

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**PROPUESTAS PARA LA RESTAURACIÓN ECOFLUVIAL CON ANÁLISIS DE
INGENIERÍA SOCIAL DE UN TRAMO DEL RÍO CHILLÓN**

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniera Civil

AUTORAS:

CLAUDIA KATHERINE YLLATOPA BENGOA

DIANA MERCEDES LEON URREGO

ASESOR:

MITCHEL JARA GARCIA

Lima, Octubre, 2024

Informe de Similitud

Yo, Mitchel Jimmy Jara García, docente de la Facultad de Ciencias e Ingeniería, sección de Ingeniería Civil, de la Pontificia Universidad Católica del Perú, asesor de la tesis titulado:

PROPUESTAS PARA LA RESTAURACIÓN ECOFLUVIAL CON ANALISIS DE INGENIERÍA SOCIAL DE UN TRAMO DEL RÍO CHILLÓN,

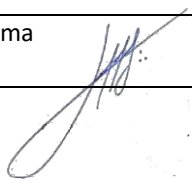
de los autores:

1. *CLAUDIA KATHERINE YLLATOPA BENGOA,*
2. *DIANA MERCEDES LEON URREGO,*

dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 14 %. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el 07/10/2024.
- He revisado con detalle dicho reporte y la Tesis, y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las pautas académicas.

Lugar y fecha: Lima, 7 de octubre de 2024

Apellidos y nombres del asesor: Jara García, Mitchel Jimmy	
DNI: 40418282	Firma 
ORCID: 0000-0003-4436-2858	

RESUMEN

Con el fin de identificar y analizar las zonas críticas del tramo del río Chillón en estudio, comprendido desde el puente de la carretera Panamericana Norte hasta la provincia de Canta, y proponer medidas para su remediación, se modeló el tramo de aproximadamente 84 km a partir de datos hidrológicos recopilados en los últimos 30 años y datos geomorfológicos de la zona. El tramo elegido presenta subtramos que se ubican cerca de áreas urbanas y otros en áreas rurales, lo que permite que el proyecto incluya medidas de remediación que toman en cuenta tanto técnicas de ingeniería como sociales o biológicas, adoptando los distintos factores multidisciplinarios para una restauración ecológica que considere, de manera complementaria, el análisis de ingeniería social para estimar y medir los peligros y factores involucrados en la problemática. Esto permitió visualizar de manera simultánea varias sugerencias relevantes para distintos factores, facilitando su comparación y esquematización para el tramo en estudio, examinando el recorrido del flujo desde aguas arriba junto a los distintos agentes y elementos involucrados. Principalmente, la restauración buscó preservar los ecosistemas de la ribera, evitar desbordes considerando un caudal máximo extraordinario para un período de retorno de 100 años y crear una adecuada interacción con la población local, en este caso los pobladores de la provincia de Canta y los distritos de Puente Piedra, Comas y Carabaylo.

AGRADECIMIENTOS

Dedicamos esta tesis a Dios por ser nuestra guía, fuente de luz y fortaleza durante su desarrollo y culminación. Agradecemos al Ingeniero Mitchel Jara por brindar interés y asesoría en el tema de investigación.

Las tesis

Primeramente, la presente tesis no habría sido posible sin el apoyo de familiares y amigos que estuvieron a nuestro lado a lo largo del proceso. Agradezco a mis padres José Luis Yllatopa y Georgina Bengoa por su constante aliento y soporte durante cada fase del proyecto, y a nosotras mismas por nuestro compromiso y constancia, tanto de mi compañera Diana como de mi parte.

Claudia Yllatopa Bengoa

Agradezco a mi madre, Lola Urrego, por estar a mi lado y apoyarme toda mi vida. A mi padre, Robinzon León, por su constante apoyo durante mis años de educación y por sus sabios consejos para completar este esfuerzo. A Junior León, mi hermano, por ser un modelo a seguir y una inspiración en mi vida. A Claudia, por ser la compañera perfecta para comenzar y completar mi proyecto de tesis. Y a todos mis amigos que nos apoyaron con este trabajo.

Diana León Urrego

INDICE

1.	INTRODUCCIÓN	1
1.1	Justificación.....	1
1.2	Alcance del proyecto	1
1.3	Hipótesis.....	3
1.4	Objetivos	3
1.4.1	Objetivo general.....	3
1.4.2	Objetivos específicos	3
2.	MARCO TEÓRICO.....	4
2.1	Estado del arte	4
2.2	Revisión de la literatura.....	7
3.	DATOS Y METODOLOGÍA.....	11
3.1	Información general	11
3.1.1	Características generales de la cuenca	11
3.1.2	Características generales del Río Chillón	11
3.1.3	Accesibilidad.....	12
3.1.4	Geología.....	12
3.1.5	Hidrología	13
3.2	Metodología	13
3.2.1	Análisis geomorfológico	13
3.2.2	Análisis hidrológico	17

3.2.3	Modelo hidráulico bidimensional	25
3.2.4	Análisis de sitio.....	27
4.	MEMORIA DE CÁLCULO	28
4.1	Análisis geomorfológico	28
4.2	Análisis hidrológico	30
4.3	Modelo hidráulico bidimensional.....	40
4.4	Discusión de resultados – Identificación de zonas críticas	42
5.	ANÁLISIS DE INGENIERÍA SOCIAL	47
5.1	Peligros naturales	48
5.2	Factores sociales que generan vulnerabilidad.....	52
5.3	Cuantificación de pérdidas	72
6.	CONTROL DE CALIDAD DE AGUA	79
7.	PRESENTACIÓN DE PROPUESTAS	81
7.1	Ingeniería Hidráulica.....	81
7.2	Preservación de los ecosistemas en la ribera.....	96
7.2.1	Inclusión de vegetación.....	96
7.2.2	Habilitación de vías de acceso para maquinarias y ubicación de equipos de monitoreo	99
7.3	Creación de zonas de esparcimiento	103
7.3.1	Senda ecológica	103
7.3.2	Parque inundable.....	107
7.3.3	Zonas de aprovechamiento	109

7.4	Difusión de educación medioambiental	110
7.5	Reubicación de población vulnerable	112
8.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	114
9.	CONCLUSIONES	117
10.	RECOMENDACIONES	122
11.	BIBLIOGRAFÍA	124

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1:	Visualización del tramo elegido, cuenca del Río Chillón	2
Figura 2:	Crecida del Río Chillón inunda puente de la carretera Panamericana Norte	4
Figura 3:	Vista aérea del río Chillón con un caudal aproximado de 30 m ³ /s. Se observa un cauce lleno pese a que no se trata de un caudal extraordinario.	5
Figura 4:	Vistas aéreas del río Chillón en el mes de marzo del año 2023	5
Figura 5:	Vista de tramo de estudio	7
Figura 6:	Gráfica del tiempo de retorno en función del riesgo y la vida útil de diseño.....	8
Figura 7:	Mapa de la cuenca del río Chillón y la delimitación de las subcuencas	11
Figura 8:	Diagrama de flujo del análisis geomorfológico	14
Figura 9:	Modelo conceptual para la generación de la curva número CN.....	15
Figura 10:	Mapa de cobertura vegetal y uso	16
Figura 11:	Mapa de suelos	16
Figura 12:	Red de estaciones hidro-meteorológicas en la cuenca	17
Figura 13:	Valores de Kn para la prueba de datos dudosos.....	19
Figura 14:	Factor de ajuste de la frecuencia de observación diaria	20

Figura 15: pasos para la obtención de los hietogramas.....	22
Figura 16: Polígono de Thiessen creado a partir de las estaciones meteorológicas en el programa ARC-GIS	24
Figura 17: Mapa de rugosidad elaborado en el programa ARC-GIS.....	26
Figura 18: Pasos para el modelamiento hidráulico en el programa HEC-RAS	27
Figura 19: Delimitación de la cuenca y subcuencas realizada en el programa ARC-GIS.....	28
Figura 20: Modelo de la cuenca realizado en el programa HEC-HMS	30
Figura 21: Creación de cuenca en formato TIN, vista de elevaciones y curvas de nivel	30
Figura 22: Resultados de los análisis de datos dudosos para cada estación	33
Figura 23: Comparación curvas IDF – Estación Pariacancha	34
Figura 24: Comparación curvas IDF – Estación Huaros	34
Figura 25: Comparación curvas IDF – Estación Canta	35
Figura 26: Comparación curvas IDF – Estación Lachaqui.....	35
Figura 27: Comparación curvas IDF – Estación Huamantanga.....	36
Figura 28: Comparación curvas IDF – Estación Arahuaay	36
Figura 29: Comparación curvas IDF – Estación Huarangal	37
Figura 30: Generación de hietogramas para los tres escenarios de cada estación	38
Figura 31: Hidrograma obtenido para la salida “Outlet 1” (Escenario 1).....	39
Figura 32: Hidrograma obtenido para la salida “Outlet 1” (Escenario 2).....	39
Figura 33: Hidrograma obtenido para la salida “Outlet 1” (Escenario 3).....	40
Figura 34: Huella de inundación para los tres escenarios (Centro poblado de Yangas – aguas abajo).....	40
Figura 35: Huella de inundación para los tres escenarios (Centro poblado de Yangas – aguas arriba).....	41
Figura 36: Huella de inundación discretizada para el centro poblado de Yangas, escenarios 1,	

2 y 3.....	41
Figura 37: Huella de inundación observada en los distritos ubicados aguas abajo del tramo en estudio.....	42
Figura 38: Ubicación de las zonas críticas por deslizamiento 2 y 3	45
Figura 39: Ubicación de las zonas críticas por deslizamiento 9 y 10	45
Figura 40: Identificación de tramos vulnerables a posibles riesgos en la ruta de Canta a San José.....	47
Figura 41: Casos por dengue.....	51
Figura 42: Crecimiento poblacional en la región de Lima Norte	53
Figura 43: Relación de oferta - demanda de viviendas en las regiones de Lima.....	54
Figura 44: Flujo de aparición de la informalidad en el país	55
Figura 45: Distribución de zonas APEIM por tipo de viviendas	57
Figura 46: Comparación de desmonte acopiado en el talud del río Chillón, por la zona del puente San Martín entre los años 2019 y 2023	58
Figura 47: Contaminación observada a lo largo del tramo entre los años 2019 y 2023	59
Figura 48: Fuentes contaminantes en la cuenca del río Chillón	61
Figura 49: Comparación de poblaciones adyacentes al río Chillón contiguas al puente San Martín entre los años 2019 y 2023.....	62
Figura 50: Cantidad de pozos pertenecientes a la cuenca Chillón.....	64
Figura 51: Distribución de pozos según su uso	64
Figura 52: Volúmenes de explotación de pozos según su uso.....	65
Figura 53: Distribución de áreas verdes en Lima Metropolitana.....	66
Figura 54: Partición modal histórica (miles de viajes)	68
Figura 55: Señalización de área intangible por faja marginal en el distrito de Comas (2021)	70

Figura 56: Vistas de senda ecológica ejecutada en el distrito de Puente Piedra en el año 2022, aguas abajo del puente de la carretera Panamericana Norte	71
Figura 57: Relación entre los factores y el grado de riesgo.....	72
Figura 58: Gráfica de relación entre grado de riesgo, invasiones y los factores FC, FT y FAV	73
Figura 59: Representación gráfica de la relación de los factores con el crecimiento desorganizado de la población a partir de las invasiones	74
Figura 60: Índices IPC de los últimos 10 años	76
Figura 61: Gráfica de inversión por pérdidas a partir del IPC y la población por reubicar....	77
Figura 62: Índices de calidad ambiental de los recursos hídricos superficiales de los puntos de muestreo.....	81
Figura 63: Sección simplificada del cauce.....	82
Figura 64: Dimensionamiento de sección simplificada.....	83
Figura 65: Dimensionamiento de sección recomendada	84
Figura 66: Dimensiones para los gaviones tipo caja recomendados.....	85
Figura 67: Reforzamiento de talud con gaviones	85
Figura 68: Uso de neumáticos para distintos tipos de contención	87
Figura 69: Reforzamiento de talud con neumáticos reciclados	88
Figura 70: Reforzamiento de talud inferior con enrocado	89
Figura 71: Restauración de un tramo de río con problemas de incisión.....	92
Figura 72: Restauración de un tramo con problemas de erosión lateral, debido al pastoreo..	91
Figura 73: Aplicación de empalizadas trenzadas para el reforzamiento de taludes	93
Figura 74: Muro permeable al pie del talud de una zona con deslizamientos	94
Figura 75: Diseño de barreras dinámicas.....	95
Figura 76: Dragadora retroexcavadora	100

Figura 77: Retroexcavadora anfibia.....	100
Figura 78: tren de muestreo	102
Figura 79: Muestreador de bajo volumen	103
Figura 80: Analizadores automáticos.....	103
Figura 81: Geo-celda compuesta por material de propileno reciclado	105
Figura 82: Vista en elevación del diseño de la senda ecológica	106
Figura 83: Aprovechamiento de las zonas de Puente Piedra y el centro poblado de Punchauca para la construcción de parques inundables, visualizado desde Google Earth	108
Figura 84: Diseño de parque inundable en la comuna de San Joaquín, Santiago de Chile ..	108
Figura 85: Tramos de San José a San Lorenzo y de San Lorenzo a Quives.....	109
Figura 86: Tramos de Trapiche a Carabayllo y de Carabayllo al puente de la Panamericana Norte	110
Figura 87: Tramo de Trapiche a Carabayllo.....	110

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1	26
Tabla 2	29
Tabla 3	31
Tabla 4	33
Tabla 5	44
Tabla 6	50
Tabla 7	52
Tabla 8	54
Tabla 9	64

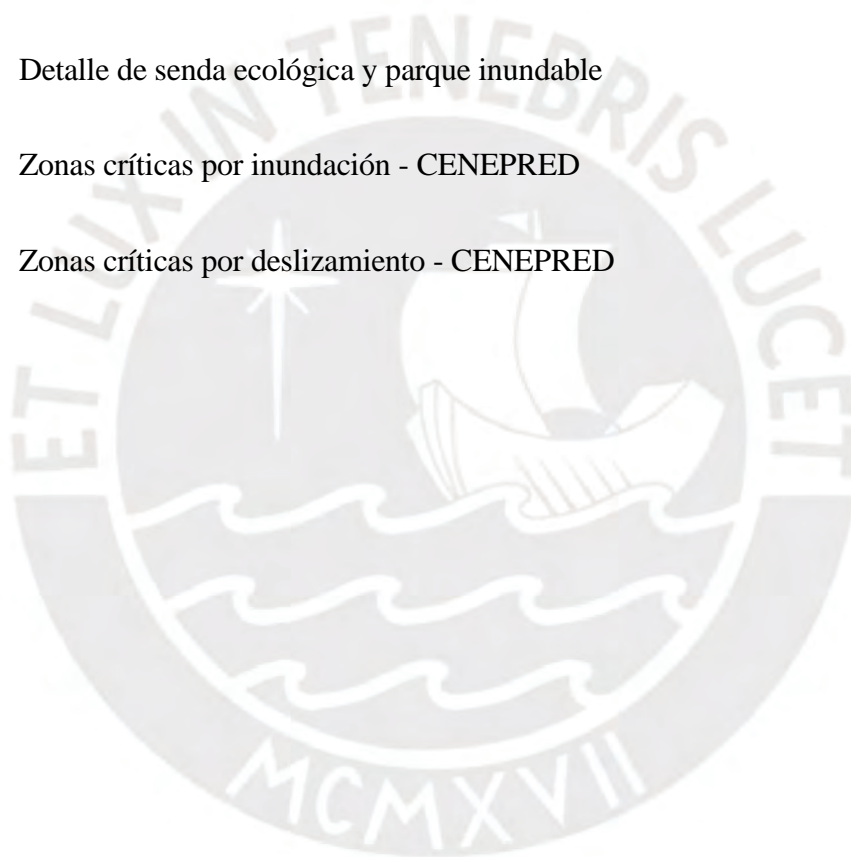
Tabla 10	75
Tabla 11	75
Tabla 12	78
Tabla 13	79
Tabla 14	83
Tabla 15	86
Tabla 16	88
Tabla 17	90
Tabla 18	96
Tabla 19	98
Tabla 20	102
Tabla 21	113
Tabla 22	116

LISTADO DE FÓRMULAS

Fórmula 1: Método de proporción normal.....	18
Fórmula 2: Ecuación de frecuencia para datos dudosos altos.....	18
Fórmula 3: Ecuación de frecuencia para datos dudosos bajos.....	18
Fórmula 4: Ecuación para la obtención de Pd mediante el método de Dyck Peschke	20
Fórmula 5: Ecuación para el cálculo directo de intensidades	20
Fórmula 6: Ecuación de relación para las curvas IDF	21
Fórmula 7: Ecuación para cálculo de sección simplificada	83

ANEXOS

- Anexo A-01 Cuenca del Río Chillón
- Anexo A-02 Zonas críticas por inundación
- Anexo A-03 Zonas críticas por deslizamientos
- Anexo A-04 Zonas críticas – Puentes
- Anexo A-05 Propuestas de defensa ribereña y senda ecológica
- Anexo A-06 Detalle de senda ecológica y parque inundable
- Anexo B-02 Zonas críticas por inundación - CENEPRED
- Anexo B-03 Zonas críticas por deslizamiento - CENEPRED



PROPUESTAS PARA LA RESTAUCIÓN ECOFLUVIAL CON ANÁLISIS DE INGENIERÍA SOCIAL DE UN TRAMO DEL RÍO CHILLÓN

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Justificación

Debido a la falta de preparación ante eventos imprevistos como inundaciones o desbordes, en el Perú han ocurrido a lo largo de los años una serie de desastres fluviales que provocaron pérdidas humanas, materiales y económicas. Pese a que el río Chillón es una de las principales fuentes de agua que abastece al cono norte de la ciudad de Lima, este supone una amenaza por su cauce deteriorado y colmatado.

Con el fin de brindar mejores soluciones a largo plazo, la tesis busca integrar de manera colaborativa los resultados obtenidos del modelamiento bidimensional del tramo en estudio para un evento de lluvia extraordinaria (ámbito técnico), con el análisis de los factores y agentes involucrados que podrían agravar la condición de sitio, derivando en el aumento de la probabilidad de riesgo (ámbito social). De esta manera, se presentan propuestas para una restauración racional, acorde con la situación actual, y que busca integrar los distintos ecosistemas que se desarrollan tanto en el cauce como en la ribera.

1.2 Alcance del proyecto

En el tramo elegido, de 84 kilómetros aproximadamente, se puede observar una marcada diferencia en el entorno del cauce aguas arriba respecto del de aguas abajo, tal como se observa en la Figura 1. Aguas arriba, el tramo en estudio inicia su recorrido desde la provincia de Canta y atraviesa zonas predominantemente campestres y de uso agrícola, caracterizándose el entorno rural a su alrededor; mientras que aguas abajo, el cauce del río Chillón se adentra en zonas urbanas y atraviesa los distritos de Carabayllo y Puente Piedra hasta el punto final del tramo

en el puente de la carretera Panamericana Norte. El alcance de la tesis incluye la presentación de propuestas para proteger y preservar el cauce del río Chillón y su ribera en los diferentes entornos presentados a lo largo del recorrido del tramo en estudio ante eventos extremos de precipitación extraordinaria o deslizamientos, a partir del modelamiento del cauce y el análisis social y de sitio que permitan identificar los distintos agentes gatilladores de las problemáticas en las zonas críticas.

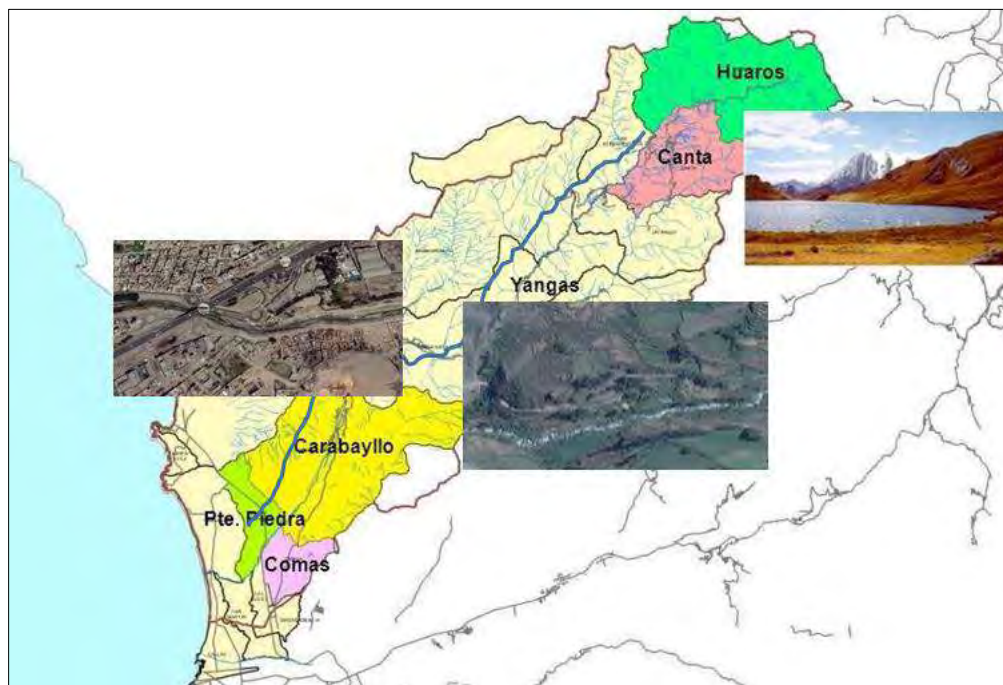


Figura 1: Visualización del tramo elegido, cuenca del Río Chillón

Para el modelamiento de la cuenca del Río Chillón se trabajó con imágenes satelitales provenientes del satélite ALOS PALSAR 2, el cual fue elegido debido a que presenta una resolución espacial de imagen de 12,5 m. Las imágenes fueron procesadas en el programa ARC-GIS y posteriormente importadas como superficie de elevación en el programa HEC-HMS, en el que, junto a la información de lluvia procesada en el modelamiento hidrológico de siete (7) estaciones meteorológicas, se obtuvo un caudal de diseño para un periodo de retorno de 100 años. Finalmente, se hizo uso del programa HEC-RAS para el modelamiento bidimensional del tramo en estudio.

Adicionalmente, se tomó de referencia la cartografía de peligros publicada por el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción de Riesgos y Desastres (CENEPRED) y el Sistema de Información para la Gestión del Riesgo de Desastres (SIGRID) (CENEPRED & SIGRID, 2019), quienes ponen a disposición de la población en su página web información actualizada por última vez en el año 2019 sobre los riesgos mapeados para la cuenca del río Chillón; asimismo, se utilizó la información recopilada en tres visitas de campo realizadas entre los años 2018 y 2023.

1.3 Hipótesis

La investigación consideró al río Chillón como un ente vivo que reacciona ante determinados efectos y condiciones, por lo que la identificación oportuna de dichos factores y su interacción entre ellos brindan una mejor visión al restaurador para la selección de propuestas que ayuden a prevenir, mitigar y/o reducir el impacto ante eventos extraordinarios. Asimismo, dado que el ser humano es considerado un agente que interacciona directamente con el río, se incluyó propuestas que establezcan una adecuada interacción entre ecosistemas. Se espera que las propuestas presentadas resuelvan la mayor cantidad de problemáticas identificadas para el tramo del río Chillón en estudio y brinden soluciones sensatas a largo plazo.

1.4 Objetivos

Se consideró los siguientes objetivos para la elaboración de la presente tesis:

1.4.1 Objetivo general

Plantear propuestas ingenieriles y socio ecológicas para la preservación a largo plazo del cauce del Río Chillón ubicado en la región de Lima.

1.4.2 Objetivos específicos

1. Realizar el modelamiento bidimensional del tramo en estudio e identificar zonas críticas de inundación para un caudal máximo extraordinario con periodo de retorno de 100 años.

2. Analizar y cuantificar los agentes que intervienen en la problemática actual del tramo en estudio.
3. Comparar la información brindada en la cartografía de peligros (CENEPRED & SIGRID, 2019) con los resultados obtenidos en el modelamiento y la información recopilada tras las visitas en campo.
4. Proponer recomendaciones para la remediación ingenieril, social y medio ambiental del tramo en estudio, considerando el análisis de Ingeniería Social.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Estado del arte

A lo largo de los años, han ocurrido eventos de precipitación extrema que han provocado el desborde del río Chillón y la consecuente inundación de infraestructuras tanto públicas como privadas; en la Figura 2 se muestra un evento de inundación ocurrido en el puente de la carretera Panamericana Norte en el año 2017, el cual generó daños a la vía pública.



Figura 2: Crecida del Río Chillón inunda puente de la carretera Panamericana Norte

Nota: Tomado de Infoinundaciones, 2017

Esta situación de desastre es recurrente en el tramo del río que recorre por zonas urbanas ya que no se aprecia un marcado distanciamiento entre la población y la ribera del río, la cual debería estar libre, resultando en una interacción caótica y perjudicial para ambas partes. En

la Figura 3 se muestra la peligrosa cercanía del nivel de agua hacia las viviendas aledañas ante una crecida del río de $30 \text{ m}^3/\text{s}$ ocurrida en el año 2017. Asimismo, en la Figura 4 se observa la existencia de viviendas cuyos cimientos invaden el cauce del río y limitan su geometría.



Figura 3: Vista aérea del río Chillón con un caudal aproximado de $30 \text{ m}^3/\text{s}$. Se observa un cauce lleno pese a que no se trata de un caudal extraordinario.

Nota: Tomada de El Comercio, 2017



Figura 4: Vistas aéreas del río Chillón en el mes de marzo del año 2023

Nota: Tomada de ANA, 2023

Según el reglamento peruano Ley N° 29 338 (MIDAGRI, 2010, p. 37), para la delimitación de la faja marginal, se establece que: “Los terrenos aledaños a los cauces naturales deben establecer una faja marginal de terreno necesaria para la protección, el uso primario del agua, el libre tránsito, la pesca, caminos de vigilancia y otros servicios”. Motivo por el cual, ante la

problemática actual, surge la necesidad de restauración del río Chillón. Inicialmente, el término “restauración” pudo ser diferenciado de una rehabilitación en que este abarca la gestión e ingeniería de los ríos, considerando modificaciones en su estructura y/o técnicas de estabilización, como también su interacción con los ecosistemas (Warne et al., 2000; Bloesch y Sieber, 2003). Esta definición ha ido variando con el paso de los años según la interpretación de diferentes autores, ya que queda a juicio propio cuáles agentes deberían ser analizados en la restauración, las disciplinas involucradas y el alcance que se busca abarcar con las propuestas. Por un lado, algunos autores sugieren que la restauración debería enfatizar en la problemática de la contaminación del agua por parte de la acción humana (Bennett et al., 2011; Campana et al., 2014), otros sugieren que se debería considerar los procesos bioquímicos y el equilibrio entre los ecosistemas (Burt y Haycock, 1993), mientras que algunos proponen que la restauración fluvial se debería diferenciar de otras gestiones de ríos al incluir diseños de recreación fluvial (Palmer et al., 2005).

Según Krauze et al. (2008), es necesario realizar una zonificación del río en estudio según sus características y condiciones particulares previo a la restauración. Teniendo esto en cuenta, se debe partir de la recopilación de información disponible para la caracterización del área en estudio, ya sean mapas de riesgo, modelamientos de investigaciones anteriores, mapas de uso de suelos, registros de eventos extremos anteriores, registros fotográficos, etc; así como también identificar los recursos propios de la zona para su aprovechamiento y así considerar propuestas que se ajusten a las condiciones de sitio. En la Figuras 5 se puede apreciar el inicio y el fin del tramo en estudio, notando la transición entre el entorno rural aguas arriba, hacia la zona urbana aguas abajo.

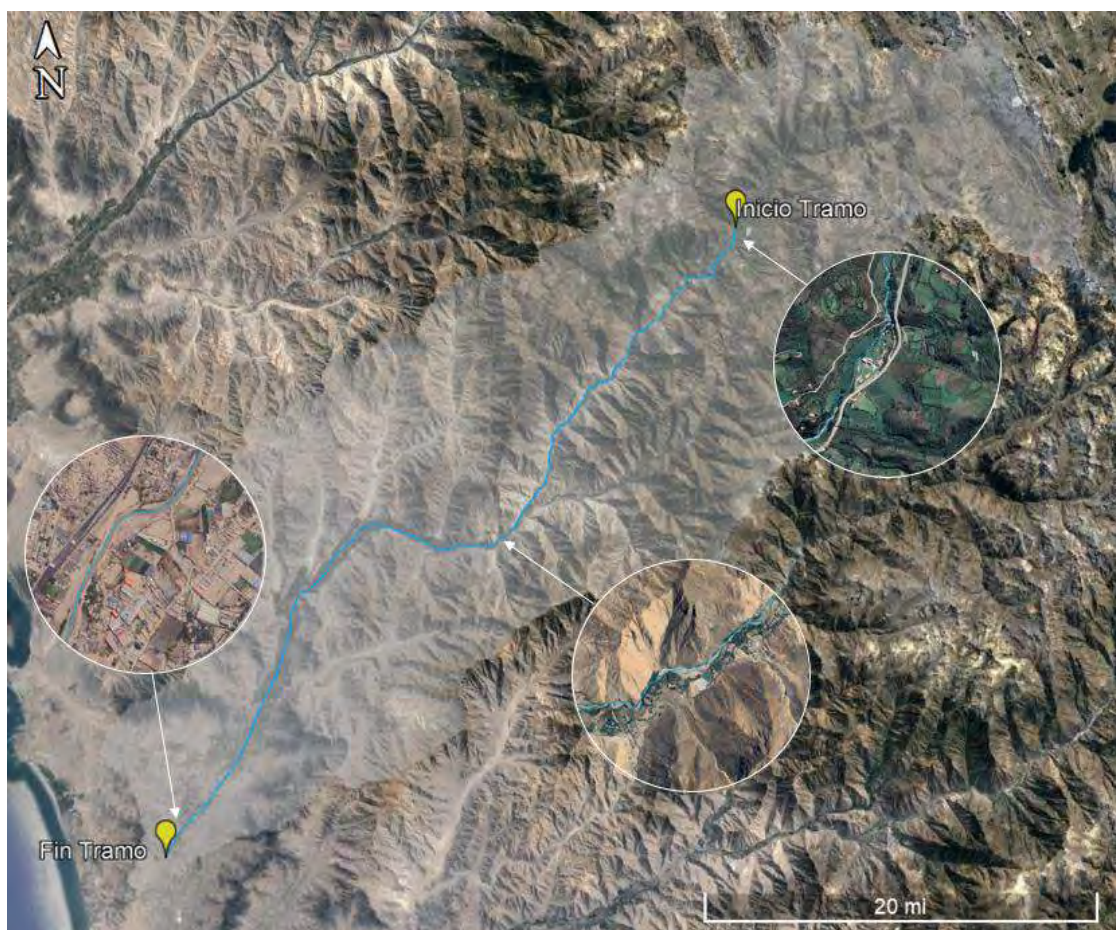


Figura 5: Vista de tramo de estudio

Nota: elaborado a partir de "Google Earth".

Desde la perspectiva social, según lo mencionado por Brandao (1994), la restauración también debe buscar abordar la problemática desde la perspectiva de las personas que viven en zonas de riesgo, ya que la ingeniería se desarrolla para que el hombre pueda resolver problemas según su necesidad.

2.2 Revisión de la literatura

Periodo de retorno

Según MTC (2012), se define como: "el tiempo promedio en que el valor del caudal pico de una creciente determinada es igualado o superado una vez cada "T" años" (p.23). El periodo de retorno puede ser determinado en función de la vida útil de diseño y la probabilidad de que

el evento de falla ocurra en dicho periodo, estableciéndose un porcentaje de riesgo a admitir por el diseñador, tal como se observa en la Figura 6. (MTC, 2012)

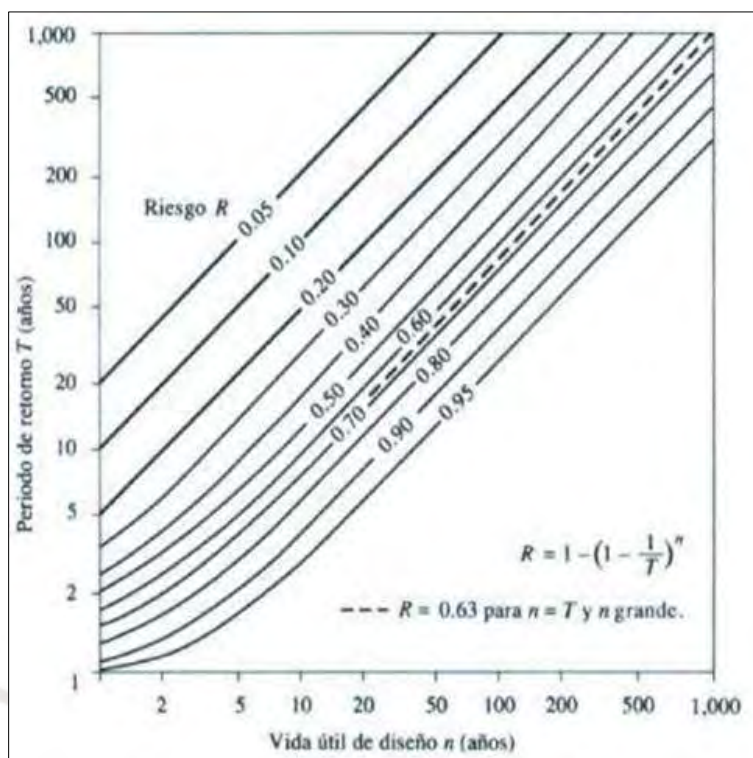


Figura 6: Gráfica del tiempo de retorno en función del riesgo y la vida útil de diseño.

Nota: Tomada de Hidrología Aplicada, Ven te Chow, 1993

Tormentas de diseño

Se puede definir como la profundidad de precipitación para el diseño de un sistema hidrológico, y es representado por un hietograma que se ajuste a la distribución temporal de precipitación de la zona de interés (Ven te Chow, 1993). Esta distribución puede ser calculada mediante el análisis hidrológico realizado a partir de registros de lluvias medidos en un determinado lugar, y es utilizada como dato de entrada en los modelamientos hidráulicos con el fin de obtener caudales de salida.

Curvas intensidad-duración-frecuencia (IDF)

Son curvas construidas a partir de registros de lluvia que relacionan la intensidad media máxima de una determinada precipitación con la duración de la misma y la probabilidad de

ocurrencia (Ven Te Chow, 1993). Según la necesidad del diseño, se pueden construir varias curvas IDF para diferentes periodos de retorno.

SIG

Según la definición brindada por Burrough (1994): “Los sistemas de información geográfica pueden verse como modelos informatizados de la realidad geográfica para satisfacer una necesidad de información concreta; esto incluye crear, compartir y aplicar información útil basada en datos y en mapas.” (p. 193) Hoy en día estos sistemas son muy usados ya que permiten acotar el área en estudio de interés y evaluar eficazmente sus propiedades para un proyecto o fin específico.

A continuación, se mencionarán los modelos con los que trabajaban estos sistemas:

- **Vector:** Este modelo considera que la superficie de la Tierra se compone de objetos discretos tales como árboles o ríos, cuyas características son constantes y pueden ser representadas por entidades geométricas (ESRI, 2010). La forma de estas entidades se codifica de modo explícito a través de tres primitivas: puntos, líneas y polígonos (Olaya, 2014). De esta manera, una superficie puede ser representada por un conjunto de vectores con el mismo punto de inicio y fin.
- **Raster:** este modelo se basa en una matriz de celdas representadas por filas y columnas, las cuales almacenan información de una determinada variable (Franz, 2017). Cabe mencionar que el modelo no recoge información de coordenadas explícitas, por lo que los valores deben ser emplazados en un lugar concreto previamente (Olaya, 2014). Este sistema resulta útil para diseños con datos simplificados pues permite trabajar con varias capas de información a la vez; no obstante, estas pueden presentar cierto grado de imprecisión y el tiempo de simulación es variable.

- **TIN:** Creado a partir de la triangulación de redes de valores puntuales, los cuales forman en conjunto objetos geométricos convexos utilizados, mayormente, para representar modelos de elevación. (Franz, 2017). Este modelo suele generar resultados visiblemente buenos de manera práctica, ya que trabaja tanto con puntos, líneas y polígonos; no obstante, requiere la interpolación de capas para unir la información de interés. Según Franz (2017): “esta interpolación se basa en que cada uno de los vértices de los triángulos tienen valores X, Y y Z, a partir de los cuales puede obtenerse un modelo de regresión que permite interpolar la variable Z en cualquier punto” (p.117)

Vulnerabilidad social: La vulnerabilidad social puede definirse como la capacidad de reacción y respuesta de un individuo o grupo de individuos ante una amenaza (Blaikie et al, 1996). Esta vulnerabilidad puede depender de varios factores relacionados al daño que sería generado al grupo de interés y su capacidad para asumir soluciones de auto-restauración.

Riesgo de desastre: Cuando los efectos de un fenómeno natural desencadenan una situación de amenaza que afecta a una población vulnerable, se dice que existe riesgo de desastre (Maskrey, 1989). Los eventos naturales alcanzan la categoría de amenaza cuando existe la probabilidad de que tengan consecuencias sobre la sociedad, dicha probabilidad es el riesgo de desastre (Wilches-Chaux,1993)

Estudio de desastres: A lo largo de los años diversos autores han estudiado las consecuencias dejadas tras un evento de desastre y el impacto que este ha tenido en la sociedad, ya sea por su característica de vulnerabilidad previo al evento o por las respuestas que han implementado a partir de la experiencia. El estudio de estos desastres debe partir por reconocer los dos factores desencadenantes: la vulnerabilidad social y el fenómeno de desastre que representa una amenaza; ante ello, se debe estudiar las situaciones críticas preexistentes, como desigualdades sociales y económicas o condiciones precarias de la zona, que generan la situación de riesgo. (García, 1996). Asimismo, se debe analizar la relación del hombre con los ecosistemas que lo

rodean, ya que su compromiso y responsabilidad medioambiental depende de la cultura y estructura de poder predominante en el sitio (Cárdenas, 2002)

3. DATOS Y METODOLOGÍA

3.1 Información general

3.1.1 Características generales de la cuenca

La cuenca del río Chillón abarca una extensión aproximada de 2353 km² y limita por el norte con la cuenca del río Chancay Huaral, por el sur con la cuenca del río Rímac, por el este con la cuenca del río Mantaro y por el oeste con el Océano Pacífico, tal como se observa en la Figura 7. La cuenca está conformada por dos vertientes: el río Chillón y el río Arahuy, siendo el río Chillón el principal y del cual deriva el nombre de la cuenca (INGEMMET, 2011).

