC-RAS

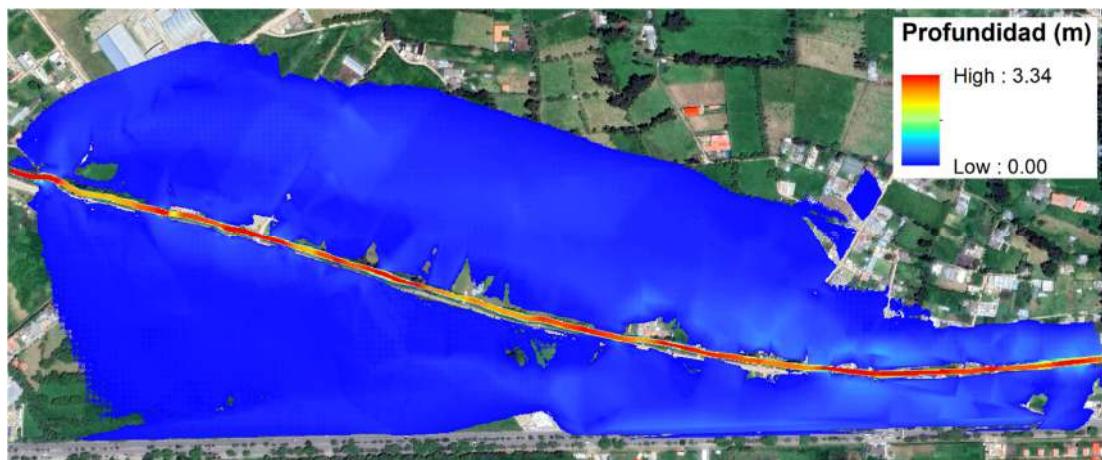
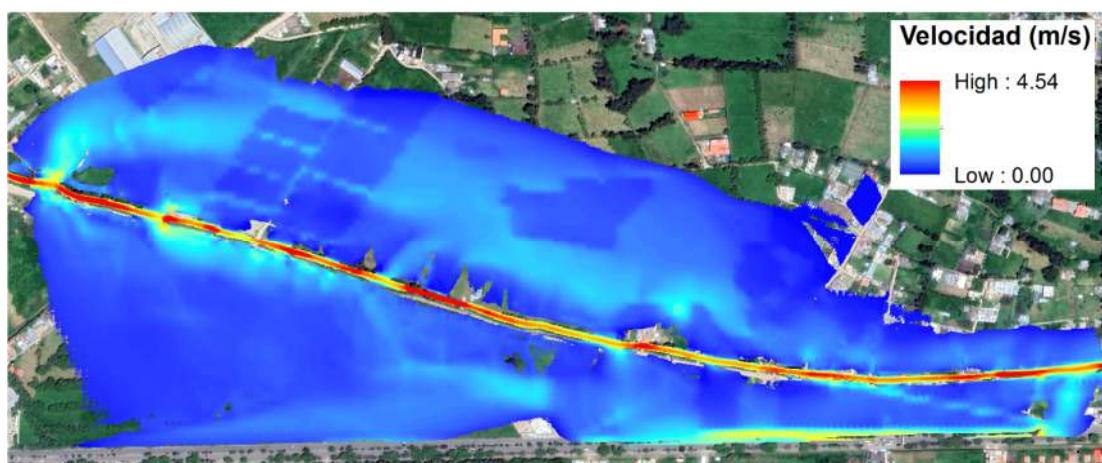


Figura 108

Velocidades para el Periodo de Retorno de 200 años en HEC-RAS



➤ **IBER**

Se presentó un área inundada de 365014.81 m^2 , el tirante máximo para el Periodo de Retorno de 200 años fue de 3.27 m en el cauce del río y entre 0.01 m a 0.56 m en las zonas inundadas. Por otro lado, la velocidad máxima registrada en el cauce fue de 6.13 m/s, mientras que en las zonas inundadas alcanza una velocidad máxima de 2.34 m/s.

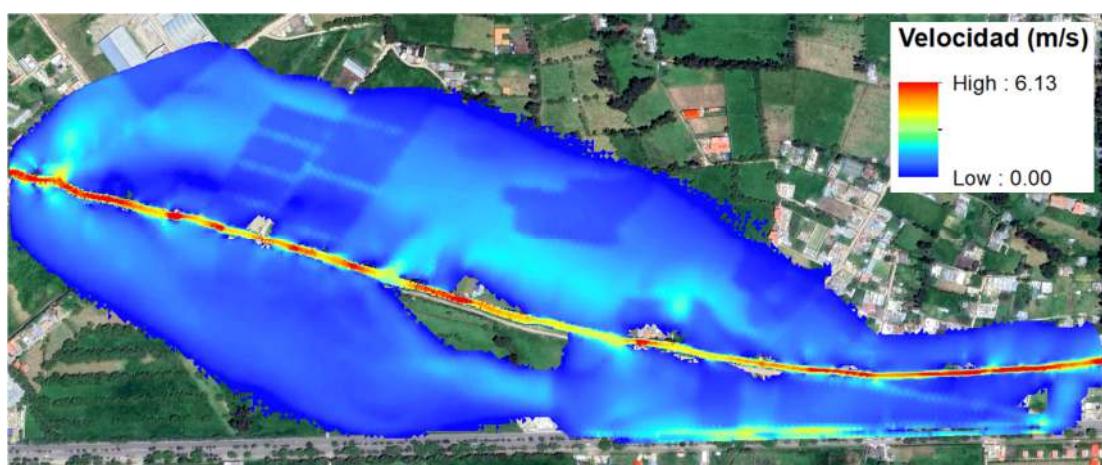
Figura 109

Tirantes para el Periodo de Retorno de 200 años en IBER



Figura 110

Velocidades para el Periodo de Retorno de 200 años en IBER



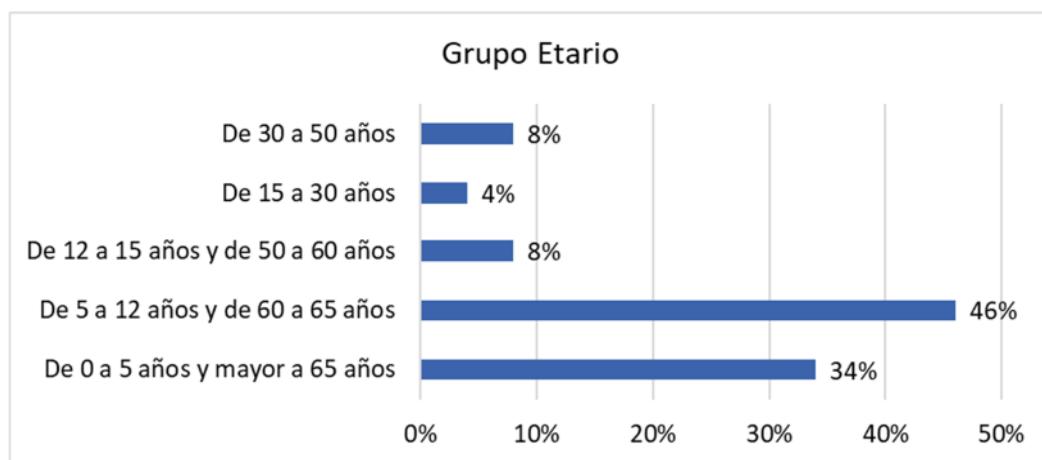
4.1.5. Encuesta para la Evaluación de Riesgo

Se aplicó una encuesta con el objetivo de analizar los factores que inciden en el riesgo frente a inundaciones. La muestra estuvo compuesta por 50 viviendas, seleccionadas estratégicamente con el fin de cubrir la totalidad del área expuesta al fenómeno.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos a partir del procesamiento de la información recopilada mediante la encuesta aplicada.

Figura 111

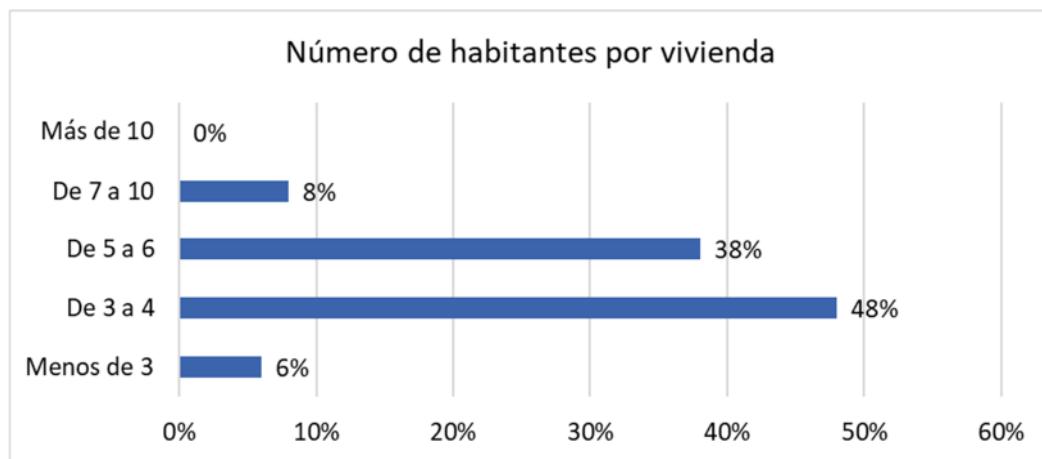
Grupo Etario de los pobladores de Bella Unión



Se puede observar que el 34% de las viviendas presenta miembros en su familia con edad menor a 5 años o mayor a 65 años, de igual manera, un 46% tienen niños entre 5 a 12 años o personas mayores entre 60 a 65 años. Estos resultados muestran que existe una alta presencia de pobladores pertenecientes a grupos etarios vulnerables, lo cual incrementa el nivel de fragilidad social en la zona evaluada.

Figura 112

Cantidad de habitantes por vivienda en Bella Unión

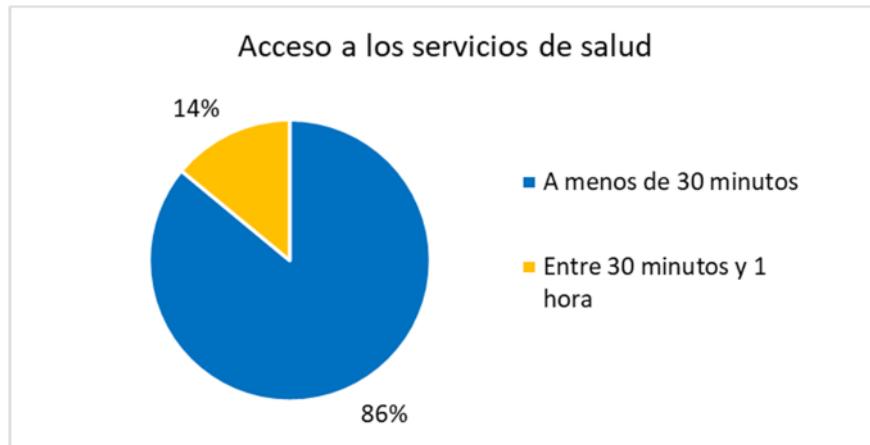


Los resultados muestran que las familias de Bella Unión no son muy extensas.

El número de integrantes más frecuente por familia es de 3 a 4 personas, representando el 48 % de los casos, seguido por familias de 5 a 6 miembros, con un 38 %.

Figura 113

Acceso al servicio de salud de los pobladores de Bella Unión

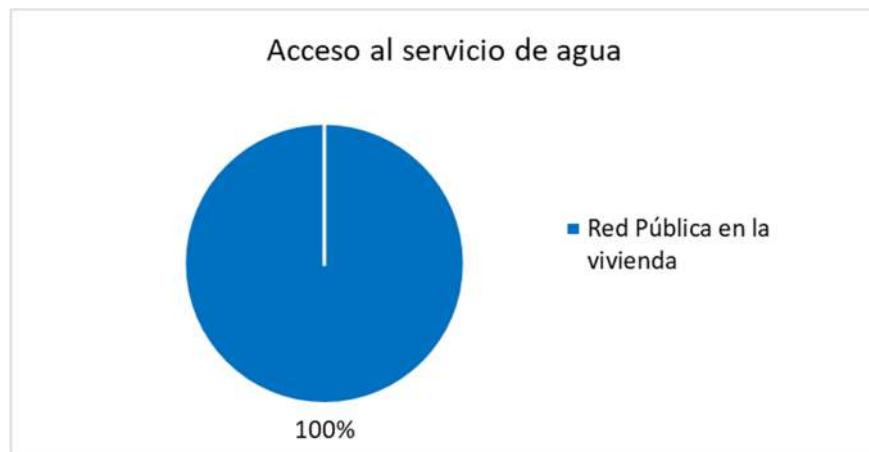


El 86 % de los pobladores manifestaron que el centro de salud donde reciben atención médica se encuentra a menos de 30 minutos de sus viviendas, siendo este el Centro de Salud Magna Vallejo. El 14% restante respondió que les tomaría entre 30

minutos a 1 hora llegar al centro que les brinda atención médica, debido a que estos se atienden en otros Centros de Salud.

Figura 114

Servicio de agua en Bella Unión



La totalidad de la población encuestada informó que cuentan con servicio de agua que viene siendo administrado por una Junta Administradora de Servicios de Saneamiento (JASS).

Figura 115

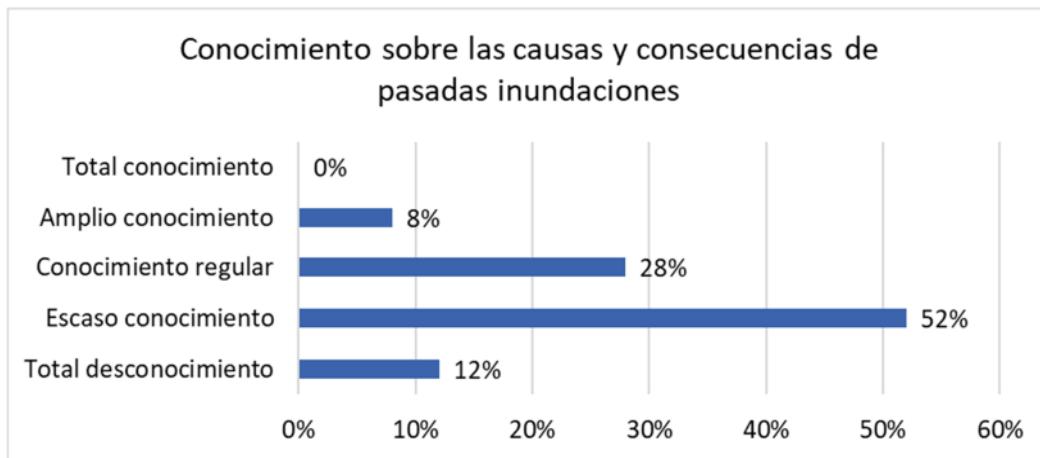
Tipo de alumbrado en Bella Unión



La totalidad de la población encuestada indicó que cuentan con el servicio de electricidad brindado por Hidrandina.

Figura 116

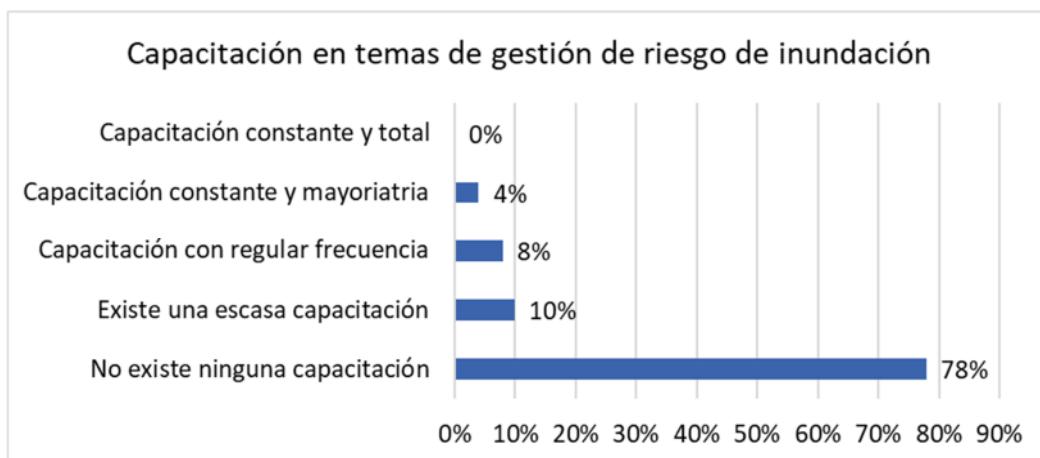
Conocimiento de la población de Bella Unión de las causas y consecuencias de las inundaciones



Se observa que el 52 % de la población cuenta con un escaso conocimiento de las causas de las inundaciones pasadas, donde consideran que este está determinado exclusivamente por la crecida del nivel del río, lo que evidencia la falta de capacitación en la zona respecto a dicho tema.

Figura 117

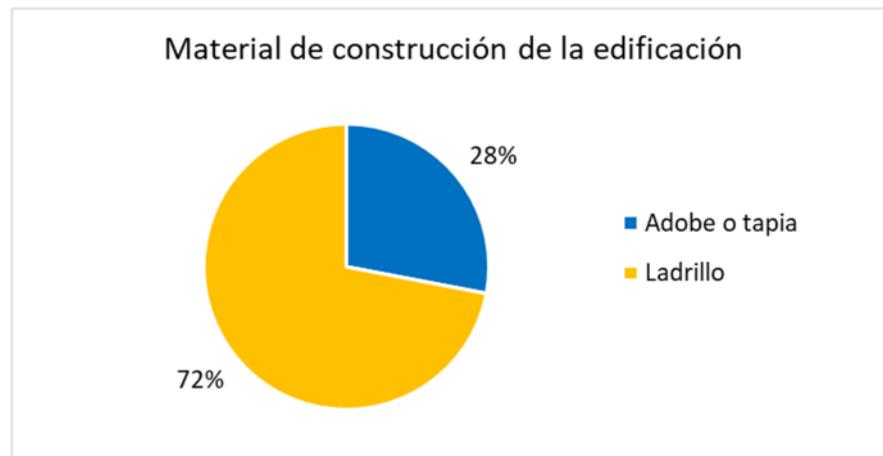
Capacitación de la población de Bella Unión en gestión de riesgo de inundación



El 78% indicó que no han recibido ninguna capacitación en temas de gestión de riesgo de inundación, considerando, al mismo tiempo, que existe un gran abandono por parte de las autoridades.

Figura 118

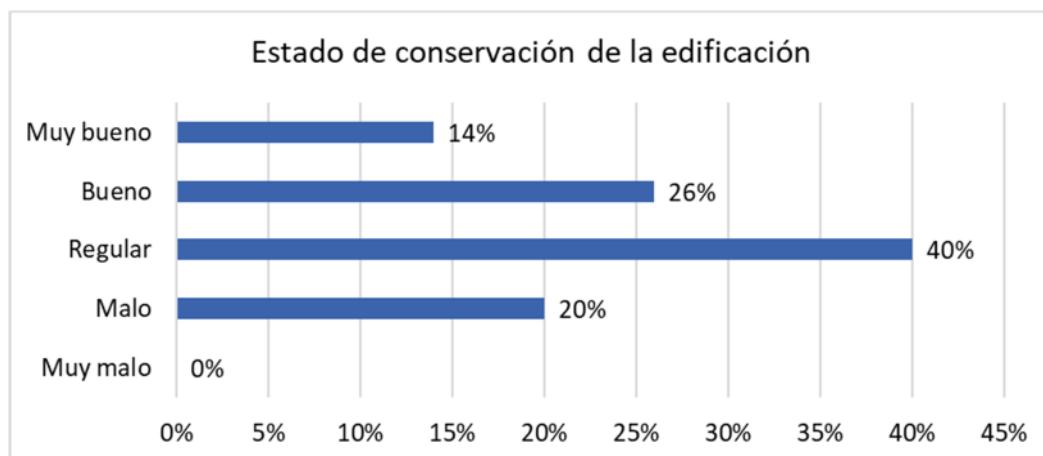
Material de construcción de las viviendas de Bella Unión



Un 72 % de las viviendas fueron construidas con ladrillo, lo que indica una mayor resistencia estructural frente a las posibles inundaciones. No obstante, también existe un 28 % de edificaciones construidas con adobe, un material más vulnerable ante la presencia de inundaciones.

Figura 119

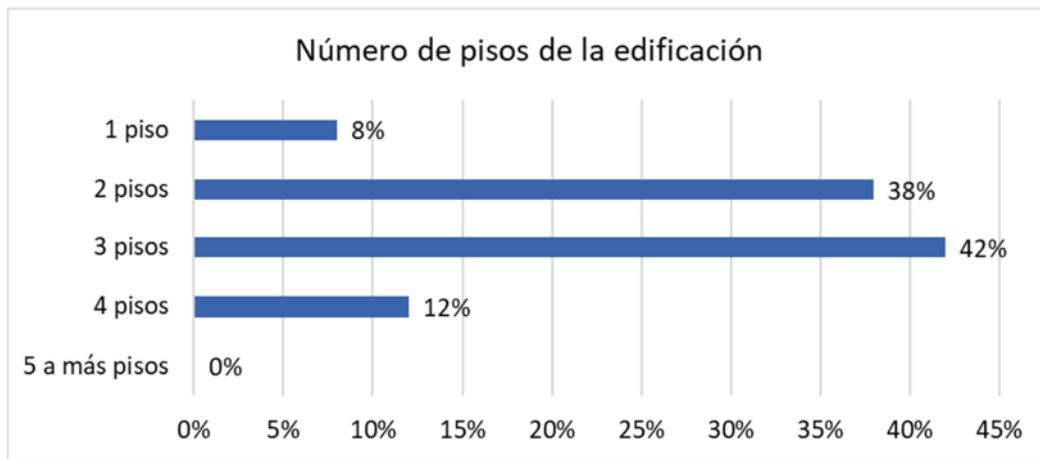
Estado de conservación de las viviendas de Bella Unión



La mayoría de las viviendas en Bella Unión presentan un estado de conservación entre regular (40%) y malo (20%), evidenciándose una condición deficiente que podría agravar los efectos de las inundaciones.

Figura 120

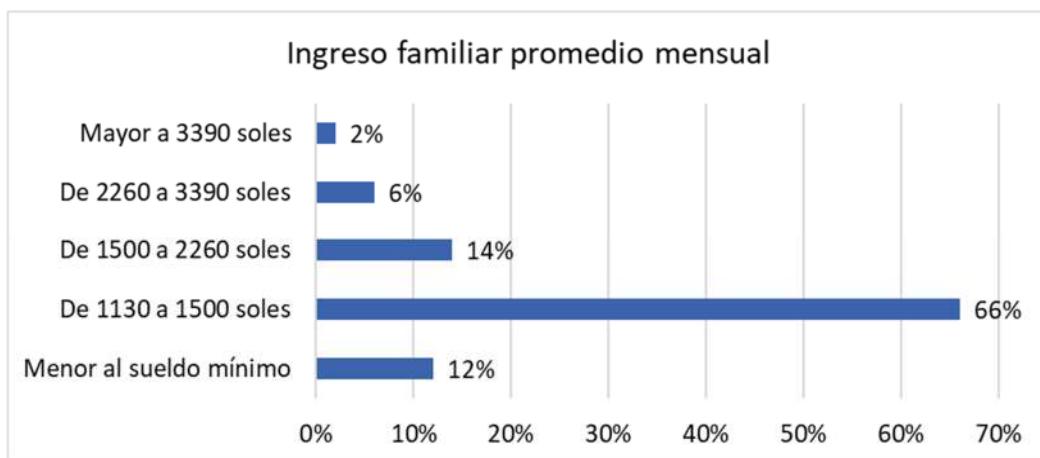
Número de pisos de las viviendas de Bella Unión



Se observa que la mayoría de viviendas cuentan con más de un nivel, destacando aquellas de 3 pisos que representan el 42 %, esto implica cierta protección ante inundaciones al poder resguardarse en niveles superiores.

Figura 121

Ingresa promedio mensual de las familias de Bella Unión



El 66% de los pobladores indicaron que presentaban ingresos mensuales cercanos al suelo mínimo de S/. 1130, lo que implica una limitada capacidad para invertir en medidas preventivas y de recuperación ante inundaciones.

Figura 122

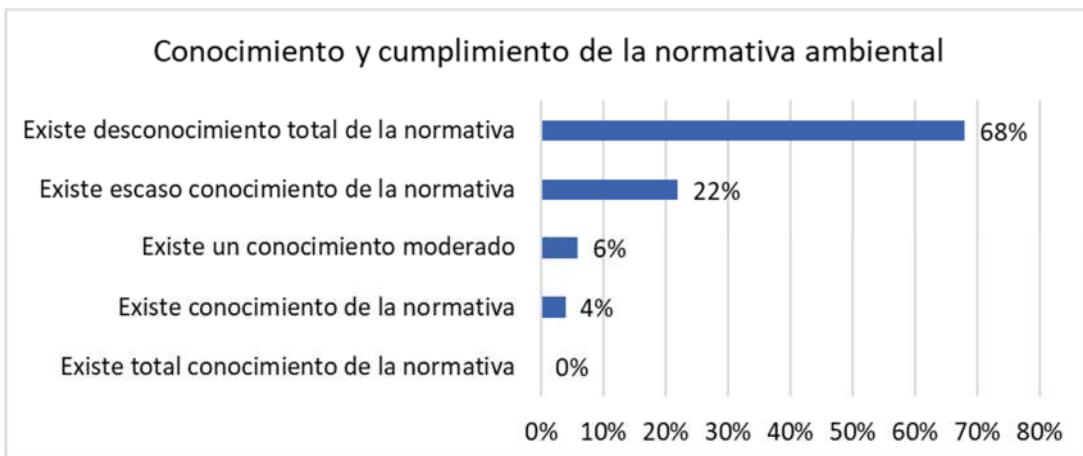
Profesiones de los habitantes de Bella Unión



Se observa que la mayor parte de la población está formada por pequeños comerciantes y productores (30%) y obreros, tanto especializados (26%) como no especializados (22%), siendo este uno de los motivos de sus bajos ingresos.

Figura 123

Conocimiento de la normativa ambiental en Bella Unión



El 68% de la población tiene un total desconocimiento de la normativa ambiental, mientras que un 22% considera que tiene un escaso conocimiento. Estos resultados evidencian una baja cultura ambiental en la zona, lo que ha producido la inexistencia de prácticas para el cuidado del río y prevención de inundaciones.

Figura 124

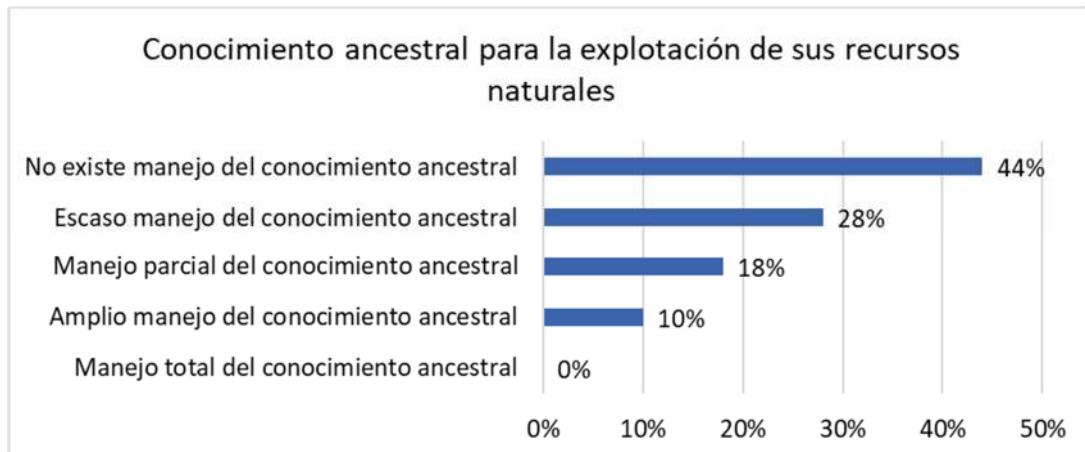
Capacitación de los pobladores de Bella Unión en temas de conservación ambiental



El 84 % de los encuestados indicaron que no presentan ninguna capacitación en temas de conservación ambiental, esto debido al poco empeño de las autoridades por fomentar el cuidado ambiental en la población.

Figura 125

Conocimiento ancestral de los pobladores para el manejo de sus recursos naturales



El 44 % de la población indicó que no manejan ninguna práctica ancestral para el uso de sus recursos naturales, mientras que un 28 % indicó que tenían un muy escaso conocimiento de la misma. Esta situación es el resultado de varios factores, como la pérdida de las costumbres o la inmigración de algunos habitantes.

4.1.6. Encuesta para el planteamiento del Sistema de Alerta Temprana

A continuación, se presentan los resultados obtenidos a partir del procesamiento de la información recopilada mediante la encuesta aplicada.

Figura 126

Porcentaje de viviendas que han experimentado inundaciones en los últimos años



Figura 127

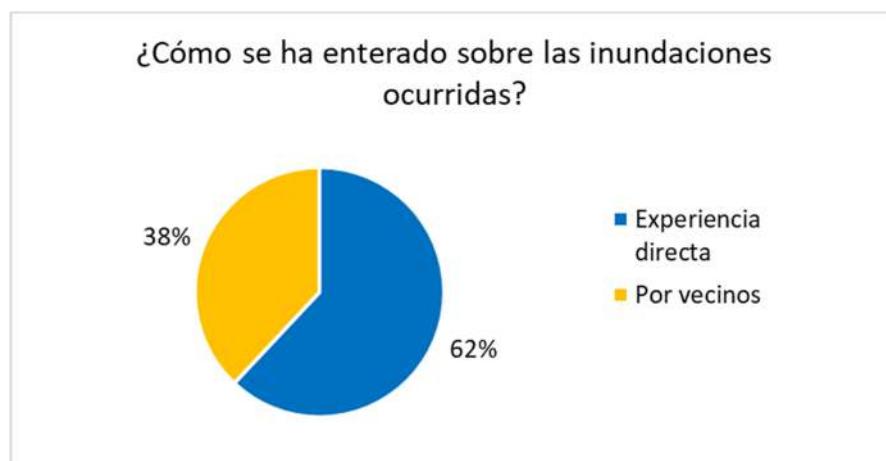
Frecuencia percibida de inundaciones peligrosas en Bella Unión



Como se observa en los gráficos, el 62 % de los encuestados manifestó haber experimentado al menos una inundación en los últimos años, mientras que el 38 % respondió negativamente. Asimismo, un 36 % considera que ocurren inundaciones peligrosas cada año y un 26 % cada cinco años. Esta percepción responde, en gran medida, a que muchas viviendas han sido construidas en zonas próximas al río, ocupando incluso parte de sus márgenes naturales, lo que las expone directamente a las crecidas. Además, en el caserío se han ido construyendo puentes peatonales de forma artesanal para acceder a las viviendas, los cuales suelen ser arrasados cuando el nivel del río se incrementa.

Figura 128

Medios por los cuales la población se informa sobre las inundaciones



Un 62 % de la población manifestó haberse enterado sobre las inundaciones por experiencia directa, es decir, porque vivieron los eventos de inundación en sus viviendas. En tanto, un 38 % fue alertado por sus vecinos o personas cercanas. Esta situación refleja la inexistencia de un instrumento formal que alerte, de manera oportuna, a los habitantes de Bella Unión frente a una inundación.

Figura 129

Preferencias de la población sobre métodos de alerta ante inundaciones



La población consideró que el método más adecuado para recibir las alertas en caso de inundaciones son las sirenas o bocinas (68%), ya que consideran que es un medio práctico, audible y de fácil comprensión, a diferencia de otros métodos propuestos que dependen del acceso a dispositivos móviles, electricidad o conectividad, lo cual podría limitar su efectividad en situaciones de emergencia.

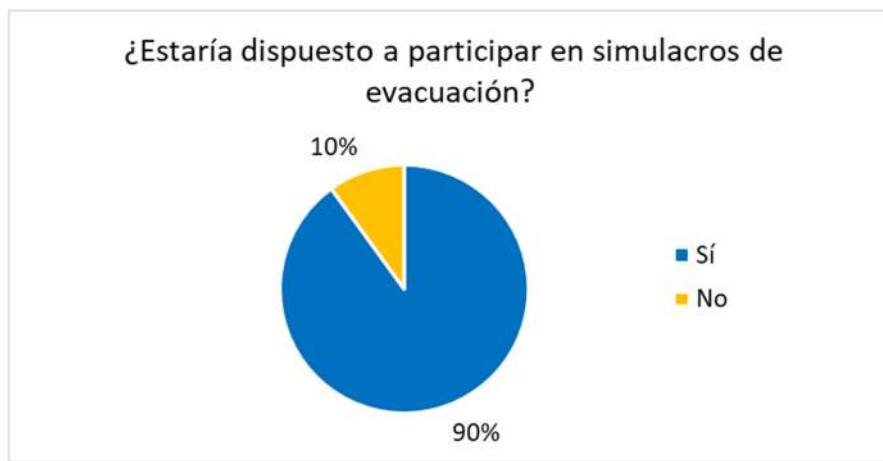
Figura 130

Capacidad de respuesta de la población ante alertas de inundación



Figura 131

Predisposición de la población a participar en simulacros



A partir de los gráficos se puede observar que un 88 % de la población no sabe cómo actuar frente a una alerta de inundación, mientras que solo un 12 % considera que sabría que hacer frente a esa situación. No obstante, se aprecia que un 90 % de la población está dispuesta a participar en simulacros, esto indica que existe una predisposición por parte de la comunidad de formar parte de procesos de capacitación y fortalecimiento de capacidades para mejorar su respuesta ante emergencias.

Figura 132

Conocimiento de la población sobre las rutas de evacuación ante inundaciones

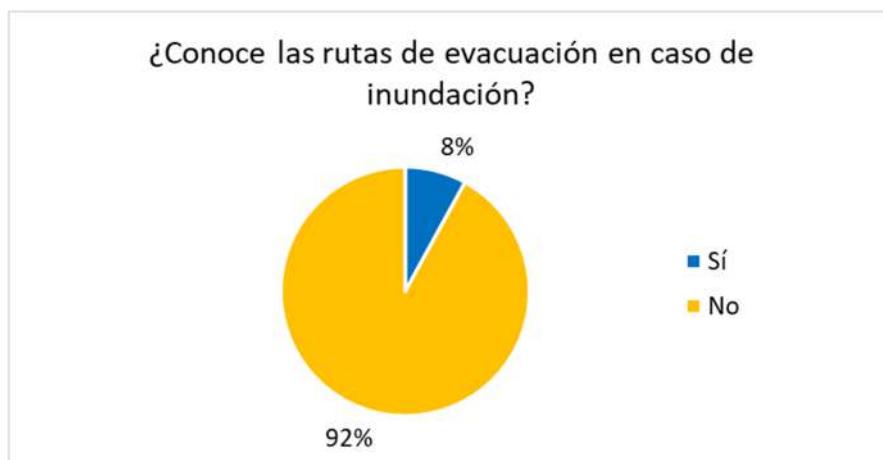


Figura 133

Conocimiento de zonas seguras por parte de la población en caso de emergencia

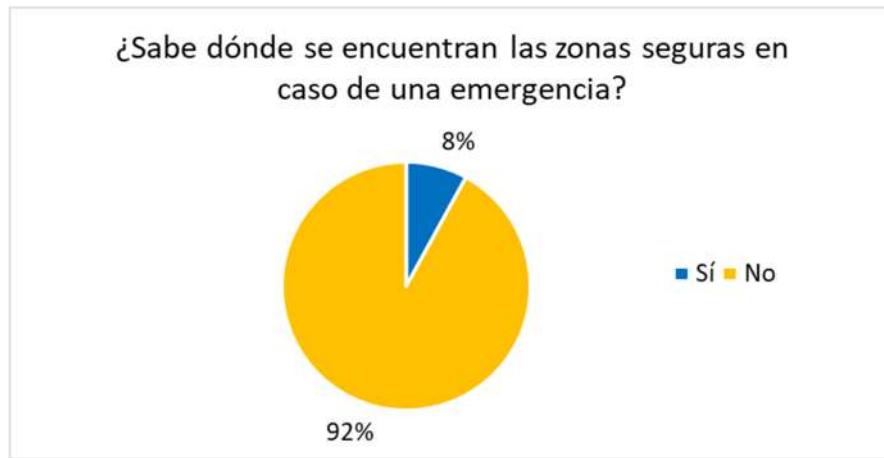
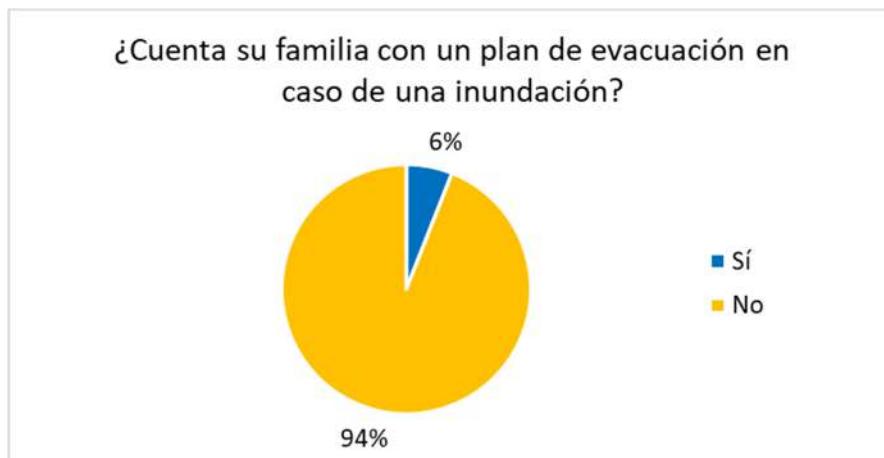


Figura 134

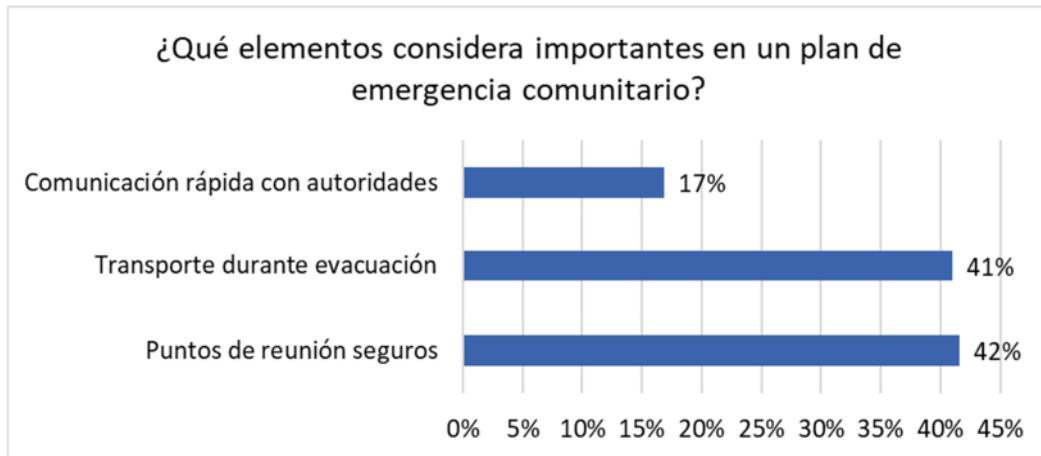
Disponibilidad de un plan familiar de evacuación ante inundaciones



Los resultados muestran que solo un 8 % de la comunidad de Bella Unión considera que conocen las rutas de evacuación y las zonas seguras en caso de inundaciones, mientras que un 92 % manifiesta no tener conocimiento al respecto. De manera similar, solo el 6 % de las familias indica contar con un plan de evacuación frente a estos eventos. Estos datos evidencian una capacidad de respuesta prácticamente inexistente por parte de la población frente a situaciones de inundación.

Figura 135

Percepción de la población sobre los componentes esenciales de un plan de emergencia



Resulta evidente a partir de los resultados, que, la comunidad muestra una clara preocupación por contar con rutas de evacuación y puntos de reunión seguros, dando en evidencia su interés por estar preparados ante una posible inundación. De igual manera, es interesante el hecho de que solo un 17 % considere a la comunicación con las autoridades como un punto clave, lo que revela la brecha existente entre ambos actores claves para el funcionamiento del Sistema de Alerta Temprana, por lo que, resulta evidente la necesidad de fortalecer dicha relación.

Figura 136

Disponibilidad de la comunidad para formar brigadas de emergencia

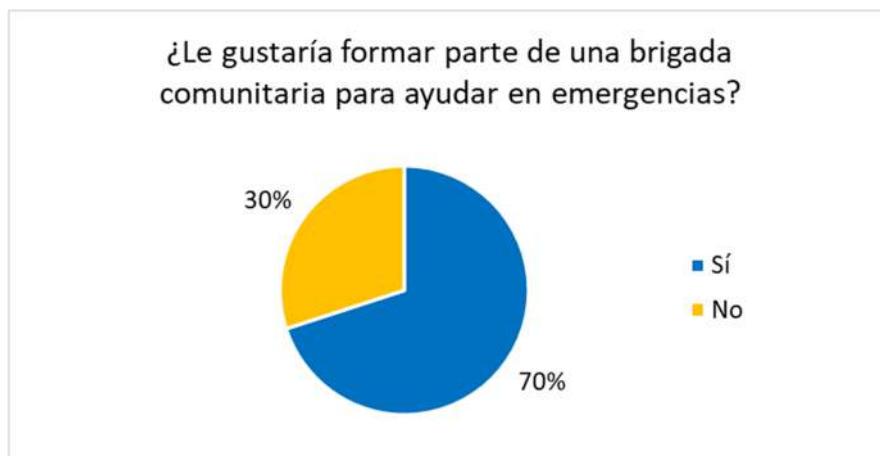
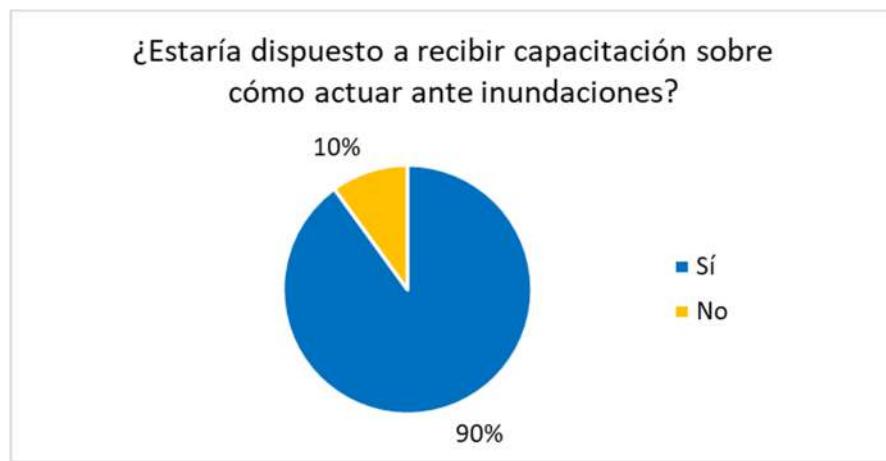


Figura 137

Predisposición de la comunidad a recibir capacitaciones



Los resultados reflejan la elevada disposición comunitaria para involucrarse activamente en la implementación de un Sistema de Alerta Temprana frente a inundaciones. Es así que, el 70 % de la población se encuentra dispuesta en formar parte de una brigada de emergencias y 90 % muestra interés en recibir capacitaciones, lo que indica una oportunidad importante para fortalecer la organización y preparación comunitaria frente a estos fenómenos.

4.1.7. Sistema de Alerta Temprana

4.1.7.1. Conocimiento del Riesgo

La Evaluación de Riesgo en el Caserío Bella Unión se realizó siguiendo la metodología propuesta por el Centro nacional de estimación, prevención y reducción del riesgo de desastres (CENEPRED), por ser una metodología estructurada y aceptada por el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD) para realizar la Evaluación de Riesgos de Desastres a nivel nacional.

➤ Evaluación de Peligrosidad

La evaluación de la peligrosidad buscó valorar la probabilidad de ocurrencia de inundaciones causadas por el desbordamiento del río San Lucas en el caserío Bella Unión, siguiendo con la metodología CENEPRED se analizó los parámetros de evaluación y la susceptibilidad en base a los factores condicionantes y factores desencadenantes. La estratificación resultante se describe en la Tabla 61.

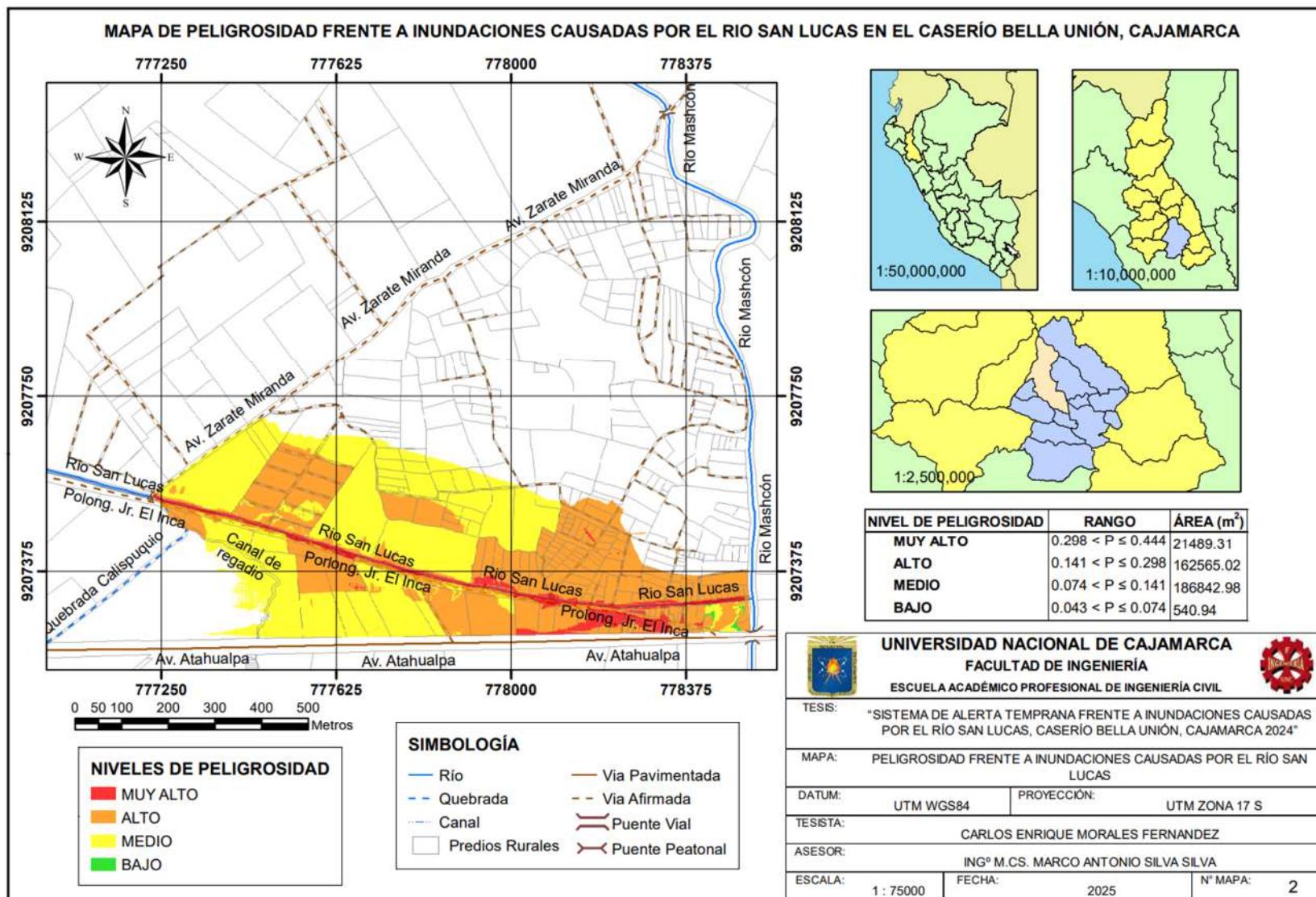
Tabla 61

Estratificación del Peligro de Inundación en el Caserío Bella Unión

NIVEL	DESCRIPTOR	RANGO
MUY ALTO	El uso actual del suelo corresponde a una zona urbana, con pendiente moderadamente empinada ($> 26^\circ$) y geología caracterizada por depósitos lacustres. La inundación se desencadena para un período de retorno (TR) de 20 años, correspondiente a un caudal máximo de $38 \text{ m}^3/\text{s}$. Las zonas inundadas alcanzan alturas de agua superiores a 1.5 m para velocidades menores a 2 m/s, o cuando el producto de la velocidad por la altura ($v \cdot h$) excede $1.5 \text{ m}^2/\text{s}$ para velocidades mayores a 2 m/s.	$0.298 < P \leq 0.444$
ALTO	El uso actual del suelo corresponde a zonas urbanas o de expansión urbana, con pendiente fuertemente inclinadas ($15^\circ - 26^\circ$) y geología caracterizada por depósitos lacustres. La inundación se desencadena para un período de retorno (TR) de 50 años, correspondiente a un caudal máximo de $47.8 \text{ m}^3/\text{s}$. Las zonas inundadas alcanzan alturas de agua entre 0.5 m a 1.5 m para velocidades menores a 2 m/s, o cuando el producto de la velocidad por la altura ($v \cdot h$) se encuentra entre $0.5 \text{ m}^2/\text{s}$ a $1.5 \text{ m}^2/\text{s}$ para velocidades mayores a 2 m/s.	$0.141 < P \leq 0.298$
MEDIO	El uso actual del suelo corresponde a áreas de uso ganadero o agrícola, con pendiente moderadamente inclinadas ($6-15^\circ$) y geología caracterizada por depósitos fluvio - aluviales. La inundación se desencadena para un período de retorno (TR) de 100 años, correspondiente a un caudal máximo de $56.4 \text{ m}^3/\text{s}$. Las zonas inundadas alcanzan alturas de agua entre 0.25 m a 0.5 m para velocidades menores a 2 m/s, o cuando el producto de la velocidad por la altura ($v \cdot h$) se encuentra entre $0.25 \text{ m}^2/\text{s}$ a $0.5 \text{ m}^2/\text{s}$ para velocidades mayores a 2 m/s.	$0.074 < P \leq 0.141$
BAJO	El uso actual del suelo corresponde a tierras sin uso, con pendiente ligeramente inclinadas ($0-5^\circ$) y geología caracterizada por casco urbano. La inundación se desencadena para un período de retorno (TR) de 200 años, correspondiente a un caudal máximo de $65.9 \text{ m}^3/\text{s}$. Las zonas inundadas alcanzan alturas de agua inferiores a 0.25 m para velocidades menores a 2 m/s, o cuando el producto de la velocidad por la altura ($v \cdot h$) es menor a $0.25 \text{ m}^2/\text{s}$ para velocidades mayores a 2 m/s.	$0.043 < P \leq 0.074$

Figura 138

Mapa de Peligrosidad frente a inundaciones causadas por el río San Lucas en el Caserío Bella Unión



➤ Evaluación de Vulnerabilidad

La evaluación de la vulnerabilidad La evaluación de la peligrosidad buscó valorar la susceptibilidad de la población a sufrir daños producto de las inundaciones, para lo cual se tomó en cuenta las dimensiones social, económica y ambiental. La estratificación resultante se describe en la Tabla 62.