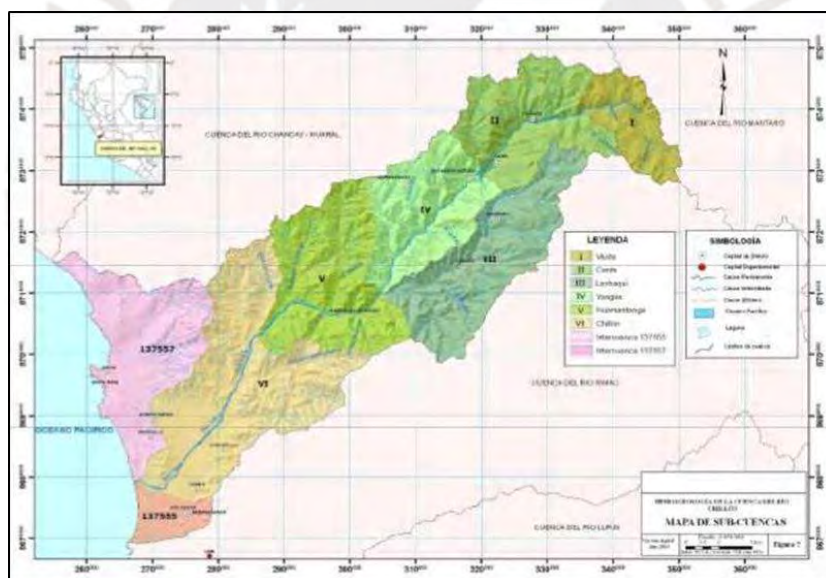


Figura 7: Mapa de la cuenca del río Chillón y la delimitación de las subcuencas

Nota: tomado de INGEMMET, 2011

3.1.2 Características generales del Río Chillón

El río Chillón tiene su origen en la laguna de Chonta, ubicada a 4 850 m s.n.m. en la cordillera de la Viuda, abarcando una distancia total de 126 km hasta su desembocadura en el Océano Pacífico. En su curso superior, el río presenta una pendiente promedio de 6% hasta la provincia de Canta; una pendiente de 5% en su curso medio hasta Santa Rosa de Quives; y finalmente,

el río presenta una pendiente entre 1 a 2% en su curso inferior. El ancho del río es variable, encontrándose tramos en los que el ancho rodea los 10 m y otros en los que el ancho alcanza los 80 m. La recarga hídrica de la cuenca se da de las lagunas Chuchón, Azulcocha y Leoncocha, con caudales de alimentación de 1 500 lps en promedio; no obstante, las descargas del río se consideran irregulares y extremas, con salidas importantes en función de las necesidades de consumo de agua de las zonas rurales y urbanas según las distintas épocas del año (MML, 2013).

Actualmente, el río Chillón cuenta con dos (02) estaciones de aforo en funcionamiento para la medición de los caudales: Obrajillo y Puente Magdalena.

3.1.3 Accesibilidad

Aguas arriba, el principal acceso hacia el río Chillón es a través de la carretera nacional Vencedores de Sánger (PE-20A), la cual recorre de manera paralela el margen izquierdo del cauce durante la mayor parte del recorrido y conecta la ciudad de Lima con los departamentos de Junín y Pasco. La distancia al río desde la vía asfaltada es variable, por lo que se puede acceder mediante puentes, trochas o vías carrozables. Por el poblado de Trapiche, la carretera nacional PE-20A se une con la avenida Chillón – Trapiche y deriva en la carretera Panamericana Norte, la cual atraviesa el punto final del tramo en estudio en el puente Río Chillón. Aguas abajo de este punto, el acceso hacia el río es a través del Malecón Chillón y la avenida San Diego de Alcalá, vías que derivan en pasajes y calles hasta conectar con la Prolongación Naranjal, la avenida Chillón y, finalmente, la avenida Indo América, la cual acompaña al río hasta su desembocadura en el Océano Pacífico.

3.1.4 Geología

En la cuenca Chillón predominan las geomorfos poligénicas y las geoformas de origen gravitacional, denudacional o fluvio-aluvia, representando una geología de montañas, colinas

y planicies; asimismo, también se encuentran unidades geomorfológicas de origen eólico en zonas localizadas. Las formaciones geológicas en la zona corresponden al periodo Jurásico y el Cuaternario Reciente, con predominancia de andesitas y granodioritas, además de la presencia de formaciones sedimentarias como lutitas y areniscas. Debido a su geología agreste y al estado fracturado de las rocas, se han identificado peligros geológicos por derrumbes y deslizamientos, así como también erosión de ladera, inundaciones y hundimientos debido a la actividad sísmica (Villacorta et al, 2010)

3.1.5 Hidrología

La cuenca hidrográfica del río Chillón tiene su origen en la Cordillera La Viuda, y sigue una dirección predominantemente Sur-Oeste hasta su desembocadura en el Océano Pacífico. En su recorrido, el río Chillón recibe el aporte de otros afluentes como el río Lachaqui y diversas quebradas. Según INRENA (2003, como se citó en INGEMMET,2021): “el río Chillón recibe el aporte de 81 lagunas, de las cuales 16 son represadas” (p.51). De entre estas, las lagunas Chuchón, Leoncocha y Azulcocha son las principales aportantes en épocas de sequía, con caudales de 1 500 lps en promedio. La recarga hídrica en la cuenca ocurre en la temporada de lluvia entre los meses de diciembre a marzo, con mayor proporción en la parte media y alta de la cuenca con una precipitación promedio anual de 900 mm, mientras que en la parte baja de la cuenca, por la zona urbana, la precipitación anual promedio es de 60 mm; en promedio, la precipitación anual de la cuenca es de 377,8 mm (INRENA, 2003, como se citó en INGEMMET,2021).

3.2 Metodología

3.2.1 Análisis geomorfológico

El modelamiento de la cuenca del Río Chillón fue realizado a partir de imágenes satelitales provenientes del satélite ALOS PALSAR 2, el cual fue elegido debido a que presenta una

resolución espacial de imagen de 12,5 m, lo cual permite obtener mayor precisión en el modelo. Las imágenes obtenidas en formato DEM fueron procesadas en el programa ARC-GIS, siguiendo el procedimiento elaborado en la Figura 8.

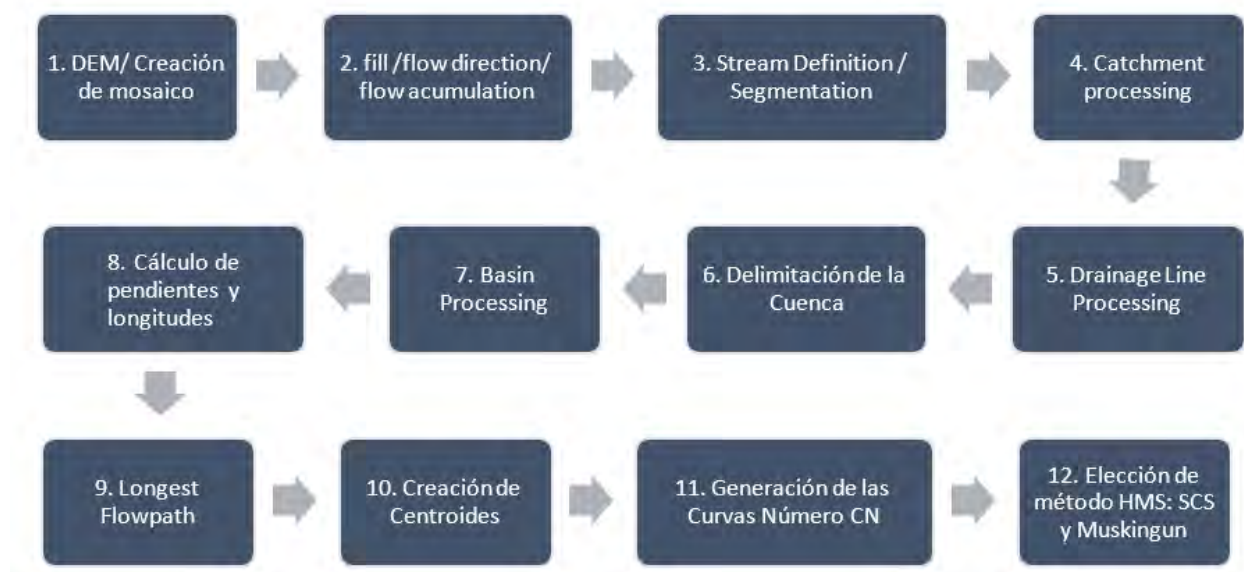


Figura 8: Diagrama de flujo del análisis geomorfológico

Nota: Elaboración propia

Para el modelamiento se hizo uso de las herramientas propias de la extensión Hec-GeoHMS, las cuales facilitaron el proceso de delimitación de la cuenca y la segmentación en microcuencas considerando un número de celda para el flujo acumulado igual a 200. Se utilizó las herramientas de Basin Processing y Basin Merge para obtener un total de 10 microcuencas, tomando de referencia la delimitación de microcuencas brindada por el Instituto Geográfico Nacional (IGN). Posteriormente, se trabajó con las herramientas de la extensión Arc Hydro Tools para calcular las pendientes del terreno. Las longitudes de los tramos del río y las pendientes del cauce fueron calculadas con las herramientas River Length y River Slope, obteniendo luego las pendientes de cada microcuenca con Basin Slope. Con la herramienta Longest Flowpath se identificó los tramos de río más largos para cada subcuenca, siendo estos los tramos principales para cada una y que desembocan en el cauce principal del Río Chillón.

Se calculó también el centroide de cada subcuenca y sus elevaciones, con el fin de determinar las distancias de los tramos desde la desembocadura hasta su respectivo centroide.

Para el cálculo del número de curva CN, se utilizó la metodología descrita en el manual para la generación del mapa temático de curva número (ANA, 2015), en el que se menciona que el CN depende de los factores mostrados en la Figura 9.



Figura 9: Modelo conceptual para la generación de la curva número CN

Nota: tomado de ANA, 2015

Los mapas de cobertura vegetal y de suelos fueron proporcionado por el Ministerio del Ambiente de manera online a través de la página de GEO GPS Perú (2022), los cuales fueron importados en el programa ARC-GIS y se muestran en el Gráfico 10 y en el Gráfico 11, respectivamente. Dichos mapas, dependiendo de la clasificación obtenida y haciendo uso de las tablas presentadas en el manual del ANA (2015), se pudo determinar los grupos hidrológicos y los números de reclasificación para la cuenca en estudio. Con la herramienta Intersect se juntó la información de ambos mapas en un solo shapefile y se utilizó la tabla 4 del manual (ANA, 2015) para la obtención de los valores de curva número. Los valores fueron introducidos en una tabla Excel e importados en el modelo con la herramienta Generate CN Grid. Los valores de número de cuenca CN fueron asignados de manera manual para cada subcuenca, en caso alguna presentara más de un número de curva, se calculó un promedio a razón de las áreas correspondientes a cada número de curva respecto del área total.

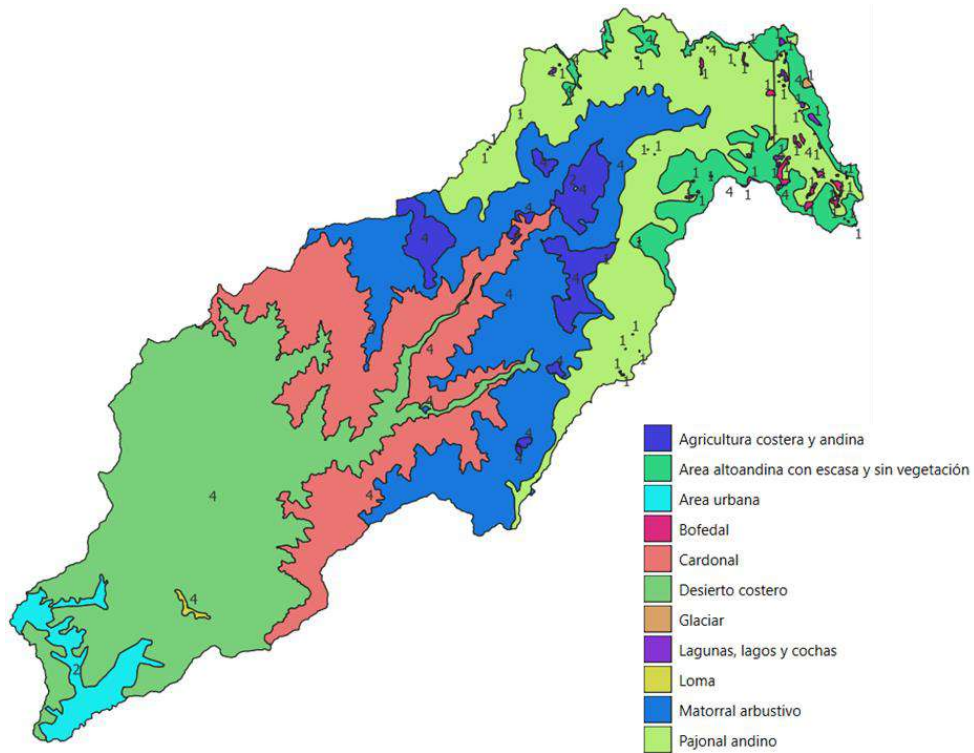


Figura 10: Mapa de cobertura vegetal y uso

Nota: elaborado a partir de mapas descargados de “Geo GPS Perú”.

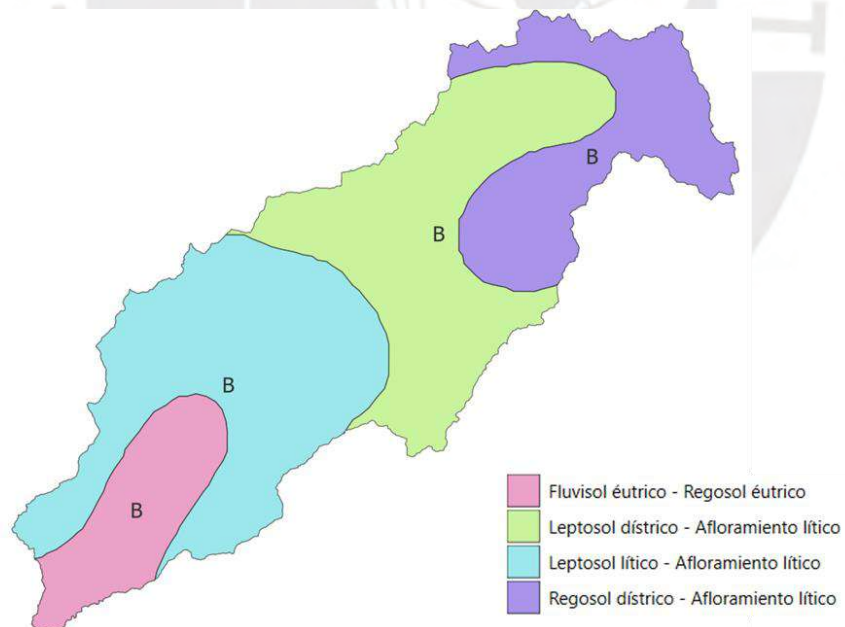


Figura 11: Mapa de suelos

Nota: elaborado a partir de mapas descargados de “Geo GPS Perú”.

Finalmente, el proyecto fue exportado al programa HEC-HMS, en el cual se optó por trabajar con el método SCS tanto para pérdidas como para transformación debido a ser el método más utilizado; con respecto al caudal base, se consideró un valor igual a cero debido a que en época de estiaje el río se encuentra sin presencia de agua y no recarga el acuífero. Cabe mencionar que, al usar la extensión para exportar el modelo de ARC-GIS a HEC-HMS, se estableció de manera automática el método de Muskingun para el tránsito de avenidas.

3.2.2 Análisis hidrológico

El análisis hidrológico se realizó a partir de registros de precipitación máxima en 24 horas de siete (7) estaciones meteorológicas seleccionadas, cuya ubicación y coordenadas se muestran en la Figura 12, elaborada en Google Earth.

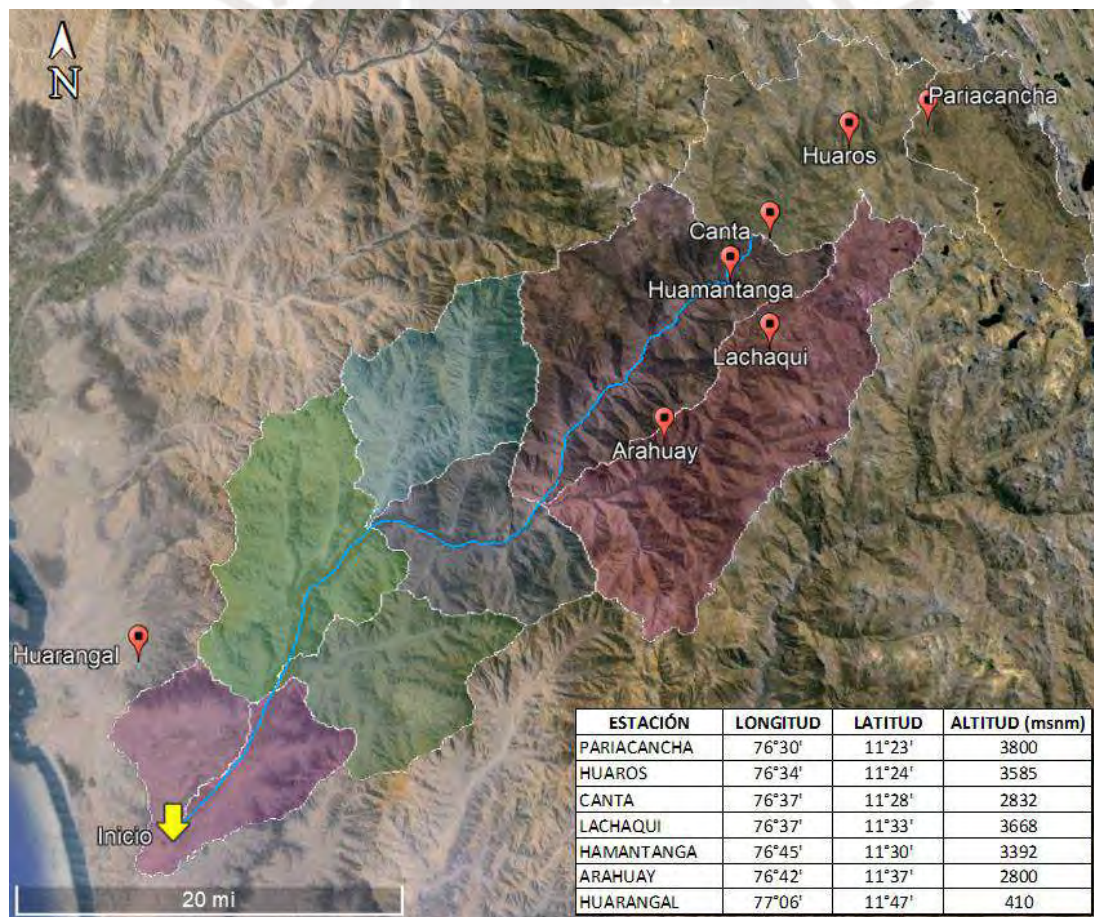


Figura 12: Estaciones meteorológicas en la cuenca del río Chillón

Los registros corresponden al periodo de 1984 a 2013 (30 años), para el cual se utilizó el método de proporción normal para completar los datos faltantes, cuya ecuación se muestra en la Fórmula 1. Esta ecuación despeja la altura de precipitación faltante en cierto registro (h_{pa}) a partir de la altura de precipitación registrada en otras estaciones cercanas (tres como mínimo) para la misma fecha, y a partir del valor multianual de dichas estaciones (P_i) y de la estación que se desea despejar (P_a).

$$h_{pa} = \frac{1}{n} \left[\frac{P_a}{P_b} h_{pb} + \frac{P_a}{P_c} h_{pc} + \frac{P_a}{P_d} h_{pd} \dots + \frac{P_a}{P_n} h_{pn} \right]$$

Fórmula 1: Método de proporción normal

Seguidamente, se realizó el análisis de datos dudosos para descartar valores extremos de cada estación haciendo uso de la Fórmula 2 y la Fórmula 3, las cuales corresponden a las ecuaciones de frecuencia recomendadas por Water Resources Council (1981) para determinar el umbral de datos dudosos altos y bajos, respectivamente. Estas fórmulas consideran que los umbrales de datos dudosos en unidades logarítmicas (y_H y y_L) se pueden determinar a partir de la media de los registros (\bar{y}), la desviación estándar (S_y) y el parámetro K_n que puede ser despejado con la tabla mostrada en la Figura 13.

$$y_H = \bar{y} + K_n S_y$$

Fórmula 2: Ecuación de frecuencia para datos dudosos altos

$$y_L = \bar{y} - K_n S_y$$

Fórmula 3: Ecuación de frecuencia para datos dudosos bajos

TABLA 12.5.3
Valores K_n para la prueba de datos dudosos

Tamaño de muestra n	K_n	Tamaño de muestra n	K_n	Tamaño de muestra n	K_n	Tamaño de muestra n	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		

Fuente: U. S. Water Resources Council, 1981. Esta tabla contiene valores de K_n de un lado con un nivel de significancia del 10% para la distribución normal.

Figura 13: Valores de K_n para la prueba de datos dudosos

Nota: tomado de Water Resources Council, 1981

Mediante el uso del programa Hydrognomon, se realizó la prueba de bondad de ajuste Kolmogorov – Smirnov para determinar la distribución estadística que mejor se ajustaba a los registros máximos de cada estación, y seguidamente, se utilizó dichas distribuciones para calcular las precipitaciones máximas anuales para diferentes periodos de retorno. Cabe mencionar que la Organización Meteorológica Mundial (OMM) recomienda corregir las mediciones de precipitación máxima en 24 horas por un factor que depende del número de mediciones de lluvia realizadas, dichos factores se observan en la Figura 14.

Número de observaciones /día	1	2	3-4	5-8	9-24	> 24
Factor de ajuste	1,13	1,04	1,03	1,02	1,01	1,00

Figura 14: Factor de ajuste de la frecuencia de observación diaria

Nota: tomado de Guía de prácticas hidrológicas, Vol II, OMM, 2011

En este caso, los registros utilizados solo cuentan con una única medición diaria tomada por SENAMHI, motivo por el cual se consideró un factor de ajuste igual a 1,13. Para relacionar la precipitación máxima en 24 horas con tormentas de menor duración, se utilizó el método de Dyck Peschke, cuya ecuación se presenta en la Fórmula 4. Esta ecuación considera que la precipitación total en milímetros (P_d) puede ser calculada en función de la duración total en minutos (d) y de la precipitación máxima en 24 horas (P_{24h}) (MTC,2008).

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

Fórmula 4: Ecuación para la obtención de P_d mediante el método de Dyck Peschke

De esta manera, se generó valores de precipitación para duraciones de 5 a 1440 minutos y se calculó la intensidad con la Fórmula 5, la cual considera que la intensidad es la razón de la precipitación de la tormenta en milímetros (P_d) respecto a la duración de la misma (d) (MTC,2008).

$$I = \frac{P_d}{d}$$

Fórmula 5: Ecuación para el cálculo directo de intensidades

Seguidamente, se utilizó la Fórmula 6 propuesta para el cálculo de las curvas IDF, la cual relaciona las intensidades calculadas (I) con la duración (t), el periodo de retorno de interés (T) y los factores característicos de la zona de estudio k , m y n (MTC,2008).

$$I = \frac{10^k * T^m}{t^n}$$

Fórmula 6: Ecuación de relación para las curvas IDF

Para el cálculo de los factores k, m y n se realizó una regresión lineal en una hoja de cálculo de Excel en función de las intensidades, la duración de la tormenta en minutos y el periodo de retorno de diseño.

El Artículo 9 del Reglamento para la Delimitación y Mantenimiento de Fajas Marginales recomienda, para los estudios técnicos de defensas ribereñas, considerar un periodo de retorno de diseño de 50 años para tramos ubicados por asentamientos agrícolas, y un periodo de retorno de diseño de 100 años en tramos ubicados por áreas urbanas (ANA, 2011).

En el presente caso, el río recorre tanto zonas rurales como urbanas, por lo que se consideró un periodo de retorno (Tr) igual a 100 años.

Finalmente, se utilizó el método de bloques alternos propuesto por Ven T Chow para generar los hietogramas de cada estación, a partir de profundidades acumuladas de precipitación obtenidas al dividir la intensidad máxima entre la duración en horas, y el cálculo de profundidades incrementales, las cuales fueron ordenadas de mayor a menor y distribuidas de manera alternada en una tendencia ascendente y descendente (MTC,2008).

Se elaboró la Figura 15 con el fin de resumir los pasos realizados para la obtención de los hietogramas de cada estación.



Figura 15: pasos para la obtención de los hietogramas

Las curvas IDF obtenidas fueron comparadas con las proporcionadas por SENAMHI en su plataforma virtual, en donde presentan curvas IDF considerando registros históricos y modelos de cambio climático proyectados al año 2050 (SENAMHI, 2023).

Las curvas IDF generadas a partir de registros históricos cuentan con una vasta cantidad de mediciones recopiladas a lo largo de los años, por lo que sus datos resultan más confiables. Por otro lado, los modelos de cambio climático nos brindan información meteorológica futura proyectada a partir del análisis de diferentes parámetros y estudios; en este caso, SENAMHI presentó la proyección de las curvas IDF al año 2050 de tres modelos:

- **ACCESS 1:** desarrollado por la Oficina Australiana de Meteorología (BOM) y el Centro de Investigación Común (CIC) de la Comisión Europea. El modelo se basa en los aspectos del sistema terrestre para la simulación y predicción del clima global, tales

como la atmósfera y emisión de gases, los océanos, la criósfera (hielo y nieve), la vegetación y el ciclo de carbono, a lo largo de los años y a diferentes escalas (Dix, 2013).

- **HadGEM2-ES:** desarrollado por el Met Office Hadley Centre del Reino Unido con el fin de estudiar tanto el clima actual como los posibles escenarios futuros bajo diferentes condiciones climáticas y niveles de emisiones, tales como la atmósfera, los océanos, la criósfera (hielo y nieve), la vegetación y el ciclo del carbono. La inclusión del ciclo del carbono permite estudiar cómo las emisiones y la absorción de carbono por parte de la vegetación y los océanos afectan al clima. Este modelo estudia el impacto y las posibles consecuencias políticas y socioeconómicas del cambio climático global (Jiam,2020).
- **MPI-ESM-MR:** desarrollado por el Instituto Max Planck de Meteorología (MPI-M) en Alemania, el modelo es utilizado para simular y estudiar el sistema climático global, incluyendo la interacción entre la atmósfera, los océanos, la criosfera, la vegetación y el ciclo del carbono; asimismo, incluye una atmósfera completa, modelos de circulación oceánica detallados, modelos de interacción hielo-océano, modelos de dinámica de la tierra y modelos de carbono-biósfera. Los componentes del modelo trabajan en conjunto para simular procesos físicos, químicos y biogeoquímicos que influyen en el clima global. El modelo busca comprender y predecir el comportamiento del clima global con el fin de estimar el impacto (Jung Claus,2013).

Teniendo en cuenta lo anterior, se optó por trabajar con tres escenarios:

- **Escenario 1:** generación de hietogramas a partir de los registros de precipitación máxima en 24h para el periodo de 1984 a 2013.

- **Escenario 2:** generación de hietogramas a partir de las curvas IDF descargadas de la plataforma virtual SENAMHI, correspondientes a los registros históricos.
- **Escenario 3:** generación de hietogramas a partir de las curvas IDF descargadas de la plataforma virtual SENAMHI, correspondientes a la mediana de modelos de cambio climático proyectados al año 2050.

Estos hietogramas fueron introducidos como parámetro de entrada en el componente “Gages” del modelo HEC-HMS, para cada estación meteorológica. Para definir qué subcuencas conectar con cada estación meteorológica, en el programa ARC-GIS, se ubicó previamente las estaciones y se realizó el polígono de Thiessen para relacionar las estaciones con las características de la cuenca; el resultado del modelo propio se observa en la Figura 16.

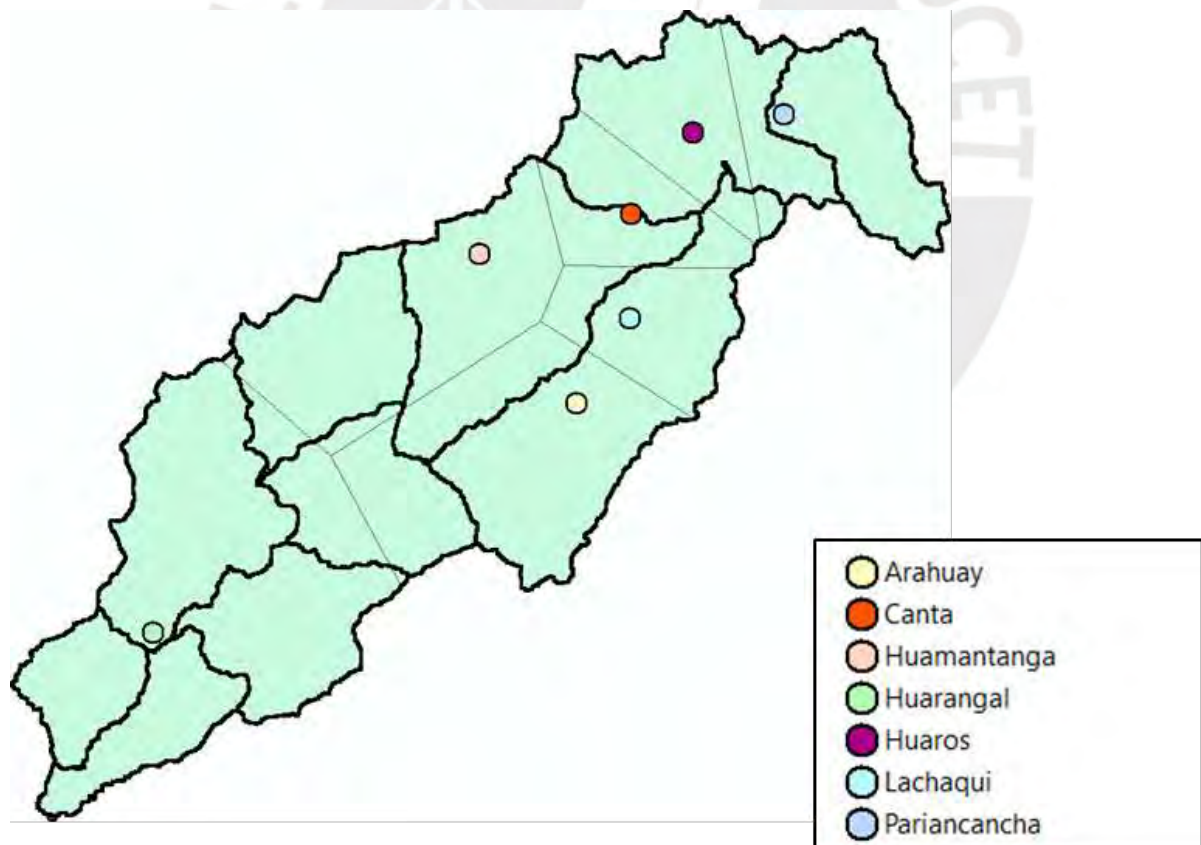


Figura 16: Polígono de Thiessen creado a partir de las estaciones meteorológicas en el programa ARC-GIS

Finalmente, en el componente 'Control Specifications' se estableció los parámetros de control para la corrida del modelo. Ya que los hietogramas tienen una duración de 24 horas, inicialmente se consideró como fecha de inicio el 25 de enero de 2022 a las 00:00 horas y fecha de término el 26 de enero de 2022 a la misma hora, con intervalos de tiempo de 10 minutos. No obstante, el tiempo dado no fue suficiente para que el hidrograma correspondiente a la salida del tramo terminara de desarrollarse; por lo tanto, se optó por considerar como fecha de término el 29 de enero de 2022.

3.2.3 Modelo hidráulico bidimensional

El modelamiento hidráulico 2D fue realizado en el programa HEC-RAS a partir de la delimitación del perímetro del tramo y su faja marginal por medio de mallados y la inclusión del hidrograma final obtenido para la salida del tramo mediante el programa HEC-HMS. El hidrograma en mención corresponde al tramo ubicado por el puente de la carretera Panamericana Norte, el cual presentó un caudal pico de 248 m³/s en el escenario 1, 376,9 m³/s en el escenario 2 y 388,5 m³/s en el escenario 3.

En la interfaz de Ras Mapper, se importó el modelo digital de elevación correspondiente a la cuenca y se añadió una segunda capa georreferenciada extraída de Google Earth con el fin de facilitar la visualización al momento de delimitar el tramo. Asimismo, se importó el archivo shapefile correspondiente a la rugosidad creado anteriormente en el programa ARC-GIS a partir del mapa de cobertura vegetal. En la Tabla 1 se muestra los valores de número de Manning designados.

Tabla 1

Valores de rugosidad designados para el modelamiento

TIPO DE COBERTURA	n
Agricultura costera y andina	0.030
Áreas urbanas	0.030
Área altoandina con escasa y sin vegetación	0.030
Bofedales	0.035
Cardonales	0.025
Desierto costero	0.025
Glaciares	0.050
Lagunas, lagos y cochas	0.050
Lomas	0.025
Matorrales arbustivos	0.030
Pajonales andinos	0.030

En la Figura 17 se muestra el mapa de rugosidad elaborado en el programa ARC-GIS.

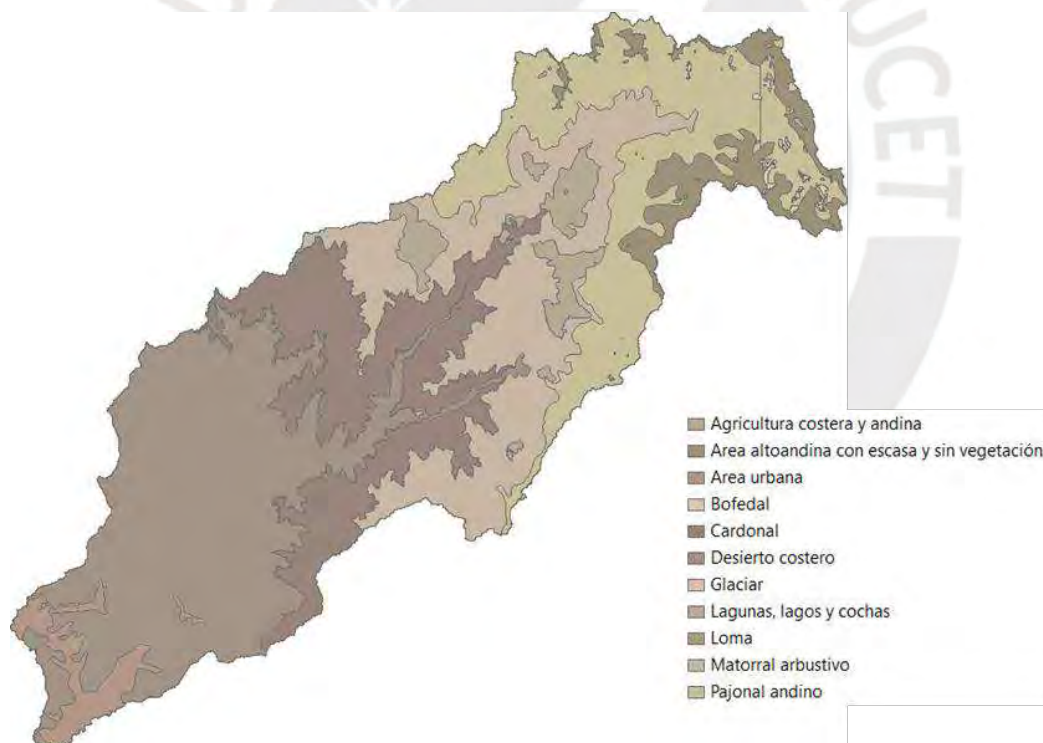


Figura 17: Mapa de rugosidad elaborado en el programa ARC-GIS

Una vez creado el mallado se realizó el refinamiento del mismo a lo largo de la llanura de inundación con el fin de obtener mayor nivel de exactitud en la zona de importancia, para lo cual se optó por un tamaño de malla de 1. A continuación, se acotó las líneas de borde

correspondientes a Aguas arriba y Aguas abajo, y en ‘Unsteady Flow data’, pues se trabajó para un flujo no permanente, se ingresó las siguientes condiciones de borde: flujo de hidrograma correspondiente a la salida del tramo, pendiente aguas arriba, pendiente de fricción aguas abajo.

Finalmente, se creó el plan 2D con las mismas fechas y horarios utilizados en el modelamiento hidrológico; en este caso, se estableció como fecha de inicio el 25 de enero de 2022 a las 00:00 horas y fecha de término el 29 de enero de 2022 a la misma hora, con intervalos de tiempo de 10 minutos. Se trabajó con un intervalo de salida de mapa de 10 minutos mientras que, para el intervalo de computación, se consideró conveniente utilizar el valor de 0,5 segundos con el fin de obtener mayor precisión en el modelamiento debido a la considerable longitud del tramo; cabe mencionar que, trabajar con un intervalo de computación tan pequeño conlleva a mayor tiempo de procesamiento. La Figura 18 resume el diagrama de flujo realizado para el modelamiento hidráulico.



Figura 18: Pasos para el modelamiento hidráulico en el programa HEC-RAS

3.2.4 Análisis de sitio

Se realizó tres visitas de campo al tramo en estudio en las fechas 16/02/2019, 14/11/2021 y el 2/04/2023, las cuales permitieron observar in situ la situación del cauce y la ribera, así como de los ecosistemas que se desenvuelven en la periferia y su interacción con las zonas urbanas

y rurales que atraviesa.

La información recopilada en las visitas fue considerada para el análisis de ingeniería social que se detalla en el Capítulo 5.

4. MEMORIA DE CÁLCULO

4.1 Análisis geomorfológico

En la Figura 19 se muestra la delimitación de la cuenca elaborada en el programa ARC-GIS, y en la Tabla 2 se muestran los parámetros geomorfológicos de cada subcuenca.



Figura 19: Delimitación de la cuenca y subcuencas realizada en el programa ARC-GIS

Tabla 2

Parámetros geomorfológicos de las subcuencas a partir del modelo creado en el programa ARC-GIS

Subcuenca	Área (km²)	Perímetro (km)	Pendiente (%)	CN	Lag time (min)
W640	156,4	85,5	36,6	78	125,82
W700	285,4	129,5	45,6	77	121,39
W720	341,7	129,6	55,6	77	145,4
W860	195,2	96,5	47,5	77	125,5
W920	395,4	162,0	48,9	77	179,1
W990	165,6	79,6	54,1	77	109,2
W1000	251,6	112,4	38,5	77	147,8
W1100	169,5	91,4	43,1	77	113,3
W1140	93,4	60,9	18,5	76	131,0
W1180	109,6	85,1	26,9	76	150,8

Con las herramientas de la extensión HMS, se procesó toda la información en un solo modelo para luego exportarlo de ARC-GIS al programa HEC-HMS. En la Figura 20 se muestra el modelo de la cuenca elaborado en el programa HEC-HMS.