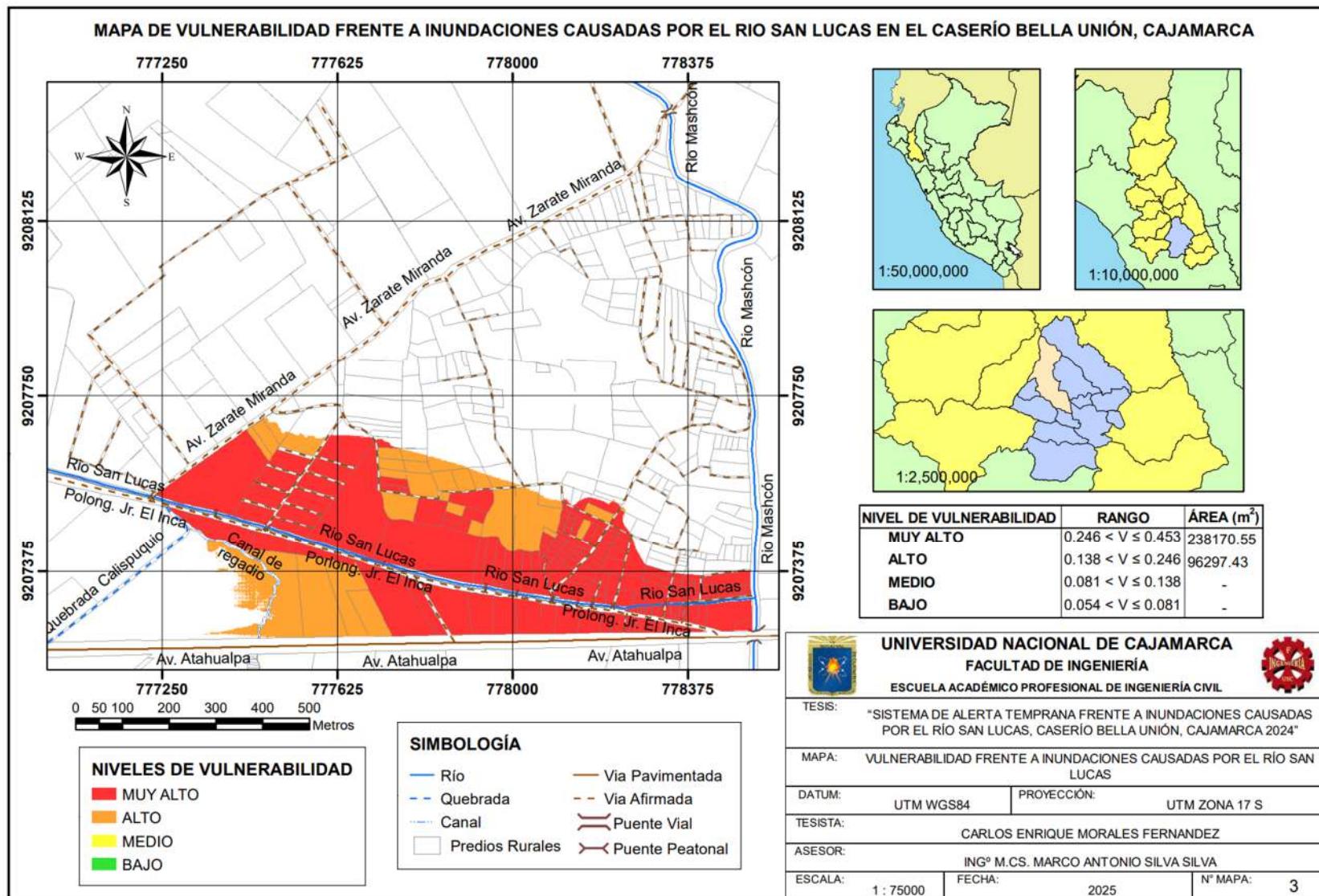
Tabla 62

Estratificación de la Vulnerabilidad por Inundación en el Caserío Bella Unión

NIVEL	DESCRIPTOR	RANGO
MUY ALTO	Grupo etario: De 0 a 5 años y mayor a 65 años. Más de 7 habitantes por vivienda. Centro de salud a menos de 1 hora. Red publica de agua en la vivienda. Cuenta con alumbrado eléctrico. Sin conocimiento sobre inundaciones ni gestión de riesgo. Cercanía al río menor a 20 m. Viviendas de adobe/ladrillo en mal estado de conservación. Viviendas de 2 pisos o menos. Ingreso familiar cercano al suelo mínimo. Profesión del jefe del hogar: Obrero. Deforestación: Áreas sin vegetación. Pérdida de suelo: Protección inadecuada de márgenes del río. Sin conocimiento de la normativa ambiental. Sin capacitaciones en conservación ambiental.	$0.246 < V \leq 0.453$
ALTO	Grupo etario: De 5 a 12 años y de 60 a 65 años. De 5 a 6 habitantes por vivienda. Centro de salud a menos de 1 hora. Red publica de agua en la vivienda. Cuenta con alumbrado eléctrico. Escaso conocimiento sobre inundaciones y gestión de riesgo. Cercanía al río entre 20 m a 100 m. Viviendas de adobe/ladrillo en regular estado de conservación. Viviendas de 3 pisos. Ingreso familiar entre 1500 a 2260 soles. Profesión del jefe del hogar: Pequeños comerciantes o productores. Deforestación: Áreas de cultivo o pastos. Pérdida de suelo: Protección inadecuada de márgenes del río. Escaso conocimiento de la normativa ambiental. Escasa capacitación en conservación ambiental.	$0.138 < V \leq 0.246$
MEDIO	Grupo etario: De 12 a 15 años y de 50 a 60 años. De 4 a 5 habitantes por vivienda. Centro de salud a menos de 30 minutos. Red publica de agua en la vivienda. Cuenta con alumbrado eléctrico. Regular conocimiento sobre inundaciones y gestión de riesgo. Cercanía al río entre 100 m a 500 m. Viviendas de adobe/ladrillo en buen estado de conservación. Viviendas de 4 pisos. Ingreso familiar entre 2260 a 3390 soles. Profesión del jefe del hogar: Técnico profesional. Deforestación: Otras tierras con árboles. Pérdida de suelo: Protección inadecuada de márgenes del río. Regular conocimiento de la normativa ambiental. Regular capacitación en conservación ambiental.	$0.081 < V \leq 0.138$
BAJO	Grupo etario: De 15 a 50 años. Menos de 4 habitantes por vivienda. Centro de salud a menos de 30 minutos. Red publica de agua en la vivienda. Cuenta con alumbrado eléctrico. Amplio conocimiento sobre inundaciones y gestión de riesgo. Cercanía al río mayor a 500 m. Viviendas de adobe/ladrillo en muy buen estado de conservación. Viviendas de 4 pisos o más. Ingreso familiar mayor a 3390 soles. Profesión del jefe del hogar: Educación superior/militares. Deforestación: Bosques. Pérdida de suelo: Protección inadecuada de márgenes del río. Amplio conocimiento de la normativa ambiental. Amplia capacitación en conservación ambiental.	$0.054 < V \leq 0.081$

Figura 139

Mapa de Vulnerabilidad frente a inundaciones causadas por el río San Lucas en el Caserío Bella Unión



➤ Evaluación de Riesgo

Empleando la metodología CENEPRED, se calculó el Riesgo relacionando el Peligro con la Vulnerabilidad. La estratificación resultante se describe en la Tabla 63.

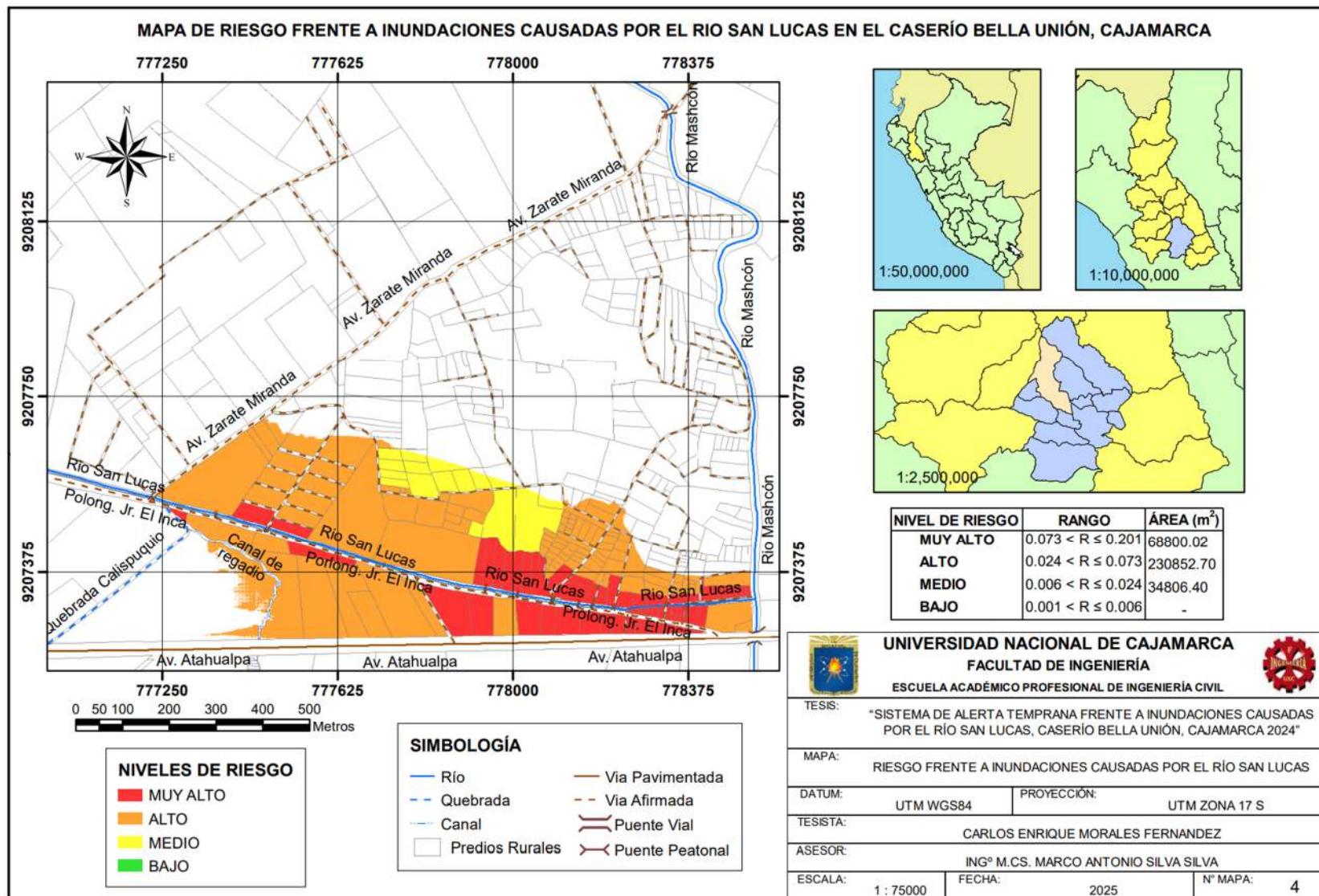
Tabla 63

Estratificación del Riesgo por Inundación en el Caserío Bella Unión

NIVEL	DESCRIPTOR	RANGO
MUY	Uso de suelo: zona urbana, geología: depósitos lacustres. Período de retorno (TR) de 20 años y un caudal máximo de 38 m ³ /s. Zonas inundadas: alturas superiores a 1.5 m para velocidades menores a 2 m/s o el producto de la velocidad por la altura (v·h) excede 1.5 m ² /s para velocidades mayores a 2 m/s. Grupo etario: De 0 a 5 años y mayor a 65 años. Más de 7 habitantes por vivienda. Centro de salud a menos de 1 hora. Red publica de agua en la vivienda. Cuenta con alumbrado eléctrico. Sin conocimiento sobre inundaciones, gestión de riesgo ni normativa ambiental. Cercanía al río menor a 20 m. Viviendas de adobe/ladrillo en mal estado de conservación. Viviendas de 2 pisos o menos. Ingreso familiar cercano al suelo mínimo. Profesión del jefe del hogar: Obrero. Deforestación: Áreas sin vegetación. Pérdida de suelo: Protección inadecuada de márgenes del río.	0.073 < R ≤ 0.201
ALTO	Uso del suelo: expansión urbana, geología: depósitos lacustres. Período de retorno (TR) de 50 años y un caudal máximo de 47.8 m ³ /s. Zonas inundadas: alturas entre 0.5 m a 1.5 m para velocidades menores a 2 m/s o el producto de la velocidad por la altura (v·h) se encuentra entre 0.5 m ² /s a 1.5 m ² /s para velocidades mayores a 2 m/s. Grupo etario: De 5 a 12 años y de 60 a 65 años. De 5 a 6 habitantes por vivienda. Centro de salud a menos de 1 hora. Red publica de agua en la vivienda. Cuenta con alumbrado eléctrico. Escaso conocimiento sobre inundaciones, gestión de riesgo y normativa ambiental. Cercanía al río entre 20 m a 100 m. Viviendas de adobe/ladrillo en regular estado de conservación. Viviendas de 3 pisos. Ingreso familiar entre 1500 a 2260 soles. Profesión del jefe del hogar: Pequeños comerciantes o productores. Deforestación: Áreas de cultivo o pastos. Pérdida de suelo: Protección inadecuada de márgenes del río.	0.024 < R ≤ 0.073
MEDIO	Uso del suelo: ganadero o agrícola, geología: depósitos fluvio - aluviales. Período de retorno (TR) de 100 años y un caudal máximo de 56.4 m ³ /s. Zonas inundadas: alturas entre 0.25 m a 0.5 m para velocidades menores a 2 m/s o el producto de la velocidad por la altura (v·h) se encuentra entre 0.25 m ² /s a 0.5 m ² /s para velocidades mayores a 2 m/s. Grupo etario: De 12 a 15 años y de 50 a 60 años. De 4 a 5 habitantes por vivienda. Centro de salud a menos de 30 minutos. Red publica de agua en la vivienda. Cuenta con alumbrado eléctrico. Regular conocimiento sobre inundaciones, gestión de riesgo y normativa ambiental. Cercanía al río entre 100 m a 500 m. Viviendas de adobe/ladrillo en buen estado de conservación. Viviendas de 4 pisos. Ingreso familiar entre 2260 a 3390 soles. Profesión del jefe del hogar: Técnico profesional. Deforestación: Otras tierras con árboles. Pérdida de suelo: Protección inadecuada de márgenes del río.	0.006 < R ≤ 0.024
BAJO	Uso del suelo: tierras sin uso, geología: casco urbano. Período de retorno (TR) de 200 años y un caudal máximo de 65.9 m ³ /s. Zonas inundadas: alturas inferiores a 0.25 m para velocidades menores a 2 m/s o el producto de la velocidad por la altura (v·h) es menor a 0.25 m ² /s para velocidades mayores a 2 m/s. Grupo etario: De 15 a 50 años. Menos de 4 habitantes por vivienda. Centro de salud a menos de 30 minutos. Red publica de agua en la vivienda. Cuenta con alumbrado eléctrico. Amplio conocimiento sobre inundaciones, gestión de riesgo y normativa ambiental. Cercanía al río mayor a 500 m. Viviendas de adobe/ladrillo en muy buen estado de conservación. Viviendas de 4 pisos o más. Ingreso familiar mayor a 3390 soles. Profesión del jefe del hogar: Educación superior/militares. Deforestación: Bosques. Pérdida de suelo: Protección inadecuada de márgenes del río.	0.001 < R ≤ 0.006

Figura 140

Mapa de Riesgo frente a inundaciones causadas por el río San Lucas en el Caserío Bella Unión



4.1.7.2. Monitoreo y pronostico

➤ Mecanismos de monitoreo

Se planteó la implementación de estaciones meteorológicas e hidrométricas como componentes fundamentales para el monitoreo del río San Lucas. En el caso de las estaciones meteorológicas, se propuso emplear los mismos equipos utilizados en los Sistemas de Alerta Temprana gestionados por el COEP - Cajamarca con el fin de asegurar la compatibilidad operativa y facilitar su integración dentro de la red de monitoreo existente.

Tabla 64

Componentes de la Estación Meteorológica

COMPONENTE DESCRIPCIÓN	
Pluviómetro	Es un sistema de recogida y registro de datos de lluvia mediante un sensor. La unidad de medición es el milímetro (mm), equivalente a un litro de agua por metro cuadrado de superficie.
Hobo (On-Set) RG3-M	Alberga un sensor de temperatura y humedad relativa del aire. Registra la temperatura en grados Celsius (°C) y la humedad en porcentaje de vapor de agua en un metro cúbico de aire.
Escudo de Radiación con sensor digital	Está conformado por un panel solar como fuente principal de generación, una batería recargable que almacena la energía, y un controlador de carga que regula y protege el sistema eléctrico.
Componente de comunicación	Responsable de transmitir la información desde cada estación hasta la plataforma central. Para ello utiliza módulos de comunicación móvil (red celular).
Componente de análisis y monitoreo	Corresponde a la plataforma en línea ThingSpeak, que recibe, almacena y organiza la información enviada por las estaciones meteorológicas. Además, permite graficar tendencias, generar reportes y realizar análisis avanzados de las variables medidas.

Nota. Adaptado de *Manual interpretación de datos meteorológicos y seguimiento para la toma de decisiones*, por USAID y Practical Action, s.f.b.

A continuación, se presenta la propuesta de ubicación de las estaciones meteorológicas, seleccionada para mejorar el monitoreo de las precipitaciones.

Tabla 65*Ubicación de las estaciones meteorológicas*

ESTACIÓN METEOROLÓGICA	UBICACIÓN	COORDENADAS	
		ESTE	NORTE
Universidad Nacional de Cajamarca (Existente)	2do. Piso del Pabellón de la Carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Cajamarca	776604.81 m	9207052.50 m
Captación del río Ronquillo	Captación del río Ronquillo que abastece a la PTAP Santa Apolonia	772082.00 m	9208163.00 m

Figura 141*Ubicación de las estaciones meteorológicas*

Para las estaciones hidrométricas se decidió emplear Sensores Ultrasónicos ya que son un método compatible con la red de monitoreo existente en los SAT a nivel de Cajamarca, estos calculan el nivel del río y partir de esta información se podrá estimar el caudal en la localización de las estaciones.

Tabla 66*Componentes requeridos en la Estación Hidrométrica*

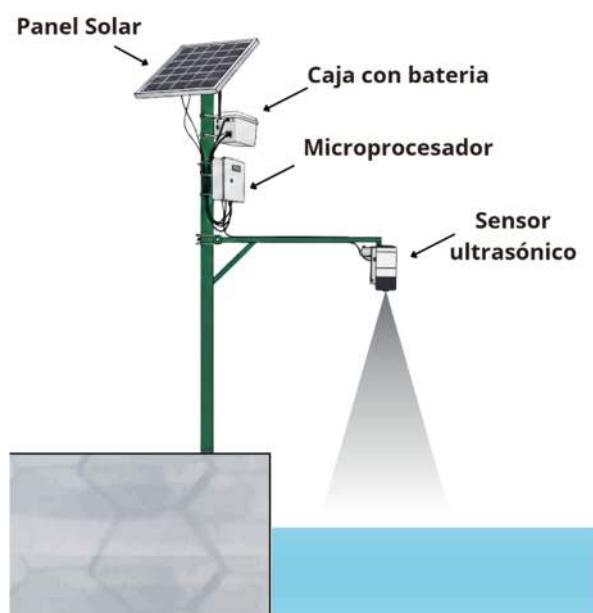
COMPONENTE DESCRIPCIÓN	
Sensor ultrasónico	Es el dispositivo principal de la estación, encargado de medir la distancia entre el sensor y la superficie del agua. Permite transformar esas lecturas en niveles de caudal.
Componente de energía	Garantiza la autonomía de la estación mediante un sistema compuesto por panel solar, batería recargable y controlador de carga.

COMPONENTE DESCRIPCIÓN

Componente de comunicación	Se encarga de transmitir los datos generados por la estación a la plataforma central. Para ello utiliza módulos de comunicación móvil (red celular).
Componente de análisis y monitoreo	Representa la plataforma ThingSpeak, donde se almacenan, visualizan y analizan las lecturas enviadas por cada estación. Ofrece herramientas para graficar tendencias, generar reportes y realizar análisis avanzados de las variables registradas.

Figura 142

Diagrama de los componentes de la Estación Hidrométrica



A continuación, se presenta la propuesta de ubicación de las estaciones hidrométricas, seleccionada para monitorear los caudales en el río San Lucas.

Figura 143

Ubicación de las estaciones hidrométricas

ESTACIÓN HIDROMÉTRICA	UBICACIÓN	COORDENADAS	
		ESTE	NORTE
Rio San Lucas	A la altura del Puente Amarillo, en la intersección del Jr. El Inca con la Av. Via de Evitamiento Sur.	775444.20 m	9207896.37 m
Quebrada Calispuquio	Puente ubicado dentro del campus de la Universidad Nacional de Cajamarca en la Av. Túlio Sánchez Atalaya.	776420.85 m	9206768.01 m

Figura 144

Ubicación de las estaciones hidrométricas



El monitoreo estará a cargo de COEP - Cajamarca, responsable de la supervisión y análisis de los datos transmitidos por las estaciones. La lectura de la información se realizará a través de la plataforma ThingSpeak, la cual recibirá los registros en intervalos de 10 minutos.

➤ **Umbrales de Inundación**

Los umbrales de inundación se establecieron basándose en los protocolos utilizados por la Municipalidad Provincial de Cajamarca para los Sistemas de Alerta Temprana.

Tabla 67

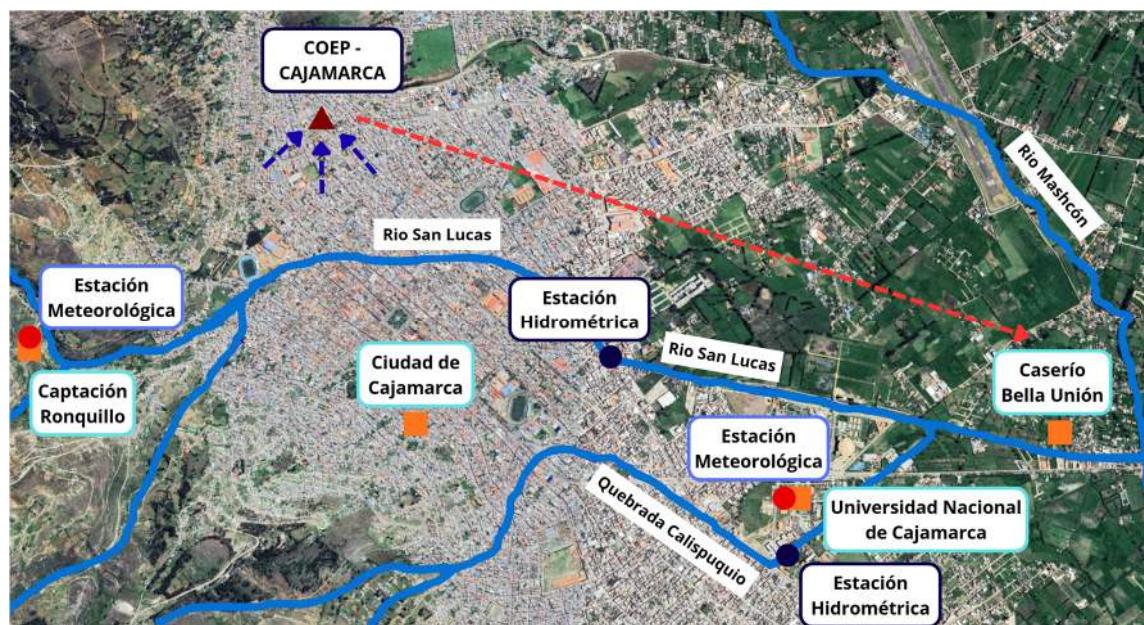
Umbrales de Inundación en las Estaciones Meteorológicas

UMBRAL DE PELIGRO	PRECIPITACIÓN (mm)	CONDICIONES
Moderado	10.80	Lluvioso: Pronóstico de precipitaciones acumuladas de intensidad moderada
Fuerte	14.50	Muy lluvioso: Pronóstico de precipitaciones acumuladas de intensidad fuerte y pueden producir aniegos e inundaciones.
Extremo	23.60	Extremadamente lluvioso: Pronóstico de precipitaciones acumuladas de intensidad extrema y pueden producir inundaciones.

Tabla 68*Umbrales de inundación en las estaciones hidrométricas*

UMBRAL DE PELIGRO	CAUDAL (m ³ /s)	NIVEL (m)		CONDICIONES
		PUENTE AMARILLO	QUEBRADA CALISPUQUIO	
Moderado	20.08	0.99	1.50	Condiciones que podrían afectar las actividades en el río y zonas aledañas.
Fuerte	26.10	1.19	1.70	Condiciones de riesgo para actividades en el río y zonas aledañas, con probable erosión de márgenes y afectación en infraestructura cercana al río.
Extremo	31.70	1.36	1.90	Desborde del río. Probable inundación en zonas pobladas y agrícolas más bajas, erosión de márgenes y afectación en infraestructura cercana al río.

A continuación, se presenta el diagrama general del Sistema de Alerta Temprana, donde se observa la localización de sus diferentes componentes:

Figura 145*Diagrama General del Sistema de Alerta Temprana*

4.1.7.3. Comunicación y difusión de la alerta

➤ Procedimientos operativos

Considerando que la Municipalidad Provincial de Cajamarca ya tiene establecido el protocolo de manejo de los SAT por parte del COEP, se planteó la necesidad de crear un Centro de Operaciones de Emergencia Local en el Caserío Bella Unión, con el propósito de fortalecer la capacidad de respuesta de la comunidad.

Tabla 69

Procedimientos operativos del Centro de Operaciones de Emergencia Local (COEL)

- Bella Unión

ETAPA	PROCEDIMIENTOS OPERATIVOS DEL CENTRO DE OPERACIONES DE EMERGENCIA LOCAL (COEL)
Monitoreo y pronóstico	<ul style="list-style-type: none">- Recibe información del COEP sobre el evento en desarrollo.- Registra datos locales y comunica cualquier cambio significativo al COEP Cajamarca.- Mantiene comunicación permanente con las brigadas comunitarias para la recopilación de reportes locales en zonas críticas.- Apoya la difusión preventiva de recomendaciones ante condiciones meteorológicas adversas.
Emisión de alertas y alarmas	<ul style="list-style-type: none">- Recibe del COEP las alertas o alarmas oficiales y coordina su difusión inmediata a la población del caserío Bella Unión.- Activa el sistema de bocinas comunitarias para comunicar la alerta o alarma, siguiendo los mensajes y protocolos establecidos.- Asegura la comprensión del mensaje por parte de la población mediante la participación de los agentes comunitarios.- Informa al COEP sobre la ejecución del proceso de difusión y la reacción de la comunidad.- Garantiza que las brigadas locales se mantengan en estado de vigilancia ante una alerta y en activación ante una alarma.
Respuesta	<ul style="list-style-type: none">- Activa y dirige las acciones locales de respuesta ante Inundaciones del caserío Bella Unión.- Coordina con las brigadas comunitarias la evacuación de la población hacia las zonas seguras establecidas.- Comunica al COEP el estado de la emergencia, los daños observados y las necesidades inmediatas.- Supervisa el retorno seguro de la población tras la emergencia y participa en la evaluación de daños y análisis post evento.

Nota. El Centro de Operaciones de Emergencia Local debe mantener una comunicación fluida con el Centro de Operaciones de Emergencia Provincial y las brigadas comunitarias a lo largo de todo el proceso. Asimismo, este actúa como coordinador y es el encargado de tomar las decisiones estratégicas para la activación de las brigadas.

Finalmente, se formula la creación de brigadas comunitarias con el fin de brindar apoyo en la intervención inicial ante una emergencia o desastre, de esta forma se contribuye en la autoayuda organizada de la población.

Tabla 70

Procedimientos operativos de las Brigadas de Emergencia

ETAPA	BRIGADA DE MONITOREO Y COMUNITARIO	DE BRIGADA DE ALERTA Y EVACUACIÓN	BRIGADA DE APOYO Y ASISTENCIA
Monitoreo y pronóstico	<ul style="list-style-type: none"> - Mantiene comunicación con el COEL. - Realiza inspecciones preventivas en puntos críticos de la comunidad para identificar factores que puedan agravar la inundación. 	<ul style="list-style-type: none"> - Se mantiene en estado de disponibilidad. - Coordina con la brigada de monitoreo comunitario para conocer las condiciones del río y estar preparada ante una posible alerta. 	<ul style="list-style-type: none"> - Se mantiene preparada con los materiales y equipos básicos de primeros auxilios y ayuda humanitaria.
Emisión de alertas y alarmas	<ul style="list-style-type: none"> - Confirma visualmente el estado del río cuando se recibe una alerta o alarma. - Informa rápidamente cualquier variación o agravamiento de la situación. 	<ul style="list-style-type: none"> - Recibe la orden de activación e inicia la difusión del mensaje por parte del COEL. - Recorre las zonas más vulnerables para clarificar el mensaje. 	<ul style="list-style-type: none"> - Se activa ante la recepción de una alerta o alarma para alistarse en la atención de emergencias.
Respuesta	<ul style="list-style-type: none"> - Mantiene la observación continua durante el evento para informar sobre posibles nuevos focos de riesgo. - Apoya a las otras brigadas en la delimitación de zonas seguras. 	<ul style="list-style-type: none"> - Dirige y supervisa la evacuación ordenada hacia las zonas seguras. - Brinda asistencia a personas en condición de vulnerabilidad (niños, adultos mayores, personas con discapacidad). 	<ul style="list-style-type: none"> - Brinda primeros auxilios y apoyo humanitario a la población afectada durante la emergencia. - Colabora con el traslado de personas heridas o con movilidad reducida.

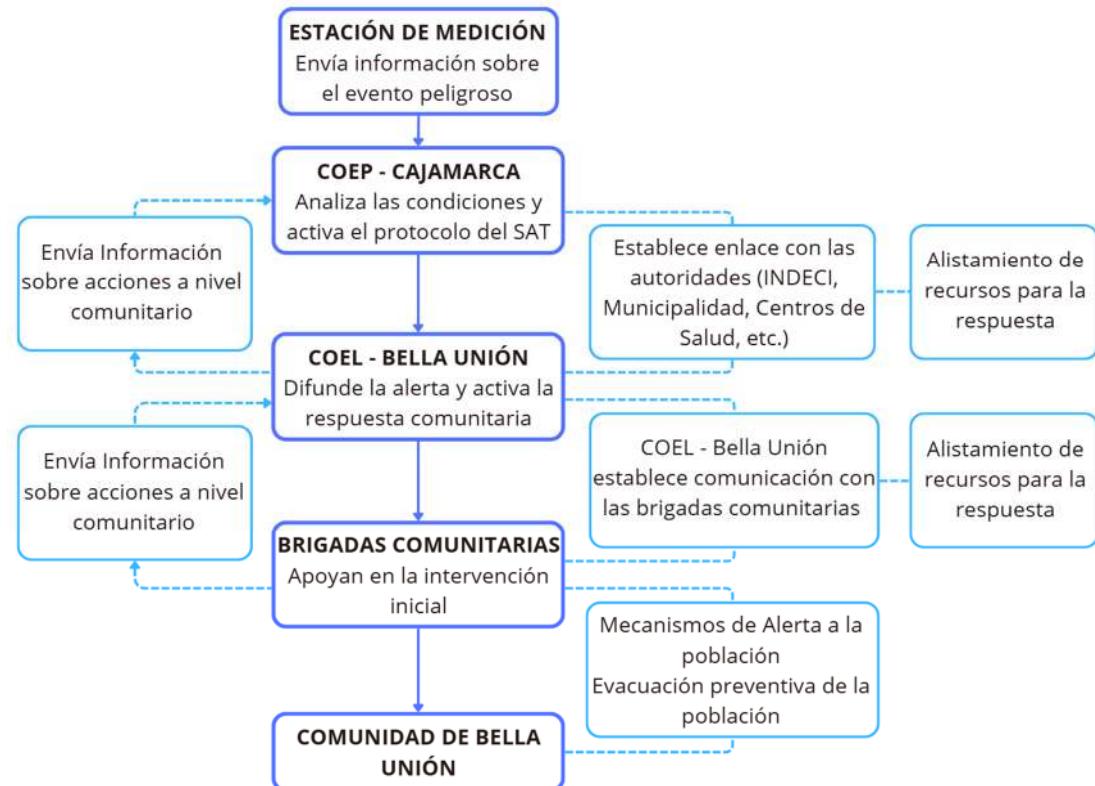
Nota. Cada brigada debe actuar de manera coordinada con el Centro de Operaciones de Emergencia Local y con el resto de brigadas para garantizar una respuesta eficiente.

➤ Flujograma escalonado de activación de alerta

En la Figura 146 se describe, mediante el uso de diagramas, la forma en que la información fluye desde que es monitorizada hasta que se transmite a la comunidad.

Figura 146

Flujograma escalonado de activación de alerta



➤ Mecanismos de difusión de la alerta

Para lograr una adecuada protección de la población, es esencial que la alerta se emita de manera oportuna y que su mensaje sea comprendido claramente por los residentes de Bella Unión, es por ello que, se consideraron las características de la comunidad para seleccionar el medio de difusión más apropiado. Según los pobladores, el uso de bocinas es el método más adecuado, pues permite una comunicación práctica y directa de la información, esto contrasta con otros medios, como mensajes de texto, llamadas telefónicas o el uso de redes sociales, para los cuales manifiestan tener limitaciones de acceso y/o manejo.

Tabla 71*Mecanismo de difusión de la alerta*

TIPO DE ALERTA	ALCANCE	MEDIO DE ACTIVACIÓN	RESPONSABLE	ASPECTOS FUNCIONALES
Sistema de bocinas y amplificador	Población en riesgo de inundación	Notificación del COEL - Bella Unión	Brigada de Alerta y Evacuación	Se ubicará en zonas claves donde se permita alertar a la población de manera clara.

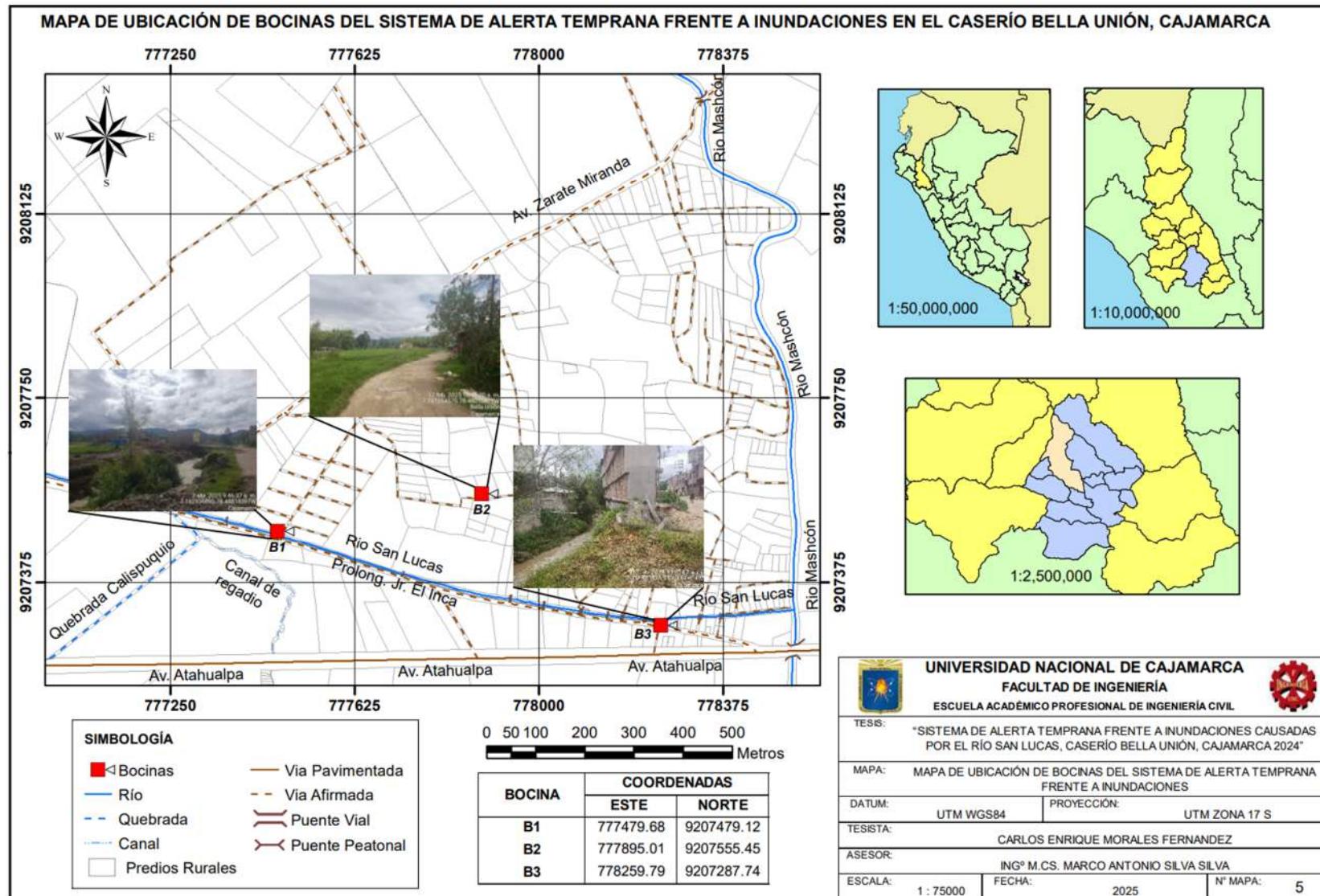
Tabla 72*Componentes requeridos para la difusión de la alerta*

COMPONENTE	DESCRIPCIÓN
Bocina 600W S.P.L (1W/1M.1000 Hz) 108 dB	Para transmitir los avisos en un radio de 300 m.
Amplificador 400 W	Para alimentar a las bocinas y emitir las alertas.

Por otro lado, los mensajes transmitidos deberán presentar un lenguaje conciso y de fácil comprensión, el cual resulte familiar a la población. De esta forma se logrará un mejor entendimiento de las características de la amenaza y, por ende, se tomarán mejores acciones de respuesta.

Figura 147

Mapa de Ubicación de Bocinas del Sistema de Alerta Temprana frente a Inundaciones en el Caserío Bella Unión, Cajamarca



4.1.7.4. Capacidad de respuesta

A partir de la encuesta realizada se identificó una limitada capacidad de respuesta de la población frente a la ocurrencia de inundaciones. Solo un 12 % consideró que sabe cómo actuar ante una alerta de inundación; además, apenas el 6 % de las familias menciona tener un plan de evacuación para estos eventos y únicamente un 8 % de la comunidad de Bella Unión afirma conocer las rutas de evacuación y las zonas seguras.

En este escenario, se plantearon los aspectos claves a implementar en el Sistema de Alerta Temprana para fortalecer la capacidad de respuesta ante inundaciones de la comunidad de Bella Unión.

➤ Plan de evacuación

Representa los procedimientos llevados a cabo por la población una vez que se activa la alarma, el cual indica los pobladores la necesidad de evacuar hacia las zonas seguras. La identificación de los siguientes elementos resulta clave para una adecuada evacuación:

Puntos Críticos. Son los lugares donde existe un alto riesgo para las personas, como las riberas de los ríos donde se pueden producir desbordes. Durante el desarrollo del evento, estos deben ser inspeccionados por la Brigada de Monitoreo Comunitario para comunicar su situación al COEL y a la Brigada de Alerta y Evacuación.

Zonas seguras. Son los lugares donde los pobladores deben llegar una vez realizada la evacuación. Estos se deben encontrar debidamente señalados mediante letreros.

Rutas de evacuación. Son las vías que los pobladores deberán emplear para llegar a las zonas seguras. Estas deberán encontrarse debidamente señaladas para que la comunidad las identifique fácilmente. Durante el desarrollo del evento deberán ser inspeccionadas por la Brigada de Monitoreo Comunitario para confirmar su funcionalidad.

Tabla 73

Identificación de las rutas de evacuación y zonas seguras

RUTA DE EVACUACIÓN ASIGNADA	RESPONSABLES DE LA EVACUACIÓN	ZONAS SEGURAS
Salidas hacia las calles principales, dirigiéndose a la zona poblada de la parte alta del caserío Bella Unión	Brigada de Alerta y Evacuación	Zona poblada de la parte alta del Caserío Bella Unión

Como se mencionó, las rutas de evacuación y las zonas seguras deben presentar una señalización adecuada para permitir un traslado efectivo de la población durante el fenómeno de inundación.

Figura 148

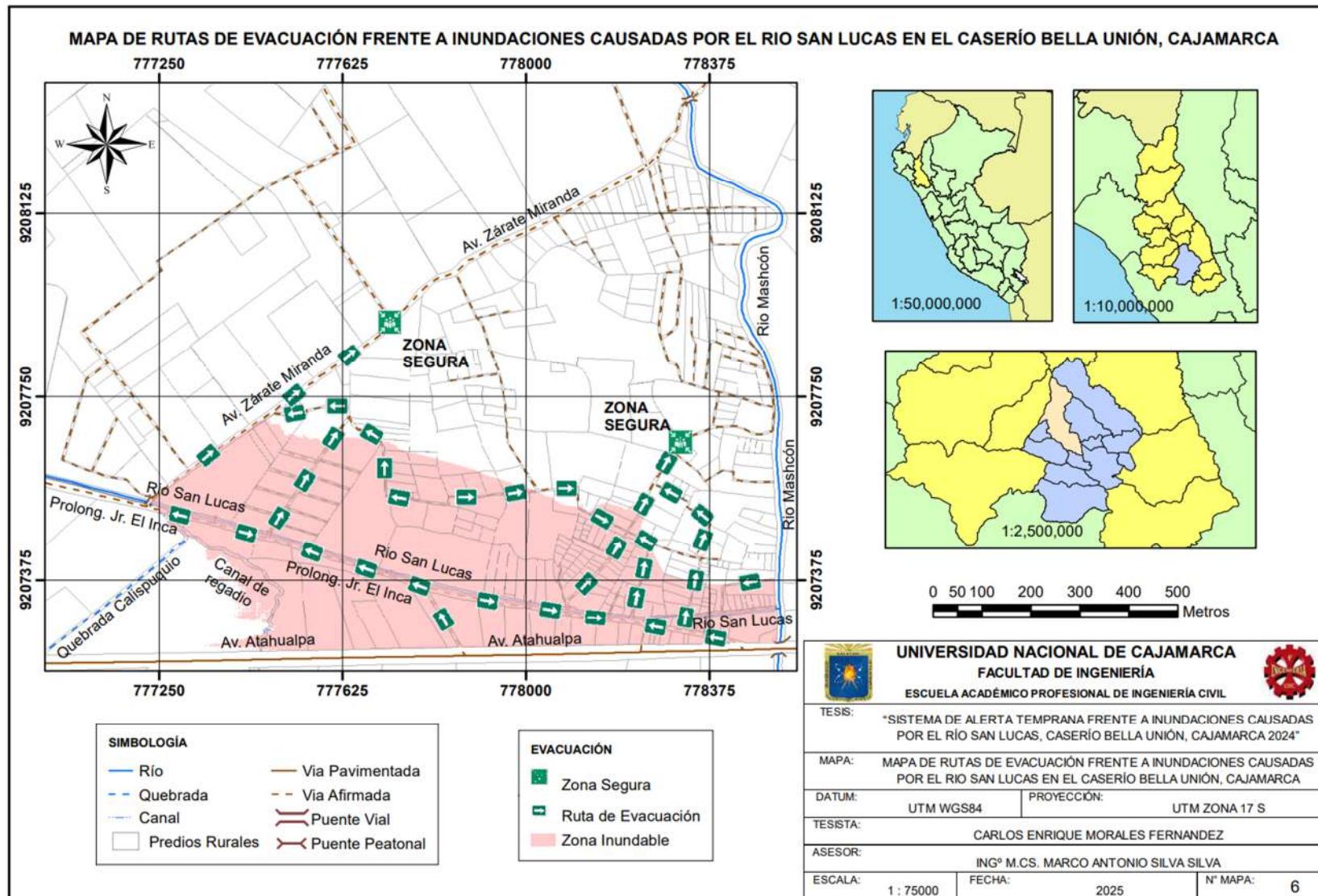
Señalización de rutas de evacuación y zonas seguras



Nota. Adaptado de *Guía Técnica para la Implementación del Sistema de Alerta Temprana Comunitario*, por INDECI, 2018.

Figura 149

Mapa de Rutas de Evacuación frente a inundaciones causadas por el río San Lucas en el Caserío Bella Unión



Por otra parte, es importante considerar las medidas que deberá tomar la población durante la activación de la alerta, dichas normas de conducta son descritas en la Tabla 74.

Tabla 74

Normas de Conducta de la Población durante la activación de la alerta

SEÑAL	DESCRIPCIÓN	NORMAS DE CONDUCTA
Alerta	Estado situacional que se declara y comunica ante la posible ocurrencia de una inundación. Se emite con anticipación para que las autoridades, brigadas y la población tomen precauciones y se preparen ante un posible evento.	<ul style="list-style-type: none"> - Escuchar atentamente el aviso emitido por las bocinas del SAT. - Mantenerse informado a través de las brigadas comunitarias o autoridades locales. - Tener lista la ruta de evacuación y conocer las zonas seguras. - Brindar apoyo a vecinos en condición de vulnerabilidad. - Conservar la calma y no difundir rumores o información no verificada.
Alarma	Señal o comunicación que se emite una vez confirmada la ocurrencia del evento de inundación o cuando el caudal del río representa un riesgo inminente para la población. Activa los planes de contingencia y evacuación inmediata.	<ul style="list-style-type: none"> - Escuchar el aviso de alarma emitido por las bocinas del SAT. - Evacuar inmediatamente siguiendo las rutas y zonas seguras establecidas. - Seguir las indicaciones de las brigadas comunitarias y del COEL. - No regresar a la vivienda hasta recibir la autorización de las autoridades. - Mantener la calma durante la evacuación y colaborar con los equipos de respuesta. - En caso de estar en zona alta o segura, brindar apoyo en la recepción o atención de las personas evacuadas.

Con el objetivo de reforzar la preparación de la población y poner a prueba la operatividad del SAT, se deberán implementar simulacros de inundación de forma periódica, asimismo se deberán realizar capacitaciones en Gestión del Riesgo de Desastres y así fortalecer la capacidad de la comunidad para actuar de manera adecuada y oportuna ante la emergencia. La Subgerencia de Gestión del Riesgo de Desastres será la encargada de liderar la organización y ejecución de estos simulacros y capacitaciones en coordinación con el COEL y los otros actores involucrados.

4.2. Análisis y discusión de resultados

4.2.1. Información meteorológica

La información meteorológica utilizada en el presente estudio corresponde a los datos de precipitaciones máximas mensuales de 24 horas provenientes de la estación meteorológica Augusto Weberbauer, los registros abarcando un periodo de 52 años desde 1973 a 2024. En base a estos, se realizó en análisis estadístico donde se identificó la precipitación máxima de 51.80 mm en el año 2017 y la precipitación mínima de 17.20 mm en el año 2020.

Por otro lado, se analizaron las precipitaciones registradas en la estación Augusto Weberbauer durante los fenómenos El Niño de los años 1982, 1998, 2017 y 2023. En esta se observa que, durante los eventos de 1982, 1998 y 2023 se presentaron valores mayores a la media durante la época de lluvias, que va de octubre a abril. Esto refleja que las épocas de lluvia durante los Fenómenos El Niño suelen ser muy intensas, representando épocas donde existe mayor probabilidad de ocurrencia de inundaciones.

4.2.2. Parámetros de la cuenca

La cuenca del río San Lucas presenta un área de 71.78 km², un perímetro de 52.05 km y una longitud de 16.97 km. Con un factor de forma de Horton de 0.25 esta se considera alargada, el coeficiente de compacidad de 1.73 indica que pertenece a la Clase III: Oval - oblonga a rectangular – oblonga. Asimismo, la razón de elongación obtuvo un valor de 0.56 correspondiente a una alargada con un relieve elevado.

Por otra parte, la cuenca presenta una elevación media de 3334.86 m.s.n.m. y una pendiente media de 26.98 %, clasificándola como accidentada. Según la curva hipsométrica se aprecia que se encuentra en la fase de madurez (en equilibrio) y en base a la relación de bifurcación se tiene que cada río de segundo orden se ramifica en

más de 3 ríos de primer orden y, cada río de tercer orden se ramifica en 6 ríos de segundo orden, por lo que no es una bifurcación constante.

Estos parámetros revelan que la cuenca posee características típicas de zonas altoandinas, con un comportamiento hidrológico rápido y potencialmente torrencial, especialmente ante lluvias intensas. Esto refuerza la necesidad de contar con un sistema de alerta temprana que permita anticiparse a eventos extremos en un contexto de alta vulnerabilidad.

4.2.3. Modelamiento Hidrológico

El modelamiento hidrológico se realizó mediante el software HEC – HMS, utilizando el método de la Curva Número del Soil Conservation Service (SCS) para la estimación de pérdidas, el hidrograma unitario del SCS para la transformación lluvia-caudal y el método de Muskingum para el tránsito de avenidas.

Los períodos de retorno de 20, 50, 100 y 200 años fueron seleccionados tomando en cuenta el nivel de riesgo admisible y la vida útil del Sistema de Alerta Temprana propuesto, la cual fue considerada de 30 años. Los caudales pico obtenidos fueron 38.00 m³/s, 47.80 m³/s, 56.40 m³/s y 65.90 m³/s respectivamente.

4.2.4. Modelamiento Hidráulico

El modelamiento hidráulico se desarrolló mediante modelos bidimensionales (2D) en los softwares HEC-RAS e IBER. Para el caso de HEC RAS se empleó una malla de 8 m x 8 m, refinada a 4 m x 4 m en zonas críticas como el cauce principal y sus alrededores. Buscando similitud en IBER, se empleó una malla de lado máximo de 8 m y lado mínimo de 1 m. Para ambos escenarios se emplearon coeficientes de rugosidad de Manning calculados mediante el método de Cowan, con el propósito de obtener un reflejo más preciso de las características de la zona.

Los resultados de ambas simulaciones muestran que las superficies inundadas varían entre 7.2% a 8.4%, salvo para el caso del periodo de retorno de 20 años en el cual se presentó un área inundada 178% mayor que en HEC-RAS, de igual forma se visualiza que IBER genera áreas inundadas más grandes en Periodos de Retorno más pequeños, situación que se revierte a medida que se incrementa este valor. Por otro lado, los tirantes máximos presentan valores similares en ambos modelos, con una variación máxima de 7cm en el cauce del río y de 9 cm en las zonas inundadas, asimismo se aprecia que el modelo de HEC-RAS genera resultados mayores. En contraste, las velocidades máximas fueron de mayor magnitud en IBER, donde se aprecia una mayor variación en el cauce del río, presentando un rango entre 35% a 71.8% superior que las identificadas mediante HEC-RAS; no obstante, en las zonas inundadas la variación solo fue entre el 2.5% al 6.4%, excepto en el Periodo de Retorno de 20 años, donde se alcanzó una variación del 36.2%.

4.2.5. Encuesta para la Evaluación de Riesgo

Los resultados de las encuestas revelan una alta vulnerabilidad social frente a inundaciones. Se observa que el 34 % de las viviendas alberga personas menores de 5 años o mayores de 65 años y un 46 % presenta niños o adultos mayores entre 5 y 65 años, lo que incrementa la fragilidad social. En cuanto a la composición familiar, el 48 % de los hogares cuenta con 3 a 4 integrantes y el 38 % con 5 a 6 integrantes, reflejando familias de tamaño medio.

En cuanto a los servicios básicos, la totalidad de los encuestados tienen acceso al agua potable y electricidad; sin embargo, el 52 % presenta un escaso conocimiento sobre las causas de las inundaciones y el 78 % no ha recibido capacitaciones en gestión del riesgo, por lo que, resalta la deficiente preparación ante emergencias relacionadas con inundaciones. En cuanto a las edificaciones, el 72 % de las viviendas se

construyeron con ladrillo; además, el 92 % cuenta con dos o más niveles y solo el 20% tienen un estado de conservación malo, esto evidencia cierta capacidad de resguardo frente a posibles desastres causados por inundaciones. En contraste, el 66% de las viviendas registran un ingreso entre 1130 a 1500 soles y solo un 22% de los habitantes se califican como profesionales técnicos o superior, evidenciando la vulnerabilidad económica del caserío.

Finalmente, el 68 % de los encuestados desconocen la normativa ambiental y el 84 % no han recibido capacitación en temas de conservación, reflejando una baja cultura de cuidado ambiental. En conjunto, estos resultados revelan que la vulnerabilidad en Bella Unión se asocia a factores sociales, económicos y ambientales que aumentan el riesgo frente a inundaciones.

4.2.6. Encuesta para el planteamiento del Sistema de Alerta Temprana

Los resultados de la encuesta que el 62 % de los encuestados manifestó haber sufrido inundaciones en los últimos años y el 36 % percibe que estos eventos ocurren cada año, lo que refleja una alta frecuencia y percepción del riesgo, esta situación se relaciona con la construcción de viviendas próximas al cauce del río.

Por otro lado, el 62 % de la población se entera de las inundaciones por experiencia directa y el 38 % por aviso de vecinos, lo que confirma la ausencia de un sistema formal de alerta. En tal sentido, el 68 % de los encuestados considera que las sirenas o bocinas son el método más apropiado para la emisión de alertas, por su efectividad auditiva y simplicidad de uso.

Respecto a la preparación comunitaria, el 88 % de la población no sabe cómo actuar ante una alerta, el 92 % no identifica las rutas de evacuación ni conoce la ubicación de las zonas seguras, asimismo un 94 % de las familias no cuentan con un plan de evacuación, lo que demuestra la limitada capacidad de respuesta. Ante ello, se

presenta una elevada predisposición de la población a mejorar dicha situación, ya que, el 90 % de los pobladores está dispuesto a participar en simulacros y recibir capacitaciones, de igual forma, el 70 % estaría dispuesto a formar parte de brigadas comunitarias de ser necesario.

4.2.7. Sistema de Alerta Temprana

4.2.7.1. Conocimiento del Riesgo

En este componente se evaluó la peligrosidad, vulnerabilidad y nivel de riesgo del caserío Bella Unión, mediante la metodología propuesta por CENEPRED. El resultado del análisis arrojó un nivel de peligrosidad “muy alto” en una extensión de 21489.31 m² correspondiente en gran medida a las zonas más próximas al río y un nivel de peligrosidad “alto” en una superficie de 162565.02 m² que se extiende mayoritariamente a las partes urbanizadas del caserío.

Respecto a la vulnerabilidad, se determinó que en el caserío prima un nivel de vulnerabilidad “muy alto” abarcando una extensión de 238170.55 m², donde también hay zonas que ocupan una superficie de 96297.42 m² con un nivel de vulnerabilidad “alto”. Este resultado alarmante es producto de la combinación de múltiples factores como la elevada fragilidad y poca resiliencia económica de la población, la ubicación en zonas expuestas, la escasa capacitación de la población para afrontar los eventos de inundación y la débil organización institucional frente a desastres.

En consecuencia, se presenta un nivel de riesgo “muy alto” para las viviendas construidas en las zonas cercanas al río, ocupando un área de 68800.02 m², mientras que existe un nivel de riesgo “alto” para aquellas viviendas un poco más alejadas del río y para los terrenos destinados a actividades como la agricultura o la ganadería, los cuales ocupan una extensión de 230852.70 m² y finalmente solo 34806.40 m²

presentan un nivel de riesgo “medio”, siendo esta superficie la correspondiente a aquellas viviendas más alejadas del río.

4.2.7.2. Monitoreo y pronóstico

La red de monitoreo se estableció considerando que esta pueda ser implementada a la red de Sistemas de Alerta Temprana administrados por la Municipalidad Provincial de Cajamarca, es por ello que se planteó el uso de Estaciones Meteorológicas y Estaciones Hidrométricas que transmitan la información en tiempo real de los datos a través de la plataforma ThingSpeak.

En el caso de las Estaciones Meteorológicas, se propuso utilizar los mismos componentes que se vienen manejando en Sistemas similares de Cajamarca, es decir, un Pluviómetro Hobo (On-Set) RG3-M junto a un Escudo de Radicación con sensor digital que recojan datos de precipitación, temperatura y humedad. Estos equipos serán abastecidos de energía mediante un panel solar y transmitirán la información a internet mediante Wifi e internet móvil. Para su localización se consideran dos puntos claves, el primero sugiere integrar la Estación ya existente ubicada en el 2do, piso del Pabellón de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Cajamarca y a esta adicionar una estación, cuya creación se recomienda a la altura de la captación el Ronquillo con el propósito de obtener datos fiables de la parte alta de la cuenca.

Por otro lado, para las Estaciones Hidrométricas se plantea el uso de Sensores Ultrasónicos que midan el nivel del río y que se encuentren abastecidos de energía mediante un panel solar, buscando compatibilidad con las otras Sistemas de Alerta ya existentes, se sugiere que estos envíen la información a la Plataforma ThingSpeak a través de una red de comunicación móvil, semejante a la de las Estaciones Meteorológicas. Para su localización se consideran 2 puntos estratégicos, el primero a

la altura del Puente Amarillo en el río San Lucas y el segundo dentro del campus universitario de la Universidad Nacional de Cajamarca destinado a medir el nivel de la quebrada Calispuquio.