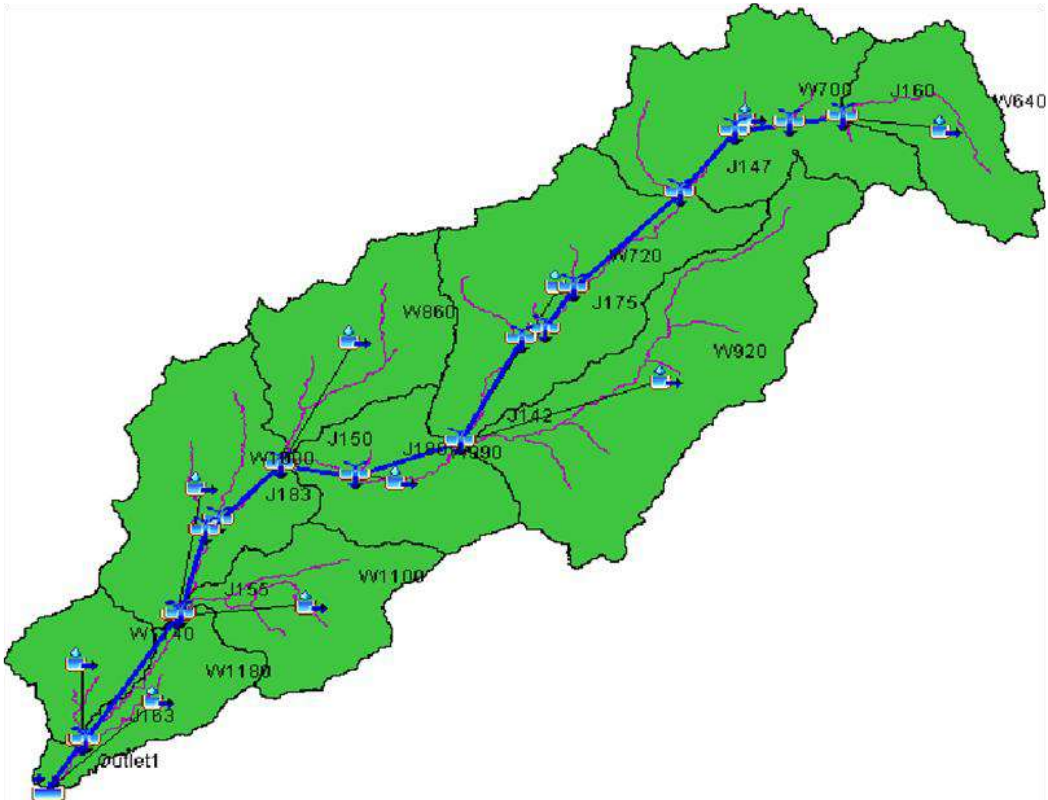


Figura 20: Modelo de la cuenca realizado en el programa HEC-HMS

Adicionalmente, se realizó la conversión de la información de la cuenca a formato TIN con el fin de obtener las curvas de nivel y exportar, posteriormente, la cuenca al programa Civil 3D como se muestra en la figura 21.

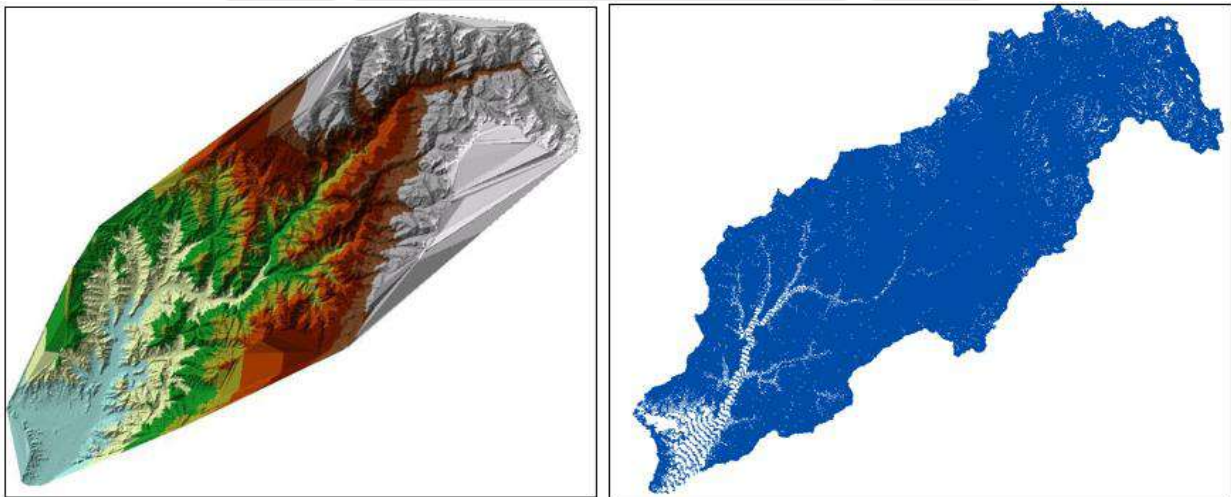


Figura 21: Creación de cuenca en formato TIN, vista de elevaciones y curvas de nivel

4.2 Análisis hidrológico

Las precipitaciones máximas anuales en 24 horas obtenidas para cada estación meteorológica a partir de la información descargada por SENAMHI, luego de completar los registros faltantes, se presentan en la Tabla 3.

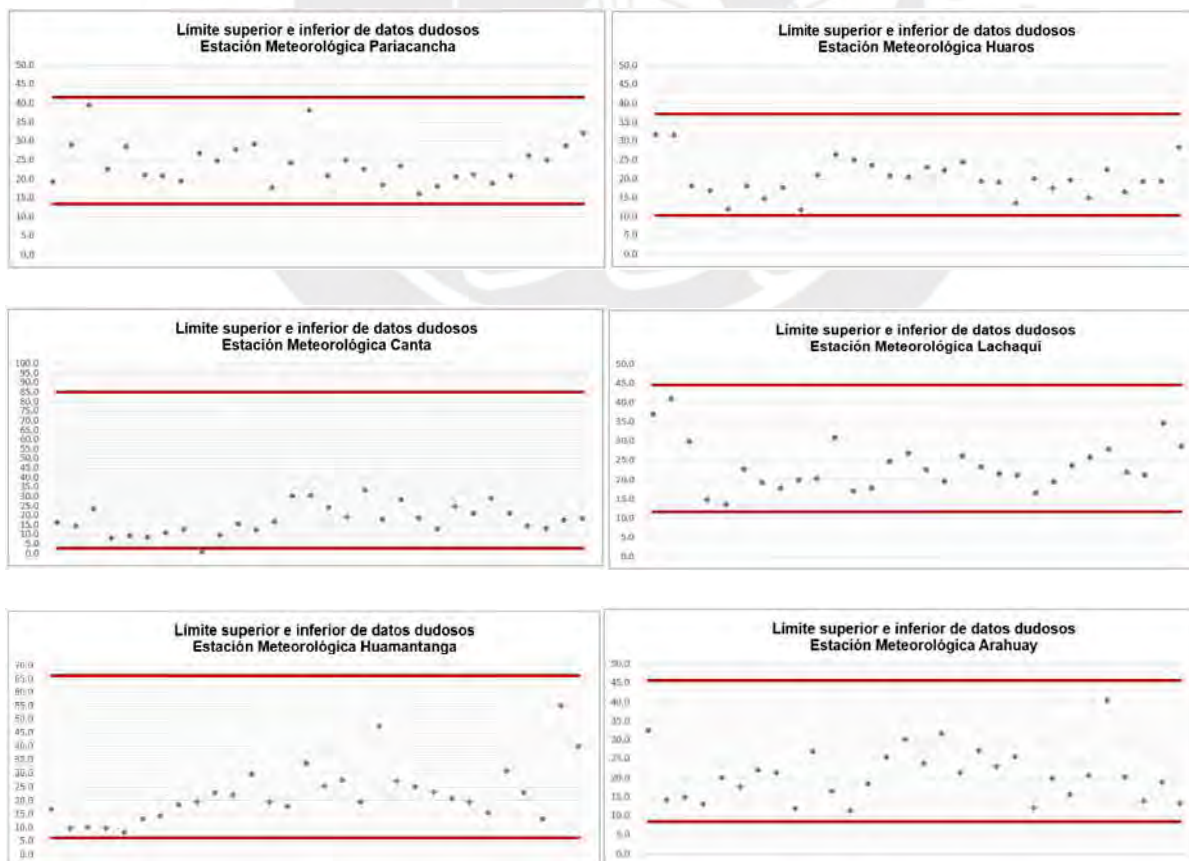
Tabla 3

Registros de precipitación máxima anual en 24 h en el periodo de 1984 al 2013 para cada estación meteorológica

Año	Pariacancha	Huaros	Canta	Lachaqui	Huamantanga	Arahuay	Huarangal
1984	19,2	31,8	16,4	36,9	16,6	32,5	0,01
1985	29,0	31,5	14,3	40,9	9,7	14,0	0,01
1986	39,5	18,0	23,4	29,9	9,9	14,9	0,01
1987	22,7	16,8	8,0	14,8	9,8	13,0	0,01
1988	28,5	12,0	9,0	13,5	8,2	20,0	6,0
1989	21,0	18,1	8,3	22,7	13,0	17,7	26,0
1990	20,9	14,7	10,7	19,2	14,2	22,0	0,34
1991	19,5	17,6	12,8	17,7	18,4	21,4	2,6
1992	26,8	11,7	0,9	20,0	19,4	12,0	8,1
1993	24,8	21,0	9,4	20,3	22,8	27,0	0,8
1994	27,7	26,4	15,5	30,9	22,0	16,5	0,71
1995	29,2	25,0	12,4	17,1	29,6	11,4	0,01
1996	17,7	23,6	16,7	17,7	19,5	18,5	0,01
1997	24,2	20,9	30,0	24,8	17,8	25,4	0,01
1998	38,0	20,5	30,5	26,8	33,6	30,2	0,01
1999	20,9	23,0	24,1	22,6	25,4	23,8	2,8
2000	25,0	22,3	19,2	19,5	27,5	31,7	1,3
2001	22,6	24,4	33,5	26,2	19,4	21,5	2,6
2002	18,4	19,2	18,0	23,3	47,5	27,2	17,3
2003	23,3	19,1	28,2	21,5	27,3	22,9	0,6
2004	16,0	13,5	18,6	21,2	25,1	25,5	0,5
2005	18,1	20,0	12,9	16,5	23,0	12,1	1,0
2006	20,6	17,5	24,7	19,4	20,6	19,8	0,4

Año	Pariacancha	Huaros	Canta	Lachaqui	Huamantanga	Arahuay	Huarangal
2007	21,2	19,6	20,9	23,6	19,5	15,7	2,0
2008	18,9	14,9	28,9	25,7	15,3	20,6	0,32
2009	20,8	22,4	21,2	27,9	30,9	40,5	1,5
2010	26,2	16,4	14,2	21,9	22,9	20,2	0,8
2011	25,0	19,3	13,2	21,2	13,1	13,9	1,1
2012	28,8	19,3	17,5	34,7	55,1	18,8	1,3
2013	32,2	28,4	18,3	28,6	40,0	13,3	0,91
Prom.	24,2	20,30	17,72	23,57	22,57	20,80	2,64
Desv.Est.	5,7	5,03	7,73	6,43	10,83	7,01	5,59
Max.	39,5	31,8	33,5	40,9	55,1	40,5	26,0
Min.	16,0	11,7	0,9	13,5	8,2	11,4	0,0
Nº datos	30	30	30	30	30	30	30

En la Figura 22 se presenta los resultados del análisis de datos dudosos realizado para cada estación. En este caso, no se eliminaron registros.



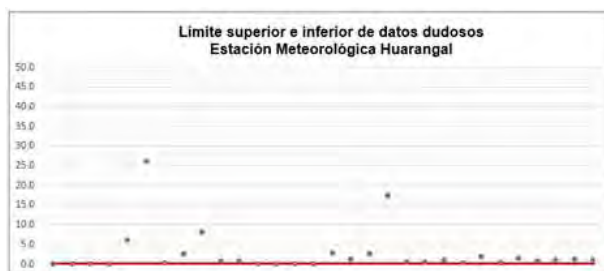


Figura 22: Resultados de los análisis de datos dudosos para cada estación

En la Tabla 4 se presenta la distribución estadística elegida para cada estación a partir de la prueba de bondad de ajuste Kosmogorov – Smirnov realizada en el programa Hydronogmon, así como las precipitaciones máximas determinadas para diferentes periodos de retorno y corregidas por el factor de ajuste de frecuencia de observación diaria.

Tabla 4

Precipitaciones máximas en 24h para diferentes periodos de retorno (mm)

Distribución estadística	Pearson III	Pearson III	Gamma	Pearson III	Gamma	Gamma	Gamma
Tr (años)	Pariacancha	Huaros	Canta	Lachaqui	Huamantanga	Arahuay	Huarangal
2	26	22	19	25	24	23	0
5	32	28	27	32	35	30	4
10	36	30	32	36	42	34	9
25	41	34	38	41	50	39	17
50	44	36	42	45	56	42	24
100	47	38	46	48	62	46	31
200	50	41	50	52	68	49	38
500	54	43	54	56	75	53	49
1000	57	45	58	59	80	56	57

En la Figura 23, Figura 24, Figura 25, Figura 26, Figura 27, Figura 28 y Figura 29 se presenta la comparación entre las curvas IDF obtenidas a partir de los registros de lluvia, con las obtenidas por parte de SENAMHI (registros históricos y modelos de cambio climático proyectados al año 2050), para las estaciones meteorológicas Pariacancha, Huaros, Canta, Lachaqui, Huamantanga, Arahuay y Huarangal, respectivamente.

COMPARACIÓN DE CURVAS IDF ESTACIÓN PARIACANCHA (Tr=100 años)			
Duración (horas)	Registros de Pmax 24h (1984-2013)	Registros históricos SENAMHI	Mediana de escenarios de cambio climático al año 2050
1	21.2	29.5	31.6
2	12.6	17.4	18.6
3	9.3	12.8	13.7
4	7.5	10.3	11.0
5	6.4	8.6	9.3
6	5.5	7.5	8.1
7	4.9	6.7	7.2
8	4.5	6.0	6.5
9	4.1	5.5	5.9
10	3.8	5.1	5.5
11	3.5	4.7	5.1
12	3.3	4.4	4.8
13	3.1	4.2	4.5
14	2.9	3.9	4.2
15	2.8	3.7	4.0
16	2.7	3.6	3.8
17	2.5	3.4	3.7
18	2.4	3.3	3.5
19	2.3	3.1	3.4
20	2.2	3.0	3.2
21	2.2	2.9	3.1
22	2.1	2.8	3.0
23	2.0	2.7	2.9
24	2.0	2.6	2.8

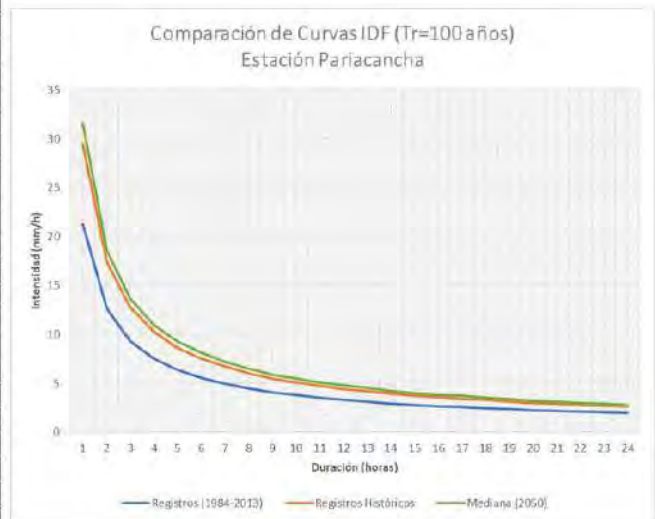


Figura 23: Comparación curvas IDF – Estación Pariacancha

COMPARACIÓN DE CURVAS IDF ESTACIÓN HUAROS (Tr=100 años)			
Duración (horas)	Registros de Pmax 24h (1984-2013)	Registros históricos SENAMHI	Mediana de escenarios de cambio climático al año 2050
1	17.4	26.5	29.2
2	10.3	15.6	17.2
3	7.6	11.5	12.6
4	6.1	9.2	10.1
5	5.2	7.8	8.6
6	4.5	6.8	7.4
7	4.0	6.0	6.6
8	3.6	5.4	6.0
9	3.3	5.0	5.5
10	3.1	4.6	5.0
11	2.9	4.3	4.7
12	2.7	4.0	4.4
13	2.5	3.8	4.1
14	2.4	3.5	3.9
15	2.3	3.4	3.7
16	2.2	3.2	3.5
17	2.1	3.1	3.4
18	2.0	2.9	3.2
19	1.9	2.8	3.1
20	1.8	2.7	3.0
21	1.8	2.6	2.9
22	1.7	2.5	2.8
23	1.7	2.4	2.7
24	1.6	2.4	2.6

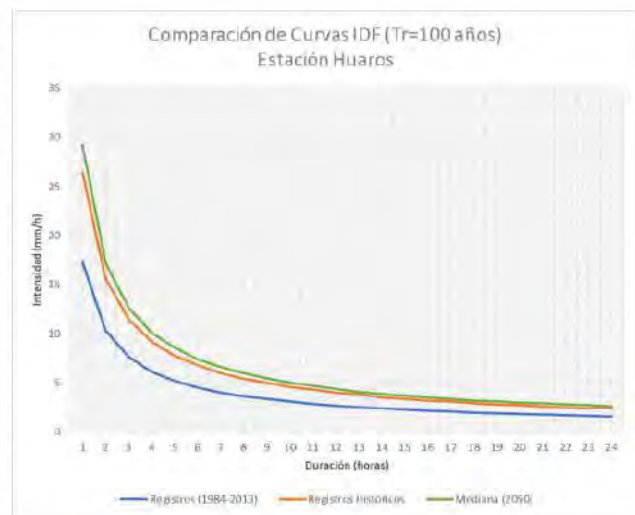


Figura 24: Comparación curvas IDF – Estación Huaros

COMPARACIÓN DE CURVAS IDF ESTACIÓN CANTA (Tr=100 años)			
Duración (horas)	Registros de Pmax 24h (1984-2013)	Registros históricos SENAMHI	Mediana de escenarios de cambio climático al año 2050
1	20.7	28.0	30.1
2	12.3	16.5	17.8
3	9.1	12.1	13.1
4	7.3	9.7	10.5
5	6.2	8.2	8.8
6	5.4	7.1	7.7
7	4.8	6.4	6.8
8	4.3	5.7	6.2
9	4.0	5.2	5.7
10	3.7	4.8	5.2
11	3.4	4.5	4.9
12	3.2	4.2	4.5
13	3.0	4.0	4.3
14	2.9	3.7	4.0
15	2.7	3.6	3.8
16	2.6	3.4	3.6
17	2.5	3.2	3.5
18	2.4	3.1	3.3
19	2.3	3.0	3.2
20	2.2	2.9	3.1
21	2.1	2.8	3.0
22	2.0	2.7	2.9
23	2.0	2.6	2.8
24	1.9	2.5	2.7

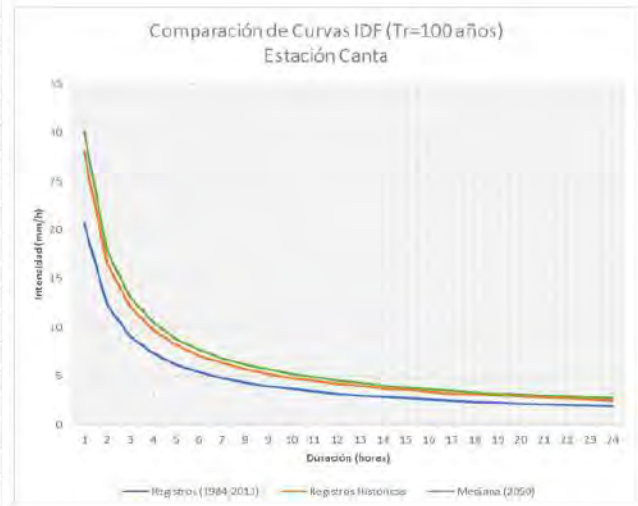


Figura 25: Comparación curvas IDF – Estación Canta

COMPARACIÓN DE CURVAS IDF ESTACIÓN LACHAQUI (Tr=100 años)			
Duración (horas)	Registros de Pmax 24h (1984-2013)	Registros históricos SENAMHI	Mediana de escenarios de cambio climático al año 2050
1	21.8	27.9	27.9
2	13.0	16.4	16.4
3	9.6	12.1	12.1
4	7.7	9.7	9.7
5	6.5	8.2	8.2
6	5.7	7.1	7.1
7	5.1	6.3	6.3
8	4.6	5.7	5.7
9	4.2	5.2	5.2
10	3.9	4.8	4.8
11	3.6	4.5	4.5
12	3.4	4.2	4.2
13	3.2	3.9	3.9
14	3.0	3.7	3.7
15	2.9	3.5	3.5
16	2.7	3.4	3.4
17	2.6	3.2	3.2
18	2.5	3.1	3.1
19	2.4	3.0	3.0
20	2.3	2.8	2.8
21	2.2	2.7	2.7
22	2.2	2.6	2.6
23	2.1	2.6	2.6
24	2.0	2.5	2.5

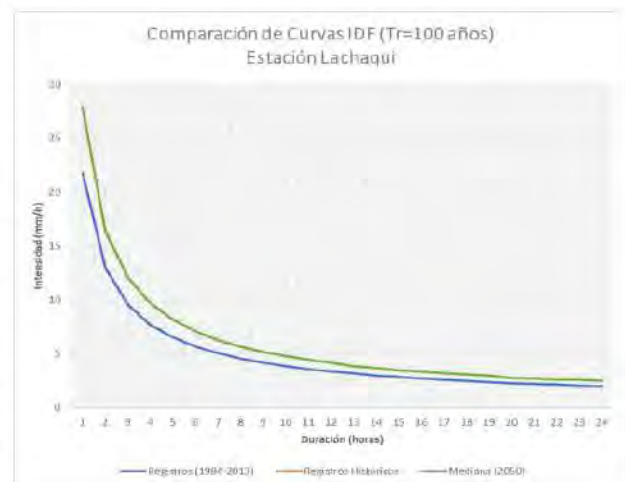


Figura 26: Comparación curvas IDF – Estación Lachaqui

COMPARACIÓN DE CURVAS IDF ESTACIÓN HUAMANTANGA (Tr=100 años)			
Duración (horas)	Registros de Pmax 24h (1984-2013)	Registros históricos SENAMHI	Mediana de escenarios de cambio climático al año 2050
1	28.1	29.4	29.4
2	16.7	17.3	17.3
3	12.3	12.7	12.7
4	9.9	10.2	10.2
5	8.4	8.6	8.6
6	7.3	7.5	7.5
7	6.5	6.7	6.7
8	5.9	6.0	6.0
9	5.4	5.5	5.5
10	5.0	5.1	5.1
11	4.7	4.7	4.7
12	4.4	4.4	4.4
13	4.1	4.2	4.2
14	3.9	3.9	3.9
15	3.7	3.7	3.7
16	3.5	3.6	3.6
17	3.4	3.4	3.4
18	3.2	3.3	3.3
19	3.1	3.1	3.1
20	3.0	3.0	3.0
21	2.9	2.9	2.9
22	2.8	2.8	2.8
23	2.7	2.7	2.7
24	2.6	2.6	2.6

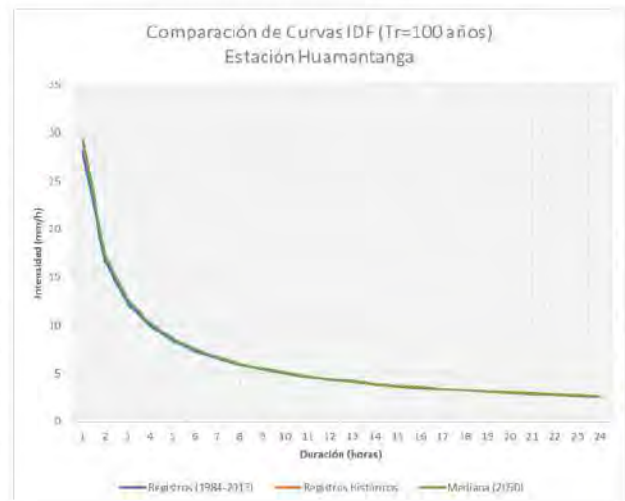


Figura 27: Comparación curvas IDF – Estación Huamantanga

COMPARACIÓN DE CURVAS IDF ESTACIÓN ARAHUAY (Tr=100 años)			
Duración (horas)	Registros de Pmax 24h (1984-2013)	Registros históricos SENAMHI	Mediana de escenarios de cambio climático al año 2050
1	20.7	26.7	26.7
2	12.3	15.7	15.7
3	9.1	11.6	11.6
4	7.3	9.3	9.3
5	6.2	7.8	7.8
6	5.4	6.8	6.8
7	4.8	6.1	6.1
8	4.3	5.5	5.5
9	4.0	5.0	5.0
10	3.7	4.6	4.6
11	3.4	4.3	4.3
12	3.2	4.0	4.0
13	3.0	3.8	3.8
14	2.9	3.6	3.6
15	2.7	3.4	3.4
16	2.6	3.2	3.2
17	2.5	3.1	3.1
18	2.4	3.0	3.0
19	2.3	2.8	2.8
20	2.2	2.7	2.7
21	2.1	2.6	2.6
22	2.0	2.5	2.5
23	2.0	2.4	2.5
24	1.9	2.4	2.4

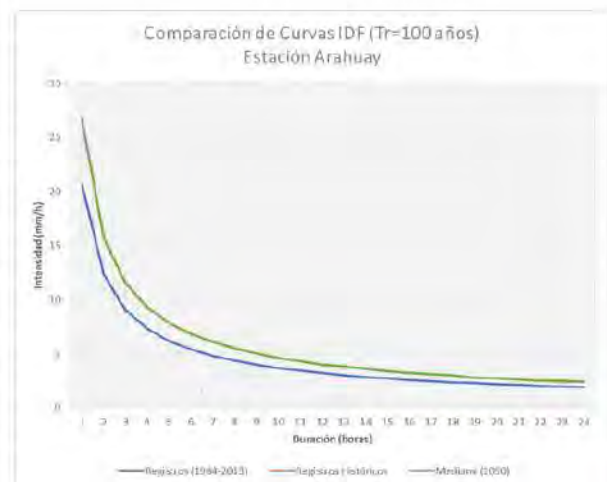


Figura 28: Comparación curvas IDF – Estación Arahua

COMPARACIÓN DE CURVAS IDF ESTACIÓN HUARANGAL (Tr=100 años)			
Duración (horas)	Registros de Pmax 24h (1984-2013)	Registros históricos SENAMHI	Mediana de escenarios de cambio climático al año 2050
1	14.0	15.2	15.2
2	8.3	9.8	9.8
3	6.1	7.6	7.6
4	4.9	6.4	6.4
5	4.2	5.6	5.6
6	3.6	5.0	5.0
7	3.2	4.5	4.5
8	2.9	4.1	4.1
9	2.7	3.9	3.9
10	2.5	3.6	3.6
11	2.3	3.4	3.4
12	2.2	3.2	3.2
13	2.0	3.1	3.1
14	1.9	2.9	2.9
15	1.8	2.8	2.8
16	1.7	2.7	2.7
17	1.7	2.6	2.6
18	1.6	2.5	2.5
19	1.5	2.4	2.4
20	1.5	2.3	2.3
21	1.4	2.3	2.3
22	1.4	2.2	2.2
23	1.3	2.1	2.1
24	1.3	2.1	2.1

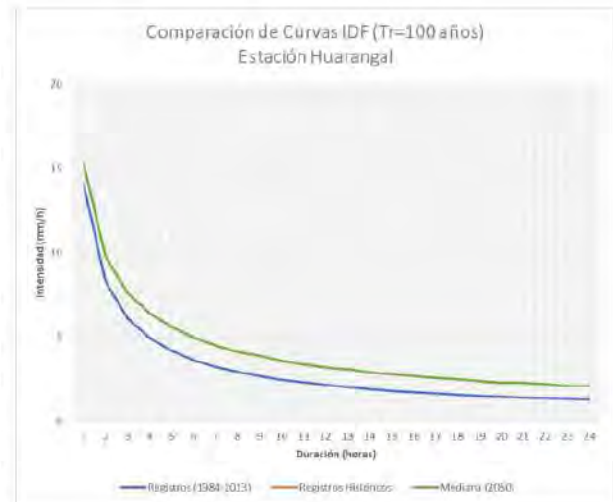


Figura 29: Comparación curvas IDF – Estación Huarangal

Finalmente, en la Figura 30 se presentan los hietogramas generados para los tres escenarios de cada estación.

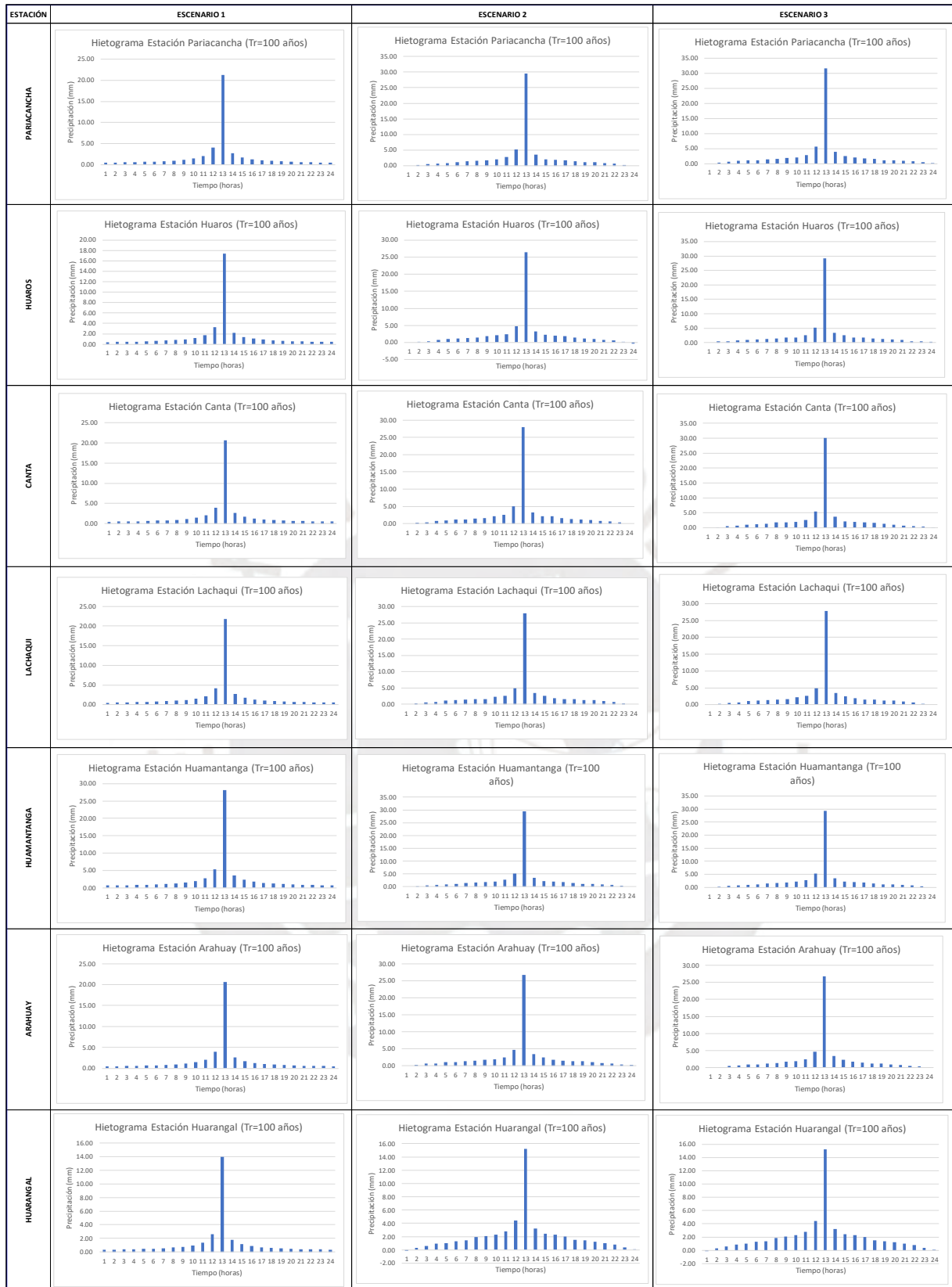


Figura 30: Generación de hietogramas para los tres escenarios de cada estación

En la Figura 31, Figura 32 y Figura 33 se presentan los hidrogramas de salida obtenidos para los escenarios 1, 2 y 3, en dicho orden, cuyos caudales máximos extraordinarios para un Tr de 100 años fueron de 248 m³/s, 376,9 m³/s y 388,5 m³/s, respectivamente.

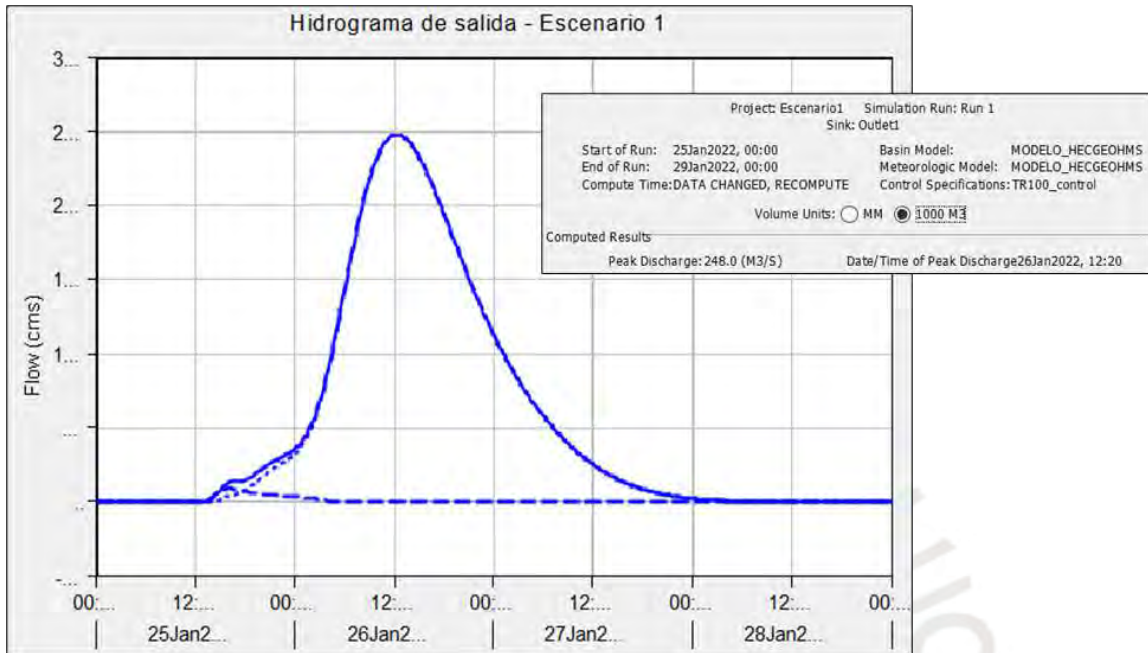


Figura 31: Hidrograma obtenido para la salida “Outlet 1” (Escenario 1)

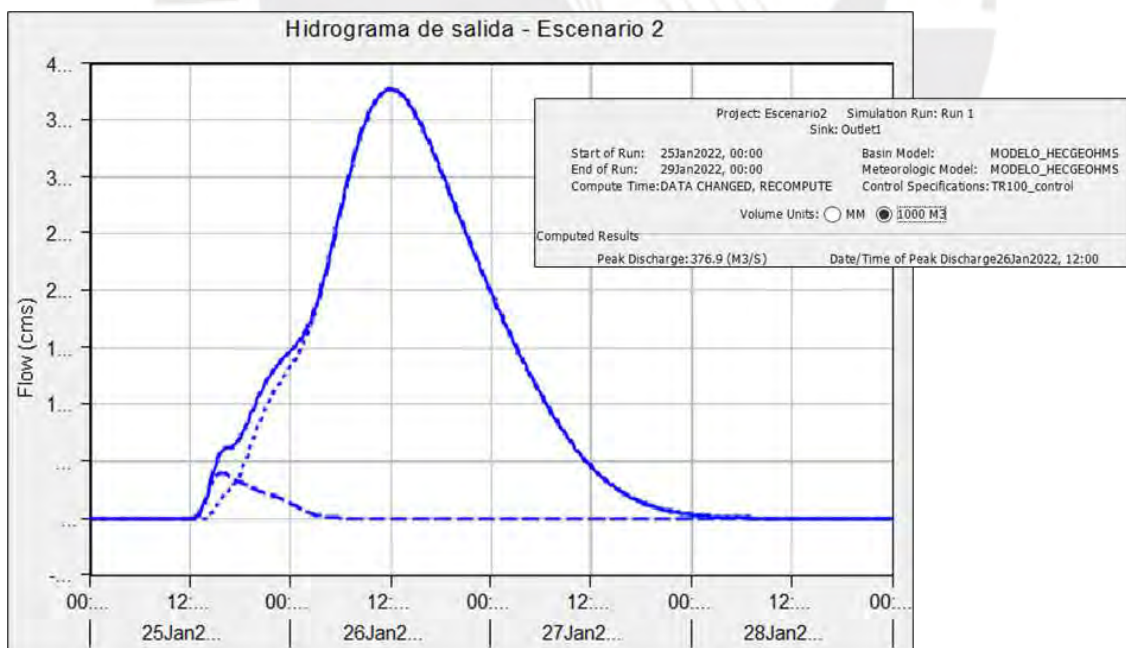


Figura 32: Hidrograma obtenido para la salida “Outlet 1” (Escenario 2)

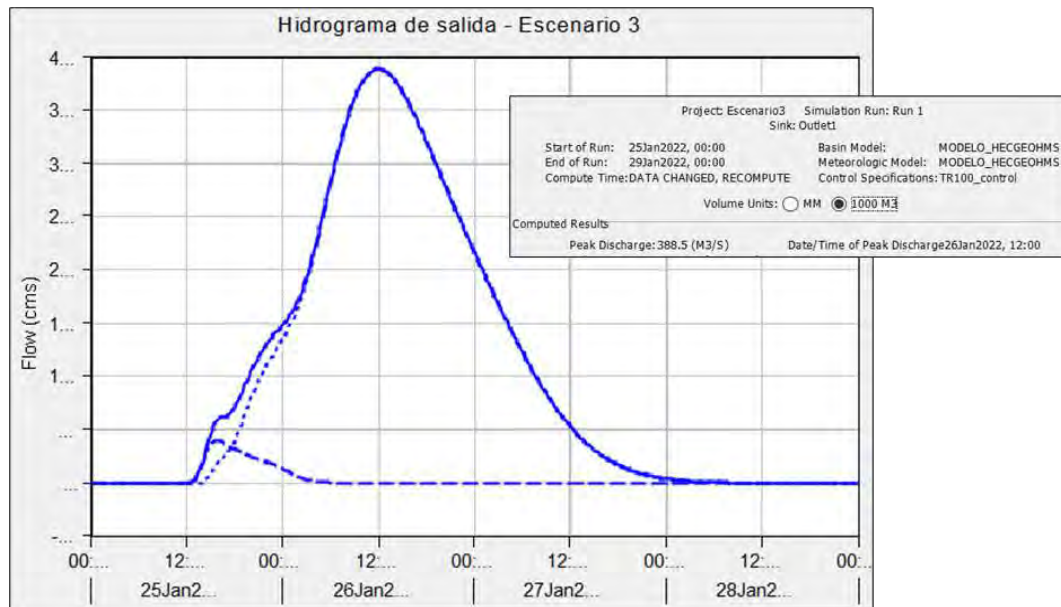


Figura 33: Hidrograma obtenido para la salida “Outlet 1” (Escenario 3)

4.3 Modelo hidráulico bidimensional

En la Figura 34 se muestra la huella de inundación obtenida para los escenarios 1, 2 y 3 (de izquierda a derecha), desde el centro poblado de Yangas hacia aguas abajo. Las zonas con tonalidades celestes indican tirantes cercanos a cero, mientras que las tonalidades oscuras indican mayor profundidad de inundación. Para este tramo, se muestra una marcada huella de inundación, sobre todo para el escenario 3 (proyección al 2050 a partir de modelos climáticos).