Los umbrales de alerta en el caso de las Estaciones Meteorológicas serán los establecidos por la Municipalidad Provincial de Cajamarca en base a los datos de la Estación Augusto Weberbauer; mientras que, al no existir umbrales de caudal en el río San Lucas se procedió a definirlos en base a la RM N°049-2020-PCM “Protocolo para la emisión de avisos, alertas y alarmas ante lluvias intensas y peligros asociados”, logrando de esta forma establecer una mejor organización durante la activación de la alerta.

Finalmente, la lectura y análisis de los datos se realizará en el ya existente Centro de Operaciones de Emergencia Provincial, este será encargado de transmitir las alertas y alarmas a el Centro de Operaciones de Emergencia Local de Bella Unión para su transmisión a la población.

4.2.7.3. Comunicación y difusión de la alerta

Para garantizar una comunicación eficaz durante la activación de la alerta, se establecieron los procedimientos operativos de los actores principales del Sistema de Alerta Temprana a nivel local: El Centro de Operaciones de Emergencia Local (COEL) – Bella Unión y las brigadas de emergencia. Ya que, al tener identificados sus roles y funciones a lo largo del desarrollo de la activación de la alerta, estos podrán actuar de la mejor manera para salvaguardar las vidas de los pobladores.

De igual forma, con el objetivo de lograr una oportuna difusión de la alerta, se planteó la implementación de un sistema de bocinas distribuidas estratégicamente en el caserío. Esta elección tuvo en cuenta a los habitantes de la zona, quienes

manifestaron que este mecanismo les resulta más familiar y fácil de comprender, adicionalmente, fueron ubicados en función de la distribución espacial de la población y el alcance que deberán tener los equipos.

4.2.7.4. Capacidad de respuesta

Durante el proceso de diagnóstico comunitario mediante encuestas, se identificó que solo el 12 % de la población encuestada sabe cómo actuar ante una inundación, el 6 % cuenta con un plan de evacuación y solo el 8 % conoce las rutas seguras. Esta situación se ve reforzada por el hecho de que el 78 % de los pobladores indican que no han recibido ninguna capacitación sobre gestión de riesgo de inundación y el 10 % mencionan tener una escasa capacitación.

Sin embargo, el 90% manifestó interés en recibir capacitaciones y simulacros, mientras que el 70% estaría dispuesto a integrarse a una brigada de emergencia. Es por ello que se propuso el fortalecimiento de las capacidades mediante talleres de capacitación, simulacros periódicos y formación de brigadas comunitarias. Además, se identificaron y señalizaron las rutas de evacuación y zonas seguras, y se elaboró las normas de conducta de la población ante las inundaciones. Estas medidas buscan transformar la alta vulnerabilidad en una mayor capacidad de respuesta organizada.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Se recopiló y evaluó la información meteorológica correspondiente a precipitaciones máximas mensuales de 24 horas obtenidas de la estación Augusto Weberbauer para el periodo 1973–2024, de la cual se identificó una precipitación máxima de 51.8 mm (año 2017) y una mínima de 17.2 mm (año 2020), asimismo se observó que durante los Fenómenos El Niño de 1982, 1998 y 2023 se alcanzaron valores superiores a la media durante la época de lluvias (octubre a abril). Además, se determinaron los parámetros de la cuenca del río San Lucas, que presenta un área de 71.78 km², un perímetro de 52.05 km y una pendiente media de 26.98 %, asimismo, su curva hipsométrica es de tipo B, es decir, es una cuenca en equilibrio (fase de madurez).
- Mediante el modelo hidrológico con el software HEC-HMS, se obtuvieron caudales máximos de 38.00 m³/s para un Periodo de Retorno de 20 años, 47.80 m³/s para un Periodo de Retorno de 50 años, 56.40 m³/s para un Periodo de Retorno de 100 años y 65.90 m³/s para un Periodo de Retorno de 200 años.
- En los modelamientos hidráulicos en HEC-RAS e IBER se pudo identificar que las áreas inundadas varían entre 7.2% a 8.4%, a excepción del Periodo de Retorno de 20 años, donde IBER arrojó un área 178% mayor que en HEC-RAS. Por otro lado, los tirantes máximos presentan valores similares en ambos modelos, con una variación máxima de 7 cm en el cauce del río y de 9 cm en las zonas inundadas, siendo HEC-RAS el que genera resultados más altos. En contraste, las velocidades máximas fueron superiores en IBER, donde se aprecia una variación en el cauce del río en el rango de 35% a 71.8%; sin

embargo, en las zonas inundadas la variación solo fue entre el 2.5% al 6.4%, excepto en el Periodo de Retorno de 20 años, donde se alcanzó una variación del 36.2%.

- La evaluación de riesgo mediante la metodología del CENEPRED concluyó que existe un nivel de riesgo “muy alto” en un área de 68800.02 m² correspondiendo a aquellas viviendas construidas en las zonas cercanas al río, mientras que, se presenta un nivel de riesgo “alto” en una extensión de 230852.70 m², donde se concentran aquellas viviendas un poco más alejadas del río y los terrenos destinados a actividades como la agricultura o la ganadería y finalmente solo 34806.40 m² presentan un nivel de riesgo “medio”, siendo esta superficie la correspondiente a aquellas viviendas más alejadas del río.
- Para el Sistema de Alerta Temprana se propuso como componentes: 02 Estaciones Meteorológicas basadas en Pluviómetros Hobo (On-Set) RG3-M y 02 Estaciones Hidrométricas que empleen Sensores Ultrasónicos, la transmisión de información en ambos tipos de estaciones deberá ser mediante una red móvil a la plataforma ThingSpeak. En el caso de las Estaciones Meteorológicas se planteó incorporar la estación ya existente ubicada en la Universidad Nacional de Cajamarca y colocar otra a la altura de la Captación Ronquillo. Por otro lado, se sugirió ubicar una Estación Hidrométrica en el Rio San Lucas a la altura del Puente Amarillo y una segunda estación dentro del campus universitario para monitorear el comportamiento de la quebrada Calispuquio. Se plantearon tres umbrales de alerta de niveles moderado, fuerte y extremo, los cuales deben ser analizados por el Centro de Operaciones de Emergencia Provincial (COEP) de Cajamarca para emitir las alertas y alamas. También se sugirió la instalación de Bocinas en la comunidad para dar a

conocer las alertas y alarmas, y la creación de un Centro de Operaciones de Emergencia Local (COEL) en Bella Unión para fortalecer la capacidad de respuesta de la comunidad.

5.2.Recomendaciones

- Debido al alarmante nivel de riesgo de inundación identificado en el caserío Bella Unión, se sugiere realizar estudios complementarios destinados a evaluar la viabilidad de implementar medidas estructurales, como defensas ribereñas, a fin de reducir significativamente el peligro al que viene siendo expuesta la población.
- Se recomienda instalar estaciones hidrométricas en puntos estratégicos de la cuenca del río San Lucas, con el fin de contar con información más precisa del comportamiento de río y de esta forma se puedan realizar mejores pronósticos.
- Se recomienda realizar futuras investigaciones que profundicen en la evaluación del impacto social del Sistema de Alerta Temprana y el análisis de escenarios futuros bajo condiciones de cambio climático.
- Se recomienda gestionar la implementación del Sistema de Alerta Temprana ante la Subgerencia de Gestión del Riesgo de Desastres, buscando su articulación a los SAT manejados por el COEP – Cajamarca y mejorando la respuesta comunitaria mediante la organización y capacitación del COEL – Bella Unión.

CAPÍTULO VI: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BIBLIOGRAFÍA

Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional y Practical Action.

[s.f.a]. *Condiciones climáticas y umbrales para la Alerta ante Inundaciones Ciudad de Cajamarca / Quebrada “Huayllapampa”*. Documento facilitado por Municipalidad Provincial de Cajamarca (correo electrónico recibido el 26 de set. 2025). Copia en archivo de la Municipalidad Provincial de Cajamarca.

Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional y Practical Action.

[s.f.b]. *Manual interpretación de datos meteorológicos y seguimiento para la toma de decisiones*. Documento facilitado por Municipalidad Provincial de Cajamarca (correo electrónico recibido el 26 de set. 2025). Copia en archivo de la Municipalidad Provincial de Cajamarca.

Camino, M. A., Bó, M. J., Cionchi, J. L., López de Armentia, A., Del Río, J. L., y De Marco, S. G. (2018). *Estudio morfométrico de las cuencas de drenaje de la vertiente sur del sudeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina)*. Revista Universitaria de Geografía, 27(1), 73-97.

Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno de El Niño. (2017).

Aproximación metodológica para la implementación de Sistemas de Alerta Temprana ante inundaciones. Programa Regional Andino para el Fortalecimiento de los Servicios Meteorológicos, Hidrológicos, Climáticos y el Desarrollo et al.

Chiroque, C., y Lavado, H. (2016). *Aspectos geológicos y geodinámicos de flujos aluvionales en la quebrada Jicamarca y análisis de la vulnerabilidad para la implementación de un Sistema de Alerta Temprana (SAT) en el centro poblado*

- Cajamarquilla. Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas, 19(38), 47-55.*
- Córdova Mendoza, P., Barrios Mendoza, T. O., Zuzunaga Morales, R., Córdova Barrios, I. C., Pardo Moran, E. E., y Zuzunaga Concha, E. (2022). *Ánálisis hidráulico del flujo de cuencas naturales y canales artificiales mediante el programa HEC-RAS*. Centro de Investigación y Desarrollo Ecuador.
- Gobierno Regional de Cajamarca. (2023). *Plan de prevención y reducción del Riesgo de Desastres de la región Cajamarca 2023 – 2030*.
- Instituto Nacional de Defensa Civil. (2018). *Guía Técnica para la Implementación del Sistema de Alerta Temprana Comunitario*. Dirección Nacional de Prevención.
- Instituto Nacional de Defensa Civil. (2005). *Programa de prevención y medidas de mitigación ante desastres Ciudad de Cajamarca*. Dirección Regional de Defensa Civil de Cajamarca.
- Kadam, A. K., Umrikar, B. N., y Sankhua, R. N. (2016). *Geomorphometric characterization and prioritization of watershed from semi-arid region, India for green growth potential*. Journal of Environmental Research and Development, 11(02), 417-432.
- Keating, C., Lee, D., Bazo, J., y Block, P. (2021). *Leveraging multi-model season-ahead streamflow forecasts to trigger advanced flood preparedness in Peru*. Natural Hazards and Earth System Sciences, 21(7), 2215-2231.
- Linsley, R. K., Kohler, M. A., y Paulus, J. L. (1977). *Hidrología para ingenieros* (McGraw-HillLatinoamérica, Ed.; Segunda edición).
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2011). *Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje*.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2019). Resolución Ministerial N° 165-2019-MTC/01.03, Modifican el Anexo Técnico del Sistema de Mensajería de Alerta Temprana de Emergencias – SISMATE. Lima: 7 de marzo de 2019.

Municipalidad Provincial de Cajamarca. (2024). *Plan de Operaciones de Emergencia de la provincia de Cajamarca 2024 – 2026.*

Municipalidad Provincial de Cajamarca. (2024). *Plan de preparación de la provincia de Cajamarca 2024 – 2026.*

Municipalidad Provincial de Cajamarca. (2024). *Plan de Contingencia ante lluvias intensas y peligros asociados 2024 – 2026 de la provincia de Cajamarca*

Pascual Aguilar, J. A., y Díaz Martín, M. (2016). *Guía práctica sobre la modelización hidrológica y el modelo HEC-HMS.* Centro para el Conocimiento del Paisaje.

Presidencia del Consejo de Ministros. (2020). Resolución Ministerial N°049-2020-PCM, Protocolo para la emisión de avisos, alertas y alarmas ante lluvias intensas y peligros asociados. Lima: 13 de febrero de 2020.

SEDACAJ. (2024). *Plan de Contingencia de la localidad de Cajamarca – EPS SEDACAJ S.A. – ante escenarios de lluvias intensas 2025.*

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología. (2021). *Atlas de Temperaturas del aire y precipitación en el Perú.* Dirección de Meteorología y Evaluación Ambiental Atmosférica.

Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres. (2021). *Guía para el desarrollo de sistemas de alerta temprana (SAT).* Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres.

LINKOGRAFÍA

Alaska Satellite Facility. (2024). ALOS PALSAR Radiometric Terrain Corrected (RTC) DEM, 12.5 m [Dataset]. <https://search.asf.alaska.edu/>

Alcántara Boza, A., Gonzales-Plasencia, K., y Velásquez-Intriago, F. (2025). *Simulación de inundaciones en el río la Llanga (Perú) mediante modelamiento hidrológico con HEC-HMS y HEC-GeoRAS*. Revista Ciencia Agraria, 4(1), 22-35. <https://doi.org/10.35622/>

Álvarez Bayona, M. A., y MacGregor Torrado, A. A. (2023). *Determinación de los periodos de retorno utilizando el ajuste de distribución de probabilidad para la estación meteorológica de La Playa Norte de Santander*. Revista Ingenio, 20(1), 59–65. <https://doi.org/10.22463/2011642X.3710>

Alvarez Villanueva, J. I. y Huamán Vidaurre, J. F. (2024). *Desempeño de métodos deterministas en la estimación del tiempo de concentración en la cuenca alta del Jequetepeque, Perú*. Manglar, 21(4), 461-470. <https://doi.org/10.57188/manglar.2024.050>

Autoridad Nacional del Agua. (2015). *Generación del mapa temático de Curva Número (Cn)*. <https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/5675>

Bischiniotis, K., van den Hurk, B., Zsoter, E., Coughlan de Perez, E., Grillakis, M., y Aerts, J. C. J. H. (2019). *Evaluation of a global ensemble flood prediction system in Peru*. Hydrological Sciences Journal, 64(10), 1171–1189. <https://doi.org/10.1080/02626667.2019.1617868>

Calvo Solano, O., y Quesada Román, A. (2024). *Worldwide Research Trends and Networks on Flood Early Warning Systems*. GeoHazards, 5(3), 582-595. <https://doi.org/10.3390/geohazards5030030>

Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres.

(2024). *Informe de análisis de la vulnerabilidad social y económica, y efectos probables ante el impacto de inundaciones y movimientos en masa asociados al posible Fenómeno El Niño 2023 - 2024 del departamento de Cajamarca.*

<https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/documento/17531>

Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres.

(2015). *Manual para la evaluación de Riesgos originados por Fenómenos Naturales.* <https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/documento/257>

Djafri, S. A., Cherhabil, S., Hafnaoui, M. A., y Madi, M. (2024). *Flood modeling using HEC-RAS 2D and IBER 2D: a comparative study.* Water Supply, 24(9), 3061-3076. <https://doi.org/10.2166/ws.2024.184>

Ibarreche, J., Aquino, R., Edwards, R.M., Rangel, V., Pérez, I., Martínez, M., Castellanos, E., Álvarez, E., Jimenez, S., Rentería, R y Álvarez, O. (2020). *Flash flood early warning system in colima, Mexico.* Sensors, 20(18), 5231. <https://doi.org/10.3390/s20185231>

Liu, C., Guo, L., Ye, L., Zhang, S., Zhao, Y., y Song, T. (2018). *A review of advances in China's flash flood early-warning system.* Natural hazards, 92, 619-634. <https://doi.org/10.1007/s11069-018-3173-7>

López García, J. D., Carvajal-Escobar, Y., y Enciso-Arango, A. M. (2017). *Sistemas de alerta temprana con enfoque participativo: Un desafío para la Gestión del Riesgo en Colombia.* Luna azul, (44), 231-246. <https://doi.org/10.17151/luaz.2017.44.14>

Lux Cardona, B. (2016). *Conceptos básicos de morfometría de cuencas hidrográficas.* <http://www.repository.usac.edu.gt/id/eprint/4482>

Sanz Ramos, M., Cea, L., Bladé, E., López Gómez, D., Sañudo, E., Corestein, G., García Alén, G. y Aragón-Hernández, J. (2022). *Manual de referencia e interfaz de usuario de las nuevas implementaciones*. Iber. More than 2D Hydraulic modelling. https://www.scipedia.com/public/Sanz-Ramos_et_al_2022b

SEDACAJ. (2025a). *MRSEH de SEDACAJ instala estaciones meteorológicas*. <https://www.sedacaj.com.pe/docs/est-meteorologicas.pdf>

SEDACAJ. (2025b). *Proyecto MRSE sigue avanzando*. <https://www.sedacaj.com.pe/media/mrse-cuenca-ronquillo-jul2025.mp4>

Mora Estrada, D. P., y Rosas Sánchez, J. C. (2016). Propuesta de diseño de un sistema de alerta temprana por inundación en la Subcuenca del Río Tejalpa (SIATI-ScRT) [Tesis de grado, Universidad Autónoma del Estado de México]. <http://hdl.handle.net/20.500.11799/63871>

Muñoz Bustamante, Y. L., y Yamunaque Tocto, L. A. (2023). *Nivel de Riesgo ante Inundación Fluvial aplicando la Metodología Cenepred en el Sector Magllanal-Jaén - Cajamarca*. Revista Científica Pakamuros, 11(3). <https://doi.org/10.37787/pakamuros-unj.h7j1s812>

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología. (2023). *Senamhi administra centro regional ante inundaciones súbitas*. Ministerio del Ambiente. <https://www.gob.pe/institucion/senamhi/noticias/823565-senamhi-administra-centro-regional-ante-inundaciones-subitas>

Villón Béjar, M. (2016). *HidroEsta, software for hydrological calculations*. Revista Tecnología en Marcha, 29(Suppl. 1), 95-108. <https://dx.doi.org/10.18845/tm.v29i5.2520>

ANEXOS

Anexo 1. Panel Fotográfico

Figura 150

Punto inicial de la zona de estudio - Puente La Huang



Figura 151

Levantamiento topográfico con GPS diferencial



Figura 152

Análisis de susceptibilidad para la peligrosidad - Parámetro Uso del Suelo: Áreas de uso ganadero



Figura 153

Análisis de la dimensión económica de la vulnerabilidad - Parámetro Material de Construcción de las viviendas: Adobe y ladrillo



Figura 154

Análisis de la dimensión económica de la vulnerabilidad - Parámetro Cercanía al río: Menor a 20 metros



Figura 155

Análisis de la dimensión ambiental de la vulnerabilidad - Parámetro Pérdida del suelo: Protección inadecuada en los márgenes de corrientes de agua



Figura 156

Punto final de la zona de estudio - Desembocadura en el río Mashcón



Figura 157

Ubicación propuesta para la instalación de la estación hidrométrica en el río San Lucas - Puente de acceso al reservorio elevado del Complejo Qhapaq Ñan



Figura 158

Ubicación propuesta para la instalación de la estación hidrométrica en el río San Lucas - Puente ubicado en el campus de la Universidad Nacional de Cajamarca

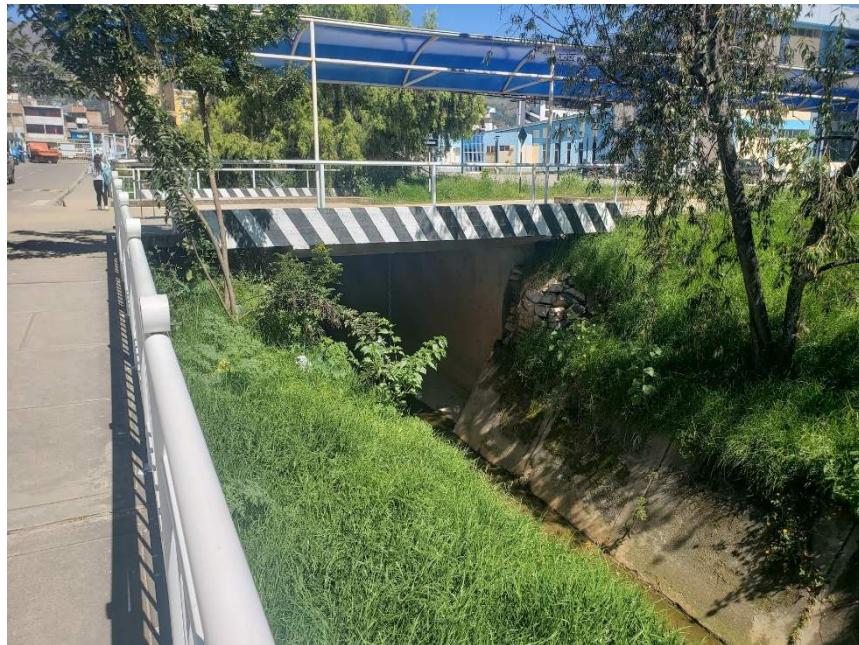


Figura 159

Ubicación propuesta para la instalación de la estación hidrométrica en el río San Lucas - Puente Amarillo



Anexo 2. Solicitud dirigida al SENAMHI para la obtención de datos de la estación Augusto Weberbauer

PROCEDIMIENTOS PARA OTORGAR INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA EN EL SENAMHI A ESTUDIANTES, TESISTAS, MAESTRISTAS, DOCTORADO E INVESTIGADORES

ANEXO 02: FORMATO DE SOLICITUD ESTUDIANTES /TESISTAS - DIRECCIÓN ZONAL

Señor(a)
DIRECTOR (A) ZONAL DEL SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA
DEL PERÚ - SENAMHI
Presente:-

CARLOS ENRIQUE MORALES FERNANDEZ
(Nombre y Apellidos)

JIRÓN : J - CAJAMARCA - CAJAMARCA
(Dirección)

con Nº DNI: Telf: E-mail: c.moralesf16-1@unc.edu.pe

Universidad/ Instituto: UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

Carrera/ Profesión: INGENIERÍA CIVIL

Ante usted me presento y expongo:

Que, (detallar el estudio o proyecto que están realizando y el motivo de solicitud de los datos)

como parte fundamental para el desarrollo de mi tesis!
"Sistema de Alerta Temprana frente a inundaciones
causadas por el Río San Lucas, Caserío Bella Unión, Cajamarca 2024"

Solicito la siguiente información:

ESTACION/ZONA	PARÁMETROS	PERÍODOS
<u>Augusto Weberbauer</u>	<u>Precipitación máxima mensual de 24 horas</u>	<u>1973 - 2024</u>

La información solicitada deberá ser remitida al correo electrónico: c.moralesf16-1@unc.edu.pe

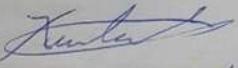
Por lo expuesto, agradeceré a usted atender lo solicitado.

Cajamarca, 28 de enero del 2025


Firma del Usuario

DIRECTIVA N° 003-2016-SENAMHI-SG-OPP-UM
Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI

Anexo 3. Solicitud dirigida a la Municipalidad Provincial de Cajamarca para la obtención de información

 MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE CAJAMARCA	SOLICITUD DE ACCESO A LA INFORMACIÓN PÚBLICA			 REPÚBLICA DEL PERÚ
(Texto Único Ordenado de la Ley N° 27806, Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública, aprobado por Decreto Supremo N° 043 - 2003 - PCM)				
I. FUNCIONARIO (A) RESPONSABLE DE ENTREGAR LA INFORMACIÓN				
<i>Subgerencia de Gestión del Riesgo de Desastres</i>				
II. DATOS DEL SOLICITANTE				
APPELLIDOS Y NOMBRES / RAZÓN SOCIAL		D.N.I. / R.U.C. / C.E		
<i>Morales Fernandez Carlos Enrique</i>		[REDACTED]		
DOMICILIO	URB./ASOC./BARRIO/C.P./AA.HH.	AV./JR./CALLE/PSJE./PROL./CASERÍO	MZ./LTE./N°	EDIF./DPTO./INT.
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
DISTRITO	PROVINCIA	DEPARTAMENTO		
<i>Cajamarca</i>	<i>Cajamarca</i>	<i>Cajamarca</i>		
CORREO ELECTRÓNICO		N° CELULAR/TELÉFONO		
<i>c.moralesf16-1@unc.edu.pe</i>		[REDACTED]		
III. INFORMACIÓN SOLICITADA				
SOLICITUD	<p><i>Por estar desarrollando la Tesis titulada: "Sistema de Alerta Temprana frente a Inundaciones causadas por el río San Lucas, caserío Bella Unión, Cajamarca 2024", solicito ante el despacho de su digno cargo información sobre los desastres de inundación causados por el río San Lucas, de ser posible a partir del año 1973 a la fecha. Asimismo, suplico a usted la información sobre el Sistema de Alerta Temprana de Cruz Blanca (Sistema de Monitoreo de Datas, Umbrales de Inundación y Plan de Operaciones de Emergencia)</i></p>			
IV. DEPENDENCIA DE LA CUAL REQUIERE INFORMACIÓN				
<i>Subgerencia de Gestión del Riesgo de Desastres.</i>				
V. FORMA DE ENTREGA DE LA INFORMACIÓN (Marca con una X)				
Copia Simple	<input type="checkbox"/>	CD o DVD	<input type="checkbox"/>	Otro <input type="checkbox"/>
Copia Fedatada	<input type="checkbox"/>	Correo electrónico	<input checked="" type="checkbox"/>	[REDACTED]
VI. DECLARACIÓN JURADA				
En mi condición de solicitante, DECLARO BAJO JURAMENTO, que todos los datos consignados en la presente solicitud son verdaderos, asumiendo todas las responsabilidades por su veracidad y contenido.				
NOTA:				
El solicitante deberá cancelar los costos por reproducción de información establecidos en EL TUPA				
Cualquier consulta comunicarse al teléfono: 076 602660 / 076 602 661 - Anexo: 2192				
 <i>Carlos Enrique Morales</i> <i>Fernandez.</i>				
Firma del Ciudadano/Representante Legal		Fecha y Hora de Recepción - C.A.C.		Fecha y Hora de Recepción - A.I.P.
OBSERVACIONES:				

Anexo 4. Solicitud dirigida a SEDACAJ S.A. para la obtención de información

**SOLICITO INFORMACIÓN SOBRE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA
GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES**

ING. CARLOS ARTURO OBREGÓN DIAZ
GERENTE GENERAL DE LA EPS SEDACAJ S.A.

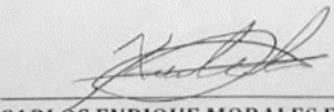
Yo, **CARLOS ENRIQUE MORALES FERNANDEZ**, bachiller en Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca, identificado con **DNI N° 1 [REDACTED]**, domiciliado en Jirón [REDACTED], Distrito, Provincia y Departamento de Cajamarca, con celular N° [REDACTED] y con correo electrónico **cmoralesf16_1@unc.edu.pe**, ante usted con el debido respeto expongo:

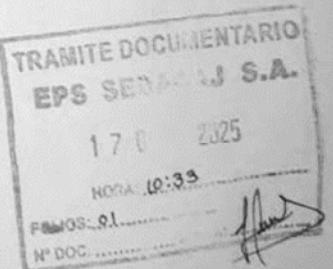
Que, por estar realizando un trabajo de tesis titulado "**SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA FRENTA A INUNDACIONES CAUSADAS POR EL RÍO SAN LUCAS, CASERÍO BELLA UNIÓN, CAJAMARCA**", asesorado por Ingº M.Cs. Marco Antonio Silva Silva, cuyo objetivo principal es prevenir futuros desastres en dicha zona, recurro a su digno Despacho para solicitar su valioso apoyo brindándome la información que disponga sobre la Implementación de la Gestión del Riesgo de Desastres que realiza la empresa a su cargo.

POR LO EXPUESTO:

Suplico a usted, atender a mi petición por ser de justicia.