Figura 34: Huella de inundación para los tres escenarios (Centro poblado de Yangas – aguas abajo)

Por otro lado, en la Figura 35 se presenta la huella de inundación para el tramo comprendido desde el centro poblado de Yangas hasta la provincia de Canta (aguas arriba). Se observa que el flujo mantiene la sección del cauce y se desenvuelve al pie de las cadenas montañosas, con

tonalidades tanto oscuras como celestes que indican que no se produce una marcada huella de inundación como para el tramo aguas abajo.

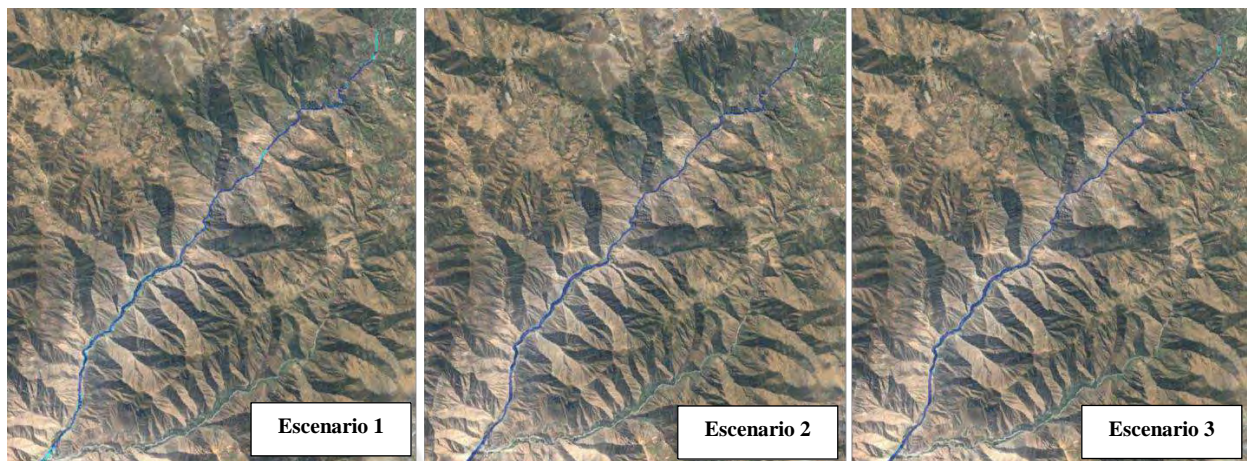


Figura 35: Huella de inundación para los tres escenarios (Centro poblado de Yangas – aguas arriba)

En la Figura 36 se observa la huella de inundación discretizada para la zona del centro poblado de Yangas, para las tres condiciones.

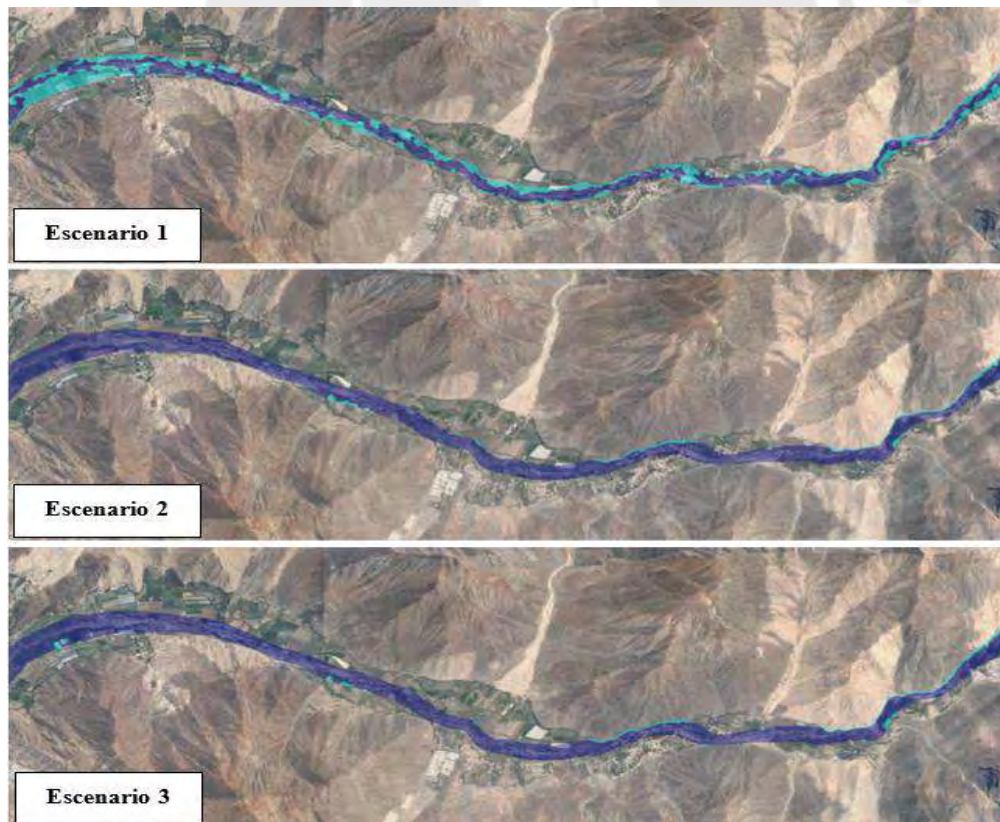


Figura 36: Huella de inundación discretizada para el centro poblado de Yangas, escenarios 1, 2 y 3.

4.4 Identificación de zonas críticas

A partir de los análisis geomorfológico e hidrológico, del modelamiento hidráulico bidimensional y de lo observado durante las visitas al tramo en estudio, se identificó zonas críticas bajo los siguientes criterios:

Inundaciones

Del modelamiento hidráulico bidimensional se observó que el tramo en estudio se inunda de menor a mayor profundidad desde el poblado de Yangas hasta el inicio del tramo en el puente de la carretera Panamericana Norte. Aguas arriba de Yangas, el flujo sigue el cauce del río Chillón debido a su topografía marcada por cadenas montañosas. En la Figura 37 se observa que el caudal para el periodo de retorno de diseño ($T_r=100$ años) inundaría los distritos ubicados aguas abajo del tramo, por lo que se denominó como “zona crítica por inundación” al tramo comprendido desde el poblado de Yangas hasta el puente de la carretera Panamericana Norte.



Figura 37: Huella de inundación en el sector inferior del tramo en estudio

El mapa elaborado de zonas críticas por inundación se presenta en el Anexo A-02.

Este mapa fue comparado con la cartografía de peligros publicada por CENEPRED y SIGRID, la cual fue actualizada por última vez en el año 2019 y se presenta en el Anexo B-02.

En ambos casos, se consideró como zonas críticas por inundación a las áreas comprendidas desde el centro poblado de Yangas hacia aguas abajo.

Deslizamientos

A partir de las visitas de campo realizadas, el análisis geomorfológico, la inspección visual del tramo en estudio desde imágenes satelitales, y el mapa de las zonas críticas por peligros geológicos identificadas por el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET), se identificó que las zonas con potencial riesgo por deslizamiento se encuentran desde el inicio del tramo, en el poblado de Canta, hasta Cocayalta. Esto es debido a que el cauce en este tramo atraviesa por las faldas de distintas quebradas y por cadenas montañosas con taludes pronunciados. Es por ello, que se han identificado puntos donde se pueden encontrar los siguientes peligros:

- Inundaciones fluviales: son aumentos bruscos del nivel de agua debido al exceso de lluvias, resultando en el desborde del cauce al sobrepasar su capacidad.
- Erosión fluvial: es el desgaste o modificación de la superficie del relieve del cauce debido al rápido movimiento del flujo de agua.
- Huaicos: son flujos de agua y material de diverso tamaño, estos son producidos por lluvias intensas que descienden rápidamente por las quebradas llegando al río.
- Derrumbes: son fenómenos naturales donde la tierra se cae, mueve o desplaza por que ha perdido la estabilidad en lugares montañosos y por el efecto de gravedad se desplaza rocas, suelo y materiales orgánicos.
- Erosión de laderas: es la afectación de las caras libres de las laderas debido a la presencia de flujos de agua, esto suele causar el desprendimiento de masas de suelo.

En la Tabla 5 se detallan los posibles peligros observados para cada zona crítica identificada por deslizamientos.

Tabla 5

Identificación de los peligros para las zonas críticas por deslizamiento

Zona	Ubicación	Peligros identificados
1	Quebrada Socos – Huamantanga – Canta	Caídas de rocas y huaicos
2	Santa Rosa de Quives – Canta	Inundación fluvial, erosión fluvial y huaicos
3	Santa Rosa de Quives – Canta	Inundación y erosión fluvial
4	Santa Rosa de Quives – Canta	Huaicos y erosión fluvial
5	Yangas – Santa Rosa de Quives – Canta	Huaicos
6	Santa Rosa de Quives – Canta	Derrumbes, huaicos y caídas de rocas
7	Santa Rosa de Quives – Canta	Derrumbes, huaicos e inundación fluvial
8	Santa Rosa de Quives – Canta	Caída de rocas y erosión de laderas
9	Humantanga – Canta	Huaicos, derrumbes y erosión de laderas
10	San Buenaventura – Canta	Deslizamiento, derrumbes y erosión de laderas

Las zonas de peligros se pueden clasificar en dos grupos: zonas en las que se observa población ubicada en el cauce de las quebradas, lo cual representa mayor peligro, y zonas en las que no se tiene población cercana.

En la figura 38 se muestran dos zonas críticas correspondientes al primer grupo, donde existe tanto población como áreas agrícolas; ante un deslizamiento, el material llegaría primero a la zona poblada y luego al río, por lo que, en consecuencia, no solo arrastraría rocas, tierra y/o vegetación, sino también restos de estructuras creadas por el ser humano.



Figura 38: Ubicación de las zonas críticas por deslizamiento 2 y 3

Por otro lado, en la Figura 39 se muestran dos zonas críticas pertenecientes al segundo grupo donde, ante un evento de deslizamiento, el material sería descargado al río sin afectar ninguna población aledaña.



Figura 39: Ubicación de las zonas críticas por deslizamiento 9 y 10

Cabe mencionar que INGEMMET, instituto que viene realizando estudios para identificar las zonas de peligro, recomienda que no se permita el asentamiento de población en las zonas del cauce de las quebradas; no obstante, es una situación que hasta hoy en día se viene presentando.

En el Anexo A-03 se muestra el mapa elaborado de zonas críticas por deslizamiento. En el Anexo B-03 se presenta el mapa de peligros geológicos realizado por INGEMMET (2010).

Contaminación ambiental

Durante las visitas de campo realizadas se observó la existencia de residuos sólidos en el cauce y ribera del río, los cuales eran desechados principalmente por las poblaciones aledañas. También se pudo observar directamente la acción de descarga de residuos provenientes de camiones que abandonaban el lugar con rapidez, por lo que se pone en duda la regulación que pueda haber por parte de las autoridades de la zona ante dichas acciones. La basura es un contaminante directo que afecta tanto a la calidad del agua como a las especies vivas que habitan en el ecosistema; esto cobra mayor importancia al recalcar que el río Chillón es la principal fuente de agua para los distritos del cono norte como Comas, Carabaylo y Los Olivos. Asimismo, los residuos sólidos obstaculizan el flujo natural del agua y debilitan los taludes del cauce al propiciar la erosión.

De manera general, y al observar que la contaminación perduró durante las tres visitas realizadas en diferentes años, se designó como zonas críticas por contaminación a todos los tramos ubicados en zonas urbanas, principalmente en el sector inferior del tramo.

Estructuras en el cauce

Si bien se debe considerar la fecha de construcción y las exigencias de cada época para las estructuras encontradas a lo largo del río como los puentes, es importante señalar en esta tesis si dichas estructuras presentan un diseño acorde a las exigencias para el caudal máximo

extraordinario de diseño y las dimensiones que se presentarán en las propuestas del Capítulo 7. A partir de lo observado en imágenes satelitales y las mediciones realizadas a las estructuras en las visitas de campo, en el Anexo A-04 se presentan los puentes identificados como zonas críticas debido a su diseño.

Pese a no denominarse como zonas críticas dentro de esta tesis de investigación, se destaca la presencia de tramos de vía pavimentada, correspondientes a la carretera principalmente, que circulan cerca al cauce del río Chillón o son vulnerables a deslizamientos, tal como se muestra en la Figura 40. Ante algún evento de avenida extraordinaria, la vía podría estar dentro de la huella de inundación.



Figura 40: Identificación de tramos vulnerables a posibles riesgos en la ruta de Canta a San José

Nota: tomado desde “Google Earth”

5. ANÁLISIS DE INGENIERÍA SOCIAL

La situación actual de riesgo que se presenta en los márgenes del río Chillón es producto de un conjunto de peligros y factores sociales que generan vulnerabilidad en la población aledaña. Con el fin de proponer una restauración acorde a la problemática, es necesario identificar los distintos agentes que intervienen.

5.1 Peligros naturales

Inundaciones (PI)

El río Chillón recorre los distritos del cono norte de la capital y es uno de los principales afluentes. Al desarrollar su cauce en zonas urbanas, requiere del cuidado y tratamiento de las riberas y la correcta delimitación de su faja marginal con el fin de evitar desastres ante eventos extraordinarios, ya que su caudal varía significativamente en épocas de avenida respecto a las épocas secas.

Según la información hidrológica otorgada por SENAMHI, el río Chillón transportó un flujo de 10.84 m³/s el día 12 de abril del 2018, correspondiente a un caudal regular, mientras que el 12 de marzo del mismo año registró un caudal de 51,04 m³/s; por otro lado, el 21 de febrero del año 2023, el SENAMHI registró un caudal pico de 50,96 m³/s en la estación del puente Magdalena, mientras que en los años 1964 y 1971 registró un caudal histórico de 180 m³/s en la estación Puente Magdalena (SENAMHI, 2023).

Como se observa, el caudal tiende a variar en gran proporción respecto al caudal promedio, sobre todo en épocas de lluvia, motivo por el cual la población no es consciente de los peligros a los que se encuentran expuestos, descuidando las debidas precauciones.

A través del modelamiento hidráulico bidimensional realizado para el tramo en estudio y explicado en el Capítulo 4.3, considerando las características del río y las precipitaciones registradas en los últimos 30 años, se identificó que sí ocurrirían desbordamientos en el tramo comprendido desde Yangas hasta puente de la carretera Panamericana Norte.

Deslizamientos (PD)

Para el tramo en estudio, este peligro se desarrolla predominantemente aguas arriba desde el poblado de Cocayalta, en zonas de quebradas o puntos con potencial de deslizamiento debido

a taludes pronunciados y acumulación de detritos en la superficie, los cuales pueden fácilmente ceder ante eventos fluviales.

Según información recopilada para (PLANMET 2040,2022), las planicies presentan baja susceptibilidad ante movimientos en masa, mientras que, en las laderas inestables de los ríos y en las cercanías a quebradas, el peligro es alto. Por ejemplo, el distrito de Carabayllo registra una superficie con nivel de riesgo alto. En el Capítulo 3.6 se ha identificado las zonas de riesgo ante deslizamientos.

Olas de calor (PC)

La temperatura en la capital incrementa durante las épocas en las que se desarrolla el fenómeno del niño, así como también debido a los efectos del cambio climático con el paso de los años. Las olas de calor están caracterizadas por presentar temperaturas por encima de los 30° C durante el día y noches extremadamente cálidas, esta situación puede presentarse gradualmente debido al cambio climático y durante eventos extraordinarios.

Según información publicada por el SENAMHI, durante el fenómeno de El Niño del año 2017, se registraron temperaturas por encima de los 30°C, con un pico de 32°C (SENAMHI, 2017).

Asimismo, según información obtenida por la empresa (IDOM, 2020, como se citó en PLANMET 2040, 2022) se ha registrado riesgo alto en las zonas adyacentes al río Chillón debido principalmente al nivel socioeconómico de la población y la inaccesibilidad a las zonas verdes.

Peligros biológicos (PB)

El impacto que tenga una pandemia o enfermedad de origen biológico en un determinado sector de la población, como es en este caso Lima Norte, influye directamente en la vulnerabilidad del sector en estudio.

Como primer punto, se destaca la última gran pandemia que generó grandes pérdidas humanas a nivel global: el COVID-19. En la Tabla 6 se muestra los casos confirmados de riesgo “Medio” y “Muy alto” a nivel de Lima Metropolitana.

Tabla 6

Casos confirmados de riesgo “Medio” y “Muy alto” a nivel de Lima Metropolitana

REGIÓN	RIESGO MUY ALTO		RIESGO MEDIO	
	(%)	CASOS	(%)	CASOS
LIMA NORTE	18.0	5273.0	52	9956
LIMA ESTE	18.0	5811.0	52	16854
LIMA CENTRO	15.0	1588.0	48	5297
LIMA SUR	18.0	3510.0	48	9707

Nota: Tomado de PLANMET 2040, 2022

Como se observa, existe mayor concentración de casos por COVID-19 en Lima Norte y Lima Este. Es importante mencionar que, según las medidas preventivas brindadas por el Organismo Mundial de la Salud durante la pandemia, se recomendó el aislamiento y el distanciamiento social con el fin de restringir la interacción entre las personas y evitar contacto directo entre ellas debido a que, durante sus inicios, era difícil determinar con anticipación el contagio. En zonas como Lima Norte, en donde existe una mayor concentración de población debido a diversos factores como la informalidad, déficit habitacional, crecimiento poblacional, nivel socioeconómico e inaccesibilidad, las cuales repercuten en una mayor exposición de la población y complicaciones para acatar las recomendaciones debidas. Asimismo, según se menciona en la guía para el análisis y la cuantificación del SARS-COV-2, se ha registrado casos de contagio debido al contacto indirecto con heces de personas contagiadas; si bien esto ha sido registrado en mucho menor escala y la verificación requiere de un estudio más detallado en zonas puntuales donde la situación sea propicia para realizar la investigación, no se ha descartado la posibilidad de contagio por medio de heces o residuos depositados en aguas de uso común, como es el río en este caso (OPS, 2021).

Se hace mención, a su vez, que esto solo podría efectuarse en lugares donde la población tenga acceso directo a las aguas del río, tanto para su contaminación como aprovechamiento, lo cual es parte de nuestra realidad actual en las zonas contiguas a invasiones. En este contexto, es necesario proveer de redes sanitarias de agua y desagüe a las áreas urbanizadas de la periferia a fin de evitar el contacto directo con las aguas del cauce, así como considerar mejores tecnologías de captación y/o tratamiento de las aguas.

Por otro lado, en América Latina se ha reportado un incremento en los casos de contagio por dengue durante los últimos años. En la ciudad de Lima, se reportaron 362 casos de dengue en el 2020, de los cuales el 71,3% se registró en Lima Norte (PLANMET 2040, 2022).

En la Figura 41 se presenta de manera gráfica los casos registrados por dengue en Lima, según información brindada por la OPS

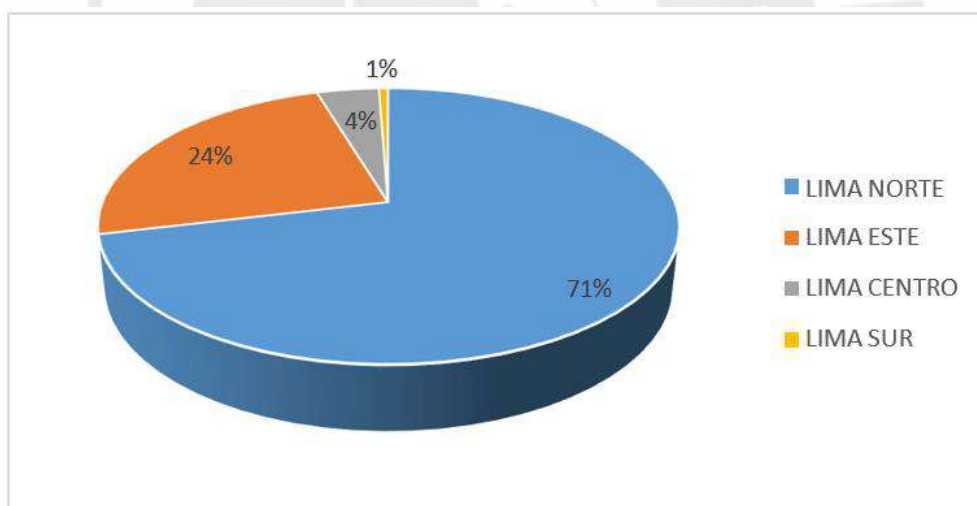


Figura 41: Casos por dengue

Nota: Elaborado a partir de PLANMET 2040, 2022.

El dengue se desarrolla principalmente en zonas en donde exista empozamiento de agua. Si consideramos la cercanía de las poblaciones instaladas en ambos márgenes de la ribera del río por medio de invasiones, el riesgo es muy alto.

5.2 Factores sociales que generan vulnerabilidad

Crecimiento poblacional (FP)

A lo largo de los años, la historia del país ha ido generando las condiciones para que la ciudad de Lima sea considerada como el foco de la centralización, ocasionando que pobladores de otras provincias migren hacia la capital con el fin de buscar mejores oportunidades. Estas migraciones traen como consecuencia el crecimiento significativo de la población y, a su vez, la aparición de la denominada “presión social”.

En la Tabla 7 se presentan los resultados de los censos realizados en los años 2007, 2017 y 2020 según el Compendio Estadístico realizado para la provincia de Lima (INEI, 2022). Considerando las tasas de crecimiento anual promedio obtenidas para los años en mención, se puede estimar la población para los años de interés; en este caso, considerando los diez años de diferencia de la data inicial, se optó por trabajar con los años 2013 y 2023 a fin de realizar una comparación similar.

Tabla 7

Resultados de los censos realizados en los años 2007, 2017 y 2020 en la ciudad de Lima

DISTRITO	POBLACIÓN					TASA DE CRECIMIENTO ANUAL PROMEDIO (%)		
	2007	2013	2017	2020	2023	2007-2017	2017 - 2020	2013 - 2023
Carabayllo	213,386	278,683	333,045	400,414	481,411	4.55	6.33	5.62
Comas	486,977	506,884	520,450	573,884	632,804	0.67	3.31	2.24
Los Olivos	318,140	322,749	325,884	351,983	380,172	0.24	2.60	1.65
Puente Piedra	233,602	287,157	329,675	395,819	475,234	3.50	6.28	5.17
San Martín de Porres	579,561	623,300	654,083	744,050	846,392	1.22	4.39	3.11
TOTAL	1,831,666	2,018,772	2,163,137	2,466,150	2,816,012			

Nota: elaborado a partir de INEI, 2022

Se observa que la tasa de crecimiento anual promedio obtenida entre los años 2007 y 2017 es menor a la tasa correspondiente a los años 2013 y 2023. Considerando que en ambos casos se estimó las tasas para un rango de 10 años, se evidencia el continuo crecimiento poblacional

para los distritos del cono norte. En la siguiente imagen se puede apreciar el crecimiento poblacional presentado en los distritos del cono norte durante los últimos 10 años, dando una diferencia total de 797 240 habitantes a comparación del año 2013. (ver Figura 42).

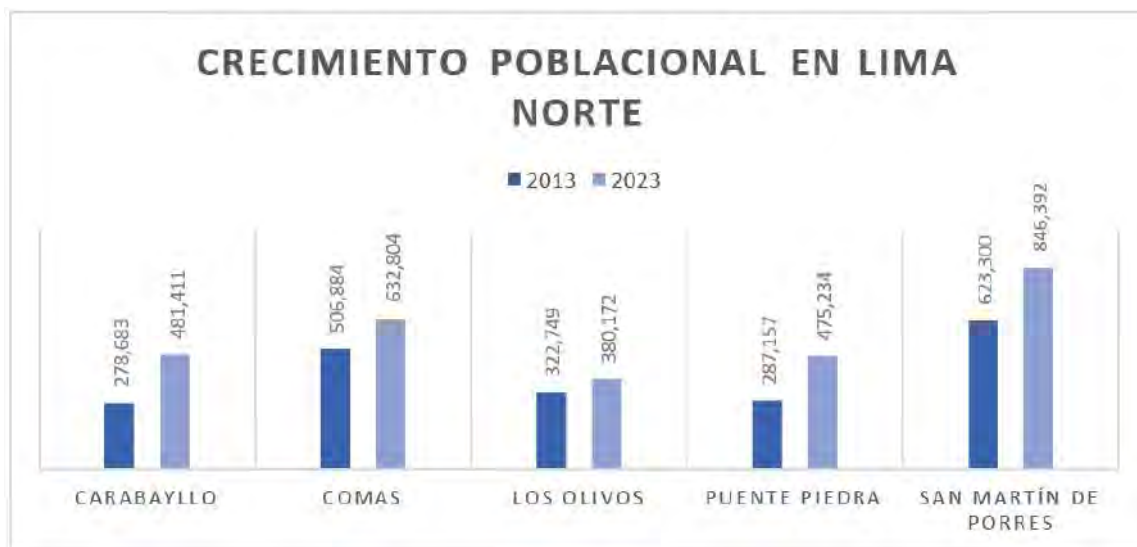


Figura 42: Crecimiento poblacional en la región de Lima Norte

Nota: Elaborado a partir de PLANMET 2040, 2022

Déficit habitacional (FD)

El déficit habitacional es un problema latente tanto para los distritos del cono norte como para las demás regiones de la ciudad de Lima. Pese al incremento poblacional descrito anteriormente, las municipales no han logrado promover la construcción de viviendas sociales y los programas de apoyo para la adquisición de viviendas son insuficientes. Si bien en el año 2020 el programa MIVIVIENDA alcanzó un incremento en el número de bonos a disposición; no obstante, estos no son accesibles para los sectores socioeconómicos medio a bajo, que son los que actualmente se encuentran en crisis. Asimismo, el programa Techo Propio no alcanza a cubrir la demanda necesaria para combatir el déficit habitacional.

En la Tabla 8 se elaboró el cuadro comparativo Oferta vs Déficit de vivienda para la región de Lima Norte en base a la información brindada por INEI (2020, como se mencionó en PLANMET 2040, 2022).

Tabla 8

Cuadro comparativo de oferta vs déficit de vivienda para la región de Lima Norte

Descripción		Oferta de viviendas (FMV, 2020)	Total Déficit habitacional (2020)
Región	Distrito		
Lima Norte	Ancón	0.00	10,513.00
	Carabaylo	1,075.00	38,005.00
	Comas	9,844.00	41,001.00
	Independencia	0.00	15,775.00
	Los Olivos	21.00	18,163.00
	Puente Piedra	144.00	41,901.00
	San Martín de Porres	1,829.00	47,890.00
	Santa Rosa	0.00	5,756.00
Sub Total Lima Norte		12,913.00	219,004.00

Nota: tomado de INEI, 2020

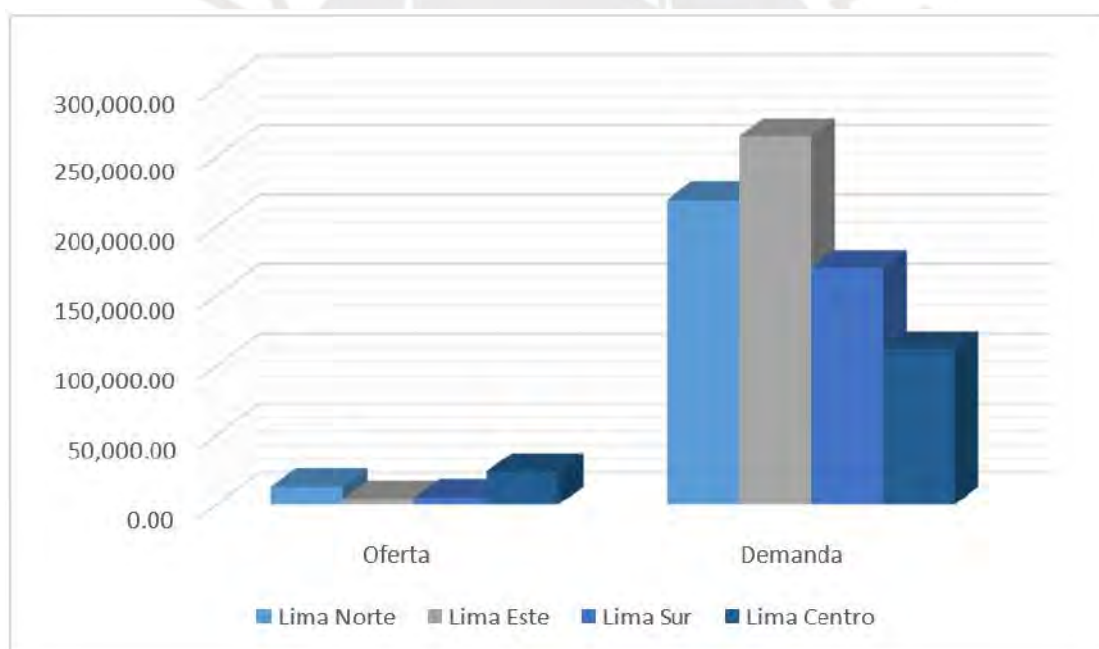


Figura 43: Relación de oferta - demanda de viviendas en las regiones de Lima

Nota: elaborado a partir de INEI, 2020

De la Figura 43 se observa que la oferta total solo constituye el 5,9% de la demanda total para la región, existiendo un mayor déficit en los distritos de San Martín de Porres, Puente Piedra y Comas.

Informalidad (FI)

La informalidad forma parte de la historia del país, ya que parte de la falta de políticas que regulen el mercado del suelo junto a la necesidad de instalación de migrantes hacia la capital, ocasionando el crecimiento poblacional desmedido, aún latente en la actualidad, debido al tráfico de terrenos sin control del Estado. En la figura 44 se aprecia el flujo de cómo apareció la informalidad en el país a lo largo de la historia.



Figura 44: Flujo de aparición de la informalidad en el país

Nota: elaboración propia

Considerando esta ausencia por parte del estado, además de los factores sociales de presión social y déficit habitacional descritos anteriormente; en consecuencia, se obtiene el asentamiento informal por parte de pobladores de menores recursos en los terrenos que encuentren libres de regulación, sin considerar si estos se encuentran en zonas de riesgo.

Según la información publicada por el Instituto Metropolitano de Planificación (PLANMET 2040, 2022), se cuenta con un total de 510 576 viviendas informales ubicadas en áreas de expansión, de las cuales un 27,1% se ubican en la región de Lima Norte. Esta informalidad no solo ha sido adoptada por el tráfico de terrenos, sino que forma parte de la realidad actual del país.

Según los indicadores de informalidad publicados en el año 2020, se ha registrado que, del total de viviendas, trabajos y transportes en la capital, el 80% no respetan las normas técnicas y se denominan informales, mientras que solo el 20% sí las respetan (INEI, 2020).

En la primera visita realizada al tramo en estudio en el año 2019, se observó gran cantidad de invasiones instaladas en la ribera del río Chillón, de las cuales, una extensa cantidad pudo ser desalojada en el año 2021. Si bien en este plazo de 2 años se logró liberar parte del margen correspondiente a la faja marginal, en una tercera visita realizada en el presente año 2023 se observó que nuevos pobladores reincidían en el uso de espacios que se encontraban aparentemente libres en otros sectores para la construcción de viviendas, aún dentro de la faja marginal. Se debe considerar que esta población corresponde al sector socioeconómico denominado como bajo, quienes en su mayoría no cuentan con posibilidad de reubicación. Con aquello presente, no se descarta que las invasiones vuelvan a formarse si las áreas destinadas para la faja marginal se encuentran libres.

Asimismo, el tramo en estudio también presenta población asentada en zonas donde el suelo es usado con fines agrícolas. En algunos de estos casos, se observó viviendas ubicadas en zonas de quebradas o con potencial de deslizamiento, cuya posibilidad de reubicación es aún menor considerando que el lugar representa tanto su vivienda como su zona de trabajo.

Tipo de vivienda (FV)

En la figura 45 se muestra la distribución de zonas APEIM para Lima Metropolitana realizada por la NSE en el año 2020, en la cual se observa que los distritos de la zona 1 (Puente Piedra, Carabayllo y Comas) presentan un mayor porcentaje de viviendas tipo NSE E, clasificación dada a viviendas en condiciones precarias, siendo indicador del índice socioeconómico de la zona (NSE, 2020).

Asimismo, se observa que las viviendas con clasificación NSE A se encuentran en mayor proporción en los distritos de Lima Centro (Zona 7), mientras que en la periferia la calidad de las condiciones de las viviendas disminuye.

Zona	TOTAL	NSE A	NSE B	NSE C	NSE D	NSE E
Total	100%	4.4%	22.0%	42.8%	24.8%	6.0%
Zona 1 (Puente Piedra, Comas, Carabaylo)	100%	0.6%	12.9%	43.3%	33.6%	9.6%
Zona 2 (Independencia, Los Olivos, San Martín de Porras)	100%	0.8%	25.8%	43.1%	25.9%	4.3%
Zona 3 (San Juan de Lurigancho)	100%	0.3%	14.7%	49.8%	26.9%	8.4%
Zona 4 (Cercado, Rimac, Breña, La Victoria)	100%	1.5%	24.1%	44.2%	23.8%	6.4%
Zona 5 (Ate, Chaclacayo, Lurigancho, Santa Anita, San Luis, El Agustino)	100%	0.4%	14.3%	42.6%	35.8%	6.9%
Zona 6 (Jesús María, Lince, Pueblo Libre, Magdalena, San Miguel)	100%	16.8%	46.7%	30.7%	4.8%	1.0%
Zona 7 (Miraflores, San Isidro, San Borja, Surco, La Molina)	100%	33.0%	45.3%	16.1%	5.1%	0.5%
Zona 8 (Surquillo, Barranco, Chorrillos, San Juan de Miraflores)	100%	3.5%	20.5%	50.6%	22.2%	3.2%
Zona 9 (Villa El Salvador, Villa María del Triunfo, Lurín, Pachacamac)	100%	0.4%	13.6%	50.6%	28.4%	7.1%
Zona 10 (Callao, Bellavista, La Perla, La Punta, Carmen de la Legua, Ventanilla, Mi)	100%	0.9%	18.6%	46.0%	27.0%	7.6%
Otros	100%	3.4%	8.5%	45.9%	26.5%	15.7%

Figura 45: Distribución de zonas APEIM por tipo de viviendas

Nota: tomado de APEIM, 2020

Este tipo de viviendas representan una gran vulnerabilidad por parte de la población de la región Lima Norte, quienes ante eventos de peligro natural como son las inundaciones por desbordamiento del río Chillón, presentan mayores pérdidas.

Contaminación de residuos sólidos (FC)

Durante las visitas realizadas al tramo en estudio se observó gran cantidad de residuos sólidos que contaminan tanto las aguas del río Chillón como su ribera, ya que con el paso del tiempo el continuo arrojó genera volúmenes considerables de material inadecuado en la llanura de inundación. Dicho escenario se presentó en algunas zonas del tramo, como es el caso del puente San Martín, en donde se observó durante las visitas un aumento progresivo de desmonte en la ribera con el paso de los años. Ante la falta de botaderos formales por la zona, los residuos son

arrojados por los pobladores de las cercanías, detallando también en la presencia de camiones que descargaban desmonte en las orillas con completa libertad para luego retirarse. En la figura 46 se muestra fotografías propias tomadas al cauce del río Chillón a la altura del puente San Martín durante las visitas de campo realizadas en los años 2019 y 2023.



Figura 46: Comparación de desmonte acopiado en el talud del río Chillón, por la zona del puente San Martín entre los años 2019 y 2023

Asimismo, en la figura 47 se muestra gran cantidad de basura y residuos sólidos observados durante la visita, por la zona inferior del tramo en estudio. Es importante mencionar que, durante las visitas, se observó que las viviendas ubicadas en la parte superior del talud del cauce descargan sus desechos directamente al río a través de tuberías, mientras que, al pie del talud, también se observó la presencia de personas sin hogar que invaden la ribera para instalarse temporalmente entre la vegetación y pernoctar.



Figura 47: Contaminación observada a lo largo del tramo entre los años 2019 y 2023

La falta de control en el sitio conlleva a la contaminación del río Chillón por diversos medios, ocasionando la contaminación de las aguas cuyas tonalidades turbias y características químicas

imposibilitan no solo su consumo directo, sino también el desarrollo de ecosistemas sostenibles e incluso, generan la propagación de enfermedades.

Gran parte de la responsabilidad recae en las municipalidades distritales, quienes no cuentan con suficientes recursos para una óptima gestión integral de los residuos. A nivel institucional, existen debilidades en los componentes operativos, administrativos y económicos para la limpieza del espacio público, desde la cobertura limitada de personal, la recolección, el transporte y la selección de disposición final de los residuos. En este último punto, cabe mencionar que la región de Lima Norte no cuenta con plantas de transferencia de residuos sólidos, por lo que el costo de transporte hacia los rellenos sanitarios es más elevado, los cuales, a su vez, no cuentan con capacidad suficiente para la demanda requerida.

Según información publicada en IMP (2019, como se citó en PLANMET 2040, 2022), se registró una generación per cápita de hasta 1 kg por habitante al día para la región de Lima Norte, con un máximo de 276 688 toneladas al año.

Asimismo, es importante mencionar que la generación de residuos producto de construcción y demolición (RCD) ha incrementado con el paso de los años. En la cuenca del río Chillón, el 58,33% de los residuos sólidos son material RCD, predominantemente encontrados en los distritos de Carabaylo, Puente Piedra, Los Olivos y Comas (PLANMET 2040, 2022).

En la figura 48 se presenta de manera gráfica la distribución de las principales fuentes contaminantes en la cuenca del río Chillón.

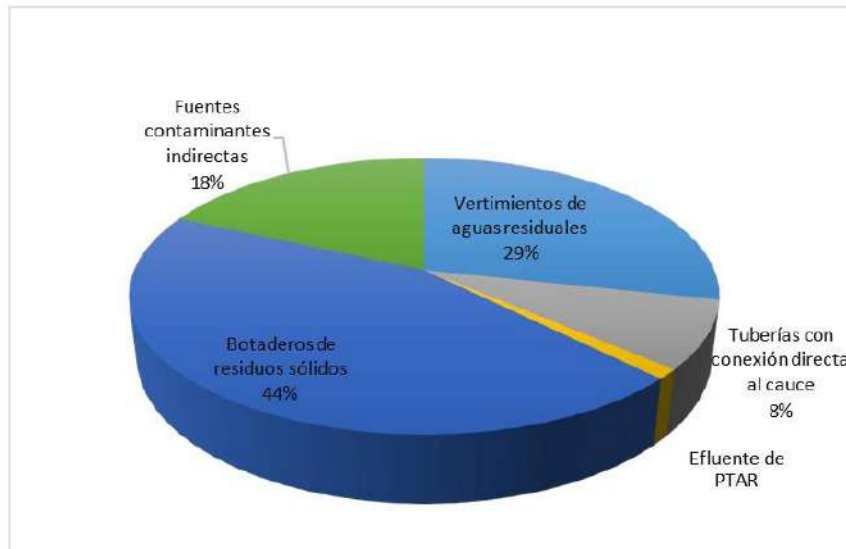


Figura 48: Fuentes contaminantes identificadas en la cuenca del río Chillón

Nota: tomado de PLANMET 2040, 2022

Como consecuencia a estas limitaciones, la limpieza y descolmatación suele enfocarse solo en puntos críticos identificados en el momento, sin llegar a una solución integral.