Cajamarca, 17 de octubre del 2025


CARLOS ENRIQUE MORALES FERNANDEZ
DNI N° [REDACTED]
Tesista


TRAMITE DOCUMENTARIO
EPS SEDACAJ S.A.
17-10-2025
HORA 10:35
FOLIOS: 91
Nº DOC: [REDACTED]

Anexo 5. Procesamiento de los datos meteorológicos

Tabla 75

Intensidades para los periodos de retorno analizados

DURACIÓN (HORAS)	DURACIÓN (MINUTOS)	PERÍODO DE RETORNO (AÑOS)			
		20	50	100	200
INTENSIDAD (MM/H)					
0.08	5	134.00	146.15	154.61	162.57
0.17	10	79.68	86.90	91.93	96.67
0.25	15	58.79	64.11	67.83	71.32
0.33	20	47.38	51.67	54.66	57.48
0.42	25	40.08	43.71	46.24	48.62
0.50	30	34.95	38.12	40.33	42.41
0.58	35	31.14	33.96	35.93	37.78
0.67	40	28.17	30.72	32.50	34.18
0.75	45	25.79	28.13	29.75	31.29
0.83	50	23.83	25.99	27.49	28.91
0.92	55	22.19	24.20	25.60	26.92
1.00	60	20.78	22.67	23.98	25.22
2.00	120	12.36	13.48	14.26	14.99
3.00	180	9.12	9.94	10.52	11.06
4.00	240	7.35	8.01	8.48	8.91
5.00	300	6.22	6.78	7.17	7.54
6.00	360	5.42	5.91	6.26	6.58
7.00	420	4.83	5.27	5.57	5.86
8.00	480	4.37	4.77	5.04	5.30
9.00	540	4.00	4.36	4.61	4.85
10.00	600	3.70	4.03	4.26	4.48
11.00	660	3.44	3.75	3.97	4.17
12.00	720	3.22	3.52	3.72	3.91
13.00	780	3.04	3.31	3.50	3.68
14.00	840	2.87	3.13	3.31	3.48
15.00	900	2.73	2.97	3.15	3.31
16.00	960	2.60	2.83	3.00	3.15
17.00	1020	2.48	2.71	2.86	3.01
18.00	1080	2.38	2.59	2.74	2.89
19.00	1140	2.28	2.49	2.64	2.77
20.00	1200	2.20	2.40	2.54	2.67
21.00	1260	2.12	2.31	2.44	2.57
22.00	1320	2.05	2.23	2.36	2.48
23.00	1380	1.98	2.16	2.28	2.40
24.00	1440	1.92	2.09	2.21	2.33

Tabla 76

Profundidad acumulada para los diferentes períodos de retorno

DURACIÓN (HORAS)	DURACIÓN (MINUTOS)	PERÍODO DE RETORNO (AÑOS)			
		20	50	100	200
PROFUNDIDAD ACUMULADA (MM)					
1.00	60	19.75	21.74	23.38	25.15
2.00	120	23.49	25.86	27.81	29.91
3.00	180	25.99	28.62	30.78	33.10
4.00	240	27.93	30.75	33.07	35.56
5.00	300	29.54	32.52	34.97	37.61
6.00	360	30.91	34.03	36.60	39.36
7.00	420	32.13	35.37	38.04	40.91
8.00	480	33.22	36.57	39.33	42.29
9.00	540	34.21	37.66	40.50	43.56
10.00	600	35.12	38.67	41.58	44.72
11.00	660	35.97	39.60	42.59	45.80
12.00	720	36.76	40.47	43.52	46.81
13.00	780	37.51	41.29	44.40	47.75
14.00	840	38.21	42.06	45.23	48.65
15.00	900	38.87	42.79	46.02	49.49
16.00	960	39.50	43.49	46.77	50.30
17.00	1020	40.11	44.15	47.48	51.06
18.00	1080	40.68	44.79	48.17	51.80
19.00	1140	41.24	45.40	48.82	52.50
20.00	1200	41.77	45.98	49.45	53.18
21.00	1260	42.28	46.55	50.06	53.83
22.00	1320	42.78	47.09	50.64	54.46
23.00	1380	43.26	47.62	51.21	55.07
24.00	1440	43.72	48.13	51.76	55.66

Tabla 77*Precipitaciones según el método del bloque alterno*

DURACIÓN (HORAS)	DURACIÓN (MINUTOS)	PERÍODO DE RETORNO (AÑOS)			
		20	50	100	200
PRECIPITACIÓN (MM)					
1.00	60	0.46	0.51	0.55	0.59
2.00	120	0.49	0.54	0.59	0.63
3.00	180	0.53	0.59	0.63	0.68
4.00	240	0.58	0.64	0.68	0.73
5.00	300	0.63	0.70	0.75	0.81
6.00	360	0.70	0.77	0.83	0.89
7.00	420	0.79	0.87	0.94	1.01
8.00	480	0.91	1.01	1.08	1.16
9.00	540	1.09	1.20	1.29	1.39
10.00	600	1.38	1.52	1.63	1.75
11.00	660	1.94	2.13	2.29	2.47
12.00	720	3.74	4.11	4.42	4.76
13.00	780	19.75	21.74	23.38	25.15
14.00	840	2.51	2.76	2.97	3.19
15.00	900	1.60	1.76	1.90	2.04
16.00	960	1.21	1.34	1.44	1.55
17.00	1020	0.99	1.09	1.18	1.26
18.00	1080	0.85	0.93	1.00	1.08
19.00	1140	0.74	0.82	0.88	0.95
20.00	1200	0.66	0.73	0.79	0.85
21.00	1260	0.60	0.66	0.71	0.77
22.00	1320	0.55	0.61	0.66	0.70
23.00	1380	0.51	0.56	0.61	0.65
24.00	1440	0.48	0.53	0.57	0.61

Tabla 78*Resultados de los hidrogramas en HEC - HMS*

TIEMPO (HORAS)	TIEMPO (MINUTOS)	PERÍODO DE RETORNO (AÑOS)			
		20	50	100	200
CAUDAL (M ³ /S)					
0.07	4	0.0	0.0	0.0	0.0
0.13	8	0.1	0.1	0.1	0.1
0.20	12	0.1	0.1	0.1	0.1
0.27	16	0.1	0.1	0.1	0.1
0.33	20	0.1	0.1	0.1	0.1
0.40	24	0.1	0.1	0.1	0.1
0.47	28	0.1	0.1	0.1	0.1
0.53	32	0.1	0.1	0.1	0.1
0.60	36	0.2	0.1	0.1	0.1
0.67	40	0.2	0.2	0.1	0.1
0.73	44	0.2	0.2	0.2	0.2
0.80	48	0.2	0.2	0.2	0.2
0.87	52	0.2	0.2	0.2	0.2
0.93	56	0.3	0.2	0.2	0.2
1.00	60	0.3	0.2	0.2	0.2
1.07	64	0.4	0.3	0.3	0.2
1.13	68	0.4	0.3	0.3	0.3
1.20	72	0.4	0.3	0.3	0.3
1.27	76	0.5	0.4	0.3	0.3
1.33	80	0.6	0.4	0.4	0.3
1.40	84	0.6	0.4	0.4	0.4
1.47	88	0.8	0.5	0.4	0.4
1.53	92	0.9	0.6	0.5	0.4
1.60	96	1.1	0.6	0.5	0.5
1.67	100	1.3	0.7	0.6	0.5
1.73	104	1.7	0.8	0.6	0.5
1.80	108	2.1	0.9	0.7	0.6
1.87	112	2.7	1.0	0.8	0.6
1.93	116	3.4	1.2	0.9	0.7
2.00	120	4.2	1.4	1.0	0.8
2.07	124	5.2	1.6	1.1	0.8
2.13	128	6.4	2.0	1.2	0.9
2.20	132	7.6	2.4	1.4	1.0
2.27	136	9.0	3.0	1.6	1.2
2.33	140	10.4	3.7	1.8	1.3
2.40	144	12.0	4.6	2.2	1.5
2.47	148	13.5	5.7	2.6	1.6

TIEMPO (HORAS)	TIEMPO (MINUTOS)	PERÍODO DE RETORNO (AÑOS)			
		20	50	100	200
		CAUDAL (M ³ /S)			
2.53	152	15.0	6.9	3.1	1.9
2.60	156	16.5	8.3	3.8	2.1
2.67	160	17.9	9.9	4.7	2.4
2.73	164	19.2	11.6	5.8	2.8
2.80	168	20.2	13.3	7.0	3.3
2.87	172	21.0	15.1	8.5	4.0
2.93	176	21.6	17.0	10.1	4.8
3.00	180	22.0	18.8	11.9	5.8
3.07	184	22.1	20.6	13.8	7.1
3.13	188	22.1	22.2	15.8	8.5
3.20	192	22.0	23.7	17.9	10.2
3.27	196	21.7	24.9	20.0	12.1
3.33	200	21.4	25.9	22.1	14.2
3.40	204	21.2	26.6	24.1	16.4
3.47	208	20.9	27.1	26.0	18.7
3.53	212	20.7	27.3	27.6	21.1
3.60	216	20.7	27.3	29.0	23.5
3.67	220	20.7	27.2	30.1	25.8
3.73	224	20.8	26.9	31.0	28.1
3.80	228	21.0	26.7	31.5	30.2
3.87	232	21.4	26.5	31.7	32.1
3.93	236	21.7	26.3	31.8	33.7
4.00	240	22.2	26.2	31.7	34.9
4.07	244	22.7	26.2	31.5	35.9
4.13	248	23.2	26.4	31.3	36.5
4.20	252	23.7	26.7	31.2	36.9
4.27	256	24.2	27.1	31.1	37.0
4.33	260	24.8	27.6	31.1	37.0
4.40	264	25.4	28.1	31.2	36.9
4.47	268	26.0	28.8	31.5	36.7
4.53	272	26.6	29.5	31.9	36.6
4.60	276	27.2	30.2	32.5	36.6
4.67	280	27.9	30.9	33.2	36.8
4.73	284	28.7	31.6	33.9	37.0
4.80	288	29.4	32.3	34.7	37.5
4.87	292	30.2	33.1	35.6	38.1
4.93	296	31.0	33.9	36.5	38.8
5.00	300	31.8	34.7	37.3	39.7
5.07	304	32.7	35.5	38.2	40.7
5.13	308	33.5	36.4	39.1	41.7
5.20	312	34.3	37.3	40.0	42.7
5.27	316	35.0	38.2	41.0	43.8
5.33	320	35.8	39.1	41.9	44.9
5.40	324	36.4	40.1	42.9	45.9
5.47	328	36.9	41.1	43.9	47.0
5.53	332	37.4	42.1	44.9	48.1
5.60	336	37.7	43.0	46.0	49.1
5.67	340	37.9	44.0	47.1	50.2
5.73	344	38.0	44.8	48.2	51.3
5.80	348	38.0	45.6	49.3	52.5
5.87	352	37.8	46.3	50.4	53.7
5.93	356	37.5	46.9	51.4	54.9
6.00	360	37.1	47.3	52.4	56.1
6.07	364	36.5	47.7	53.4	57.3
6.13	368	35.8	47.8	54.2	58.6
6.20	372	35.1	47.8	54.9	59.8
6.27	376	34.2	47.7	55.5	60.9
6.33	380	33.3	47.3	56.0	62.0
6.40	384	32.4	46.8	56.3	63.0
6.47	388	31.3	46.2	56.4	63.9
6.53	392	30.3	45.4	56.3	64.7
6.60	396	29.3	44.5	56.0	65.3
6.67	400	28.2	43.5	55.5	65.7
6.73	404	27.2	42.4	54.9	65.9
6.80	408	26.1	41.2	54.1	65.9
6.87	412	25.1	39.9	53.1	65.8
6.93	416	24.2	38.6	52.0	65.3
7.00	420	23.2	37.3	50.7	64.7
7.07	424	22.3	35.9	49.3	63.9
7.13	428	21.5	34.6	47.9	62.8
7.20	432	20.7	33.2	46.4	61.6
7.27	436	19.9	31.9	44.8	60.2
7.33	440	19.1	30.7	43.2	58.7
7.40	444	18.5	29.4	41.6	57.1
7.47	448	17.8	28.3	40.0	55.3
7.53	452	17.2	27.1	38.4	53.5
7.60	456	16.6	26.0	36.9	51.6
7.67	460	16.1	25.0	35.4	49.8
7.73	464	15.6	24.1	33.9	47.9
7.80	468	15.2	23.1	32.6	46.0

TIEMPO (HORAS)	TIEMPO (MINUTOS)	PERIODO DE RETORNO (AÑOS)			
		20	50	100	200
		CAUDAL (M3/S)			
7.87	472	14.7	22.3	31.2	44.1
7.93	476	14.3	21.5	30.0	42.3
8.00	480	14.0	20.7	28.8	40.6
8.07	484	13.6	20.0	27.6	38.9
8.13	488	13.3	19.4	26.6	37.3
8.20	492	13.0	18.8	25.6	35.7
8.27	496	12.7	18.2	24.6	34.2
8.33	500	12.4	17.7	23.8	32.8
8.40	504	12.2	17.2	22.9	31.5
8.47	508	11.9	16.7	22.2	30.3
8.53	512	11.7	16.3	21.5	29.1
8.60	516	11.5	15.9	20.8	28.0
8.67	520	11.3	15.5	20.2	27.0
8.73	524	11.1	15.2	19.6	26.1
8.80	528	10.9	14.8	19.1	25.2
8.87	532	10.7	14.5	18.6	24.4
8.93	536	10.6	14.2	18.1	23.6
9.00	540	10.4	14.0	17.7	22.9
9.07	544	10.3	13.7	17.3	22.2
9.13	548	10.1	13.5	16.9	21.6
9.20	552	10.0	13.2	16.5	21.1
9.27	556	9.9	13.0	16.2	20.5
9.33	560	9.7	12.8	15.9	20.0
9.40	564	9.6	12.6	15.6	19.5
9.47	568	9.5	12.4	15.3	19.1
9.53	572	9.4	12.2	15.0	18.7
9.60	576	9.3	12.1	14.8	18.3
9.67	580	9.2	11.9	14.5	17.9
9.73	584	9.1	11.7	14.3	17.6
9.80	588	9.0	11.6	14.1	17.3
9.87	592	8.9	11.4	13.9	17.0
9.93	596	8.8	11.3	13.7	16.7
10.00	600	8.7	11.2	13.5	16.4
10.07	604	8.6	11.0	13.3	16.2
10.13	608	8.5	10.9	13.1	15.9
10.20	612	8.5	10.8	13.0	15.7
10.27	616	8.4	10.7	12.8	15.4
10.33	620	8.3	10.6	12.7	15.2
10.40	624	8.2	10.4	12.5	15.0
10.47	628	8.2	10.3	12.4	14.8
10.53	632	8.1	10.2	12.2	14.6
10.60	636	8.0	10.1	12.1	14.4
10.67	640	8.0	10.0	12.0	14.3
10.73	644	7.9	9.9	11.8	14.1
10.80	648	7.8	9.9	11.7	13.9
10.87	652	7.8	9.8	11.6	13.8
10.93	656	7.7	9.7	11.5	13.6
11.00	660	7.7	9.6	11.4	13.5
11.07	664	7.6	9.5	11.3	13.3
11.13	668	7.5	9.4	11.2	13.2
11.20	672	7.5	9.4	11.1	13.1
11.27	676	7.4	9.3	11.0	12.9
11.33	680	7.4	9.2	10.9	12.8
11.40	684	7.3	9.1	10.8	12.7
11.47	688	7.3	9.1	10.7	12.6
11.53	692	7.2	9.0	10.6	12.5
11.60	696	7.2	8.9	10.5	12.4
11.67	700	7.1	8.9	10.4	12.2
11.73	704	7.1	8.8	10.3	12.1
11.80	708	7.0	8.7	10.3	12.0
11.87	712	7.0	8.7	10.2	11.9
11.93	716	6.9	8.6	10.1	11.8
12.00	720	6.9	8.6	10.0	11.7
12.07	724	6.8	8.5	10.0	11.7
12.13	728	6.8	8.4	9.9	11.6
12.20	732	6.8	8.4	9.8	11.5
12.27	736	6.7	8.3	9.7	11.4
12.33	740	6.7	8.3	9.7	11.3
12.40	744	6.6	8.2	9.6	11.2
12.47	748	6.6	8.2	9.5	11.1
12.53	752	6.6	8.1	9.5	11.1
12.60	756	6.5	8.1	9.4	11.0
12.67	760	6.5	8.0	9.4	10.9
12.73	764	6.4	8.0	9.3	10.8
12.80	768	6.4	7.9	9.2	10.7
12.87	772	6.4	7.9	9.2	10.7
12.93	776	6.3	7.8	9.1	10.6
13.00	780	6.3	7.8	9.1	10.5
13.07	784	6.3	7.7	9.0	10.5
13.13	788	6.2	7.7	8.9	10.4
13.20	792	6.2	7.6	8.9	10.3

TIEMPO (HORAS)	TIEMPO (MINUTOS)	PERÍODO DE RETORNO (AÑOS)			
		20	50	100	200
		CAUDAL (M ³ /S)			
13.27	796	6.2	7.6	8.8	10.3
13.33	800	6.1	7.5	8.8	10.2
13.40	804	6.1	7.5	8.7	10.1
13.47	808	6.1	7.5	8.7	10.1
13.53	812	6.0	7.4	8.6	10.0
13.60	816	6.0	7.4	8.6	9.9
13.67	820	5.9	7.3	8.5	9.9
13.73	824	5.9	7.3	8.5	9.8
13.80	828	5.8	7.3	8.4	9.8
13.87	832	5.8	7.2	8.4	9.7
13.93	836	5.7	7.2	8.4	9.6
14.00	840	5.7	7.1	8.3	9.6
14.07	844	5.6	7.1	8.3	9.5
14.13	848	5.5	7.0	8.2	9.5
14.20	852	5.4	7.0	8.2	9.4
14.27	856	5.3	6.9	8.1	9.4
14.33	860	5.2	6.8	8.1	9.3
14.40	864	5.1	6.8	8.0	9.3
14.47	868	5.1	6.7	8.0	9.2
14.53	872	5.0	6.6	7.9	9.1
14.60	876	4.9	6.5	7.8	9.1
14.67	880	4.8	6.4	7.7	9.0
14.73	884	4.7	6.3	7.7	9.0
14.80	888	4.7	6.2	7.6	8.9
14.87	892	4.6	6.1	7.5	8.8
14.93	896	4.5	6.0	7.4	8.7
15.00	900	4.4	5.9	7.2	8.7
15.07	904	4.4	5.8	7.1	8.6
15.13	908	4.3	5.7	7.0	8.5
15.20	912	4.2	5.6	6.9	8.3
15.27	916	4.1	5.5	6.8	8.2
15.33	920	4.0	5.4	6.7	8.1
15.40	924	4.0	5.3	6.6	8.0
15.47	928	3.9	5.2	6.5	7.8
15.53	932	3.8	5.2	6.4	7.7
15.60	936	3.7	5.1	6.2	7.6
15.67	940	3.6	5.0	6.1	7.5
15.73	944	3.5	4.9	6.0	7.3
15.80	948	3.4	4.8	5.9	7.2
15.87	952	3.4	4.7	5.8	7.1
15.93	956	3.3	4.6	5.7	7.0
16.00	960	3.2	4.5	5.6	6.9
16.07	964	3.1	4.4	5.5	6.8
16.13	968	3.0	4.3	5.4	6.6
16.20	972	2.9	4.2	5.3	6.5
16.27	976	2.8	4.1	5.2	6.4
16.33	980	2.7	4.0	5.1	6.3
16.40	984	2.6	3.9	5.0	6.2
16.47	988	2.5	3.7	4.8	6.0
16.53	992	2.4	3.6	4.7	5.9
16.60	996	2.3	3.5	4.6	5.8
16.67	1000	2.2	3.4	4.5	5.7
16.73	1004	2.1	3.3	4.4	5.5
16.80	1008	2.0	3.2	4.2	5.4
16.87	1012	1.9	3.1	4.1	5.3
16.93	1016	1.8	3.0	4.0	5.1
17.00	1020	1.7	2.9	3.9	5.0
17.07	1024	1.6	2.8	3.8	4.9
17.13	1028	1.5	2.6	3.6	4.7
17.20	1032	1.4	2.5	3.5	4.6
17.27	1036	1.3	2.4	3.4	4.5
17.33	1040	1.2	2.3	3.2	4.3
17.40	1044	1.2	2.2	3.1	4.2
17.47	1048	1.1	2.0	3.0	4.0
17.53	1052	1.0	1.9	2.8	3.9
17.60	1056	0.9	1.8	2.7	3.8
17.67	1060	0.8	1.7	2.6	3.6
17.73	1064	0.8	1.6	2.4	3.5
17.80	1068	0.7	1.5	2.3	3.3
17.87	1072	0.6	1.4	2.2	3.2
17.93	1076	0.6	1.2	2.0	3.0
18.00	1080	0.5	1.1	1.9	2.9
18.07	1084	0.5	1.1	1.8	2.7
18.13	1088	0.4	1.0	1.6	2.6
18.20	1092	0.4	0.9	1.5	2.4
18.27	1096	0.3	0.8	1.4	2.3
18.33	1100	0.3	0.7	1.3	2.1
18.40	1104	0.3	0.7	1.2	2.0
18.47	1108	0.2	0.6	1.1	1.8
18.53	1112	0.2	0.5	1.0	1.7

TIEMPO (HORAS)	TIEMPO (MINUTOS)	PERIODO DE RETORNO (AÑOS)			
		20	50	100	200
		CAUDAL (M ³ /S)			
18.60	1116	0.2	0.5	0.9	1.6
18.67	1120	0.2	0.4	0.8	1.4
18.73	1124	0.2	0.4	0.7	1.3
18.80	1128	0.1	0.4	0.7	1.2
18.87	1132	0.1	0.3	0.6	1.1
18.93	1136	0.1	0.3	0.5	1.0
19.00	1140	0.1	0.3	0.5	0.9
19.07	1144	0.1	0.2	0.4	0.8
19.13	1148	0.1	0.2	0.4	0.7
19.20	1152	0.1	0.2	0.4	0.7
19.27	1156	0.1	0.2	0.3	0.6
19.33	1160	0.1	0.1	0.3	0.5
19.40	1164	0.0	0.1	0.3	0.5
19.47	1168	0.0	0.1	0.2	0.4
19.53	1172	0.0	0.1	0.2	0.4
19.60	1176	0.0	0.1	0.2	0.4
19.67	1180	0.0	0.1	0.2	0.3
19.73	1184	0.0	0.1	0.1	0.3
19.80	1188	0.0	0.1	0.1	0.3
19.87	1192	0.0	0.1	0.1	0.2
19.93	1196	0.0	0.0	0.1	0.2
20.00	1200	0.0	0.0	0.1	0.2
20.07	1204	0.0	0.0	0.1	0.2
20.13	1208	0.0	0.0	0.1	0.1
20.20	1212	0.0	0.0	0.1	0.1
20.27	1216	0.0	0.0	0.1	0.1
20.33	1220	0.0	0.0	0.0	0.1
20.40	1224	0.0	0.0	0.0	0.1
20.47	1228	0.0	0.0	0.0	0.1
20.53	1232	0.0	0.0	0.0	0.1
20.60	1236	0.0	0.0	0.0	0.1
20.67	1240	0.0	0.0	0.0	0.1
20.73	1244	0.0	0.0	0.0	0.0

Anexo 6. Cálculos de la Evaluación de Riesgo

DETERMINACIÓN DE LOS NIVELES DE PELIGROSIDAD

1. Se determinan los rangos de peligrosidad en base a los valores determinados para cada parámetro del peligro multiplicado por su respectivo peso

SUSCEPTIBILIDAD										P. EVALUACIÓN		RANGOS DE PELIG.		
F. CONDICIONANTES								F. DESENCADENANTE		Susceptibilidad	Peso	Profundidad y velocidad de inundación	Peso	RANGOS DE PELIG.
Uso del suelo	Peso	Geología	Peso	Pendiente del terreno	Peso	Factor Condicionante	Peso	Caudales máximos (m ³ /s)	Peso					
0.503	0.633	0.334	0.260	0.503	0.106	0.459	0.5	0.358	0.5	0.409	0.7	0.528	0.3	0.444
0.260		0.334		0.260		0.280		0.358		0.319		0.249		0.298
0.134		0.138		0.134		0.135		0.169		0.152		0.115		0.141
0.068		0.138		0.068		0.086		0.078		0.082		0.054		0.074
0.035		0.056		0.035		0.040		0.037		0.038		0.054		0.043

VALORES DE LOS RANGOS DE PELIGROS		NIVELES DE PELIGRO	
0.298	< P ≤	0.444	MUY ALTO
0.141	< P ≤	0.298	ALTO
0.074	< P ≤	0.141	MEDIO
0.043	< P ≤	0.074	BAJO

PONDERACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE LA DIMENSIÓN SOCIAL

3. Los valores de la matriz deben estar en decimales para facilitar el cálculo

PARÁMETRO	Exposición Social	Resiliencia Social	Fragilidad Social
Exposición Social	1.00	3.00	5.00
Resiliencia Social	0.33	1.00	3.00
Fragilidad Social	0.20	0.33	1.00
SUMA	1.53	4.33	9.00
1/SUMA	0.65	0.23	0.11

4. Se elabora la matriz de normalización z multiplicando la inversa de las sumas totales por cada elemento de su columna correspondiente.

PARÁMETRO	Exposición Social	Resiliencia Social	Fragilidad Social	VECTOR PRIORIZACIÓN
Exposición Social	0.652	0.692	0.556	0.633
Resiliencia Social	0.217	0.231	0.333	0.260
Fragilidad Social	0.130	0.077	0.111	0.106
SUMA	1.000	1.000	1.000	1.000

CÁLCULO DE LA RELACIÓN DE CONSISTENCIA

1. Hallamos el Vector Suma Ponderada

PARÁMETRO	Exposición Social	Resiliencia Social	Fragilidad Social	X	VECTOR PRIORIZACIÓN	=	VECTOR SUMA PONDERADA
Exposición Social	1.00	3.00	5.00		0.633		1.946
Resiliencia Social	0.33	1.00	3.00		0.260		0.790
Fragilidad Social	0.20	0.33	1.00		0.106		0.320

2. Hallamos λ_{\max} : Se determina al dividir los valores del Vector Suma ponderada y el Vector de Priorización.

1.946	÷	0.633	=	3.072
0.790		0.260		3.033
0.320		0.106		3.011

$$\lambda_{\max} = \text{Promedio} = 3.0387$$

3. Hallamos el Índice de Consistencia (IC)

$$IC = \frac{3.0387 - 3}{3 - 1} = 0.019$$

4. Hallamos la Relación de Consistencia (RC)

$$RC = \frac{0.019}{0.525} = 0.037 \quad OK$$

NOTA: Los Valores del Índice Aleatorio (IA) para los diferentes “n” son:

n	3	4	5
IA	0.525	0.882	1.115

PONDERACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE LA DIMENSIÓN ECONÓMICA

3. Los valores de la matriz deben estar en decimales para facilitar el cálculo

PARÁMETRO	Exposición Económica	Resiliencia Económica	Fragilidad Económica
Exposición Económica	1.00	3.00	5.00
Resiliencia Económica	0.33	1.00	3.00
Fragilidad Económica	0.20	0.33	1.00
SUMA	1.53	4.33	9.00
1/SUMA	0.65	0.23	0.11

4. Se elabora la matriz de normalización z multiplicando la inversa de las sumas totales por cada elemento de su columna correspondiente.