Inestabilidad de taludes (FT)

Durante las visitas se observó invasiones en el sector inferior del tramo, las cuales se encontraban instaladas en los márgenes del río y apoyaban los cimientos de sus viviendas en los taludes. Este peso adicional genera cargas laterales que producen inestabilidad en las laderas, ocasionando el desprendimiento de material de suelo en zonas localizadas. En el presente caso, los cimientos se encuentran apoyados sobre material de relleno no controlado, el cual es propenso al colapso, por lo que la vulnerabilidad de la población y la probabilidad de riesgo aumentan considerablemente ante eventos extraordinarios. En la figura 49 se puede apreciar lo anteriormente mencionado en las fotografías tomadas.



Figura 49: Comparación de poblaciones adyacentes al río Chillón contiguas al puente San Martín entre los años 2019 y 2023

Esta inestabilidad se debe, a su vez, al excesivo depósito de desmonte en las laderas que ha ido alterando su geometría inicial, a la intervención informal de los pobladores de la zona y a la falta de control por parte de las autoridades.

Por otro lado, existe un problema de informalidad en la extracción de material del cauce para su aprovechamiento, lo cual genera alteraciones en su geometría y capacidad hidráulica.

Deficiencia en la gestión del agua (FA)

El factor de crecimiento poblacional mencionado anteriormente, el cual muestra una tendencia ascendente, necesita de la adecuada gestión del recurso hídrico para abastecer a la nueva

población y mantener, a su vez, un caudal ambiental base. Además de proveer de agua para el riego y consumo de los habitantes, el agua del río Chillón también es utilizada en procesos de operación minera o para la elaboración de algún producto. Considerando la alta demanda del recurso hídrico y su bajo caudal en épocas de estiaje, se requiere de un adecuado manejo para su aprovechamiento y conservación.

Según el PMO de SEDAPAL, en la ciudad de Lima existe un consumo doméstico de agua potable que varía desde 142 a 238 litros por habitante al día (PLANMET 2040, 2022).

Este consumo es mayor al consumo óptimo diario recomendado por la OMS, el cual es de 100 litros por habitante al día, por lo que es necesario contar con un plan para mejorar la gestión del recurso y educar a la población sobre la necesidad de reducir sus hábitos sanitarios.

Otro factor importante a considerar y destacar es la mala gestión del agua superficial, ya que esta es captada, bifurcada para uso formal e informal, y los excedentes se desperdician.

Según los registros del sistema de recolección primaria de SEDAPAL, el caudal promedio de aguas residuales recolectadas en el 2018 fue de 22,16 m³/s. De estas aguas, el 92,2% fue conducido a diferentes plantas de tratamiento y solo el 3,1% fue tratado y reusado (PLANMET 2040, 2022).

Ante la necesidad de una gestión más eficiente y sostenible del recurso, se destaca la posibilidad de aprovechamiento del agua residual mediante la implementación de mejores tecnologías y/o metodologías, para lo cual se requiere de la intervención y compromiso de las instituciones pertinentes. Esta gestión debe realizarse considerando todos los puntos de captación y afluentes existentes en la cuenca.

Por otro lado, de los 1 426 pozos existentes en la cuenca Chillón, 999 se encuentran en uso, siendo Lima Norte la región con mayor consumo de agua subterránea mediante pozos (ANA, 2023).

En la Figura 50, Figura 51, Figura 52 y Tabla 9 creadas se detalla dicha información.

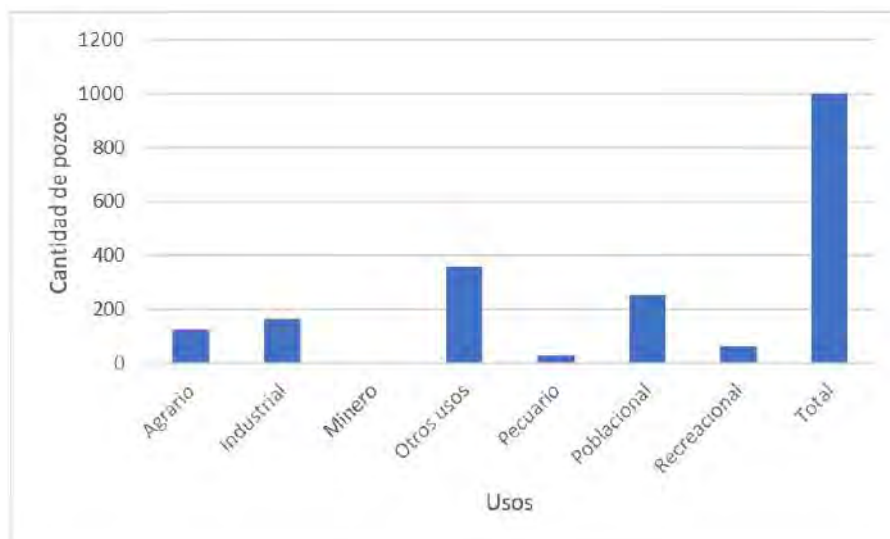


Figura 50: Cantidad de pozos pertenecientes a la cuenca Chillón

Nota: tomado de ANA, 2023

Tabla 9

Clasificación de pozos según su uso

Clasificación de pozos según su uso							
Agrario	Industrial	Minero	Otros usos	Pecuario	Poblacional	Recreacional	Total
127	165	1	359	31	252	64	999

Nota: tomado de ANA, 2023

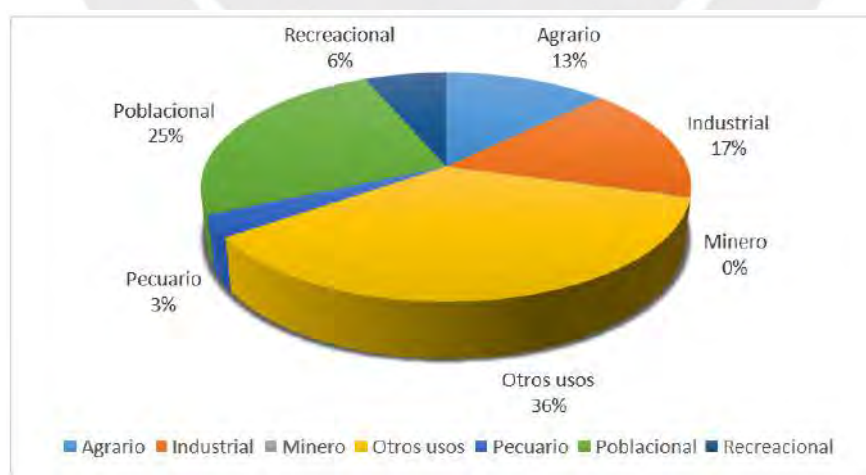


Figura 51: Distribución de pozos según su uso

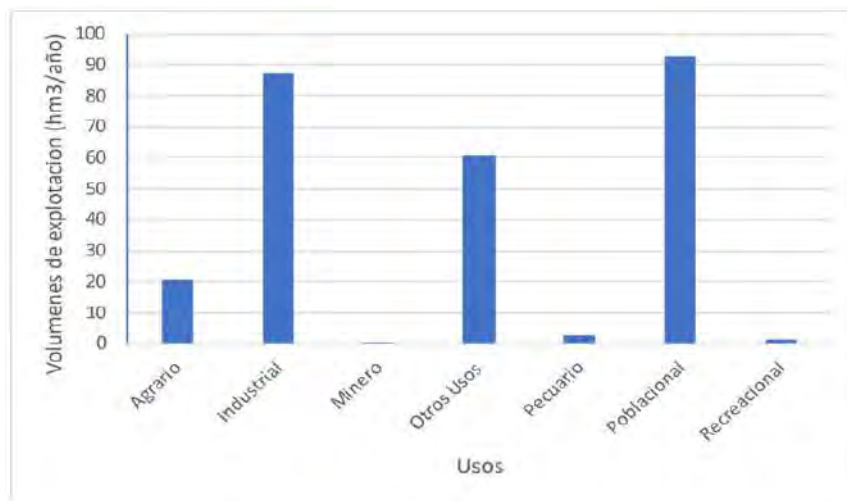


Figura 52: Volúmenes de explotación de pozos según su uso

Nota: tomado de ANA, 2023

Si comparamos los volúmenes explotados, estos corresponden predominantemente al uso industrial, poblacional, agrarios y otros.

Según los registros del ANA, en el 2019 el acuífero Chillón contó con un volumen de agua explotada en reservas de 62 M-m³ por año, aproximadamente, y en el año 2023, este volumen aumentó a 265 M-m³ por año, de los cuales solo el 54% correspondía a actividades de explotación con licencia (ANA, 2023).

Esto evidencia la informalidad y la sobreexplotación en la extracción del agua subterránea, lo cual genera el descenso de la napa freática y repercute en el balance hídrico.

Es importante mencionar también que parte del problema está relacionado con el déficit de redes de alcantarillado en las zonas más alejadas, como es el caso de las invasiones, ya que, ante la falta de redes de agua y desagüe, usan las aguas del río Chillón para ambos fines. Se debe considerar que la instalación de estas redes en zonas informales requiere de un mayor tiempo en años a comparación de otras zonas más accesibles.

Escasez de áreas verdes (FAV)

Entre los peligros naturales registrados en el sector inferior del tramo, y en la región de Lima Norte, se destacan las olas de calor que suelen afectar principalmente durante eventos

extraordinarios. Este fenómeno es considerado principalmente en ciudades con poca presencia de áreas verdes, ya que no cuentan con esta barrera natural para atenuar las altas temperaturas del aire. En ciudades donde predominan las superficies impermeables, como concreto y asfalto, estas retienen mayor concentración de calor y la liberan a lo largo del día y la noche.

Durante las visitas de campo se observó que en las zonas urbanas adyacentes al río Chillón la vegetación es escasa, esto debido a la caótica interacción entre la población y la ribera del río, así como también debido al nivel socioeconómico bajo de la población asentada en la periferia y su inaccesibilidad a las áreas verdes de zonas de esparcimiento. En la figura 53, se presenta la cantidad de áreas verdes distribuidas por hectáreas en las regiones de Lima.



Figura 53: Distribución de áreas verdes en Lima Metropolitana

Nota: Tomado de PLANMET 2040, 2022

Se observa que Lima Norte es la segunda región con menor cantidad de áreas verdes en la capital. De esta manera, se destaca la importancia de incluir áreas verdes en las medidas de restauración, ya que no solo cumplen un rol estético o recreacional, sino que también contribuye con disminuir la exposición a las olas de calor.

Movilidad limitada (FM)

La limitación en la movilidad urbana es una de las principales problemáticas actuales en la capital. La ciudad de Lima presenta una estructura vial radial mono céntrica, la cual busca que sus vías principales partan de conectar los distritos del centro con las demás regiones, restando importancia a la conexión que pueda haber entre ellas y que, de darse, ayudaría a reducir la congestión de las áreas centrales. Asimismo, este sistema presenta discontinuidades al no contar con intersecciones eficientes, ya que centra la congestión en vías principales en lugar de crear una red de vías arteriales y colectores que ayuden a reducir la demanda de viajes. Actualmente, el mayor déficit de equipamiento de transporte se da en la región de Lima Norte, cuya principalmente vía es la carretera Panamericana Norte que conecta la capital con el norte del país; esta ruta presenta una gran demanda de tránsito debido a que conecta con proyectos de envergadura como es el puerto de Chancay, motivo por el cual muchas veces se encuentra congestionada y forma una barrera que limita el libre tránsito entre los lados este y oeste. El crecimiento poblacional contribuye a que esta congestión sea más crítica, surgiendo un aumento proporcional en la cantidad de viajes.

Según PLANMET 2040 (2022), se estima que faltaría construir el 53% de vías expresas, el 40% de vías arteriales y el 32% de vías colectoras necesarias para cubrir con la demanda vial actual.

Por otro lado, muchas de las vías no son asfaltadas o se encuentran en mal estado, generando el aislamiento de ciertos sectores. El surgimiento de poblados informales en la periferia del río, así como de diversos asentamientos humanos, generan que la ribera del río se encuentre aislada entre barreras urbanas y no sea accesible para el monitoreo, control y mantenimiento del cauce del río.

En la Figura 54 se muestra la variación en la demanda de los medios de transporte de los usuarios en los años 2004, 2012 y 2018.

MODO	2004 - JICA			2012 - JICA			2018 - TRANSITEMOS		MODO
	N° de Viajes	%	SUMA	N° de Viajes	%	SUMA	N° de Viajes	%	
Caminar	4,208	23%	4,292	5,416	24%	5,493	7,000	26%	No motorizado
Bicicleta	84	1%		77	0%				
Motocicleta	30	0%	2,038	107	1%	3,552	3,719	14%	Privado
Auto privado	1,856	12%		3,401	15%				
Camion y otros	152	1%		44	0%				
Taxi	902	6%	1,502	591	3%	1,916	2,800	11%	Otros
Mototaxi	600	4%		1,325	6%				
Colectivo	181	1%	8,705	333	2%	12,045	12,099	49%	Publico
Combi	3,791	23%		3,880	17%				
Microbus	3,072	19%		5,536	25%				
Bus	1,661	10%		1,248	6%				
BRT-Metropolitano	0	0%		274	1%				
Tren	0	0%		774	0%				
Total	16,537	100.00%	16,537	23,006	100.0%	23,006	26,708	100.0%	

Figura 54: Demanda de transporte vial en los años 2004, 2012 y 2018

Nota: Tomado de PLANMET 2040, 2022

Falta de integración por medio de centros recreacionales (FR)

En la capital, los espacios públicos abiertos y áreas verdes se desarrollan principalmente cerca al mar, esto debido a que requieren del uso del agua como principal recurso para su mantenimiento periódico. El sector inferior del tramo en estudio se desarrolla principalmente entre poblaciones que partieron de la informalidad, cuyo crecimiento caótico ha limitado el acceso de externos al río, así como también requieren de una demanda social que deja el aprovechamiento del recurso para fines recreacionales en segundo lugar; en consecuencia, las autoridades no ven conveniente invertir en la creación de estos espacios para las zonas informales, que son las que predominan.

Es importante considerar que los centros recreacionales no solo cumplen un rol paisajista, ya que su principal fin es el de brindar espacios que permitan la interacción y desarrollo de la sociedad en el día a día. Si bien la población puede no haber partido de manera planificada, la

creación de estos espacios ayuda en mejorar su calidad de vida y, poco a poco, restaurar la interacción entre la población y las autoridades.

Cabe mencionar que, para lograr espacios ambientales sustentables, se debe tener en cuenta que las especies que se vayan a destinar en las áreas verdes deben ser elegidas considerando que puedan desarrollarse y subsistir bajo las condiciones climáticas de la zona.

Además de los espacios recreacionales, en la metrópoli también se destaca la existencia de lugares con importante valor patrimonial, como son los centros de restos arqueológicos, los cuales muchas veces se ven perdidos debido a saqueos informales y al abandono por parte de las autoridades al no manejar proyectos de intervención. Estos lugares son mencionados ya que, de ser preservados, contribuyen en conectar a la sociedad con la historia del país.

Falta de compromiso por parte de las autoridades (FAU)

En la mayoría de factores presentados anteriormente en este capítulo se destaca la poca o nula intervención por parte de las autoridades, contribuyendo a que la vulnerabilidad se haya incrementado y empeorado con el paso de los años.

Por un lado, las entidades deberían ser capaces de realizar sus planes en base al estudio integral de la cuenca Chillón con información actualizada, de manera que se pueda analizar el abanico fluvial de influencia e identificar la mejor alternativa para la recarga y almacenamiento del acuífero, el cual tiende a disminuir considerablemente durante épocas de estiaje y el tiempo de infiltración es bajo; no obstante, en la práctica muchas veces esto no es probable debido a la falta de personal y/o recursos.

Por otro lado, durante la segunda visita de campo realizada en el año 2021, en el tramo ubicado por el distrito de Comas, se observó la existencia de señalizaciones, como la que se muestra en la Figura 55, que advertían de no habitar las zonas de riesgo no mitigables debido a encontrarse dentro de la faja marginal. Estas zonas son intangibles según la resolución administrativa

N°263-2001-AG-DRA.LC/ATDR.CHRL, dada en el año 2015, y según la resolución ministerial N° 061-2018-VIVIENDA; y pese a ello, se pudo encontrar poblaciones asentadas dentro del área restringida. Aquello contrasta con los testimonios de pobladores quienes, ante el ciclón Yaku presentado en el año 2023, 2 años después de lo observado durante la visita, aseguraron no conocer que se encontraban en zona de peligro y que las autoridades no velaban por su seguridad. Esta realidad nos demuestra que la sola inclusión de señalización no basta para que las poblaciones tomen consciencia de los peligros a los que se exponen, incluso cuando la misma historia demuestra tragedias similares ocurridas en años pasados, y al mismo tiempo, que las autoridades no cumplen con el rol de regulación que deberían según lo especificado en las resoluciones, las cuales se basan en estudios de riesgo.



Figura 55: Señalización de área intangible por faja marginal en el distrito de Comas (2021)

Por otro lado, en la visita realizada en el presente año 2023 se observó que, aguas abajo del final del tramo en estudio, la municipalidad de Puente Piedra ejecutó el proyecto “Malecón Río Chillón”, el cual incluye la construcción de una senda en el nivel superior del talud del río cuyo diseño está conformado por una vía peatonal, ciclovía y zonas de esparcimiento. Tras realizar

mediciones aproximadas in situ de la sección a la que habían confinado el río, se estimó que, ante la avenida del caudal extraordinario en estudio, el río desbordaría e inundaría tanto el malecón como las vías y viviendas contiguas. Esto no solo generaría nuevas inversiones para la limpieza y restauración, sino que los actuales elementos de defensa ribereña observados para el malecón (gaviones) no cuentan con rutas ni accesos para su mantenimiento, ya que solo se confinó el río, reforzó el talud inferior y embelleció el nivel superior. Por lo tanto, se observa que, si bien la propuesta presenta posibles alternativas para remediar de manera individual algunas de las problemáticas, el diseño final no cumple con solucionar de manera integral las pérdidas de las distintas disciplinas que deben ser consideradas en el proyecto. En la Figura 56, se aprecia fotos de la visita en mención.



Figura 56: Vistas de la senda ejecutada en la ribera del cauce del río Chillón, distrito de Puente Piedra

En suma, se observa que la población no se identifica con el entorno en el cual se encuentra asentado, con los peligros propios de los fenómenos naturales para cada zona a los que son vulnerables, y la nula comunicación con las autoridades o entidades reguladoras que no velan de manera eficiente por su seguridad; motivos que impiden crear una cultura socioambiental y medioambiental, y que, por lo mismo, genera que la población no desenvuelva conductas para preservar o mejorar las condiciones de su entorno. Asimismo, se destaca la poca intervención y acciones poco prácticas para brindar alternativas de solución por parte de las autoridades.

5.3 Cuantificación de pérdidas

Del Capítulo 3 “Datos y Metodología”, se puede observar la relación que existe entre los factores que intervienen en la problemática y la dependencia entre ellos. En primer lugar, se observa que, a mayor población vulnerable ante los peligros, el grado de riesgo aumenta; esto tiene relación con los factores de crecimiento poblacional (FP), déficit habitacional (FD) e informalidad (FI). Asimismo, al aumentar el grado de riesgo también aumenta los problemas por contaminación (FC), inestabilidad de taludes (FT) y la escasez de áreas verdes (FAV). En la figura 57 se presenta de manera gráfica el comportamiento del grado de riesgo para estos factores.

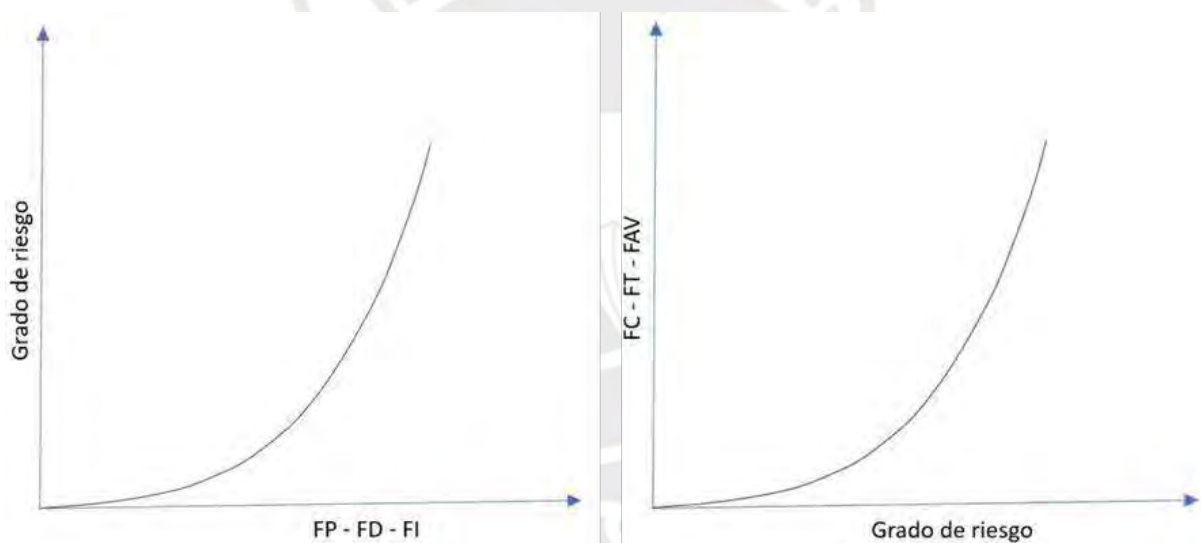


Figura 57: Relación entre los factores y su grado de riesgo

Nota: elaboración propia

Considerando que el aumento de población vulnerable por los factores FD, FP y FI puede ser representado por el surgimiento de las invasiones, el resultado se puede observar en la figura 58.

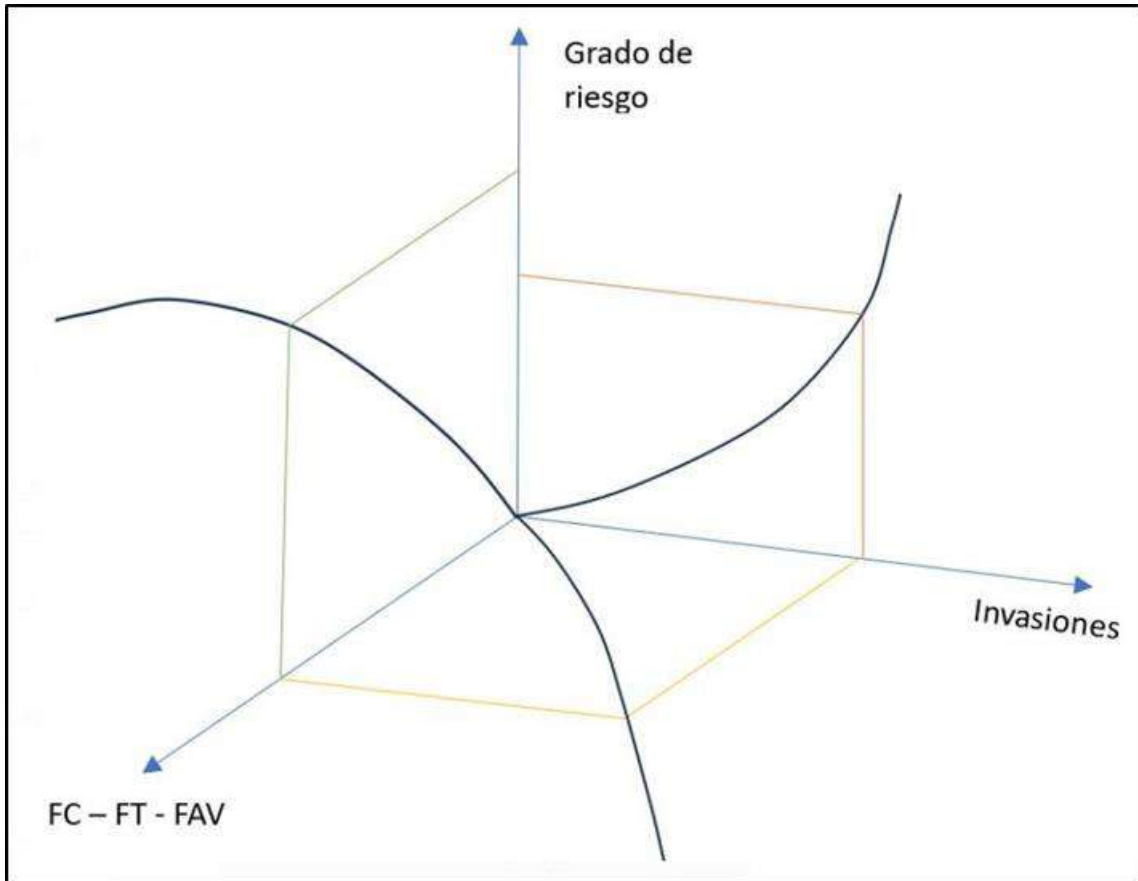


Figura 58: Gráfica de relación entre grado de riesgo, invasiones y los factores FC, FT y FAV

Nota: elaboración propia

En conclusión, se puede relacionar que las invasiones son ocasionadas directamente por el crecimiento poblacional, el déficit habitacional y la informalidad, siendo ellas el origen de que la ciudad crezca de manera desorganizada, y contribuyendo a su vez en el agravio de los demás factores a diferentes grados de importancia. Cabe mencionar que la ausencia e ineficacia de las autoridades forman parte de la problemática global a lo largo de todo el ciclo. En la figura 59 se observa la agrupación de los factores.

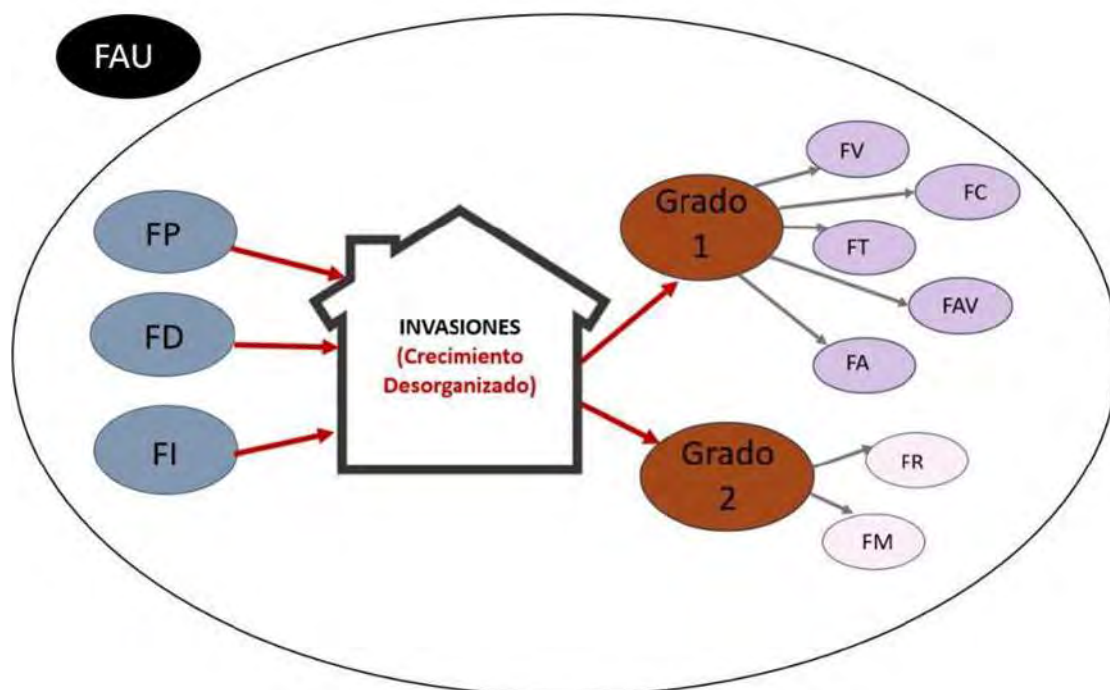


Figura 59: Representación gráfica de la relación de los factores con el crecimiento desorganizado de la población a partir de las invasiones

Nota: elaboración propia

Considerando la situación descrita anteriormente y las propuestas de esta tesis, se cuantificará de manera aproximada el efecto de los factores FP, FD y FI, considerados como de grado origen (Grado 0), a través de la comparación entre la inversión por pérdidas materiales, económicas y vidas humanas que podrían ocasionarse ante la avenida de un caudal extraordinario en el río Chillón, en función de la población vulnerable identificada y un valor representativo de los precios al consumidor.

Se tomó de referencia los daños económicos estimados por inundación por el Ministerio del Ambiente en el año 2013, considerando un caudal con periodo de retorno de 100 años, como es el caso de la presente tesis. En la tabla 10 se presentan los montos estimados según el tipo de daño.

Tabla 10

Daños económicos para un caudal de retorno de 100 años

Estimación de daños	S/. Costo Total
Zonas habitacionales	71,759,388.97
Zonas agrícolas	361,750.84
Unidades sociales	1,453,500.00
Vías	3,889,767.10
Áreas verdes	2,698,763.09
MONTO TOTAL	80,163,170

Nota: Tomado de MINAM, 2013

Para dicho año, se estimó un gasto total de 80 millones de soles, de los cuales casi 72 millones serían producidos por daños a zonas habitacionales, considerando que 323 viviendas serían afectadas por el fenómeno.

En este caso, para cuantificar las viviendas que serían afectadas por inundación se consideró los sectores poblados comprendidos desde Yangas hasta el final del tramo, extensión de aproximadamente 44 km, y la sección propuesta en el Capítulo 4.3, en la cual se desarrollaría el fenómeno. En la tabla 11 se presenta la cantidad de viviendas identificadas como vulnerables ante la avenida extraordinaria ya que caen dentro de la sección de análisis, según las vistas proporcionadas por Google Earth; dependiendo del ancho del río y la proximidad de las viviendas, algunos tramos presentan más concentración de viviendas.

Tabla 11

Cuantificación de viviendas vulnerables ante inundaciones

	Extensión de población en zona de faja marginal	Cantidad de viviendas	Ancho río (m)	Cantidad de viviendas/m3	Total de viviendas afectadas por inundación
Moderado	4958,7	311	20	0,07	311
Severo	274,47	75	15	0,20	386
Crítico	383,2	182	10	0,27	568

Nota: elaboración propia

Se ha identificado un aproximado de 568 viviendas que deberían ser reubicadas para la ejecución de la propuesta, de las cuales 182 se encuentran en estado crítico.

Si realizamos una comparación con los datos de crecimiento poblacional mostrados en el anterior capítulo, y que entre los años 2013 y 2023 se obtuvo una tasa de crecimiento anual promedio igual a 3,38 %, la cantidad de viviendas afectadas para el análisis debería haber aumentado de 323 a 395. Por lo tanto, este resultado mayor evidencia que hay una mayor concentración de población vulnerable asentada a lo largo de los márgenes del río Chillón.

Por otro lado, en el perfil de riesgo realizado en el año 2013 se estimó un costo por metro cuadrado de vivienda de hasta 3 383,33 soles. Se debe tener en cuenta que esta estimación se realizó acorde a la situación económica de la fecha, además de considerar menor inversión en zonas con presencia de algún tipo de protección, muchas de las cuales, 10 años después, se encuentran deterioradas y ya no cumplen con su función de protección.

Según los índices de precios al consumidor, en el año 2013 se registró un IPC igual a 2.9, mientras que el último registro correspondiente al año 2022 fue de IPC igual a 8.5 (BCR, 2022).

La figura 60 muestra los valores de IPC publicados en los últimos 10 años.

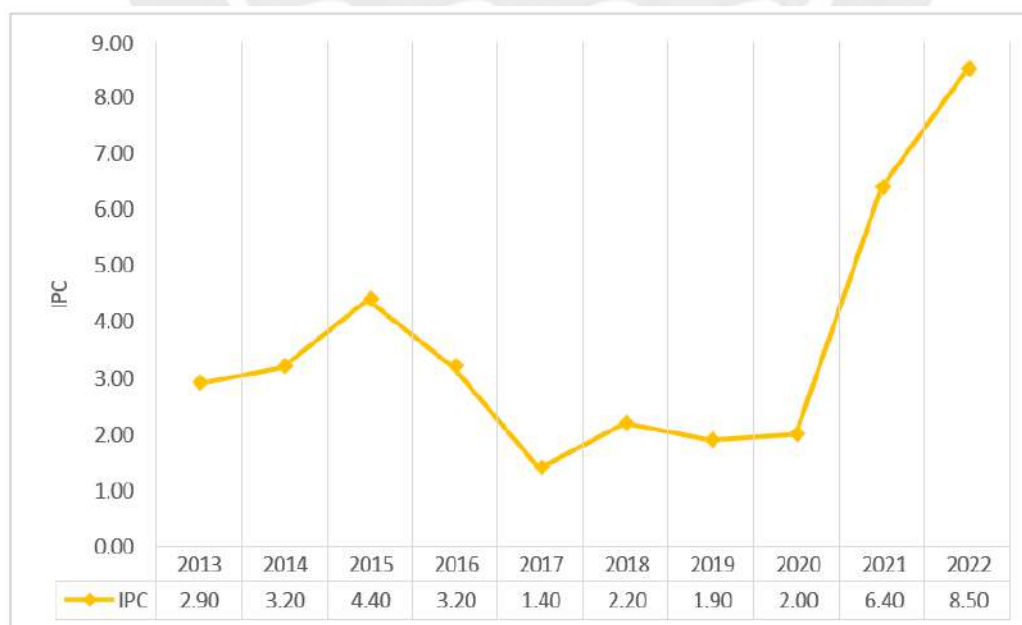


Figura 60: Índices IPC de los últimos 10 años

Nota: Tomado de BCR, 2022

En relación al año 2013, el costo de insumos casi fue triplicado, lo cual significa que, ante un evento de avenida extraordinaria, la inversión para la reparación de daños también aumentaría al triple. A groso modo, abarcando únicamente las dos consideraciones anteriores, que a nuestra opinión son las más importantes, y considerando además la inversión de 8 millones de soles para otros rubros según el presupuesto inicial, las cifras de inversión ya habrían aumentado a más de 323 millones de soles aproximadamente.

En la siguiente Figura 61, se puede observar que la inversión aumenta de manera proporcional al incrementarse la población asentada en los márgenes del río y los valores de IPC.

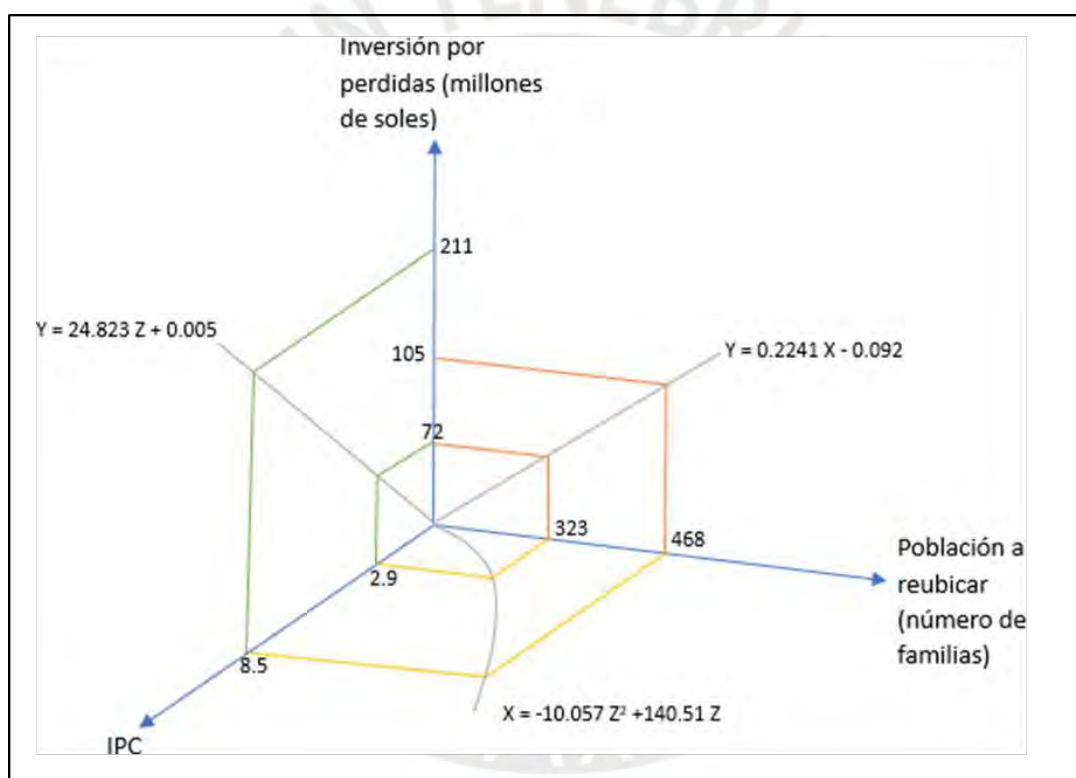


Figura 61: Gráfica de inversión por pérdidas a partir del IPC y la población por reubicar

Nota: elaboración propia

A continuación, analizaremos de manera subjetiva los factores y peligros mencionados en este capítulo, les asignaremos valores de importancia en la problemática, considerando la exposición, frecuencia, gravedad y vulnerabilidad en el tramo de estudio. En la tabla 12, se pueden ver dichos valores.

Tabla 12

Asignación de valores de importancia para los factores identificados en la problemática

Peligros		Exposición en el tramo (%)	Frecuencia (%)	Gravedad	Vulnerabilidad (%)	Importancia
Inundaciones	PI	50	20	C	80	A
Deslizamientos	PD	40	40	G	40	A
Olas de calor	PC	60	70	L	60	B
Biológicos	PB	50	40	G	40	A
Factores						
Crecimiento poblacional	FP	50	90	G	90	A
Déficit habitacional	FD	50	90	G	90	A
Informalidad	FI	70	90	C	90	A
Tipo de vivienda	FV	50	70	G	80	B
Contaminación de residuos sólidos	FC	50	90	G	90	A
Inestabilidad de taludes	FT	40	70	M	70	A
Deficiencia en la gestión del agua	FA	80	80	C	80	A
Escasez de áreas verdes	FAV	60	60	M	60	B
Movilidad limitada	FM	60	50	M	60	C
Falta de integración por medio de centros recreacionales	FR	80	50	G	60	B
Falta de compromiso por parte de las autoridades	FAU	80	70	C	80	A

Nota: elaboración propia

La inversión de 323 millones de soles, aproximadamente, estimada previamente considera el efecto de los factores FP, FD y FI, pudiendo darse una cuantificación aproximada de su influencia. No obstante, existen aún otros factores que hemos denominado de importancia A y que su cuantificación escapa del alcance de esta tesis debido a que requieren de mayor información y recursos para poder sustentar una cuantificación válida. De poder ser cuantificables, estos generarían una inversión mayor de lo presentado en este estudio.

6. CONTROL DE CALIDAD DE AGUA

La calidad del agua puede verse afectada por diversos factores presentes a lo largo de su recorrido, los cuales pueden presentarse en tramos específicos y alterar las propiedades del recurso aguas abajo. Los valores ECA nos permiten comparar los niveles de concentración del agua con grados de riesgo, de manera que se pueda identificar si el agua en determinada zona puede o no ser utilizada para cierto fin, tal como se muestra en la tabla 13.

Tabla 13

Clasificación de valores ECA para agua

Categoría	Uso	Subcategoría	Descripción
Categoría 1	Poblacional y recreacional	A1	Aguas superficiales con posibilidad de conversión en agua potable mediante tratamiento
		A2	
		A3	
		B1	Aguas superficiales destinadas para recreación
		B2	
Categoría 2	Actividades marino costeras	C1-C4	Agua de mar utilizada para diversos fines
Categoría 3	Riego de vegetal y bebida de animales	D1	Agua utilizada para riego de vegetales
		D2	Agua utilizada para consumo de animales
Categoría 4	Conservación del ambiente acuático	E1	Lagunas y lagos
		E2	Ríos
		E3	Ecosistemas costeros y marinos

Nota: realizado a partir de MINAM, 2017

Para el tramo en estudio, se deberá tomar de referencia los valores ECA correspondientes a la categoría 4 (E2). Asimismo, se pueden utilizar los valores de la categoría 1 (A1-A3) para las zonas donde se requiera la captación del recurso para su conversión en agua potable; las categorías B1 y B2 para zonas en donde el agua sea utilizada como insumo para fines recreacionales; y las categorías D1 y D2 en zonas rurales donde predominen las actividades de agricultura y ganadería.

Teniendo como base la investigación de Sánchez (2022) donde se realizó un estudio para la evaluación de la calidad del agua del río Chillón durante las diferentes épocas del año (avenida y estiaje), a partir de la recolección de muestras obtenidas de 10 puntos de muestreo; entre los cuales se destacan las zonas de interés del puente Obrajillo, el puente Canta, el puente de la carretera Panamericana Norte y las zonas adyacentes a la carretera Lima-Canta.

Al realizar la evaluación se observó una marcada diferencia en la calidad del agua desde el distrito de Carabayllo, ya que aguas abajo se observan altos niveles de concentración de materia orgánica que resultan desfavorables para el desarrollo de vida acuática y consumo; esto se puede deber a que el río transcurre por zonas urbanas con mayor congestión poblacional, lo cual conlleva a una mayor demanda. Asimismo, el oxígeno disuelto presente en el tramo comprendido desde la naciente hasta el puente Trapiche dio resultados mayores a 5 mg/L, mientras que aguas abajo los valores no superan los 4 mg/L, valor mínimo requerido para el desarrollo de fauna marina. Por tal motivo, se concluye que aguas arriba del puente Trapiche podría desarrollarse vida acuática, mientras que, aguas abajo, no es posible.

Asimismo, se destaca la alta concentración de metales registrada en la cuenca baja debido a la contaminación de las aguas, lo cual podría conllevar a problemas de salud en la población ubicada aguas abajo del distrito de Carabayllo. Los principales causantes de esta problemática son los residuos sólidos municipales, los cuales contaminan superficies, agua subterránea, y convierten el agua disponible en agua no potable debido al exceso de metales pesados. Cabe mencionar que, en épocas de sequía, la contaminación aumenta.

En la figura 62, se puede apreciar los índices de calidad de agua registrados para el río Chillón según los resultados de las muestras obtenidas.



Figura 62: índices de calidad de agua obtenidos en los puntos de muestreo

Nota: Adoptado de Evaluación de Físicoquímica del agua del Rio Chillón, Sánchez Soto, 2022

Se puede observar que la contaminación es mayor en las zonas con alta concentración poblacional, lo que demuestra su poca o nula conciencia ambiental para poder coexistir con la naturaleza sin hacerle mayor daño, aún cuando esta contaminación repercute en la salud de los pobladores. Ante esta situación, es recomendable que las entidades y autoridades gubernamentales realicen monitoreos con mayor frecuencia para la evaluación del estado ecológico, medidas ante un incremento de contaminación o incluso por temas de salud humana.

7. PRESENTACIÓN DE PROPUESTAS

7.1 Ingeniería Hidráulica

Para este acápite se consideró 3 posibles secciones a encontrar a lo largo del tramo:

- Sección A: La sección es suficiente para que el caudal máximo extraordinario de diseño pueda desarrollarse sin producir pérdidas por inundación.

- Sección B: La sección es insuficiente y, por lo tanto, se producen inundaciones ante la venida del caudal máximo extraordinario de diseño.
- Sección C: No hay un adecuado encauzamiento en el río, presentando una mala relación tirante-ancho que repercute en un cauce inestable.

De acuerdo a los resultados del modelamiento hidráulico bidimensional, de manera general, se considera que la Sección A es representativa para el tramo ubicado aguas arriba del poblado de Yangas, mientras que la Sección B es representativa para el tramo inferior. La sección C podría presentarse de manera localizada en ambos subtramos.

Debido a que el tramo inferior es considerado como el tramo inundable, el área máxima de la sección transversal (sección B) deberá ser igual o mayor al caudal máximo extraordinario obtenido de los distintos escenarios de análisis: $Q_1 = 248 \text{ m}^3/\text{s}$ (Escenario 1); $Q_2 = 376.9 \text{ m}^3/\text{s}$ (Escenario 2) y $Q_3 = 388.5 \text{ m}^3/\text{s}$ (Escenario 3).

Considerando que gran parte del talud del cauce está conformado por material suelto o relleno no controlado, para el diseño se consideró un talud de 3:1, propio de suelos de arena suelta.

En la figura 63 se muestra de manera simplificada la sección del cauce a diseñar y sus dimensiones.



Figura 63: Sección simplificada del cauce

Se consideró la fórmula 7 para la estimación de la sección transversal, y en la tabla 16 se presentó distintos valores de ancho y tirante, considerando el máximo caudal obtenido de los tres escenarios: $388,5 \text{ m}^3/\text{s}$.

$$\text{Área} = 3h^2 + Bh$$

Fórmula 7: Ecuación para cálculo de sección simplificada

Tabla 14

Combinaciones de ancho y tirante para la sección transversal del cauce considerando $Q_3 = 388.5$ m^3/s

h (m)	B (m)	Bt (m)
5.00	65	95
6.00	50	85
7.00	35	80

Nota: elaboración propia

De las combinaciones presentadas en la Tabla 16, se consideró el valor intermedio para el diseño, correspondiente a una altura de 6 m. Cabe mencionar que estas dimensiones contemplan un borde libre mínimo igual al 10% del tirante, por lo que, en este caso, el borde libre mínimo sería de 0,60 m. En la Figura 64 se muestran las dimensiones elegidas para el cauce considerando una sección trapezoidal.

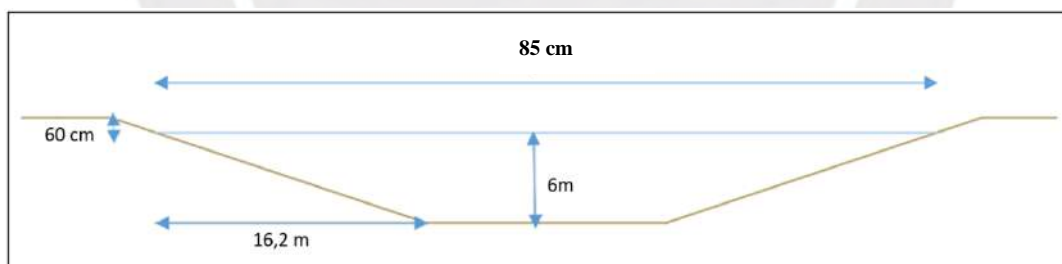


Figura 64: Dimensionamiento de sección simplificada

No obstante, se tuvo en cuenta que el caudal con el cual se diseñó corresponde a un evento extraordinario ($Tr=100$ años), mientras que el caudal máximo promedio del río Chillón suele variar entre 40 a 80 m^3/s . De mantener la sección mostrada en la figura 64 no solo se estaría desperdiciando espacio y confinando al río a una única sección que la mayoría del tiempo estaría sobredimensionada, sino que también podrían generarse problemas de inestabilidad,

erosión en los taludes y dificultades de acceso para la limpieza de los taludes, sin mencionar el costo de inversión y mantenimiento; en conclusión, no sería la mejor alternativa de diseño.

Por lo tanto, se optó por trabajar con una sección escalonada con una banqueta intermedia, para que los taludes no sean susceptibles a la erosión debido a que, en épocas normales, no serán inundados; para evitar desvíos en el cauce producto del sobredimensionamiento; y para aprovechar el área de las banquetas intermedias en otros usos que fomenten una mejor interacción entre el cuerpo de agua y la población.

La sección inferior, por debajo del nivel de la banqueta, se diseñó de manera que pudiera contener un caudal máximo de $80 \text{ m}^3/\text{s}$, una banqueta intermedia de 10 m de ancho a cada extremo del cauce, y que el total de la sección escalonada contenga los $388,5 \text{ m}^3/\text{s}$ correspondientes a un evento máximo extraordinario, así como también el borde libre del 10% de la altura total; en este caso se optó por mantener los 6 m de profundidad, por lo que el borde libre mínimo sería de 0,60 m. En la Figura 65 se observan las medidas para la sección escalonada recomendada. Esta sección recomendada será utilizada para el diseño de las propuestas.

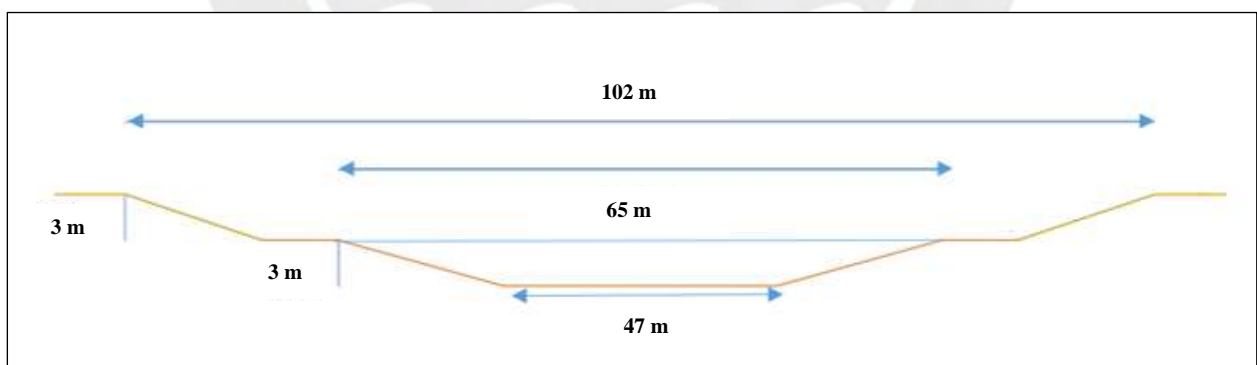


Figura 65: Dimensionamiento de sección recomendada

Para las propuestas de reforzamiento de talud, se consideró aquellas que contemplen el uso de recursos accesibles en la zona y que cuya instalación resulte viable para la sección de diseño.

Reforzamiento con gaviones

Este método contempla el uso de cajas o cestas rectangulares formadas por un enrejado metálico de alambre, las cuales son rellenas con material grueso y fino para añadir peso. El uso de gaviones para el reforzamiento de los taludes evita la erosión de los mismos, ya que las paredes son confinadas, así como también se limita el traslado de material suelto. Se ha considerado su uso debido a su adaptable proceso constructivo en zonas inundables, y a que el uso complementario de aditivos anticorrosivos puede prolongar su tiempo de vida, brindando resistencia a condiciones severas. En este caso, se recomienda el uso de gaviones tipo caja de 1x3 m, tal como se muestra en la figura 66.

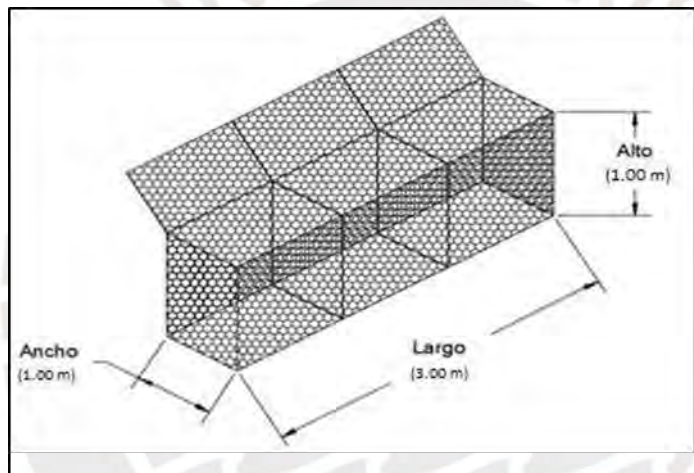


Figura 66: Dimensiones para los gaviones tipo caja recomendados

En la figura 67 se muestra la vista en perfil del reforzamiento propuesto con el uso de gaviones.

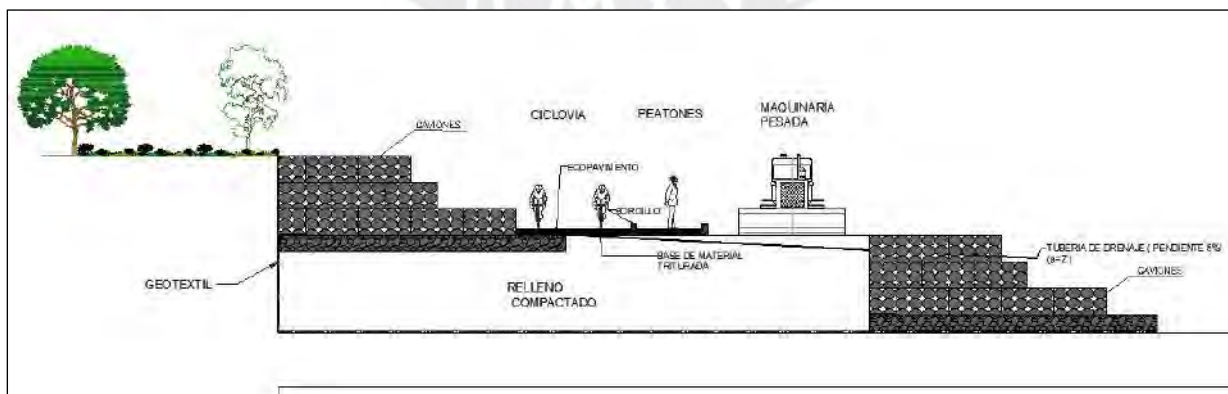


Figura 67: Propuesta de reforzamiento de talud con gaviones

Para la sección propuesta se ha considerado la valorización referencial presentada en la tabla 17, la cual incluye la cotización para la instalación de los gaviones junto a un colchón reno como cimiento de apoyo, la conformación de los terraplenes y el uso de geotextil en la base.

Tabla 15

Cotización referencial para la propuesta de reforzamiento con gaviones

Nº	Descripción	Und	Cantidad	Precio unitario S/.	Parcial S/.
1.0	Armado e instalado de gavion tipo caja en talud y pie (3.0m x 1.0m x 1.0m)	m ³	12.00	324.56	3,894.72
2.0	Selección y Acopio de Material de 10"-12"	m ³	36.00	22.82	821.66
3.0	Carguío y Transporte de Piedra	m ³	36.00	12.51	450.42
5.0	Llenado de Gavión Caja con Piedra (3.0m x 1.0m x 1.0m)	und	12.00	46.10	553.20
6.0	Tapado de Gavion Caja (3.0m x 1.0m x 1.0m)	und	12.00	46.38	556.56
7.0	Suministro e instalación de colchón reno 6.0 x 1.0 x 0.3 m	und	1.00	192.15	192.15
8.0	Suministro e instalación de colchón reno 9.0 x 1.0 x 0.3 m	und	1.00	384.29	384.29
9.0	Excavación masiva	m ³	62.40	28.99	1,808.98
10.0	Conformación de relleno para terraplén	m ³	42.90	14.06	603.17
11.0	Suministro e Instalación de Geotextil	m ²	29.30	8.21	240.65
				PRECIO/ml S/	9,505.80
				PRECIO TOTAL (S/)	306,803,687.86

Monto: Tres cientos siete millones, aproximadamente

Nota: elaboración propia

Reforzamiento con neumáticos reciclados

A diferencia de la propuesta anterior, esta contempla el aprovechamiento de uno de los residuos sólidos que más se encontró a lo largo del tramo en estudio. Los neumáticos han sido utilizados anteriormente para el reforzamiento de taludes debido a su adaptabilidad y a que su tiempo de biodegradación puede llegar hasta los 1 000 años de vida, por lo que representa una opción duradera. En la figura 68 se observa la aplicación del reforzamiento propuesto para distintos proyectos de estabilización.



Figura 68: Uso de neumáticos para el reforzamiento de taludes

Se ha considerado un diseño similar al de los gaviones, con neumáticos sobrepuestos de manera intercalada cuyos vacíos pueden ser rellenos con material granular y fino, propios del terreno. Para fines prácticos de cotización, se ha considerado que los neumáticos poseen un diámetro de 1.0 m y ancho de 0,25 m, estimando un total de 78 neumáticos requeridos por nivel. Este diseño se complementa con el uso de vegetación entre los vacíos de los neumáticos, una base de concreto como apoyo y el uso de geotextil como elemento de separación entre materiales. En la figura 69 se muestra la vista en perfil del reforzamiento propuesto.

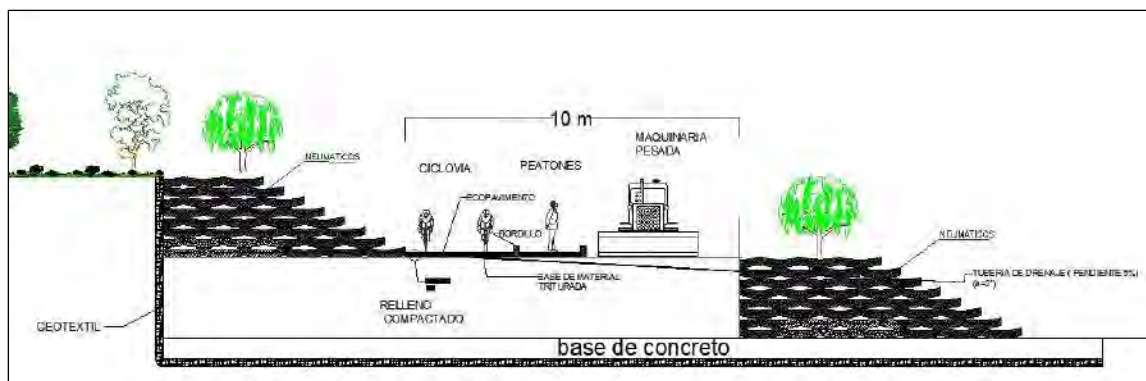


Figura 69: Propuesta de reforzamiento con neumáticos reciclados

Para la sección propuesta se ha considerado la siguiente valorización referencial, la cual incluye la cotización para la excavación, conformación del terraplén, conformación de la contención con neumáticos junto al relleno para los vacíos, una base de concreto de 0.30 a 0.50 m de espesor y el uso de geotextil bajo este que cumpla con la función de separación, como se muestra en la Tabla 18. Para fines prácticos, se ha considerado un valor representativo de 20 soles por cada neumático reciclado.

Tabla 16

Cotización referencial para el reforzamiento con neumáticos

Nº	Descripción	Und	Cantidad	Precio unitario S/.	Parcial S/.
1	Excavación masiva	m ³	62.4	28.99	1808.98
2	Conformación de relleno para terraplén	m ³	42.9	14.06	603.17
3	Geotextil no tejido clase I	m ²	29.3	10.86	318.20
4	Conformación de contención con neumáticos	m ³	156.00	20.00	3120.00
5	Relleno entre neumáticos	m ³	26.35	9.62	253.49
6	Base de concreto (f'c=210 Kg/cm ²)	m ³	6.99	432.89	3025.90
PRECIO/ml (S/)					8,449.74
PRECIO TOTAL (S/)					294,666,093.35

Monto: Doscientos noventa y cuatro millones, aproximadamente

Reforzamiento con enrocado

Se recomienda el uso de enrocado ya que el material puede encontrarse fácilmente en la ribera del río en estudio y la conformación de este tipo de reforzamiento es adaptable a las variaciones del terreno. El mantenimiento de este método puede realizarse de forma sencilla, e incluso, puede aumentar su espesor si se requiere.

Es importante considerar que, en el caso de optar por la sección escalonada, la cual es la recomendada, el enrocado solo puede ser utilizado en el nivel inferior, ya que el uso de bolonería en el segundo nivel representaría un peligro para las personas que transitarían por la banquetta intermedia. Considerando el caudal de diseño para nuestro tramo, en la Figura 70 se muestran las dimensiones vistas en perfil para el diseño de enrocado.

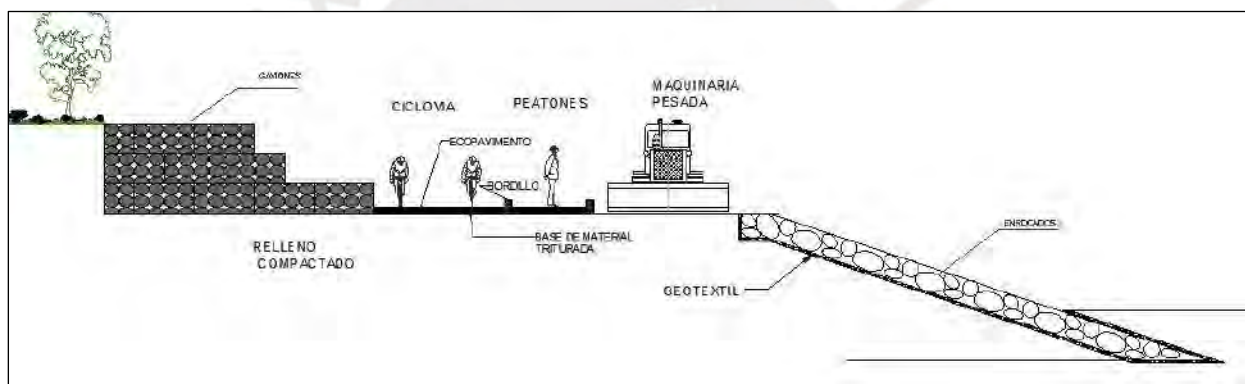


Figura 70: Propuesta de reforzamiento de talud inferior con enrocado

Para la sección propuesta se ha considerado la siguiente valorización referencial, la cual incluye la cotización para la excavación, conformación del terraplén, traslado de bolonería de 10 a 12", conformación del enrocado y el uso de geotextil bajo este que cumpla con la función de separación, como se muestra en la Tabla 19. Se ha considerado, también, una profundidad de socavación de 1,00 m.

Tabla 17

Cotización referencial para el reforzamiento con enrocado en el nivel inferior

Nº	Descripción	Und	Cantidad	Precio unitario S/.	Parcial S/.
1.0	Excavación masiva	m3	62.4	28.99	1808.98
2.0	Conformación de relleno para terraplén	m3	42.9	14.06	603.17
3.0	Geotextil no tejido clase 1	m2	29.3	10.86	318.20
4.0	Enrocado	m3	8.04	57.46	461.98
5.0	Trasporte de roca para enrocado	m3	8.04	71.28	573.09
PRECIO/ml (S/)					3,765.42
PRECIO TOTAL (S/)					121,530,434.52

Monto: Ciento veintiuno millones quinientos treinta mil, aproximadamente

Nota: Elaboración propia

Encausamiento y descolmatación del río

En el tramo de estudio se han observado secciones transversales con distintas características, las cuales pueden ser mejoradas para un fin específico, según la condición que se busque establecer, a partir del control de su relación ancho-tirante.

Por un lado, para el sector inferior, el cual se desarrolla entre áreas urbanas, se encuentran zonas predominantemente áridas con anchos que varían de 10 m hasta más de 100 m. En estas zonas, la escasa vegetación podría deberse a que el nivel freático es bajo debido a la nula recarga durante épocas de sequía, por lo que no alcanza a nutrir las raíces de la vegetación ubicada en la superficie. También se debe considerar los efectos de las velocidades que alcanza el flujo del río, ya que velocidades muy bajas o muy altas podrían generar erosión; asimismo, cabe mencionar que las áreas con flujos lentos y escasa vegetación son susceptibles a altas temperaturas, las cuales aceleran los procesos de eutrofización y generan la aparición excesiva de algas que ocasionan un déficit de oxígeno en las aguas, escenario desfavorable para la

preservación de organismos acuáticos. Ante esta problemática, se propone considerar de manera simultánea la revegetación de la ribera y el encauzamiento del río mediante la creación de una sección que permita la recarga del flujo base. La sección escalonada presentada en el Capítulo 7 pretende cumplir con este propósito, ya que el encauzamiento del río en el nivel inferior considera una sección para el flujo máximo promedio en épocas de avenida, por lo que no estaría sobredimensionada. En la figura 71 se muestra un esquema de encauzamiento para un tramo sin control de ancho-profundidad, el cual ilustra que, tras la creación de una sección de diseño con mayor tirante, la concentración del flujo permitiría una mayor recarga por infiltración, y así mismo, el desarrollo de vegetación en la ribera.

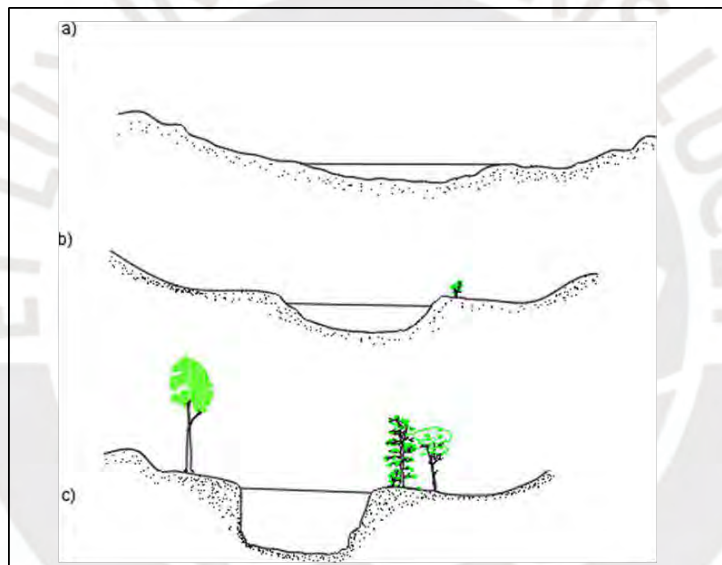


Figura 71: Encauzamiento de un tramo con problemas de escasa vegetación.

Nota: Adaptado de Principios básicos para la restauración de ríos y riberas, Gonzáles del Tánago y D.G. De Jalón ,1995

Por otro lado, en el sector medio del tramo existen zonas de menor ancho con pendientes más pronunciadas, lo cual es debido a que se desarrollan en las faldas de cadenas montañosas. En estas zonas se debe considerar el efecto de la velocidad que alcanza el flujo, ya que tanto la reducción del cauce como una mayor pendiente propician el aumento de la velocidad del flujo, lo que podría generar erosión e, incluso, el descenso del nivel freático si no existe una adecuada

condición que propicie la infiltración. Ante esta problemática, podría considerarse el aumento del ancho del cauce y/o la inclusión de barreras naturales o estructurales que actúen como atenuadores de velocidad en el fondo del cauce (ver figura 72).

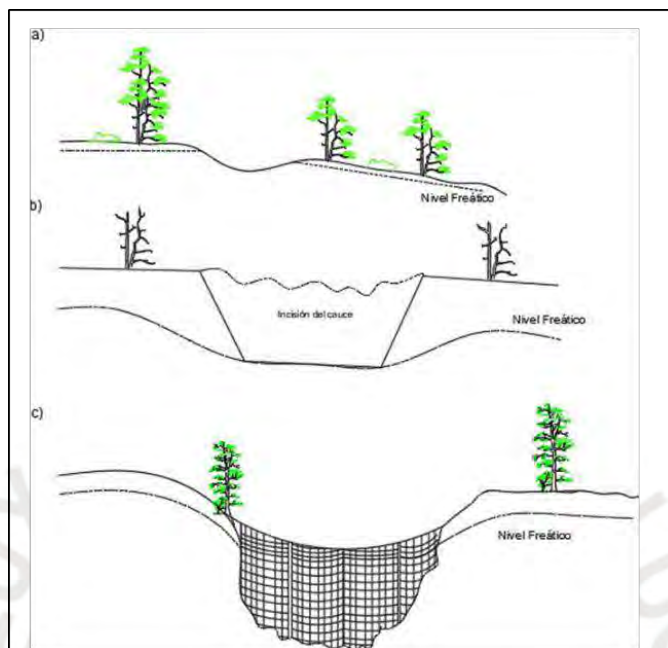


Figura 72: Inclusión de barrera natural para la atenuación de velocidades en el flujo de agua

Nota: Adaptado de Principios básicos para la restauración de ríos y riberas, Gonzáles del Tánago y D.G. De Jalón ,1995

De manera complementaria al encauzamiento, la descolmatación del río es una medida de solución temporal para la limpieza del río, la cual debe realizarse de manera periódica, sobre todo tras eventos naturales de desastre como deslizamientos. Aguas arriba del poblado de Yangas, se identificó zonas en las que predominan los riesgos por deslizamientos y movimientos de masas, por lo que se debe considerar planes de descolmatación para estas zonas denominadas como críticas y mostradas en el Anexo A-03.

Implementación de vegetación como contención ante deslizamientos de detritos

En 2015, se registró un total de 2,157 fenómenos ocurridos por movimientos de masas en la cuenca del río Chillón, de los cuales 534 correspondían a huaycos y 141 a casos de erosión fluvial (ANA, 2015).

Esta situación se presenta, generalmente, debido a problemas de erosión e inestabilidad de capas superficiales de suelos en laderas que tienden a ceder ante eventos de lluvia o sísmicos, para lo cual se propone la inclusión de vegetación como primera barrera de defensa.

En la figura 73 se muestra la aplicación de las llamadas empalizadas trenzadas, técnica que se suele utilizar para evitar la erosión en los taludes descubiertos de los ríos a partir del entrelazado de vegetación con ramas. Esta técnica, a su vez, refuerza la estabilidad del talud al incluir refuerzos transversales con estacas. Esta medida resulta práctica en zonas en las que existan bosques o estos se encuentren próximos, con el fin de facilitar la adquisición del principal insumo.



Figura 73: Aplicación de empalizadas trenzadas para el reforzamiento de taludes

Nota: Tomado de Manual de ordenación de cuencas hidrográficas, FAO, 1986

De manera general, se recomienda la inclusión de vegetación en las laderas de los taludes descubiertos, especialmente en las zonas identificadas como críticas por deslizamientos y/o derrumbes que se presentan en el Anexo A-03, ya que no solo retienen el material suelto que pueda desprenderse de manera superficial, sino que sus raíces también actúan como estacas de estabilización, brindando mayor soporte. Se debe considerar para esta medida la selección de especies que puedan cumplir con este propósito y desarrollarse para condiciones y clima propios de la zona.

Implementación de muros drenantes o terrazas

En el caso que existan taludes pronunciados propensos a deslizamientos de mayor potencia, es recomendable proponer medidas de contención, como la implementación de muros o estructuras en la base del talud. Estas estructuras pueden ser diques conformados por material seleccionado propio de la zona o elementos de contención prefabricados como gaviones o escolleras permeables, estas últimas no solo contribuyen en peso, sino que también favorecen a la permeabilidad. Independiente de la elección del restaurador, es importante contemplar un sistema de drenaje adecuado, con el fin de evitar la acumulación de agua en zonas de transición o que el flujo genere un peso adicional tras la estructura, incrementando su carga hidráulica; de ahí su denominación como “muros drenantes” o “muros permeables”.

Según Baquero (2005, como se citó en INGEMMET,2010): “el material usado en la construcción de dichos muros debe ser estable frente al paso del tiempo, intemperie y reacción con la roca y pesados para ejercer carga al pie del talud”(p.21).

En la figura 74 se muestra el detalle de diseño para un muro drenante.

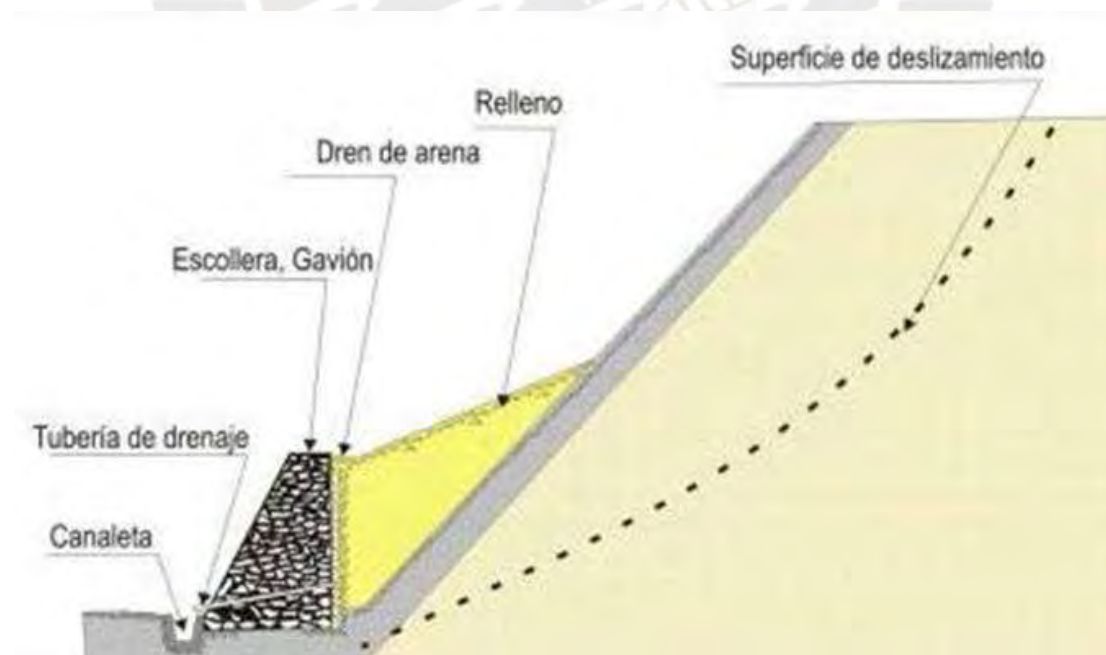


Figura 74: Muro permeable al pie del talud de una zona con deslizamientos

Nota: Tomado de Zonas Críticas por peligros geológicos, INGEMMET, 2010

Barreras geodinámicas

A lo largo del tramo de estudio, se identificaron zonas cercanas a centros poblados, zonas cercanas a quebradas y otras donde se encuentran carreteras o vías de tránsito al pie del talud que conectan la provincia de Canta con pueblos aledaños. Ante dicho problema se recomienda utilizar barreras geodinámicas como mallas anticaídas para la protección específicamente de estas zonas de mayor importancia, debido a que su implementación representa una elevada inversión. Esta medida también puede ser implementada aguas abajo en zonas de peligro ante huaicos. En la región Lima, esta medida ha sido implementada por la zona de Chosica. En la figura 75 se puede apreciar las barreras geodinámicas mencionadas en líneas anteriores.



Figura 75: Diseño de barreras dinámicas

Nota: Tomado de Dirección de preparación, CEPGI, 2018

Uso de geosintéticos

Actualmente existe una gran variedad de geosintéticos cuya elección depende de la finalidad de uso, razón por la cual estos pueden ser recomendados para la totalidad del tramo y junto a distintas propuestas en función de su necesidad. En la tabla 20 se presentan los geosintéticos más recomendables.

Tabla 18

Comparación de geosintéticos recomendables según su función

Función	Geotextiles	Geomallas	Geomembranas	Geocompuestos
Separación				
Filtración				
Refuerzo				
Drenaje				
Control de Erosión				
Barrera				

Nota: elaboración propia

7.2 Preservación de los ecosistemas en la ribera

7.2.1 Inclusión de vegetación

La selección de las especies a considerar en la inclusión de vegetación debe considerar las condiciones de sitio y la función que se busca cumplir, así como también si esta medida es complementaria a otra.

En el Capítulo 7.1 se comentó el uso de vegetación como alternativa de solución ante deslizamientos o huaycos; no obstante, también se puede acoplar su uso a otras medidas. Por ejemplo, el uso de gaviones actúa adecuadamente como contención, pero el material no es ideal para preservar los ecosistemas de la ribera, por lo que estos deben ser cubiertos por una capa de suelos finos, preferentemente arena y arcilla, en la cual se pueda desarrollar la vegetación en la superficie. Esta consideración puede ser adoptada también en la propuesta de uso de

neumáticos para la estabilización de taludes, consiguiendo de esta manera que las propuestas mantengan un equilibrio ecofluvial.

La inclusión de vegetación también se presenta como medida de solución a los problemas de sequía en las zonas donde predomina el riego de cultivos, ya que la captación del agua para este fin se extrae de la napa freática mediante pozos, lo cual produce que el nivel del agua disminuya. En estas zonas, se propone la revegetación de la ribera mediante la inclusión de especies que se acoplen a las condiciones de los taludes del cauce, y la ubicación de árboles en la periferia de la ribera, de manera que estas especies puedan captar el agua con sus raíces y centrar el nivel freático en la zona del río, a partir de la creación de un cerco vivo en la superficie.



Tal como se mencionó anteriormente, las zonas áridas del río son vulnerables a los efectos del sol que generan condiciones perjudiciales para la formación de microorganismos, por lo que se recomienda la inclusión de vegetación premeditada en zonas en las que se requiera el desarrollo de vida acuática. Esta medida debe ser complementada con estudios de la calidad del agua para los puntos de interés.

En resumen, la inclusión de vegetación tanto en el cauce como en la ribera representa una solución a diversos fines.

La tabla 21 muestra opciones de vegetación que podrían considerarse como opción para las propuestas en las que se requiera su inclusión, según corresponda; se seleccionó especies que pudieran subsistir en el ecosistema de la ribera del río Chillón y que sean de fácil adquisición, y se resaltó las características de interés, como su altura, usos, tipo de plantación, aprovechamiento, limitaciones, etc.

Tabla 19

Recomendación de especies para la inclusión de vegetación

<p>1. ACACIA MACRACANTHA</p> <p>Denominado como árbol “Espino”, puede alcanzar una altura entre 4 a 12 m y suele habitar tanto en zonas urbanas como en campestres, además de poder desarrollarse en cerros y laderas. Puede ser usado para la recuperación de suelos, la creación de cercos vivos, como alimento para ganado y es hábitat de aves.</p>	
<p>2. FUCHSIA MAGELLANICA</p> <p>Denominado como “Chilco”, es un arbusto de hasta 3 m que suele habitar en la ribera de ríos, zonas campestres y bosques ribereños. Tiene la capacidad de captar gran cantidad de humedad, por lo que se puede emplear como cortina rompeviento. También, esta especie se puede usar como cerco vivo, para el control de erosión, y es una especie biodiversa debido a sus frutos y flores.</p>	
<p>3. ARMATOCEREUS PROCERUS</p> <p>Denominada como “jacuno”, es un cactus propio de Perú que alcanza hasta 7 m de altura, generalmente habita en zonas ribereñas o en quebradas. Esta especie puede ser usada para la protección de erosión y como barrera ante huaycos, además de ser hábitat para aves.</p>	
<p>4. TECOMA STANS</p> <p>Denominado como “Huarahuay”, es un árbol que puede alcanzar 7 m de altura. El crecimiento de su raíz no produce levantamiento de pistas ni veredas. Posee flores que atraen mariposas, picaflores y otras aves. Se reproduce por semillas y estacas de 1m de largo. Soportan sequías. Son de vida corta, pero poseen regeneración natural.</p>	

Nota: elaboración propia

7.2.2 Habilitación de accesos y equipos de monitoreo

Es necesario que las medidas propuestas contemplen los accesos necesarios para realizar los trabajos de mantenimiento y limpieza, los cuales son periódicos, así como también contar con instrumentos de monitoreo ambiental como parte de la vigilancia del río. Ambas consideraciones son necesarias para que las propuestas puedan desempeñar un rol eficiente a largo plazo.