PARÁMETRO	Exposición Económica	Resiliencia Económica	Fragilidad Económica	VECTOR PRIORIZACIÓN
Exposición Económica	0.652	0.692	0.556	0.633
Resiliencia Económica	0.217	0.231	0.333	0.260
Fragilidad Económica	0.130	0.077	0.111	0.106
SUMA	1.000	1.000	1.000	1.000

CÁLCULO DE LA RELACIÓN DE CONSISTENCIA

1. Hallamos el Vector Suma Ponderada

PARÁMETRO	Exposición Económica	Resiliencia Económica	Fragilidad Económica	X	VECTOR PRIORIZACIÓN	=	VECTOR SUMA PONDERADA
Exposición Económica	1.00	3.00	5.00		0.633		1.946
Resiliencia Económica	0.33	1.00	3.00		0.260		0.790
Fragilidad Económica	0.20	0.33	1.00		0.106		0.320

2. Hallamos λ_{\max} : Se determina al dividir los valores del Vector Suma ponderada y el Vector de Priorización.

1.946	÷	0.633	=	3.072
0.790		0.260		3.033
0.320		0.106		3.011

$$\lambda_{\max} = \text{Promedio} = 3.0387$$

3. Hallamos el Índice de Consistencia (IC)

$$IC = \frac{3.0387-3}{3-1} = 0.019$$

4. Hallamos la Relación de Consistencia (RC)

$$RC = \frac{0.019}{0.525} = 0.037 \quad OK$$

NOTA: Los Valores del Índice Aleatorio (IA) para los diferentes “n” son:

n	3	4	5
IA	0.525	0.882	1.115

PONDERACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE LA DIMENSIÓN AMBIENTAL

3. Los valores de la matriz deben estar en decimales para facilitar el cálculo

PARÁMETRO	Exposición Ambiental	Resiliencia Ambiental	Fragilidad Ambiental
Exposición Ambiental	1.00	3.00	5.00
Resiliencia Ambiental	0.33	1.00	3.00
Fragilidad Ambiental	0.20	0.33	1.00
SUMA	1.53	4.33	9.00
1/SUMA	0.65	0.23	0.11

4. Se elabora la matriz de normalización z multiplicando la inversa de las sumas totales por cada elemento de su columna correspondiente.

PARÁMETRO	Exposición Ambiental	Resiliencia Ambiental	Fragilidad Ambiental	VECTOR PRIORIZACIÓN
Exposición Ambiental	0.652	0.692	0.556	0.633
Resiliencia Ambiental	0.217	0.231	0.333	0.260
Fragilidad Ambiental	0.130	0.077	0.111	0.106
SUMA	1.000	1.000	1.000	1.000

CÁLCULO DE LA RELACIÓN DE CONSISTENCIA

1. Hallamos el Vector Suma Ponderada

PARÁMETRO	Exposición Ambiental	Resiliencia Ambiental	Fragilidad Ambiental	X	VECTOR PRIORIZACIÓN	=	VECTOR SUMA PONDERADA
Exposición Ambiental	1.00	3.00	5.00		0.633		1.946
Resiliencia Ambiental	0.33	1.00	3.00		0.260		0.790
Fragilidad Ambiental	0.20	0.33	1.00		0.106		0.320

2. Hallamos λ_{\max} : Se determina al dividir los valores del Vector Suma ponderada y el Vector de Priorización.

$$\begin{array}{|c|} \hline 1.946 \\ \hline 0.790 \\ \hline 0.320 \\ \hline \end{array} \div \begin{array}{|c|} \hline 0.633 \\ \hline 0.260 \\ \hline 0.106 \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|} \hline 3.072 \\ \hline 3.033 \\ \hline 3.011 \\ \hline \end{array}$$

$\lambda_{\max} = \text{Promedio} = 3.0387$

3. Hallamos el Índice de Consistencia (IC)

$$IC = \frac{3.0387 - 3}{3 - 1} = 0.019$$

4. Hallamos la Relación de Consistencia (RC)

$$RC = \frac{0.019}{0.525} = 0.037 \quad \text{OK}$$

NOTA: Los Valores del Índice Aleatorio (IA) para los diferentes “n” son:

n	3	4	5
IA	0.525	0.882	1.115

DETERMINACIÓN DE LOS NIVELES DE VULNERABILIDAD

1. Se determinan los rangos de cada dimensión en base a los valores determinados para cada parámetro multiplicado por su respectivo peso

DIMENSIÓN SOCIAL																				
EXPOSICIÓN SOCIAL (E.S.)						FRAGILIDAD SOCIAL (F.S.)							RESILIENCIA SOCIAL (R.S.)						Rango	
Distribución Etaria	Peso	Número de habitantes por vivienda	Peso	E.S.	Peso	Acceso al Servicio de Salud	Peso	Acceso al Servicio de Agua	Peso	Tipo de Alumbrado	Peso	F.S.	Peso	Conocimiento local de inundaciones	Peso	Capacitación en Gestión de Riesgos	Peso	R.S.	Peso	
0.503	0.5	0.503	0.5	0.503	0.633	0.528	0.333	0.035	0.333	0.035	0.333	0.199	0.106	0.503	0.5	0.503	0.5	0.503	0.471	
0.260		0.260		0.260		0.249		0.035		0.035		0.106		0.260		0.260		0.260	0.244	
0.134		0.134		0.134		0.115		0.035		0.035		0.062	0.106	0.134		0.134	0.5	0.134	0.260	0.127
0.068		0.068		0.068		0.054		0.035		0.035		0.041		0.068		0.068		0.068	0.065	
0.035		0.035		0.035		0.054		0.035		0.035		0.041		0.035		0.035		0.035	0.035	

DIMENSIÓN ECONÓMICA																			
EXP. ECONÓMICA (E.E.)			FRAGILIDAD ECONÓMICA (F.E.)							RESILIENCIA ECONÓMICA (R.E.)						Rango			
Cercanía al Río (E.E.)	Peso	Material de Construcción	Peso	Estado de Conservación	Peso	Configuración de Elevación	Peso	F.E.	Peso	Ingreso familiar promedio	Peso	Profesión del jefe del hogar	Peso	R.E.	Peso				
0.503	0.633	0.503	0.633	0.503	0.260	0.503	0.106	0.503	0.106	0.503	0.5	0.503	0.134	0.503	0.5	0.503	0.5	0.503	0.503
0.260		0.260		0.260		0.260		0.260		0.260		0.260		0.260		0.260		0.260	0.260
0.134		0.134		0.134		0.134		0.134		0.134		0.134		0.134		0.134		0.134	0.134
0.068		0.068		0.068		0.068		0.068		0.068		0.068		0.068		0.068		0.068	0.068
0.035		0.035		0.035		0.035		0.035		0.035		0.035		0.035		0.035		0.035	0.035

DIMENSIÓN AMBIENTAL																			
EXPOSICIÓN AMBIENTAL (E.A.)						FRAGILIDAD AMBIENTAL (F.A.)						RESILIENCIA AMBIENTAL (R.A.)						Rango	
Defor.	Peso	Pérdida del suelo	Peso	E.A.	Peso	Localización de los C.P.	Peso	Explotación de los R.N.	Peso	F.A.	Peso	Conocimiento de la N.A.	Peso	Capacitación en G.R.	Peso	Conocimiento Ancestral	Peso	R.A.	Peso
0.503	0.5	0.134	0.633	0.319	0.500	0.503	0.500	0.503	0.319	0.503	0.106	0.503	0.633	0.503	0.260	0.503	0.106	0.503	0.386
0.260		0.134		0.197		0.260		0.503		0.382		0.260		0.260		0.260		0.260	0.233
0.134		0.134		0.134		0.134		0.503		0.285		0.134		0.134		0.134		0.134	0.154
0.068		0.134		0.101		0.068		0.503		0.269		0.068		0.068		0.068		0.068	0.112
0.035		0.134		0.085		0.035		0.503		0.035		0.035		0.035		0.035		0.035	0.091

2. Se determinan los rangos de la vulnerabilidad en base a los valores determinados para cada dimensión multiplicada por su peso.

VULNERABILIDAD						
Dimensión Social	Peso	Dimensión Económica	Peso	Dimensión Ambiental	Peso	RANGO
0.471	0.333	0.503	0.333	0.386	0.333	0.453
0.244		0.260		0.233		0.246
0.127		0.134		0.154		0.138
0.065		0.068		0.112		0.081
0.035		0.035		0.091		0.054

VALORES DE LOS RANGOS DE VULNERABILIDAD		NIVELES DE VULNERABILIDAD	
0.246	$< V \leq$	0.453	MUY ALTO
0.138	$< V \leq$	0.246	ALTO
0.081	$< V \leq$	0.138	MEDIO
0.054	$< V \leq$	0.081	BAJO

DETERMINACIÓN DE LOS NIVELES DE RIESGO

Los Niveles de Riesgo se determinan mediante una matriz de doble entrada, en base a la información correspondiente a la peligrosidad y la vulnerabilidad

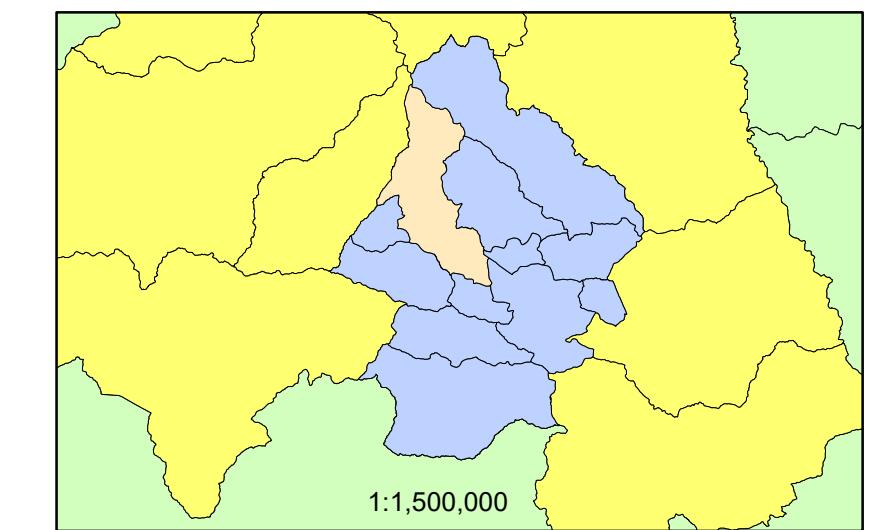
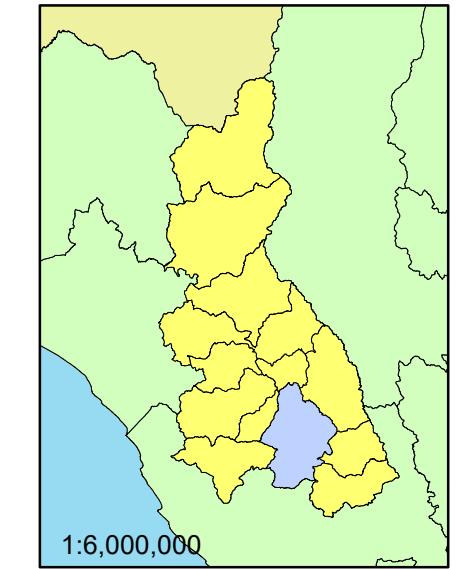
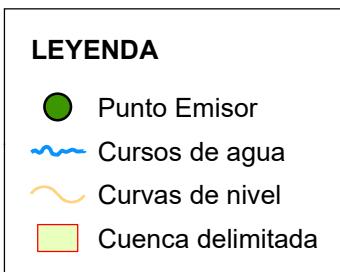
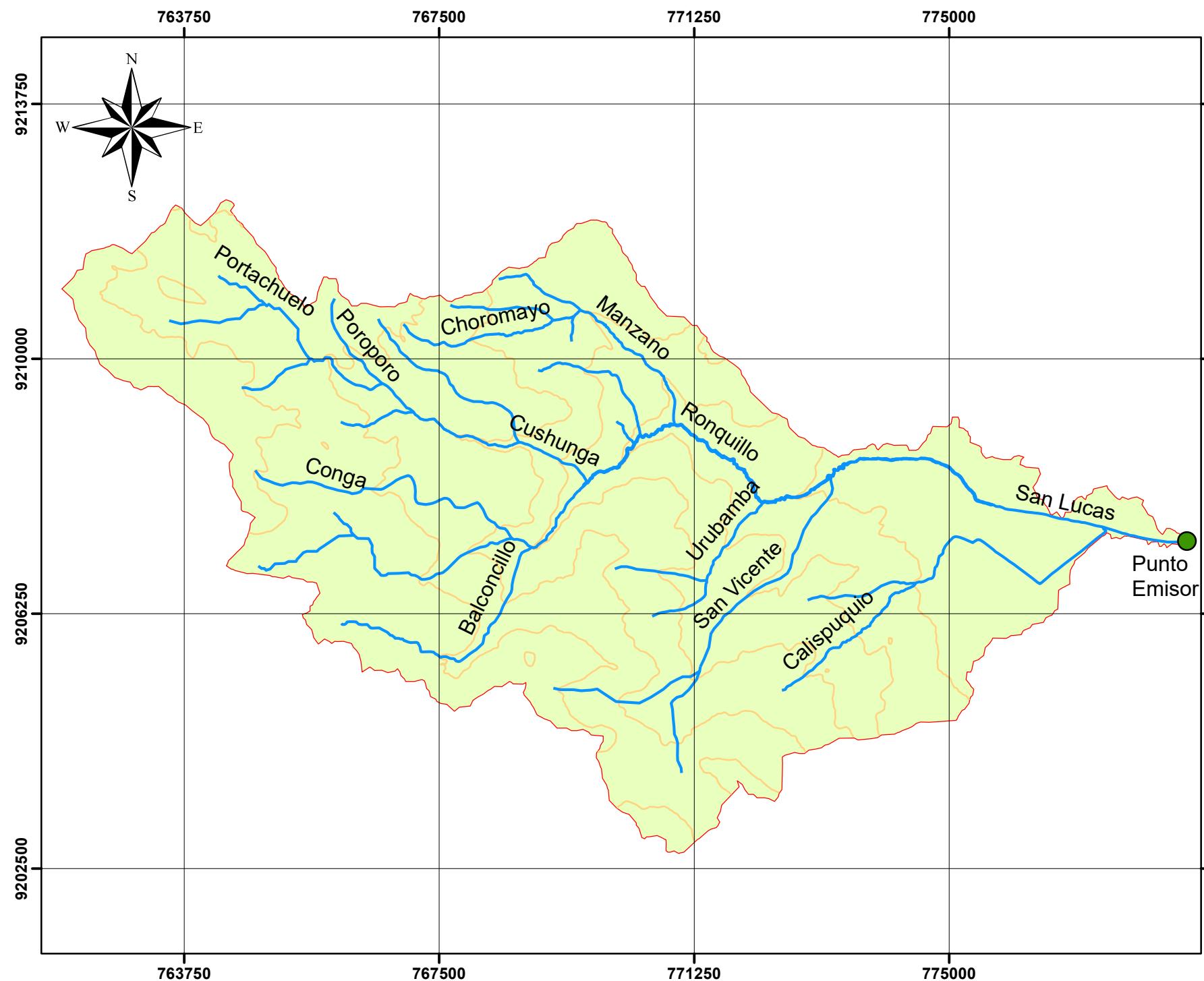
PMA	0.444	0.036	0.061	0.109	0.201
PA	0.298	0.024	0.041	0.073	0.135
PMA	0.141	0.011	0.019	0.035	0.064
PB	0.074	0.006	0.010	0.018	0.033
		0.081	0.138	0.246	0.453
		VB	VM	VA	VMA

VALORES DE LOS RANGOS DE RIESGO		NIVELES DE RIESGO	
0.073	$< V \leq$	0.201	MUY ALTO
0.024	$< V \leq$	0.073	ALTO
0.006	$< V \leq$	0.024	MEDIO
0.001	$< V \leq$	0.006	BAJO

Anexo 7. Planos

- Lámina 01. Mapa de delimitación de la cuenca del río San Lucas.
- Lámina 02. Mapa de Peligrosidad frente a inundaciones causadas por el río San Lucas en el Caserío Bella Unión.
- Lámina 03. Mapa de Vulnerabilidad frente a inundaciones causadas por el río San Lucas en el Caserío Bella Unión.
- Lámina 04. Mapa de Riesgo frente a inundaciones causadas por el río San Lucas en el Caserío Bella Unión.
- Lámina 05. Mapa de Ubicación de Bocinas del Sistema de Alerta Temprana frente a Inundaciones en el Caserío Bella Unión, Cajamarca.
- Lámina 06. Mapa de Rutas de Evacuación frente a inundaciones causadas por el río San Lucas en el Caserío Bella Unión.

MAPA DE DELIMITACIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO SAN LUCAS



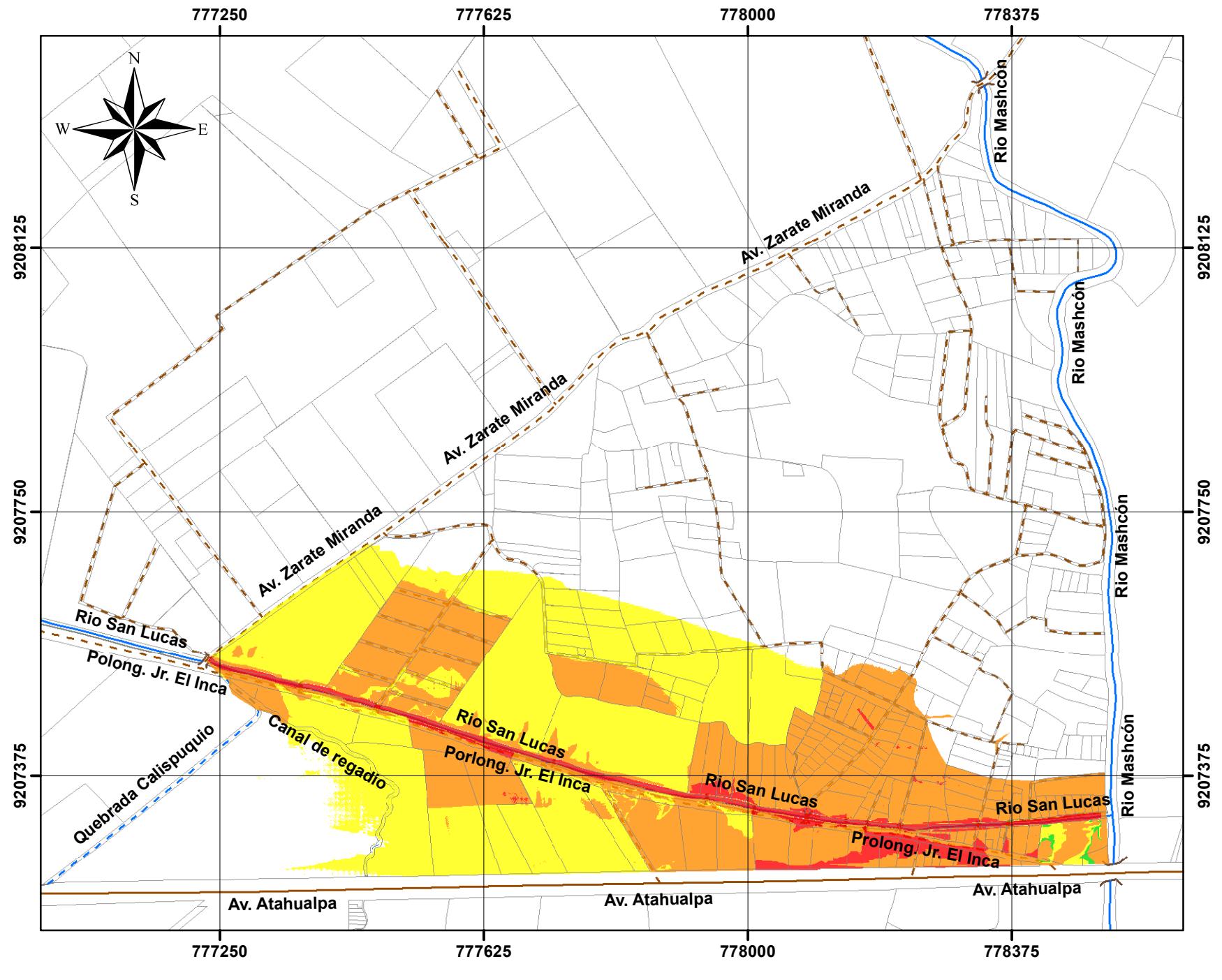
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA



ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS:	"SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA FRENTE A INUNDACIONES CAUSADAS POR EL RÍO SAN LUCAS, CASERÍO BELLA UNIÓN, CAJAMARCA 2024"	
MAPA:	DELIMITACIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO SAN LUCAS	
DATUM:	UTM WGS84	PROYECCIÓN: UTM ZONA 17 S
TESISTA:	CARLOS ENRIQUE MORALES FERNANDEZ	
ASESOR:	INGº M.CS. MARCO ANTONIO SILVA SILVA	
ESCALA:	1 : 75000	FECHA: 2026
		Nº MAPA: 1

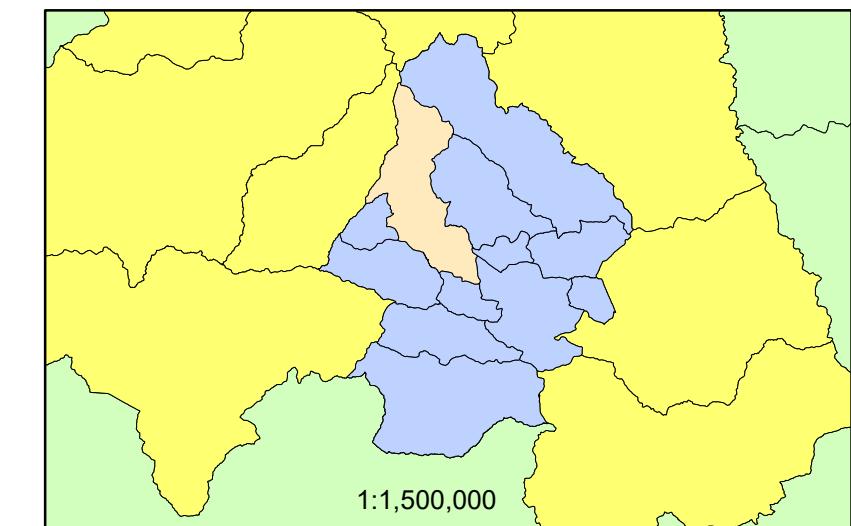
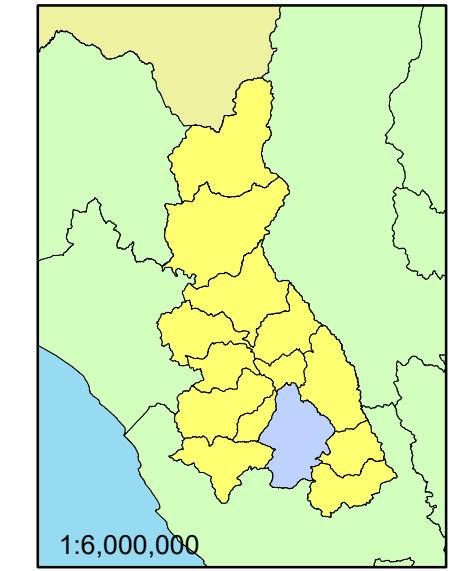
MAPA DE PELIGROSIDAD FRENTA A INUNDACIONES CAUSADAS POR EL DESBORDAMIENTO DEL RÍO SAN LUCAS EN EL CASERÍO BELLA UNIÓN, CAJAMARCA



NIVELES DE PELIGROSIDAD	
MUY ALTO	
ALTO	
MEDIO	
BAJO	

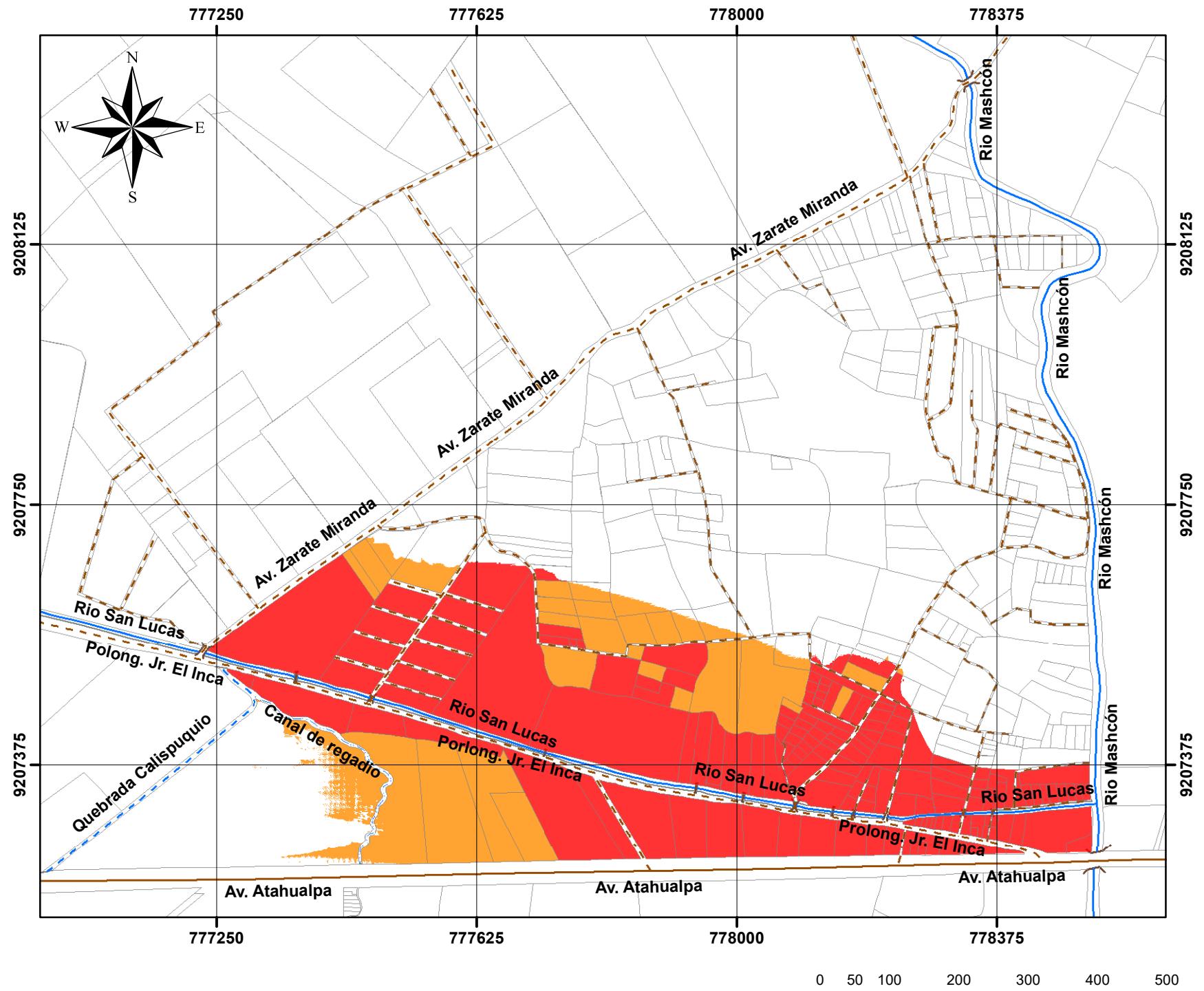
SIMBOLOGÍA	
Río	Vía Pavimentada
Quebrada	Vía Afirmada
Canal	Puente Vial
Predios Rurales	Puente Peatonal