Accesos para maquinarias

Según ANA (1970), se debe contar con accesos a puntos denominados como críticos, a centros de acopio y a canteras de influencia, los cuales deben contemplar las dimensiones de los vehículos y maquinarias que transitarán según su función, ante situaciones normales y eventos de emergencia.

Para el presente estudio, los accesos deben permitir el descenso de maquinarias hacia el cauce del río para su limpieza y mantenimiento, tanto del lecho como de las estructuras existentes que se hayan implementado como medidas de solución. Según la sección escalonada propuesta para la sección inferior del tramo en el Capítulo 7.1, se plantea aprovechar la banquetta intermedia para ubicar una ruta destinada a la circulación de maquinaria, la cual contará con un ancho libre de 4,0 m en superficie. Es importante que los accesos cuenten con una adecuada señalización y rutas de evacuación, sobre todo ante eventos de emergencia en los que es necesaria una respuesta rápida. Así mismo, los accesos deben contar con un plan de mantenimiento periódico con el fin de asegurar su operación continua.

En el caso de dragados por trabajos de descolmatación, se necesario contar con rutas establecidas hacia los botaderos más cercanos. Estos trabajos se realizan con el fin de controlar la acumulación de sedimentos en el lecho del río y que la geometría del cauce sea acorde a la capacidad hidráulica requerida.

Entre los distintos tipos de dragado existentes, para las condiciones de sitio del río Chillón, se recomienda realizar dragados convencionales con dragas retroexcavadoras y retroexcavadoras anfibias, las cuales se presentan en la figura 76 y figura 77, respectivamente.



Figura 76: Draga retroexcavadora

Nota: tomado de "Google Earth"



Figura 77: Retroexcavadora anfibia

Nota: tomado de "Google Earth"

Esta maquinaria es útil en ríos de ancho angosto, su cuchara cuenta con capacidad de 8 m^3 , y su brazo permite la extracción de material a una distancia de hasta 18 m. Trabaja en avance o retroceso, resultando en una opción práctica y de fácil adaptabilidad al entorno. Sus dimensiones lo hacen adecuado para trabajar en terrenos de resistencia media.

Consiste en una retroexcavadora con flotadores incorporados, los cuales permiten su uso en épocas de avenida en las que el tirante del agua aumenta, alcanzando incluso las zonas más lejanas o de difícil acceso.

Es importante considerar que los trabajos de dragado pueden ocasionar efectos secundarios con consecuencias negativas al medio ambiente. La acción de remoción de los suelos puede generar

erosión y sedimentación, en función del tipo de material que se encuentre, lo cual podría conllevar a la acumulación de material en nuevos puntos críticos aguas abajo. Así mismo, los trabajos alteran las características de los nutrientes presentes en el agua y, por consiguiente, la alteración tanto directa como indirecta de su ecosistema; por ejemplo, el dragado aumenta la turbidez del agua, lo cual disminuye la penetración de la luz, perjudicial para los procesos de fotosíntesis de las especies acuáticas. Ante esta problemática, previo a los trabajos de dragado, se recomienda realizar una evaluación de impacto ambiental en las zonas denominadas como críticas.

Equipos de monitoreo ambiental

El río Chillón no solo es propenso a la contaminación de sus aguas mediante el contacto con residuos sólidos o el vertimiento directo de otros fluidos, sino que también se debe considerar el efecto de la contaminación ambiental. En este sentido, es necesario identificar la existencia o no de fuentes contaminantes en el aire que podrían representar un riesgo al agua del río y a su ecosistema.

Para ello, se recomienda contar con equipos de monitoreo ambiental ubicados estratégicamente con el fin de registrar los parámetros atmosféricos, los cuales deben ser comparados con los niveles permisibles de concentración de contaminantes en el aire (valores ECA) recomendados por el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA). Estos valores se muestran en la tabla 23.

Es importante considerar que el río muchas veces se encuentra cerca a centros poblados o zonas urbanas, por lo que es necesario el monitoreo de la calidad del aire a fin de evaluar el impacto en la salud.

Tabla 20

Niveles permisibles de calidad ambiental del aire

Parámetros	Periodo	Valor ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Dióxido de azufre (SO_2)	Anual	80
	24 horas	20
PM-10	Anual	50
	24 horas	150
Monóxido de carbono (CO)	8 horas	10 000
	1 hora	30 000
Dióxido de nitrógeno (NO_2)	Anual	100
	1 hora	200
Ozono (O_3)	8 horas	120
Plomo (Pb)	Anual	0.5
	Mensual	1.5
Sulfuro de hidrógeno (H_2S)	24 horas	150
Benceno (C_6H_6)	Anual	2
Hidrocarburos totales (HT)	24 horas	100
PM-2.5	Anual	15
	24 horas	25

Nota: tomado de Instrumentos básicos para la fiscalización ambiental, OEFA, 2017

Los equipos recomendados para el monitoreo ambiental se presentan en la figura 78, figura 79 y figura 80:

Tren de muestreo



Este equipo permite la captación de gases atmosféricos considerados como potencialmente contaminantes, como el monóxido de carbono o el sulfuro de hidrógeno.

Figura 78: Equipo de tren de muestreo



Muestreador de bajo volumen

Este equipo es utilizado para la medición de partículas PM10 y PM2.5 de bajo volumen suspendidas en el aire, las cuales pueden causar problemas respiratorios.

Figura 79: Equipo muestreador de partículas de bajo volumen



Analizadores automáticos

Estos equipos son utilizados para monitorear gases de interés, registrando sus niveles de concentración, en función de sus niveles permisibles.

Figura 80: Equipo analizador automático

Nota: Tomado de Instrumentos básicos para la fiscalización ambiental, OEFA, 2017

7.3 Creación de áreas de esparcimiento

En este acápite se pretende considerar la implementación de áreas que sirvan de conexión entre la población y el medio ambiente, con el fin de lograr una interacción responsable y equilibrada entre agentes de un mismo ecosistema, necesaria en todo proyecto de restauración.

7.3.1 Senda ecológica

Una de las principales y primeras medidas de acción que se deben tomar ante la problemática de invasiones, es el desalojo de las viviendas que se encuentran dentro de la delimitación de la faja marginal del río Chillón, así como también velar por que los pobladores no vuelvan a

invadir los espacios en un futuro. La senda ecológica se presenta como solución ya que no solo establece in situ los límites de la faja marginal mediante las señalizaciones, sino que también transforma el espacio libre en urbanismo que sirva de interacción con la sociedad y su aprovechamiento. Con el fin de unir los distintos distritos del cono norte, se propone crear una senda ecológica que se extienda desde el poblado de Yangas hasta el final del tramo, en el puente de la carretera Panamericana Norte.

Para el diseño de la senda, se consideró una banqueta intermedia de 10 m de ancho, en la cual se construiría una vía para el tránsito libre de peatones de 2,20 m de ancho y otra adyacente de 3,2 m de ancho para ciclistas, además de la inclusión de una ruta libre de 4.6 m de ancho destinada para la circulación de maquinarias. En cuanto a los materiales, se ha propuesto un pavimento permeable ecológico, el cual permite el paso del agua para ser absorbido por las capas de suelo y este ser dirigido mediante tubos hacia el río. Cabe mencionar que este material se propone para la zona donde los peatones transitaran y zona de ciclistas.

El sistema es menos invasivo para el terreno debido al casi nulo uso de materiales extraños que contaminen al río, ante un evento extraordinario, e inunden la senda. Otras de las virtudes del eco pavimento es su vida útil de más de 30 años, capacidad de carga hasta de 100 toneladas de peso por metro cuadrado y el material para su fabricación en polipropileno reciclado.

En cuanto a su proceso de instalación, primero se debe trabajar el terreno retirando topo tipo de capa, luego se realiza el confinamiento con sardineles o bordillos para saber el área exacto, se agrega una base compactada de triturados de 1" a 2" (ente el relleno compactado y la futura capa del pavimento), se realiza la instalación de la geo-celda rígida y se agrega como relleno material triturado de 3/8" a 1/2" de grama, arena, entre otros. Como paso final y para una mayor señalización se colocan unos tapones de un material similar al de la geo-celda.

En la Figura 81 se puede observar la geo-celda mencionada, la cual ya es actualmente distribuida en Sudamérica.



Figura 81: Geo-celda compuesta por material de propileno reciclado

Nota: tomado de Pisos Permeables, Ecodeck, 2022

Adicionalmente, se incluye la incorporación de vegetación como los árboles Molle Serrano, Cucarda y Huarahuay; destacando el primero debido a que es un árbol de gran tamaño con valor histórico desde la época prehispánica. Dicha información será complementada junto a carteles informativos describiendo de forma breve cada tipo de árbol a incorporar junto a la distribución de papeleras con su respectiva simbología y color para el reciclaje. El diseño también incluirá la propuesta de inclusión de vegetación de menor tamaño como cerco vivo para controlar la erosión del río; por ejemplo, la Hierba Blanca, la hierba rastrera del Mondonguito y arbustos.

En la Figura 83 se observa la vista en elevación del diseño de la senda ecológica.

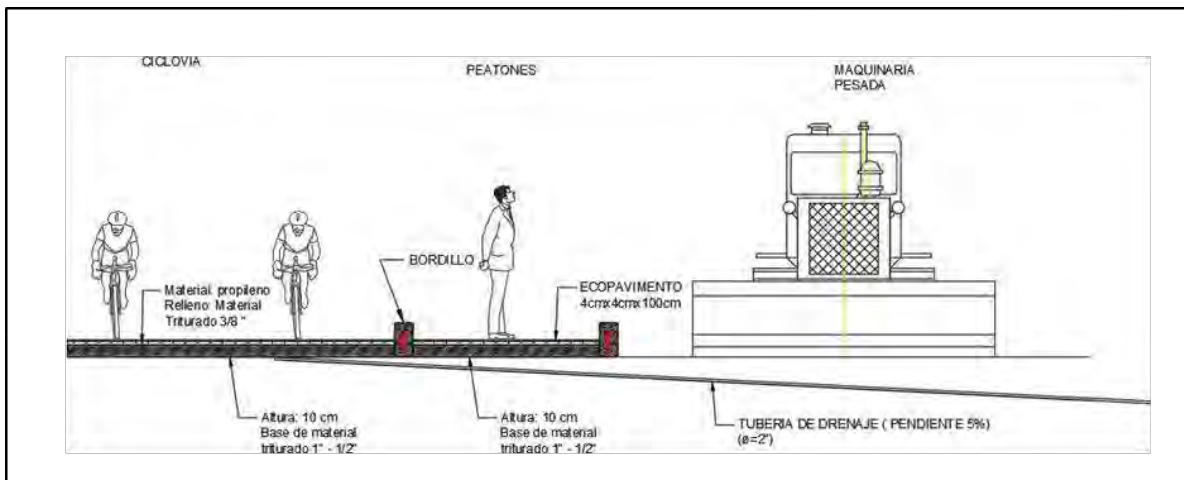


Figura 82: Vista en elevación del diseño de la senda ecológica

Nota: elaboración propia

Es importante destacar algunos puntos a lo largo del recorrido que tendrá la senda ecológica. En primer lugar, la ruta desde el punto final del tramo hasta el poblado de Cocayalta, la cual abarca casi la totalidad del tramo para la senda ecológica, ya era conocida y utilizada anteriormente por ciclistas pese a la falta de una vía designada, por lo que la inclusión de ciclovías a los extremos contribuirá a que los pobladores transiten por vías señalizadas. Por otro lado, el fin de interacción y conexión de la propuesta puede aprovecharse con algunos puntos recreacionales o de valor histórico que se encuentran a lo largo del tramo, los cuales se mencionan a continuación.

- **Lagunas de Cándamo:** Ubicadas en el distrito de Carabayllo, las lagunas de Candamo son lagunas naturales provenientes de la vertiente del Río Chillón utilizadas como principal atractivo para la creación de un centro recreacional, en donde se contempla actividades como paseos en bote, a caballo y en cuatrimoto, además de contar con áreas para acampar.
- **Lagunas de Trapiche:** Similar a las lagunas de Candamo, las lagunas de Trapiche se ubican en el distrito de Trapiche y son el principal atractivo para el centro recreacional.
- **Zonas arqueológicas:** En el distrito de Carabayllo se encontró 2 zonas arqueológicas,

la primera ubicada a la espalda del cerro en donde se sitúa la asociación San Samuelito de Muruta y la segunda correspondiente a la zona arqueológica Monumental Huatocay 5. Debido a que ambas zonas han sido expuestas a la lotización informal, sufrieron pérdidas históricas debido al vandalismo, razón por la cual actualmente han sido declaradas como patrimonio cultural de la nación.

También se encuentra cerca el centro arqueológico Huanchipuquio, por lo que se podría añadir la señalización correspondiente para la ruta hacia dicha zona arqueológica.

7.3.2 Parque inundable

La propuesta pretende acoplarse a la anterior, pues a lo largo del tramo logran observarse zonas con ensanchamiento del cauce y áreas libres en los laterales que podrían aprovecharse. Con el fin de evitar que poblaciones futuras terminen por asentarse en los tramos que actualmente se encuentran libres, se pretende aprovechar la conexión de la senda ecológica y delimitar dichos espacios como parques inundables. De esta manera no solo se preserva los ecosistemas de la ribera en ciertos puntos, sino que también se consolida el diseño de senda ecológica como un recorrido que conecte las poblaciones de ambos lados del río sin invadir la delimitación de la faja marginal; de esta manera, ante eventos de máxima avenida, serán los parques los que resulten inundados. En la Figura 83, se muestra posibles zonas para este uso.

Se busca que, a futuro, la misma población tome consciencia de la importancia de respetar la faja marginal del río Chillón y se puedan reemplazar las invasiones por nuevos parques inundables.



Figura 83: Aprovechamiento de las zonas de Puente Piedra y el centro poblado de Punchauca para la construcción de parques inundables, visualizado desde Google Earth

En la Figura 84 se observa el diseño de parque inundable implementado en Chile, en donde se muestra la inclusión de áreas de esparcimiento, ciclovías, jardines y el desvío de agua excedente a través de un sistema de drenaje.

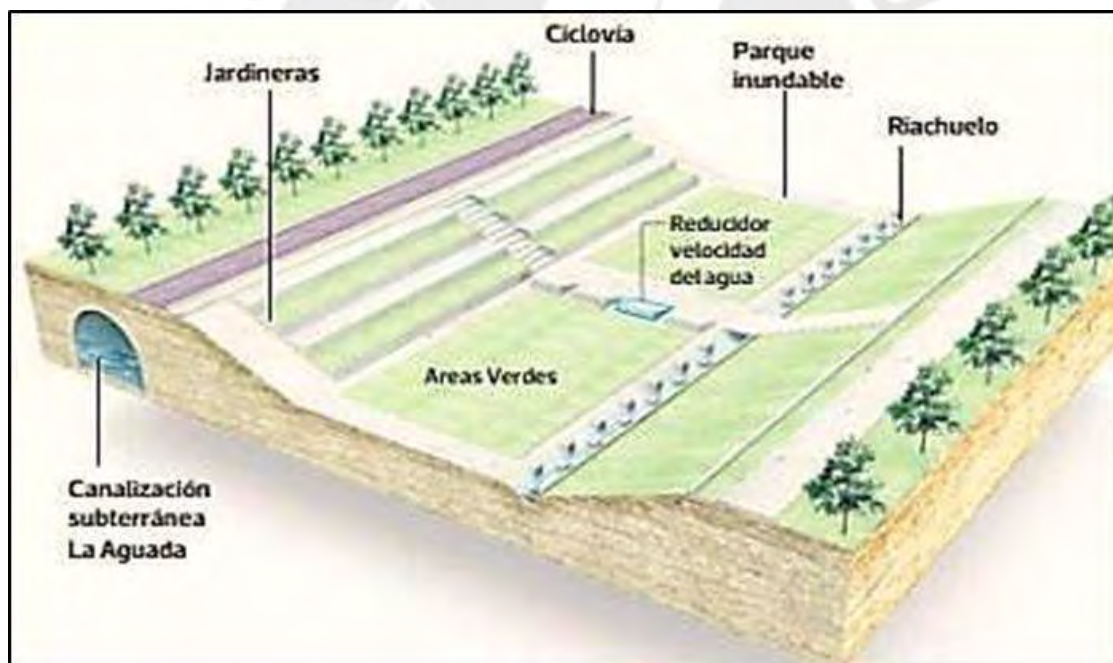


Figura 84: Diseño de parque inundable en la comuna de San Joaquín, Santiago de Chile

Nota: tomado de La Tercera, 2012

A diferencia de la senda ecológica para el río Chillón, en este caso el río presentaba problemas con el olor que desprendían sus aguas, por lo que fue canalizado bajo tierra. En nuestro caso

no se podría realizar esta canalización, ya que no se presenta el mismo problema y el diseño no es ideal para eventos naturales de derrumbes y huaycos.

7.3.3 Zonas de aprovechamiento

En caso de que la opción de parque inundable resulte inviable, se puede designar algunas zonas para la creación de zonas de esparcimiento, como miradores o descansos temporales de aparcamiento, cuyo fin sería el mismo de reemplazar espacios libres por urbanismo, pero de manera localizada. Los espacios aprovechables serían aquellos que no cuenten con un uso específico y su transformación no genere más desventajas que ventajas.

Para el tramo en estudio, se consideró las rutas desde San José a Quives, y desde Trapiche hasta la carretera Panamericana Norte, que eran las que contaban con espacios visiblemente libres. En las Figuras 85 a 87, se indican los espacios en donde podría implementarse zonas recreativas.



Figura 85: Tramos de San José a San Lorenzo y de San Lorenzo a Quives

Nota: elaboración propia



Figura 86: Tramos de Trapiche a Carabayllo y de Carabayllo al puente de la Panamericana Norte



Figura 87: Tramo de Trapiche a Carabayllo

Nota: elaboración propia

7.4 Difusión de educación medioambiental

Es importante que las propuestas anteriormente presentadas sean complementadas con una adecuada educación medioambiental para la población, la cual muchas veces no es consciente de la importancia del rol que desempeñan y subestiman los efectos de sus acciones.

En primer lugar, el alcance de esta difusión contempla a todas las personas que tengan contacto con el agua del río Chillón y/o que cuenten con algún suministro que sea abastecido por este recurso, ya que todos pueden perjudicar o contribuir en la problemática ya sea en menor o mayor escala.

De manera general, se busca que las personas cuenten con los conocimientos básicos para entender las problemáticas que existen actualmente en el río Chillón, la necesidad de la protección del recurso hídrico y de qué manera pueden aportar. Esta relación debe ser explicada de manera resumida en un lenguaje de fácil entendimiento, considerando que el mensaje busca llegar a diferentes sectores sociales.

A continuación, se recomienda considerar las siguientes actividades:

- Charlas informativas: estas pueden realizarse en instituciones cercanas, juntas vecinales y/o reuniones o eventos municipales. Se busca aprovechar la congregación de una gran cantidad de personas, las cuales interactúan o reciben el aporte del recurso hídrico en sus actividades diarias, para presentar la problemática de interés que necesitan resolver en conjunto para su conveniencia.
- Clasificación de residuos: se puede partir por inculcar una adecuada cultura de clasificación de residuos mediante la implementación de contenedores y carteles informativos que expliquen los diferentes tipos de desechos que se pueden generar. Esta segregación puede ser considerada como el paso previo a la cultura de reciclaje, la cual también se debe implementar.
- Campañas de limpieza de la ribera: estas pueden ser promovidas por las municipalidades, colegios o representantes de los centros poblados, a fin de impulsar actividades de voluntariado en las que la población trabaje en conjunto para el cuidado del recurso hídrico.

- Campañas de reciclaje entre poblaciones: tras conseguir una adecuada cultura de clasificación de residuos, se busca lograr lo mismo con el reciclaje, para lo cual se pueden crear campañas entre poblaciones que contemplen algún incentivo en función a su desempeño.
- Carteles informativos: Estos complementan las actividades anteriores, pueden incluir gráficos que ilustren de manera acertada el mensaje que se busca dar. Esta información que puede ser leída más de una vez en el día a día de las personas, representa una idea recurrente en sus mentes que los incentive a formar parte de la solución.

Se destaca la importancia de inculcar una cultura socio-ambiental en los menores desde temprana edad en los colegios, quienes a su vez llevan el mensaje aprendido hacia su hogar. Los menores están en la capacidad de comparar lo aprendido con la situación de su hogar, por lo que, a futuro, podrán generar charlas de concientización, corregir a sus familiares y optar por cambios en sus hábitos diarios.

7.5 Reubicación de población vulnerable

Con el apoyo del estudio social, se obtiene un mayor panorama de la problemática, por lo que se considera necesario incluir la reubicación de las familias que habiten las zonas de las fajas marginales del río Chillón.

En Perú, existe un precedente sobre la reubicación de ciudadanos que vivían en zonas aledañas al río Rímac, lo cual se presentó debido al riesgo al que estaban expuestos ante una crecida extraordinaria del caudal y a la construcción del proyecto Vía Amarilla.

CENEPRED cuenta con un plan de reasentamiento para poblaciones ubicadas en zonas de alto riesgo, el cual permite un procedimiento uniforme y una explicación de las entidades que intervienen para esta actividad; no obstante, este documento aún no contempla la reubicación

de personas aledañas a riberas. Considerando que estos planes son relativamente nuevos, se recomienda para futuras versiones añadir solución a dicha problemática.

Para el presente estudio se propone reubicar a la población en zonas cercanas pertenecientes a la región de Lima Norte, en donde el precio por m² se encuentra entre 3000 y 4000 soles. Se ha considerado que las viviendas tendrán una extensión de 50 m² para familias de 3 a 5 personas. Según lo especificado en el capítulo 5.3, la cantidad de familias que deberían ser reubicados es 568 por lo que el costo de reubicación de viviendas sería de 113,4 millones de soles. En la tabla 24 se muestran los resultados de inversión obtenidos tras utilizar distintos valores de área y precio por m².

Tabla 21

Rangos de inversión para la propuesta de reasentamiento de 568 viviendas, en función del área de vivienda y el precio por m²

Nº VIVIENDAS	ÁREA PROPUESTA DE VIVIENDA (M ²)	PRECIO POR M ²	INVERSIÓN (S/.)
568	50	3,000.00	85,200,000
568	50	4,000.00	113,400,000
568	55	3,000.00	93,720,000
568	55	4,000.00	124,960,000
568	60	3,000.00	102,240,000
568	60	4,000.00	136,320,000
568	65	3,000.00	110,760,000
568	65	4,000.00	147,680,000
568	70	3,000.00	119,280,000
568	70	4,000.00	159,040,000

Nota: elaboración propia

De considerar el apoyo de programas como techo propio o mi vivienda este valor podría reducirse un porcentaje del monto final.

8. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Una adecuada restauración de un río requiere contar con una considerable cantidad de información relacionada a distintas disciplinas y factores que deben ser considerados, para lo cual se debe contar con un programa previo establecido que contemple la recopilación de los estudios previos, los cuales deben contar con información actualizada y su alcance sea competente con el tramo de estudio. Este programa nos permitirá identificar qué información se encuentra faltante o incierta, para lo cual será necesario realizar estudios complementarios. El proyecto de restauración a gran escala requiere contar con información precisa y actualizada que otorgue un buen modelamiento, pues este será usado como base para la estimación de áreas y costos, por lo que requiere contar con recursos, tecnología y personal capacitado. Actualmente, dicho organismo encargado de almacenar y actualizar dicha información es la Autoridad Nacional del Agua, con quienes sería necesario contactar para cualquier proyecto de Restauración. No obstante, y ante la experiencia propia, se destaca que establecer dicha conexión muchas veces puede resultar tedioso o incluso no llega a concretarse, teniendo que optar por otras alternativas. El proyecto de tesis presenta el modelamiento aproximado a partir de imágenes satelitales, pero de requerir una precisión similar al levantamiento topográfico, es necesario contactar con satélites cuya precisión sea mucho mayor y trabaje con resolución de imagen por centímetros o hasta 1 m. Asimismo, es importante mencionar el peso de la información que se obtendría, la cual necesitará de un buen ordenador y procesador para su modelamiento.

Para la ejecución del proyecto de restauración, se deberá contar con la participación de un equipo multidisciplinario que comparta los conocimientos de su área mediante charlas y coordinaciones, e integre las conclusiones en la redacción del informe. Es necesario tener en cuenta las consideraciones publicadas en estudios pasados, así como también que la restauración se realice considerando situaciones extremas de riesgo, que son las que definirán

el dimensionamiento de las estructuras. Esto se menciona debido a que las propuestas para inundaciones han sido diseñadas considerando el caudal máximo extraordinario de $388.5 \text{ m}^3/\text{s}$ (Escenario 3: modelos climáticos proyectados al año 2050), para un Tr de 100 años; no obstante, a pocos metros aguas abajo del punto final del tramo en estudio, se observó que en el año 2023 la municipalidad de Puente Piedra implementó la creación de una senda instaurada en el nivel superior del talud actual del cauce. En una tercera visita realizada en el presente año se observó el resultado de dicha senda, y tras tomar mediciones in situ, se observó que el diseño no es adecuado para el evento extraordinario contemplado en este estudio, ya que en caso ocurra el caudal de diseño, se generaría inundaciones en las poblaciones aledañas y la misma senda.

Con las medidas de acción establecidas, se deberá gestionar un adecuado uso de los recursos mediante la implementación de un plan de restauración. Este plan debe contemplar los procedimientos de construcción, planes de contingencia, cronograma de trabajo y gastos de proyecto.

Por un lado, se debe tener presente que varias de las propuestas mencionadas guardan relación unas con otras. Teniendo en cuenta los factores de tiempo, aprovechamiento de recursos y personal, el parque inundable podría llevarse a cabo junto a la ejecución de la senda ecológica, y esta a su vez acoplar la propuesta ingenieril de implementación de sistema de drenaje. Los parques inundables serían ubicados en zonas de aprovechamiento visible a lo largo de la senda cuyo fin sea el de evitar que dichos espacios se conviertan a futuro en nuevos puntos de invasión.

La difusión de educación medioambiental está pensada a futuro, luego de adoptar algunas medidas que permitan a la población ir tomando conciencia de los cambios que vayan apareciendo. Su ejecución debe llevarse a cabo con el compromiso y atino de las entidades pertinentes.

Con respecto a las propuestas de reforzamiento recomendadas para el tramo comprendido desde Yangas hasta la carretera Panamericana Norte, en la Tabla 25 se compara el desempeño del reforzamiento con gaviones, neumáticos o enrocado bajo distintos criterios.

Tabla 22

Comparación de propuestas para reforzamiento de talud de cauce

CRITERIO	GAVIONES	ENROCADO	NEUMÁTICOS
RECURSO BASE	Requiere material seleccionado	Bolonería propia del cauce	Uso de neumáticos reciclados
COSTO DE INSTALACIÓN	Mayor costo que el enrocado debido al proceso constructivo.	Propuesta más económica.	Costo menor al de los gaviones, mayor al del enrocado.
EXPERIENCIA EN TÉCNICA	El uso de gaviones ha sido la alternativa más utilizada previamente para el reforzamiento en algunos tramos del río Chillón.	Propuesta usada en algunas zonas puntuales del tramo, mas no a gran escala.	Esta medida no ha sido utilizada previamente para el reforzamiento en el río Chillón.
FACTIBILIDAD	Puede ser incorporado en ambos niveles.	Solo puede ser utilizado para el nivel inferior.	Puede ser incorporado en ambos niveles.
PROCESO CONSTRUCTIVO	Requiere de mayor etapas y equipos para la instalación de los gaviones.	Presenta el proceso constructivo más simple.	Proceso constructivo sencillo pero largo, debido al cuidado que se debe tener durante la instalación de los neumáticos.
VEGETACIÓN	Permite la implementación de cierto tipo de vegetación	Permite la implementación más limitada de cierto tipo de vegetación	Permite la implementación de mayor vegetación
DURABILIDAD	Presenta el menor tiempo de vida, por lo que requiere de mantenimiento.	El material rocoso es propenso a desintegrarse o fracturarse en fracciones de menor tamaño.	Su recurso base posee un tiempo de degradación de hasta 1,000 años.

CRITERIO	GAVIONES	ENROCADO	NEUMÁTICOS
MANTENIMIENTO	Requiere mantenimiento debido a su corto tiempo de vida y la corrosión a la que se expone el alambre metálico, al igual que la abrasión.	Reparación sencilla. Puede aumentarse su espesor de requerirse.	Mantenimiento puntual en caso se requiera.

Nota: Elaboración propia

Con respecto al encausamiento y descolmatación, es importante acompañar la propuesta con un adecuado manejo de materiales inadecuados o contaminados. El no conocer las características del material de sitio a dragar conlleva a gastos adicionales, debido a que los contaminantes requieren diferentes tratamientos y condiciones durante el dragado que no estaban considerados inicialmente, tanto en la excavación como en el traslado y acopio. Por lo tanto, se recomienda identificar previamente las fuentes generadoras de contaminantes, como son los posibles puntos de desechos de residuos industriales o las descargas de aguas residuales sin tratamiento, y realizar las investigaciones pertinentes, a fin de incluir estas consideraciones en el plan de restauración.

9. CONCLUSIONES

1. El análisis hidrológico otorgó una visión simplificada del comportamiento hidrológico de la cuenca del río Chillón a partir del procesamiento de registros de lluvia de 7 estaciones funcionales, para el periodo de 1984 al 2013, considerando un periodo de retorno (T_r) igual a 100 años (Escenario 1). Tras comparar las curvas IDF del análisis hidrológico con las curvas IDF proporcionadas por SENAMHI para registros históricos (escenario 2) y modelos de cambio climático proyectados al año 2050 (escenario 3), se observó valores mayores en los escenarios 2 y 3, lo cual es debido a que cuentan con sistemas más sofisticados de procesamiento de datos y registros más extensos que no

fueron considerados. No obstante, en algunas estaciones las curvas IDF resultaban bastante próximas, lo cual es indicador de que se realizó el análisis hidrológico adecuadamente.

2. De modelamiento hidráulico bidimensional, se obtuvo caudales de salida para los escenarios 1, 2 y 3, los cuales fueron 248 m³/s, 376,9 m³/s y 388,5 m³/s, respectivamente; resultado esperado debido a que guarda concordancia con la comparación de las curvas IDF en cada escenario. En los tres escenarios se concluyó que, desde el centro poblado de Yangas hacia aguas abajo, el riesgo por inundación es crítico pues se extiende por zonas urbanas ubicadas a escasos metros del cauce, mientras que aguas arriba del poblado de Yangas hasta la provincia de Canta, el flujo tiende a seguir su cauce.
3. De los análisis, modelamientos y resultados obtenidos, se concluyó que un modelo digital de elevación cuya resolución de pixel sea mayor de 10 m podría aplicarse para estudios de ríos con anchos considerables; no obstante, para ríos de ancho reducido es necesario obtener mayor precisión. Incluso con la resolución de 12,5 m obtenida de los satélites ALOS PALSAR, se requirió el apoyo de imágenes en Google Earth para corroborar el trazo del río, por lo que para estudios más minuciosos se debe realizar modelamientos con información obtenida de levantamientos topográficos u otros métodos de mayor precisión.
4. De las zonas críticas identificadas se concluyó que, desde el poblado de Yangas hasta el puente de la carretera Panamericana Norte, existe mayor peligro por inundación; mientras que aguas arriba del poblado de Yangas, hasta la provincia de Canta, predominan los riesgos por deslizamientos. Asimismo, se identificó que los puentes actualmente existentes a lo largo del tramo, en su mayoría, no cuentan con las dimensiones suficientes para cuando ocurra un caudal máximo extraordinario de 388,5

m³/s, por lo que estas estructuras serían inundadas y posiblemente afectadas. La contaminación fue otro punto crítico observado en las zonas críticas, lo cual se presentaba a mayor escala en las zonas urbanas (desde el poblado de Cocayalta hasta el puente de la carretera Panamericana Norte).

5. La identificación y cuantificación de los agentes que intervienen en la problemática se realizó teniendo como base un análisis social en el cual se partió por clasificar los peligros naturales y factores sociales que generan vulnerabilidad en el área en estudio. Para cuantificar las pérdidas, cabe resaltar, se tomó como referencia principalmente la información recopilada y publicada en la página web del Plan de Desarrollo Metropolitano de Lima 2021-2040 (PLANMET 2040), plan a gran escala y largo plazo que viene siendo elaborado por el Instituto Metropolitano de Planificación (IMP) y respaldado por diversos organismos y autoridades competentes, junto a la colaboración y opinión de la población a través de mesas de partes. En cuanto a los resultados obtenidos en la presente tesis, se logró estimar una cuantificación a partir de los factores de crecimiento poblacional, déficit habitacional e informalidad, factores considerados de importancia A en el presente estudio debido a influenciar directamente en el crecimiento desorganizado de los distritos del sector Lima Norte. En la cuantificación se concluyó que era necesario reubicar 468 viviendas, estimando una inversión aproximada de 323 millones de soles. Los demás factores, considerando la limitada información y recursos actuales, no pudieron ser cuantificados debido a la complejidad y subjetividad de su estimación; no obstante, no se descarta que puedan ser cuantificados en futuras investigaciones. Del análisis realizado, se puede concluir que es necesario e importante incluir el estudio de análisis de Ingeniería social en los diversos proyectos que involucren zonas de riesgo, ya que este otorga una visión más amplia de la problemática, permitiendo identificar los distintos factores involucrados,

muchos de los cuales suelen ser desestimados o ignorados como parte del problema hasta que su cuantificación nos brinda cifras que demuestran lo contrario.

6. Se realizó la comparación de las zonas críticas identificadas con la cartografía de riesgos que presenta el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres en su plataforma virtual para el Sistema de Información para la Gestión del Riesgo y Desastre. Como resultado, se observó que en algunos sectores se han considerado mayores zonas de riesgo no mitigable que la fuente en mención, lo cual lleva a concluir que no se cuenta con una versión más reciente de las cartografías. No obstante, cabe mencionar que las zonas más críticas y la gran mayoría de las presentadas en la presente tesis sí fueron verificadas y coinciden con las mostradas en la cartografía de riesgos.
7. Las propuestas presentadas brindan soluciones a las problemáticas encontradas a lo largo del tramo e identificadas en el estudio de análisis de Ingeniería Social. Respecto a la ingeniería hidráulica, se plantearon reforzamientos con gaviones, enrocados y uso de neumáticos reciclados, cuyos costos de inversión fueron de 307, 294 y 121.5 millones de soles, respectivamente; se presentó propuestas de encausamiento y descolmatación, además de definir una sección propuesta para las zonas críticas por inundación, siendo complementado con las limpiezas que se deben realizar como mantenimiento; implementación de vegetación como contención ante deslizamientos; y soluciones antes posible quebradas que se activarían ante el caudal en estudio, proponiendo el uso de barreras dinámicas en zonas de especial interés al encontrarse cercanas a carreteras o poblaciones debido al elevado costo de instalación. Asimismo, se buscó presentar propuestas eco-amigables con el entorno y los ecosistemas que se desarrollan tanto en su cauce como en las riberas, proponiendo a su vez el uso de materiales eco-amigables como los ecopavimentos o la reutilización de neumáticos

reciclados para aprovechar su largo periodo de degradación; y también con las poblaciones que se asientan por la periferia, a través de propuestas como la creación de una senda ecológica y parques inundables. En comparación con el costo estimado para cubrir gastos de restauración y limpieza ante una avenida extraordinaria con periodo de retorno de 100 años, la inversión designada en las propuestas es menor o el costo de inversión puede ser justificado.

8. Se propuso la inclusión de vegetación y cobertura viva como principales medidas para lidiar con los problemas de erosión y sequías ya que no presentan una inversión considerable y, en su lugar, actúan de forma natural incentivando no solo a una cobertura que favorezca a la estética del río, sino también a promover la biodiversidad de las especies de Sudamérica. Para ello se recomendó 13 especies propias de la zona o que podrían adecuarse al hábitat. Adicionalmente, como parte del diseño de las propuestas se ha considerado taludes de 1:3 para la senda ecológica y talud de 1:5 para los parques inundables; esto con el fin de asegurar la habilitación de vías para el mantenimiento periódico del río Chillón.
9. La propuesta de la implementación de una senda ecológica para 32 km del tramo en estudio de este proyecto, tuvo la finalidad de generar una interacción respetuosa y amigable entre los ciudadanos que habitan en las zonas adyacentes a la ribera del río. Para cumplir con este propósito, se trabajó con una sección escalonada de 5 m de profundidad en conjunto y hasta 63.6 m de ancho, con banquetas intermedias de 8.3 m que serían utilizadas para la creación de vías pavimentadas para diferentes medios de transporte y veredas, considerando a su vez un ancho mínimo de 17 m al pie del talud. Junto al diseño presentado, se considera indispensable a su vez realizar campañas de limpieza e instalar señalizaciones adecuadas con el fin de crear una correcta cultura medioambiental en la población, destacando lo crucial de su participación.

10. RECOMENDACIONES

1. Para el análisis hidrológico; no se consideró que gran parte del tramo de estudio, por las zonas rurales, es utilizado con fines agrícolas y que, por lo mismo, el flujo en épocas húmedas por esos tramos es reducido debido a las extracciones de agua a través de pozos en los alrededores. Este consumo puede ser importante, por lo que se recomienda considerar su estimación en modelamientos futuros con el fin de obtener mayor precisión en los resultados.
2. Se recomienda invertir en estudios topográficos y batimétricos para todo el recorrido del río Chillón debido a que esto permite tener mayor información del terreno como secciones transversales con una cantidad de puntos idóneas donde brinden una correcta geometría e incluso obtenerlas para distancias cortas a lo largo del río. Así mismo, sirve de apoyo para la elección de los valores de parámetros, como el coeficiente de rugosidad, en los modelos permitiendo que los resultados obtenidos se asemejen lo mayor posible a la realidad mediante una calibración comparativa con la base de datos proporcionada por dichos estudios. Cabe resaltar que no se pudo aplicar en el proyecto de tesis debido a que se trabajó con imágenes satelitales, como se detalló en párrafos anteriores, teniendo una información no tan específica para las dimensiones del río en estudio.
3. Respecto a la intervención por parte de las autoridades, se debe partir por proponer el desarrollo de políticas ligadas al manejo integral de la cuenca Chillón, orientadas a un aprovechamiento eficiente; el CHIRILU debe de ser fortalecido para tener el recurso a repartir y no el recurso por buscar. También, se deben realizar estudios de impactos de las intervenciones a lo largo de todo el sistema vivo de la cuenca hidrológica. La ciudad tiene como agenda pendiente, un ordenamiento integral de las cuencas y no solo del recurso que en ella se transporta.