NIVEL DE PELIGROSIDAD	RANGO	ÁREA (m ²)
MUY ALTO	$0.298 < P \leq 0.444$	21489.31
ALTO	$0.141 < P \leq 0.298$	162565.02
MEDIO	$0.074 < P \leq 0.141$	186842.98
BAJO	$0.043 < P \leq 0.074$	540.94



	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
	FACULTAD DE INGENIERÍA
	ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
TESIS:	"SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA FRENTA A INUNDACIONES CAUSADAS POR EL RÍO SAN LUCAS, CASERÍO BELLA UNIÓN, CAJAMARCA 2024"
MAPA:	PELIGROSIDAD FRENTA A INUNDACIONES CAUSADAS POR EL RÍO SAN LUCAS
DATUM:	UTM WGS84
PROYECCIÓN:	UTM ZONA 17 S
TESISTA:	CARLOS ENRIQUE MORALES FERNANDEZ
ASESOR:	ING° M.CS. MARCO ANTONIO SILVA SILVA
ESCALA:	1 : 75000
FECHA:	2026
Nº MAPA:	2

MAPA DE VULNERABILIDAD FRENTA A INUNDACIONES CAUSADAS POR EL DESBORDAMIENTO DEL RÍO SAN LUCAS EN EL CASERÍO BELLA UNIÓN, CAJAMARCA



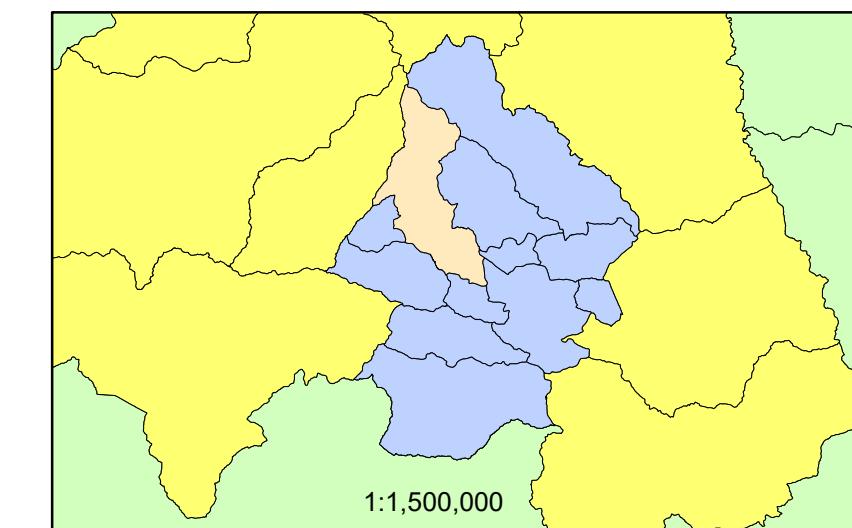
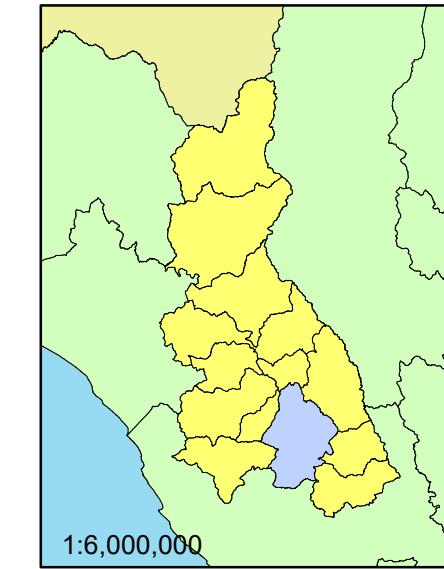
NIVELES DE VULNERABILIDAD

MUY ALTO
ALTO
MEDIO
BAJO

SIMBOLOGÍA

Río	Vía Pavimentada
Quebrada	Vía Afirmada
Canal	Puente Vial
Predios Rurales	Puente Peatonal

NIVEL DE VULNERABILIDAD	RANGO	ÁREA (m ²)
MUY ALTO	$0.246 < V \leq 0.453$	238170.55
ALTO	$0.138 < V \leq 0.246$	96297.43
MEDIO	$0.081 < V \leq 0.138$	-
BAJO	$0.054 < V \leq 0.081$	-



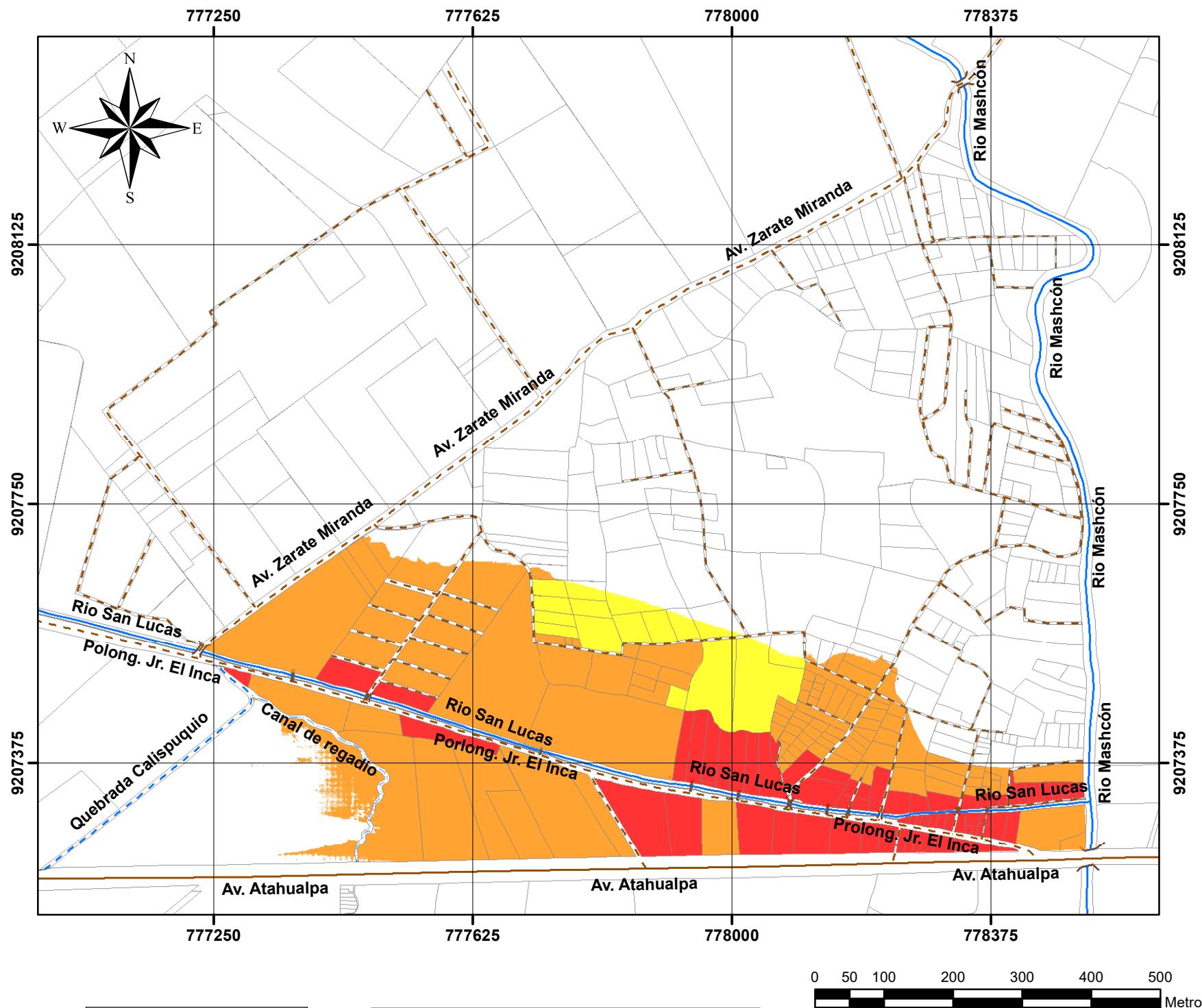
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA



ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS:	"SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA FRENTA A INUNDACIONES CAUSADAS POR EL RÍO SAN LUCAS, CASERÍO BELLA UNIÓN, CAJAMARCA 2024"	
MAPA:	VULNERABILIDAD FRENTA A INUNDACIONES CAUSADAS POR EL RÍO SAN LUCAS	
DATUM:	UTM WGS84	PROYECCIÓN: UTM ZONA 17 S
TESISTA:	CARLOS ENRIQUE MORALES FERNANDEZ	
ASESOR:	ING° M.CS. MARCO ANTONIO SILVA SILVA	
ESCALA:	1 : 75000	FECHA: 2026
		N° MAPA: 3

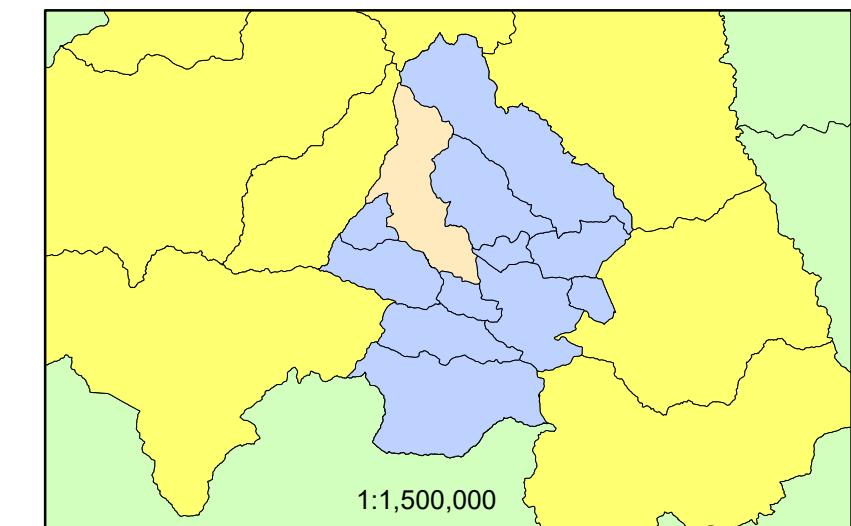
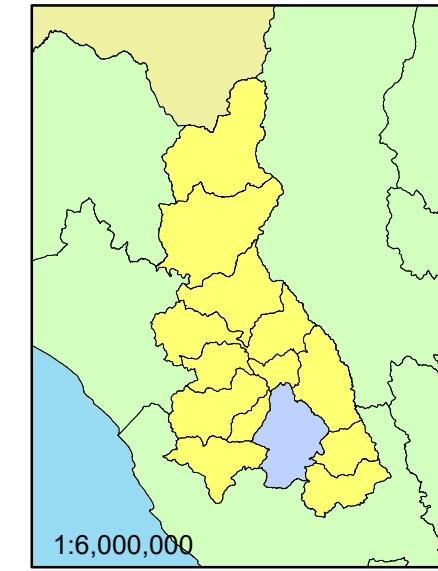
MAPA DE RIESGO FRENTA A INUNDACIONES CAUSADAS POR EL DESBORDAMIENTO DEL RÍO SAN LUCAS EN EL CASERÍO BELLA UNIÓN, CAJAMARCA



NIVELES DE RIESGO	
MUY ALTO	
ALTO	
MEDIO	
BAJO	

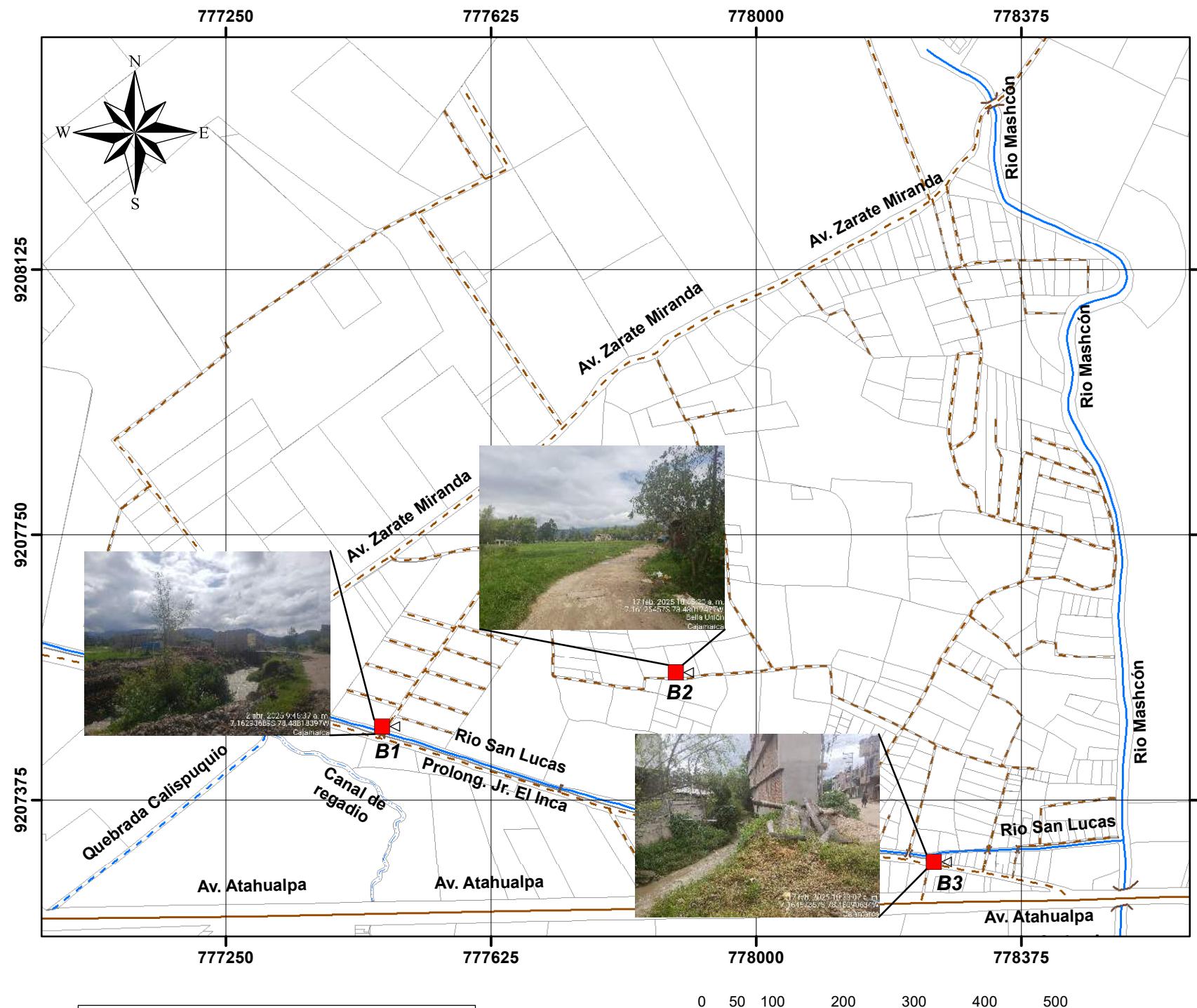
SÍMBOLOGÍA	
Río	Vía Pavimentada
Quebrada	Vía Afirmada
Canal	Puente Vial
Predios Rurales	Puente Peatonal

NIVEL DE RIESGO	RANGO	ÁREA (m ²)
MUY ALTO	$0.073 < R \leq 0.201$	68800.02
ALTO	$0.024 < R \leq 0.073$	230852.70
MEDIO	$0.006 < R \leq 0.024$	34806.40
BAJO	$0.001 < R \leq 0.006$	-



	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL	
TESIS:	"SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA FRENTE A INUNDACIONES CAUSADAS POR EL RÍO SAN LUCAS, CASERÍO BELLA UNIÓN, CAJAMARCA 2024"	
MAPA:	RIESGO FRENTE A INUNDACIONES CAUSADAS POR EL RÍO SAN LUCAS	
DATUM:	UTM WGS84	PROYECCIÓN: UTM ZONA 17 S
TESISTA:	CARLOS ENRIQUE MORALES FERNANDEZ	
ASESOR:	ING° M.CS. MARCO ANTONIO SILVA SILVA	
ESCALA:	1 : 75000	FECHA: 2026
	Nº MAPA: 4	

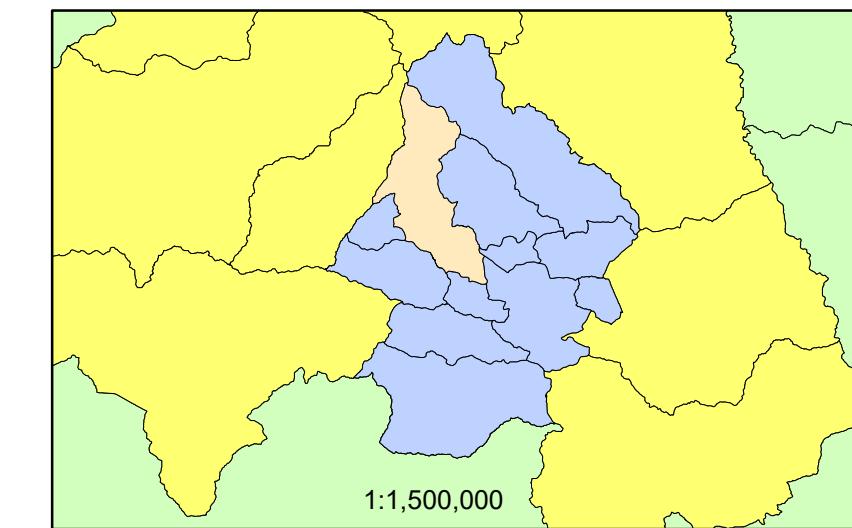
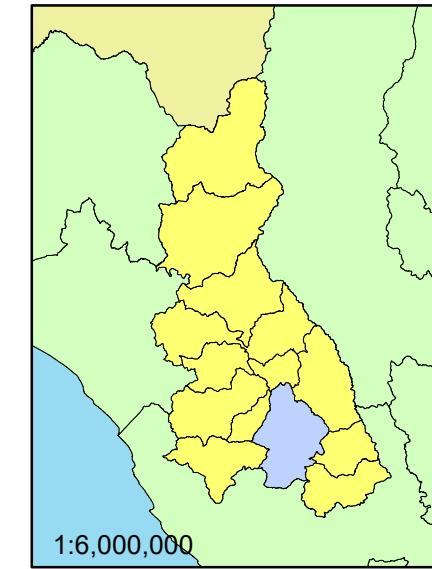
MAPA DE UBICACIÓN DE BOCINAS DEL SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA FREnte A INUNDACIONES EN EL CASERÍO BELLA UNIÓN, CAJAMARCA



SIMBOLOGÍA	
■ Bocinas	Via Pavimentada
— Río	— Via Afirmada
- - Quebrada	— Puente Vial
--- Canal	— Puente Peatonal
□ Predios Rurales	

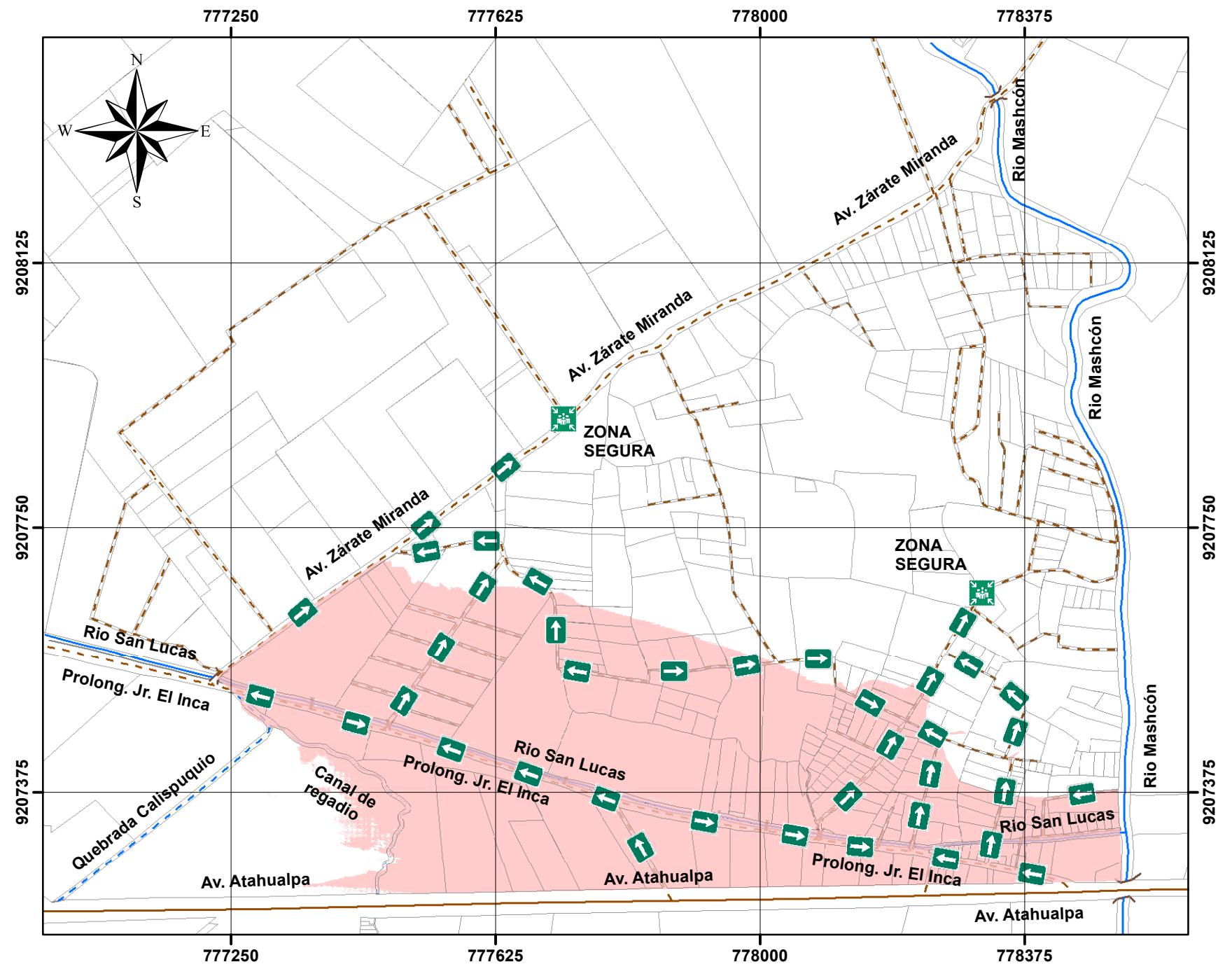
0 50 100 200 300 400 500 Metros

BOCINA	COORDENADAS	
	ESTE	NORTE
B1	777479.68	9207479.12
B2	777895.01	9207555.45
B3	778259.79	9207287.74



	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
	FACULTAD DE INGENIERÍA
	ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
TESIS:	"SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA FREnte A INUNDACIONES CAUSADAS POR EL RÍO SAN LUCAS, CASERÍO BELLA UNIÓN, CAJAMARCA 2024"
MAPA:	MAPA DE UBICACIÓN DE BOCINAS DEL SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA FREnte A INUNDACIONES
DATUM:	UTM WGS84
PROYECCIÓN:	UTM ZONA 17 S
TESISTA:	CARLOS ENRIQUE MORALES FERNANDEZ
ASESOR:	INGº M.CS. MARCO ANTONIO SILVA SILVA
ESCALA:	1 : 75000
FECHA:	2026
Nº MAPA:	5

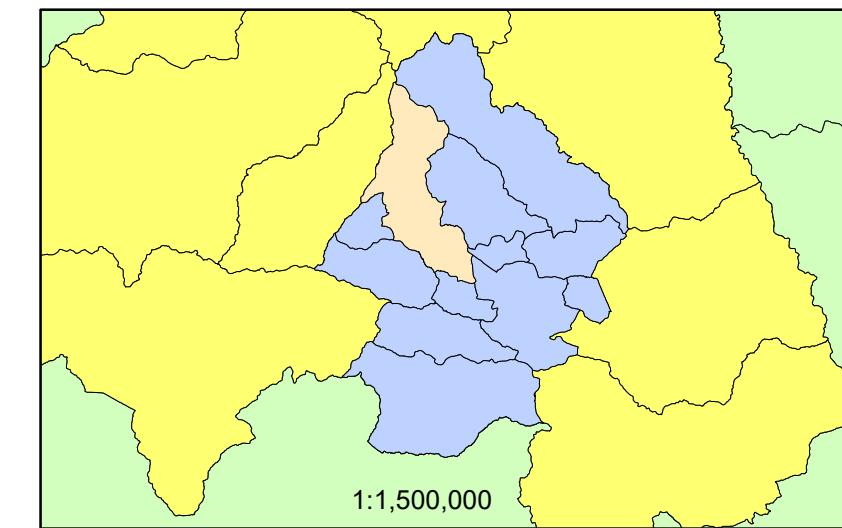
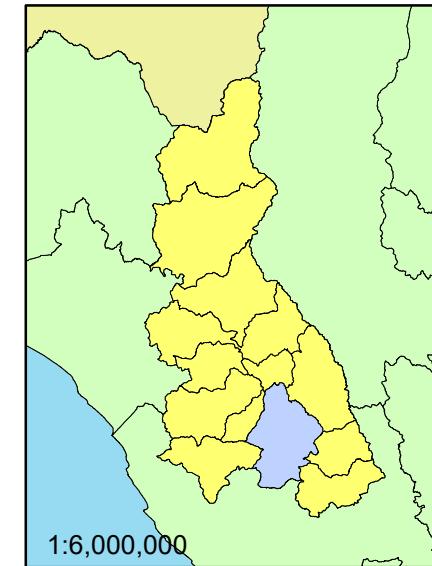
MAPA DE RUTAS DE EVACUACIÓN FREnte A INUNDACIONES CAUSADAS POR EL RIO SAN LUCAS EN EL CASERÍO BELLA UNIÓN, CAJAMARCA



SIMBOLOGÍA	
Río	Via Pavimentada
Quebrada	Via Afirmada
Canal	Puente Vial
Predios Rurales	Puente Peatonal

EVACUACIÓN	
	Zona Segura
	Ruta de Evacuación
	Zona Inundable

0 50 100 200 300 400 500 Metros



	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA	
	FACULTAD DE INGENIERÍA	
	ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL	
TESIS:	“SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA FREnte A INUNDACIONES CAUSADAS POR EL RÍO SAN LUCAS, CASERÍO BELLA UNIÓN, CAJAMARCA 2024”	
MAPA:	MAPA DE RUTAS DE EVACUACIÓN FREnte A INUNDACIONES CAUSADAS POR EL RÍO SAN LUCAS EN EL CASERÍO BELLA UNIÓN, CAJAMARCA	
DATUM:	UTM WGS84	PROYECCIÓN: UTM ZONA 17 S
TESISTA:	CARLOS ENRIQUE MORALES FERNANDEZ	
ASESOR:	INGº M.CS. MARCO ANTONIO SILVA SILVA	
ESCALA:	1 : 75000	FECHA: 2026
	Nº MAPA: 6	