4. Ya sea la propuesta a elegir para futuros proyectos de restauración, es importante que estos den solución a las problemáticas descritas en el presente estudio ya que, desde el año 2018 no se ha observado mejora. Han transcurrido 5 años en los que la contaminación se ha mantenido e incluso empeorado en algunos sectores, si bien se intentó despejar zonas de invasión, aún al día de hoy se observa que gran parte de la población no toma consciencia y se repiten las mismas tragedias ante eventos extraordinarios que vienen ocurriendo desde décadas pasadas. Asimismo, el problema de eliminación informal de relleno y desmonte en la ribera del río ocurre a plena luz del día y sin el seguimiento de las autoridades competentes que apliquen la sanción correspondiente.
5. En el 2023, la ciudad se vio afectada por el ciclón “Yaku”, el cual generó inundaciones y pérdidas económicas que aún no hallan solución o son tema de polémica en los medios pese a que las soluciones ya habían sido dadas mas no implementadas en estudios anteriores que datan del fenómeno de El Niño de 2017. Es necesario darle la importancia debida a la concientización ambiental, pues muchas de las pérdidas pudieron ser evitadas con un mejor control de las áreas destinadas para fajas marginales y zonas inhabitables por encontrarse en quebradas. La presencia de vías transitables dentro de estas delimitaciones evidencia que el problema radica tanto en la sociedad como en nuestros mismos organismos, ya que no se le da la importancia debida a un buen diseño y control de áreas restringidas. Asimismo, se ha observado propuestas de gaviones y enrocados realizados con anterioridad y que, debido a que no se les ha realizado el mantenimiento respectivo, actualmente muchos se encuentran inoperativos.
6. Si bien en el análisis de Ingeniería Social se mencionaron factores que no pudieron ser cuantificados debido a la complejidad que implica estimar su influencia en la problemática, no se descarta que esto pueda lograrse en el futuro. Para ello, es

indispensable realizar futuros análisis que involucren las investigaciones más recientes; por ejemplo, desde el año 2021 se vienen realizando estudios para la caracterización de microplásticos en sedimentos fluviales de la cuenca baja y desembocadura del río Chillón (Martínez J. y Quispe M., 2021). Estos estudios, con el debido tiempo de verificación y análisis, podrían significar un método a considerar para la cuantificación del factor de contaminación en los sedimentos fluviales.

7. Hoy en día, no parece razonable seguir realizando proyectos de ingeniería que requieran de nuevas inversiones para su mantenimiento o que su implementación suponga una solución a corto plazo. Lo que se requiere es aprovechar, de manera integrada, los recursos destinados a distintas disciplinas con el fin de brindar solución a problemáticas en común; por tal motivo, esta tesis resalta la importancia de invertir en estudios que involucren a las distintas especialidades y áreas competentes, identificadas en un adecuado estudio de análisis social necesario en todo proyecto de restauración, con el fin de identificar a detalle la problemática y sus agentes y así brindar soluciones a largo plazo.

11. BIBLIOGRAFÍA

Allen, K; and Hardy, J. (1984) *Impacts of Navigational Dredging on Fish and Wildlife: A Literature Review*. U.S. Fish and Wildlife Service, Biological Services Program.

Autoridad Nacional de Agua (1970). *Procedimientos para la identificación de canteras, implementación de centros de acopio de roca y la construcción de defensas ribereñas provisionales ante las emergencias a causa de las inundaciones*.

Autoridad Nacional de Agua (2011) *Reglamento para la Delimitación y Mantenimiento de Fajas Marginales en Cursos Fluviales y Cuerpos de Agua Naturales y Artificiales*. Perú

- Aparicio, F. (1989). *Fundamentos de Hidrología de superficie*. Mexico: Grupo Noriega.
- APEIM (2020) *Niveles Socioeconómicos 2020*. <https://apeim.com.pe/wp-content/uploads/2022/08/APEIM-NSE-2020.pdf>
- Autoridad Nacional de Agua (ANA) (4,11 y 18 de agosto del 2023). *Curso: “Los ríos del río Chillón, Rímac, Lurín y la ciudad de Lima”*. Curso virtual, Lima, Perú
- Banco Central de Reserva del Perú (2022). Disponible 15 de Agosto de 2023 de: <https://estadisticas.bcrp.gob.pe/estadisticas/series/anuales/resultados/PM05197PA/html>
- Bennett, S. J., A. Simon, J. M. Castro, J. F. Atkinson, C. E. Bronner, S. S. Blersch, and A. J. Rabideau (2011), *The evolving science of stream restoration, in Stream Restoration in Dynamic Fluvial Systems: Scientific Approaches, Analyses, and Tools, Geophys. Monogr. Ser.*, vol. 194, edited by A. Simon et al., pp. 1–8, AGU, Washington, D. C
- Bi, D., Dix, M., Marsland, S. J., O’Farrell, S., Rashid, H. A., Uotila, P., Hirst, A. C., Kowalczyk, E., Golebiewski, M., Sullivan, A., Yan, H., Hannah, N., Franklin, C., Sun, Z., Vohralik, P., Watterson, I., Zhou, X., Fiedler, R., Collier, M., ... Puri, K. (2013). *The ACCESS coupled model: Description, control climate and evaluation. Australian Meteorological and Oceanographic Journal*, 63(1), 41–64. <https://doi.org/10.22499/2.6301.004>
- Blaikie Piers, Terry Cannon, Ian Davis, y Ben Wisner. 1996. “*Vulnerabilidad: El entorno social, político y económico de los desastres*”. http://www.desenredando.org/public/libros/1996/vesped/vesped-todo_sep-09-2002.pdf
- Brandao R. (1994). *Engenharia Social solucoes para áreas de risco*. Brasil.
- Burrough, P. (1994). c Oxford Science.
- Burt, T. P., and N. E. Haycock (1993), *Controlling losses of nitrate by changing land use, in Nitrate: Processes, Patterns and Management*, edited by A. L. Heathwaite and S. T.

Trudgill, pp. 341–367, John Wiley, N. Y.

Campana, D., E. Marchese, J. I. Theule, and F. Comiti (2014), *Channel degradation and restoration of an Alpine river and related morphological changes*, *Geomorphology*, Vol 221 pag 230

CENEPRED (2015). *Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres*. Lima, Perú.

CENEPRED (s.f.) Disponible de 21 de Marzo de 2023, de <https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/>

Chow, V. Te. (1993). *Hidrología aplicada*. Bogotá: McGraw-Hill, 1993.

Cofre P (19 de diciembre 2012) “*Inauguración de la primera etapa del parque inundable La Aguada*”. La Tercera. <https://www.pressreader.com/chile/la-tercera/20121219/281827166089486>

Decreto Supremo N°004-2017 (Ministerio de Ambiente). *Estándares de Calidad Ambiental para Agua*. 7 de junio del 2017. Lima, Perú. <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/DS-004-2017-MINAM.pdf>

Ecodeck (2022) *Pisos permeables*. Disponible 25 de Agosto de 2023 de: <https://www.ecodeck.com.co>

El Comercio (2017, Marzo) “*El peligroso caudal del río Chillón visto desde el aire*”. Recuperado de <https://elcomercio.pe/sociedad/callao/peligroso-caudal-rio-chillon-visto-desde-aire-fotos-noticia-1976451/?ref=ecr>

Ellen, W., N. L. S., & C, W. A. (2015). The science and practice of river restoration. *Water Resources Research*, 51(8), 5974–5997.

- Escuela de Ingeniería de Antioquia (2018). Distribuciones de probabilidad en hidrología.
- Sistema Nacional de Información de Recursos Hídricos (2018). Visor de Estaciones. Convencionales. Consulta: lunes 11 de mayo de 2018.
- ESRI. (2010). Learning ArcGIS Desktop (for ArcGIS 10.0). Curso virtual en la plataforma ESRI Training.
- FAO (1986) *Manual de ordenación de cuencas hidrográficas. Estabilización de laderas con tratamientos del suelo y la vegetación*. <https://www.fao.org/4/ad081s/AD081s00.htm#cont>
- Freeze R. (1975) *A stochastic-conceptual analysis of one-dimensional groundwater flow in nonuniform homogeneous media*.
- Garzón-Zúñiga, M. A., Buelna, G., & Moeller-Chávez, G. E. (2012). *Tecnología y Ciencias del Agua*.
- GEO GPS PERU (s.f) Disponible 10 de Febrero de 2024, <https://www.geogpsperu.com/>
- GEOGPS PERU (1 de Febrero 2022) *Mapa de Cobertura Vegetal Actualizado*. <https://www.geogpsperu.com/2016/06/mapa-de-cobertura-vegetal-actualizado.html>
- Giardino John R., H. C. (2015). *Principles and Dynamics of the Critical Zone*. EE.UU: J.F Shroder Jr.
- Gonzales de Tanagano, DG De Jalón (1995) *Principios básicos para la restauración de ríos y riberas*. Madrid. Disponible 25 de Setiembre 2024 https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/parques-nacionales-oapn/publicaciones/ecologia_09_05_tcm30-100712.pdf
- Grupo de Restauración Ecológica (GREUNAL) (2010). *Guías Técnicas para la Restauración Ecológica de Ecosistemas*. Bogotá.

- Haycock, Burt (1993) *Role of floodplain sediments in reducing the nitrate concentration of surface run-off: A case study in the Cotswolds, UK.*
- Herbich, J.B., (1992). *Handbook of Dredging Engineering*
- HIKERGOER (2013). *Biorollo.*
- IGN (s.f.) Disponible 15 de Julio del 2024 de <https://www.idep.gob.pe/>
- INEI. (2017). *Censo Nacional XII de Población y VII de Vivienda.* Lima: INEI.
- INEI. (2019). *Perú: Anuario de estadísticas ambientales 2019.* Lima.
- INEI (2022) *Compendio Estadístico, provincia Lima 2022.*
<https://www.gob.pe/institucion/inei/informes-publicaciones/4629635-compendio-estadistico-provincia-de-lima-2022>
- INGENIERIA UC (1998) *Potenciales impactos ambientales generados por el dragado y descarga del material dragado.* Venezuela.
- IMP (2020). *Plan de desarrollo metropolitano de Lima al 2040.* Lima, Perú.
- Infoinundaciones (2017, Marzo) “*Río Chillón: Así quedó la Panamericana Norte tras la inundación*”. Recuperado de <https://infoinundaciones.com/noticias/rio-chillon-asi-queda-la-panamericana-norte-tras-la-inundacion/>
- Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET) (2010). *Sistema de Información Geológico y Catastral Minero - GEOCATMIN.* Lima, Perú.
- Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET) (2010). *Zonas críticas por peligros geológicos en la cuenca del Río Chillón.* Primer reporte. Lima, Perú.
- Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET)(2011). *Hidrogeología de la Cuenca del Río Chillón.* X Encuentro Científico Internacional de Verano.

- Jian Liu (2020). *HadGEM2-ES, elemento de modelo, OpenGMS*, <https://geomodeling.njnu.edu.cn/modelItem/7d8460a3-3db2-4cd1-ba91-65590a8233c5>
- Jungclaus, J. H., Fischer, N., Haak, H., Lohmann, K., Marotzke, J., Matei, D., Mikolajewicz, U., Notz, D., & Von Storch, J. S. (2013). *Characteristics of the ocean simulations in the Max Planck Institute Ocean Model (MPIOM) the ocean component of the MPI-Earth system model. Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 5(2), 422–446. <https://doi.org/10.1002/jame.20023>
- Krauze, K., M. Zawilski & I. Wagner. (2008) *Aquatic habitat rehabilitation: Goals, constraints and techniques*. En: Wagner, I., J. Marsalek y P. Breil (Eds.). *Aquatic habitats in sustainable urban water management: Science, Policy and Practice*. Unesco Publishing. Taylor & Francis Group. Londres – Paris
- Landaeta, C. (1995) *Potential Environmental Impacts Generated by Dredging and Disposal Dredged Material Processes*. Colorado, USA.
- Lindig-Cisneros, R.A. Blanco-García (2007). *Restauración Adaptable en la Meseta Purepecha, Michoacán, México: hacia un modelo de estratos y transiciones*. Boletín de la Sociedad Botánica de México.
- MARNR, 1992. Ley Penal del Ambiente y sus Normas Técnicas.
- Martínez J. y Quispe M. (2021). *Caracterización de Microplásticos en sedimentos fluviales de la cuenca baja y desembocadura del Río Lurín y Chillón*. Lima, Perú.
- Martín-Vide, J. P. (2013). *Tecnología y Ciencias del Agua. (Vol. 4)*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Maskrey A (1989) “*Navegando entre brumas: la aplicación de los sistemas de información geográfica al análisis de riesgo en américa latina*”

https://www.desenredando.org/public/libros/1998/neb/neb_cap01-ER_nov-09-2002.pdf

Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2008). *Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje*. Lima, Peru. http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/P_recientes/970.pdf

Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (2010). *Restauración de Ríos Bases de la Estrategia Nacional de Restauración de Ríos* (1era ed.). España.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2012). *Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje*. Lima, Peru.

Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (2010). *Restauración de Ríos Bases de la Estrategia Nacional de Restauración de Ríos* (1era ed.). España.

Mocetti Rojas, G. (2006). *Sistema de alerta temprana de inundaciones aplicación en el Río Chillón*. Lima.

Municipalidad Metropolitana de Lima (2013). *Monitoreo de los sectores críticos de la cuenca del río Chillón y la reducción de riesgos en el ámbito del gobierno metropolitano*. Cuenca del río Chillón, Lima.

Observatorio del Agua Chillón, Rímac y Lurín (2018). *Estado situacional de los recursos hídricos en las cuencas Chillón, Rímac y Lurín 2016/2017*.

OEFA (2015). *Instrumentos básicos para la fiscalización ambiental*. Organismo de evaluación y fiscalización ambiental.

Olaya, V. (2014). *Sistemas de Información Geográfica*.

Organizacion Metereologica Mundial OMM (2011) *Guia de prácticas hidrológicas Vol II*

Palmer M.A (2005) *Standars for ecologically succesful river restoration*.

Presidencia de la Republica de Perú (15, junio 2016) R.J. N° 153-2016-ANA (Ley N°29338).

Palomino Cuya, D. G. (n.d.). *Zonificación de áreas inundables utilizando sistemas de información geográfica. Aplicación al tramo final del río chillón.*

PLANMET 2040 (2022). *Plan de desarrollo metropolitano de Lima 2021 – 2040.*

Pucha- Cofrep, F., Fries A., Canovas-Garcia F., Gonzalez-Jaramillo V., Pucha- Cofrep, D (2017) *Fundamentos de SIG*

Reyes Cubas, C. M. (2012). *Estudio de la contaminación de las aguas del Río Chillón.* (U. N. de I. (Lima), Ed.). s.e., Lima.

Rosgen, D.L. (2010). *The Application and Validation of Dimensionless Sediment Rating Curves.* In Proceedings of the Second Joint Federal Interagency Conference, Las Vegas, NV, June 27–July 1, 2010.2000 [Bennett et al., 2011; Campana et al., 2014]

Sanchez Soto (2022) *Evaluación fisicoquímica y bacteriológica del agua del río chillón.* Boletín de Malariología y Salud Ambiental, volumen LXII

Sarría, F. (2014). *Sistemas de Información Geográfica.*

Secretaria Académica FACI, PUCP (2022, Febrero) *Instructivo para la elaboración de documentos académicos.* Recuperado de <https://facultad-ciencias-ingenieria.pucp.edu.pe/egresados/tramites-para-egresados/obtencion-del-titulo-profesional-normas-y-titulacion/>

SENAMHI (2017) *Condiciones climáticas para el otoño 2017.* <https://www.senamhi.gob.pe/?p=prensa&n=600>

SENAMHI (2023) *Situación actual del caudal del río Chillón – Estación Puente Magdalena.* <https://www.senamhi.gob.pe/?p=avisos-detalle-hidrologicos&ca=23655&ce=111292>

Terneus-Jácome, E., & Yánez, P. (2018). *Fundamental principles on water quality, the use of aquatic bioindicators and fluvial ecological restoration in Ecuador*. (English), 27(1), 36.

Universidad Politécnica de Valencia (2014). *Equipos de Dragado- Procedimientos de dragado*. España.

U.S. WATER RESOURCES COUNCIL (1981) *Guidelines for determining flood flow frequency*. Boletín 17B. Comité Hidrología, Washington D.C

Ven Te Chow, David R. Maidment, Larry W. Mays, McGraw Hill Interamericana S.A, 1993. *“Hidrología Aplicada”*.

Villacorta (2010) *“Inventario de peligros geológicos en la cuenca del río Chillón, Lima-Perú”*

<https://repositorio.ingemmet.gob.pe/bitstream/20.500.12544/2984/1/Villacorta->

[Inventario_peligros_geologicos_cuenca_rio_Chillon.pdf](#)

Warne, A. G., L. A. Toth, and W. A. White (2000), *Drainage-basin-scale geomorphic analysis to determine reference conditions for ecologic restoration – the Kissimmee River, Florida*, *Geol. Soc. Am. Bull.*, **112**, 884–899

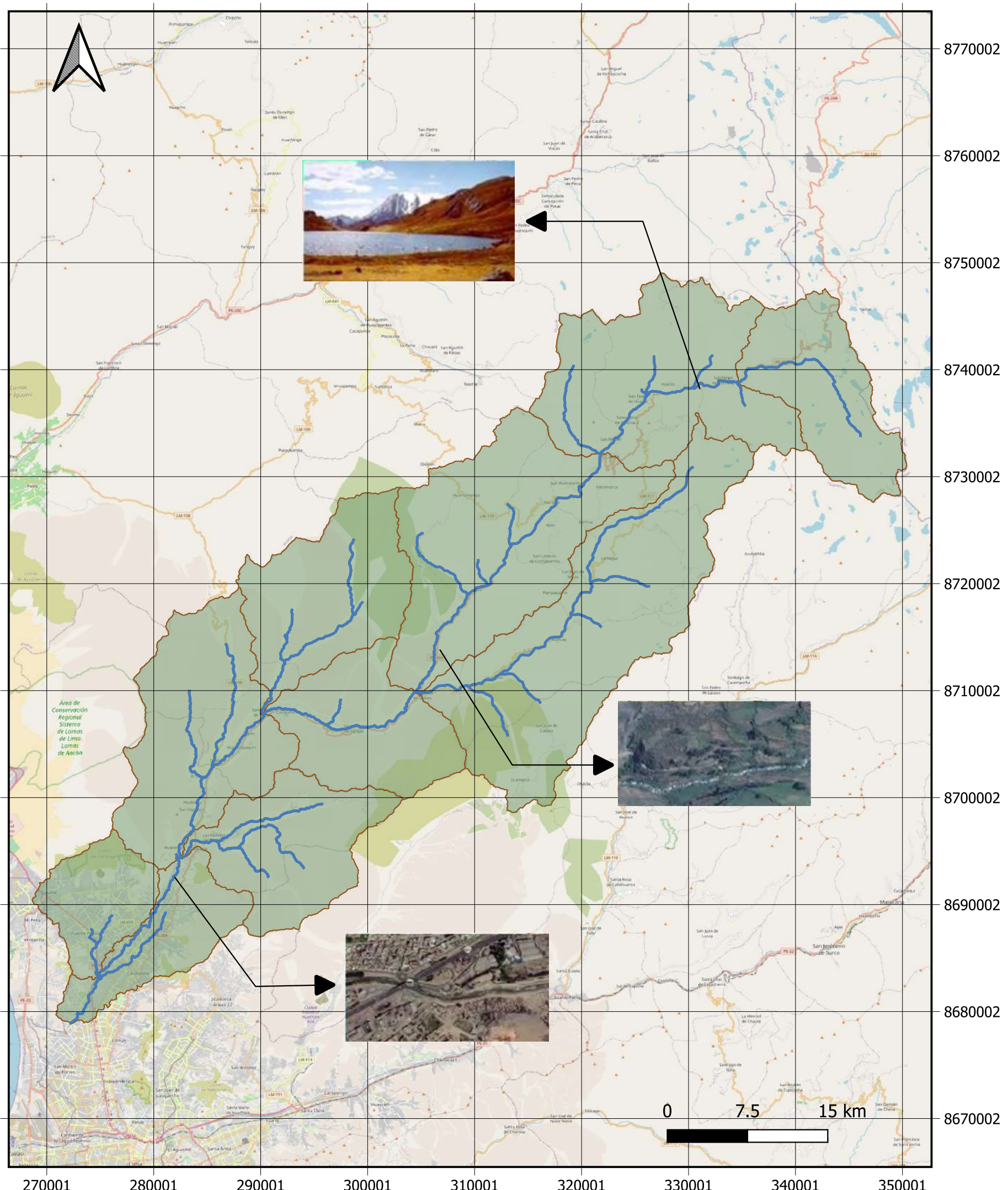
Wilches-Chaux (1993) *“La vulnerabilidad global”* [https://www.gub.uy/sistema-nacional-emergencias/sites/sistema-nacional-](https://www.gub.uy/sistema-nacional-emergencias/sites/sistema-nacional-emergencias/files/documentos/publicaciones/La+vulnerabilidad+social%20WILCHES+CHA)

[emergencias/files/documentos/publicaciones/La+vulnerabilidad+social%20WILCHES+CHA](#)

[UX.pdf](#)

ANEXOS





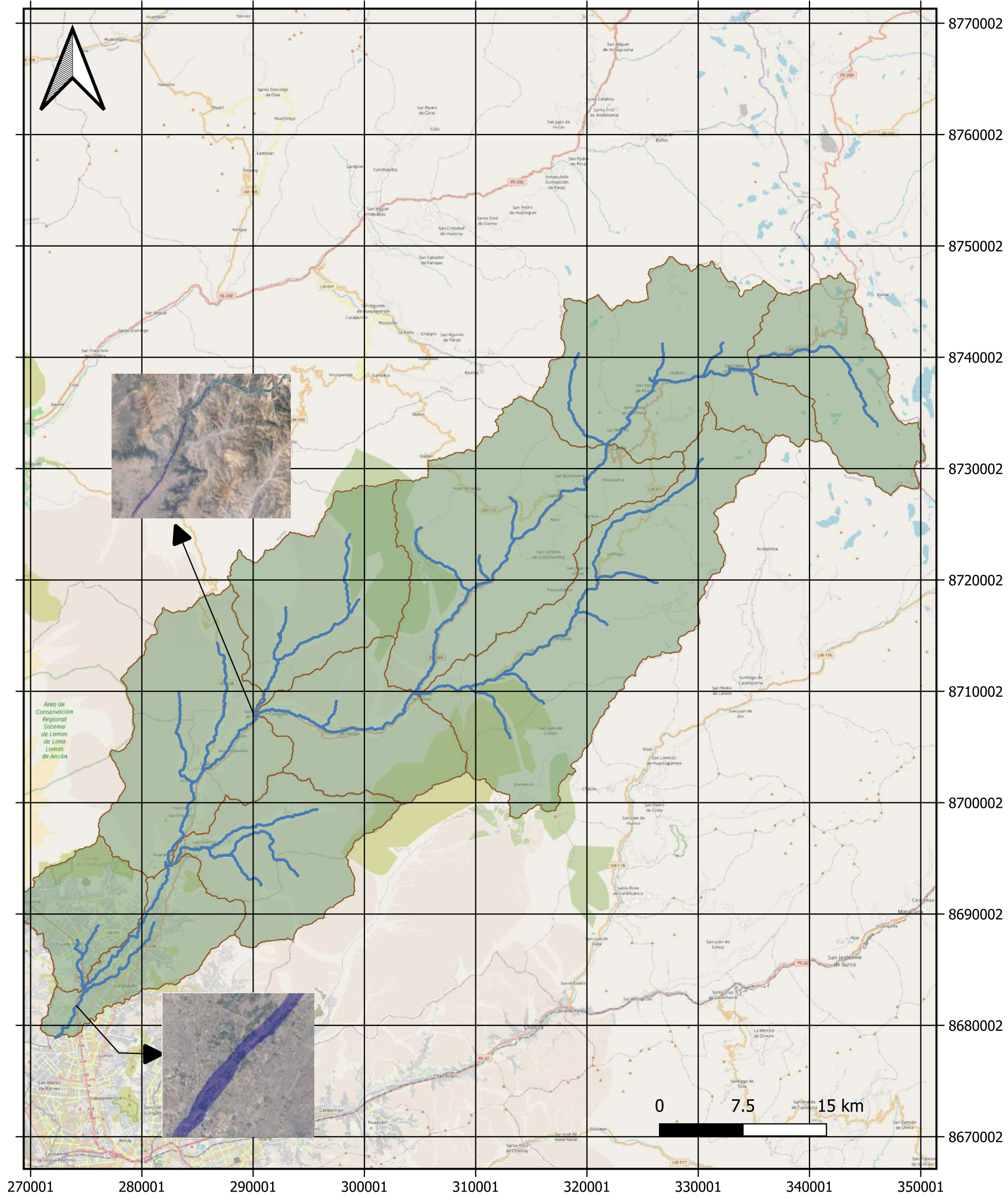
MAPA DE UBICACION



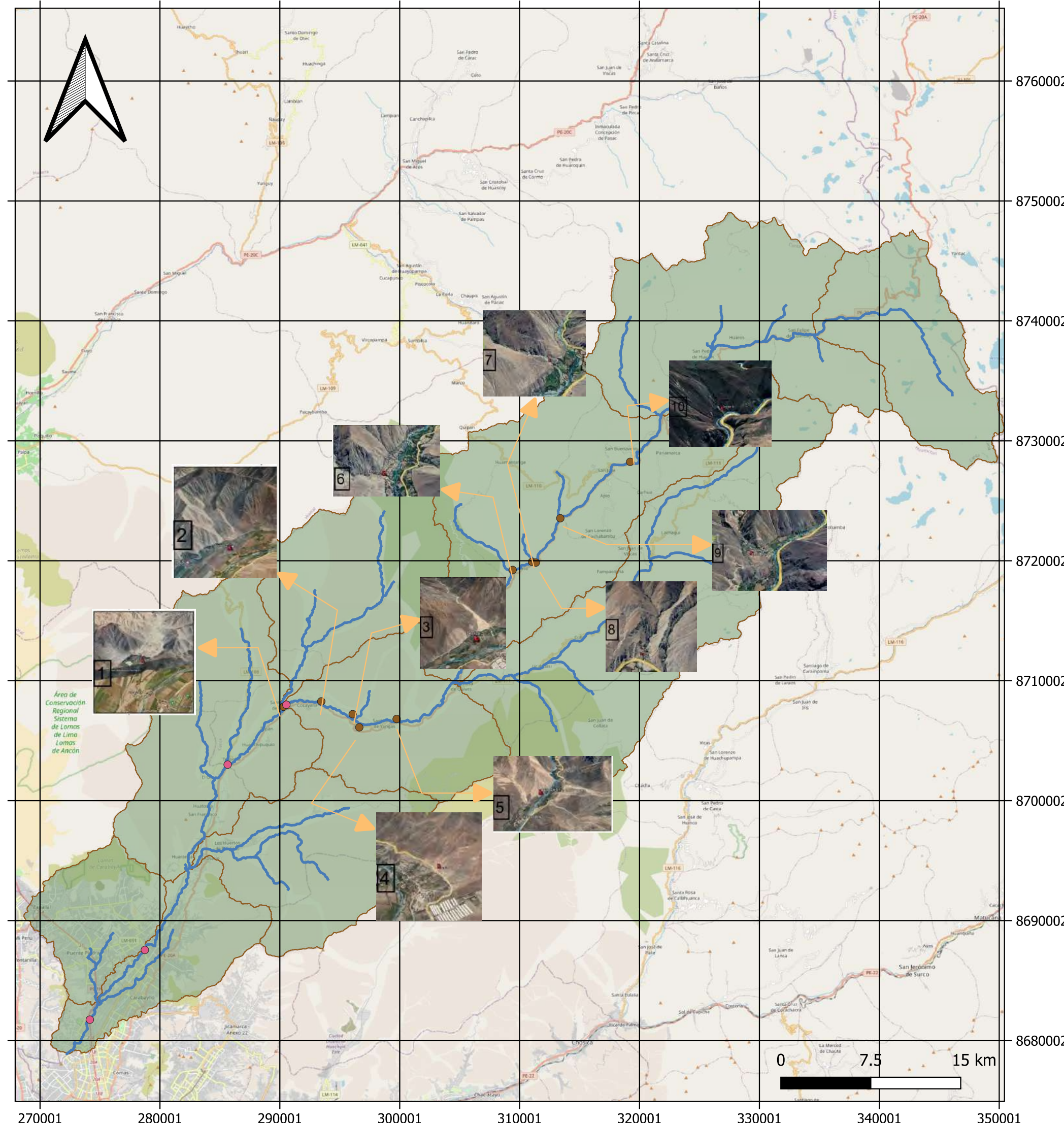
LEYENDA

- Rio Chillon
- Cuenca

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU	
TEMA DE TESIS: "PROPUESTAS PARA LA RESTAURACION ECOFLUVIAL CON ANALISIS DE INGENIERIA SOCIAL DE UN TRAMO DEL RIO CHILLON"	LAMINA A - 01
PLANO: CUENCA DEL RIO CHILLON	FECHA OCTUBRE 2024
TESISTAS: - DIANA MERCEDES LEON URREGO 20122728 - CLAUDIA KATHERINE YLLATOPA BENGUA 20121247	ESCALA



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU	
TEMA DE TESIS: "PROPUESTAS PARA LA RESTAURACION ECOFLUVIAL CON ANALISIS DE INGENIERIA SOCIAL DE UN TRAMO DEL RIO CHILLON"	LAMINA A - 02
PLANO: ZONAS CRITICAS POR INUNDACION	FECHA OCTUBRE 2024
TESISTAS: - DIANA MERCEDES LEON URREGO 20122728 - CLAUDIA KATHERINE YLLATOPA BENGUA 20121247	ESCALA



MAPA DE UBICACION



LEYENDA

- Puntos de Deslizamientos
- Rio Chillon
- Cuenca

id	ZONA	PELIGRO	ESTE	OESTE
1	QUEBRADA SOCOS/HUAMANTANGA/CANTA	CAIDAS DE ROCAS Y HUAICOS	290549	8708751
2	SANTA ROSA DE QUIVES/CANTA	INUNDACION FLUVIAL, EROSION FLUVIAL Y HUAICOS	293173	8708544
3	SANTA ROSA DE QUIVES/CANTA	INUNDACION Y EROSION FLUVIAL	296336	8707162
4	SANTA ROSA DE QUIVES/CANTA	ZONA DE HUAICOS Y EROSION FLUVIAL	296654	8705719
5	YANGAS/SANTA DE ROSA DE QUIVES/CANTA	ZONA DE HUAICOS	300069	8706760
6	SANTA ROSA DE QUIVES/CANTA	DERRUMBES, HUAICOS Y CAIDAS DE ROCAS	309348	8719103
7	SANTA ROSA DE QUIVES/CANTA	DERRUMBES, HUAICOS E INUNDACION FLUVIAL	311125	8720121
8	SANTA ROSA DE QUIVES/CANTA	CAIDA DE ROCAS Y EROSION DE LADERAS	311718	8720000
9	HUAMANTANGA/CANTA	ZONA DE HUAICOS, DERRUMBES Y EROSION DE LADERAS	313259	8723674
10	SAN BUENAVENTURA/CANTA	SAN BUENAVENTURA/CANTA	319026	8728312

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU

TEMA DE TESIS:
"PROPUESTAS PARA LA RESTAURACION ECOFLUVIAL CON ANALISIS DE INGENIERIA SOCIAL DE UN TRAMO DEL RIO CHILLON"

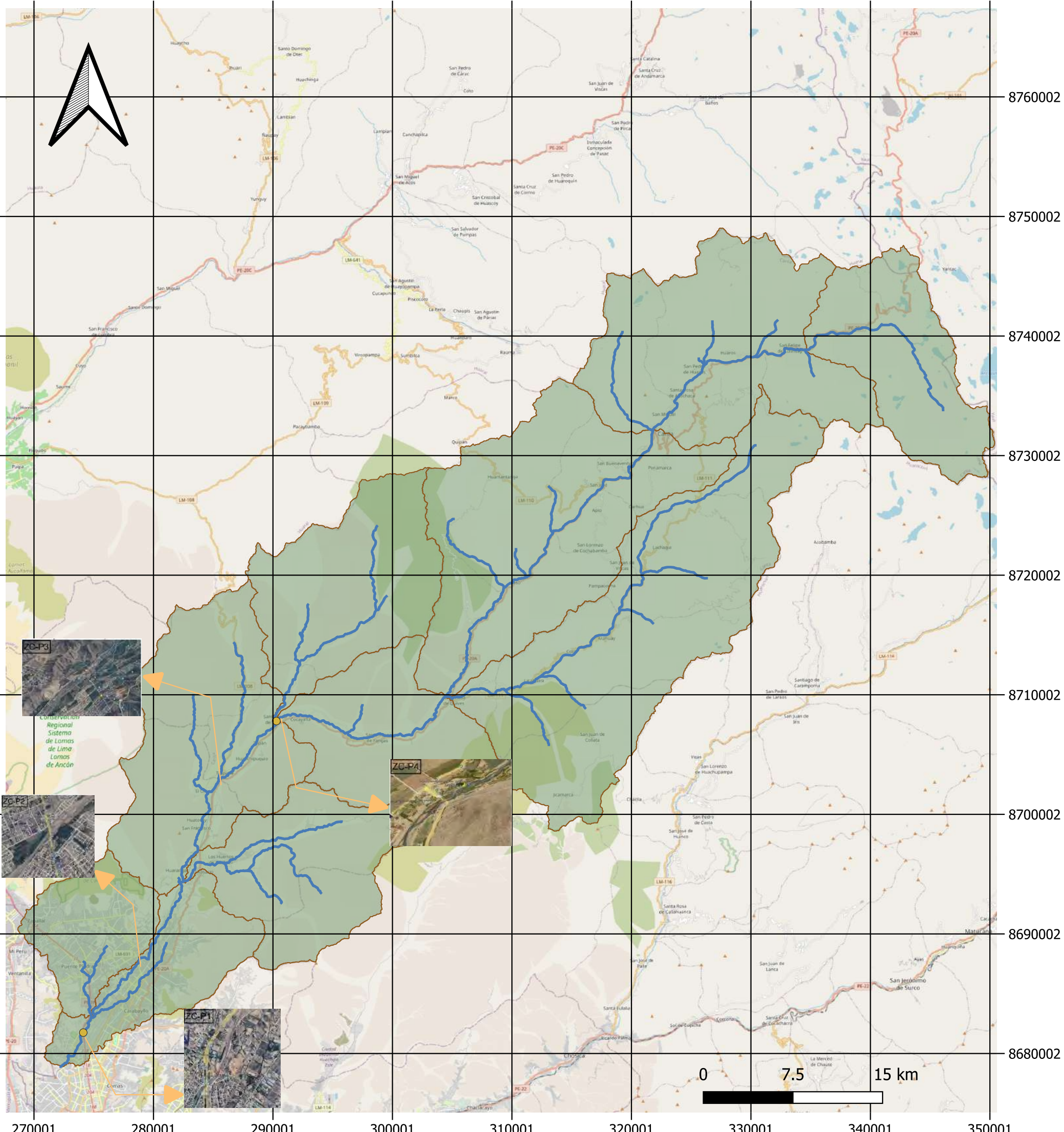
PLANO:
ZONAS CRITICAS POR DESLIZAMIENTOS

TESISTAS:
- DIANA MERCEDES LEON URREGO 20122728
- CLAUDIA KATHERINE YLLATOPA BENGGOA 20121247

LAMINA
A - 03

FECHA
OCTUBRE 2024

ESCALA



MAPA DE UBICACION



LEYENDA

- PUENTES
- Rio Chillon
- Cuenca

ID	ESTE	NORTE	DESCRIPCIÓN
ZC-P1	274151.7	8681688.7	Puente de la carretera Panamericana Norte. Las pistas vehiculares que se encuentran bajo el puente se inundarían ante un evento extraordinario, por lo que su diseño no cumple.
ZC-P2	278742.7	8687587.5	Puente San Martín. El diseño del puente cumple; no obstante, se necesita retirar el relleno que se ha acopiado en los laterales, el cual es inestable y restringe el ancho del cauce.
ZC-P3	285660	8702992.2	Puente que conecta con la avenida Túpac Amaru. El puente no cuenta con la relación ancho-altura suficiente para que el caudal extraordinario pase bajo él.
ZC-P4	290548.5	8708000.2	Puente que conecta la vía LM-694. No cumple con la relación ancho-tirante para que el caudal extraordinario pase bajo esta vía, por lo que sería inundada.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU

TEMA DE TESIS:
"PROPUESTAS PARA LA RESTAURACION ECOFLUVIAL CON ANALISIS DE INGENIERIA SOCIAL DE UN TRAMO DEL RIO CHILLON"

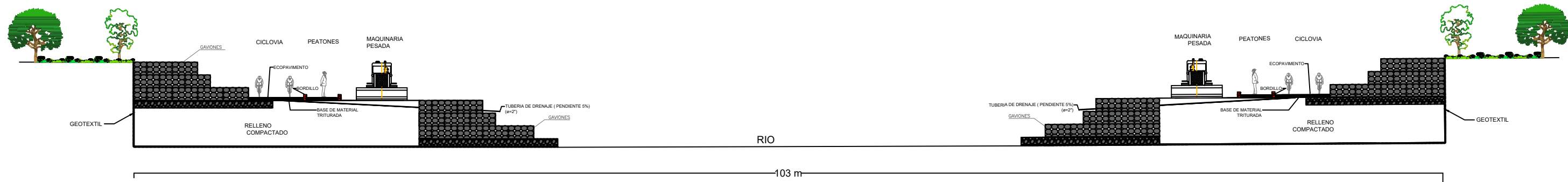
LAMINA
A - 04

PLANO:
ZONAS CRITICAS - PUENTES

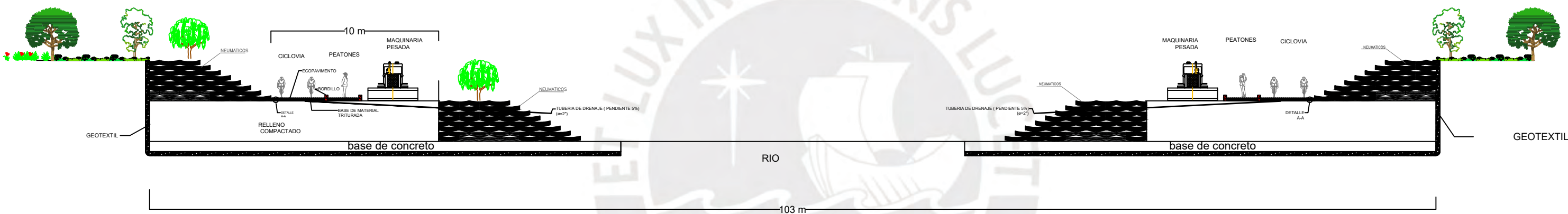
FECHA
OCTUBRE 2024

TESISTAS:
- DIANA MERCEDES LEON URREGO 20122728
- CLAUDIA KATHERINE YLLATOPA BENGUA 20121247

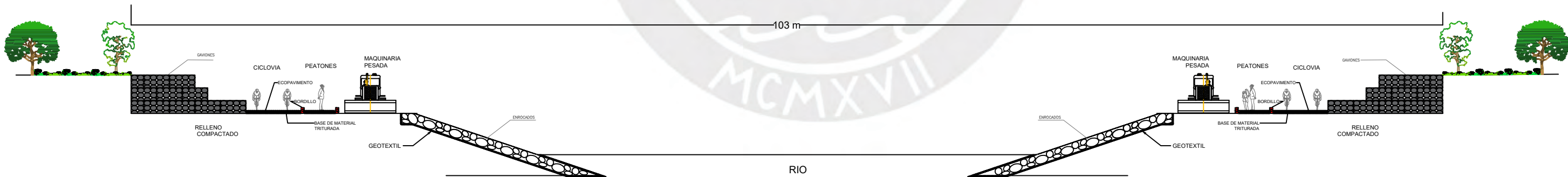
ESCALA



PROPUESTA CON GAVIONES (senda)

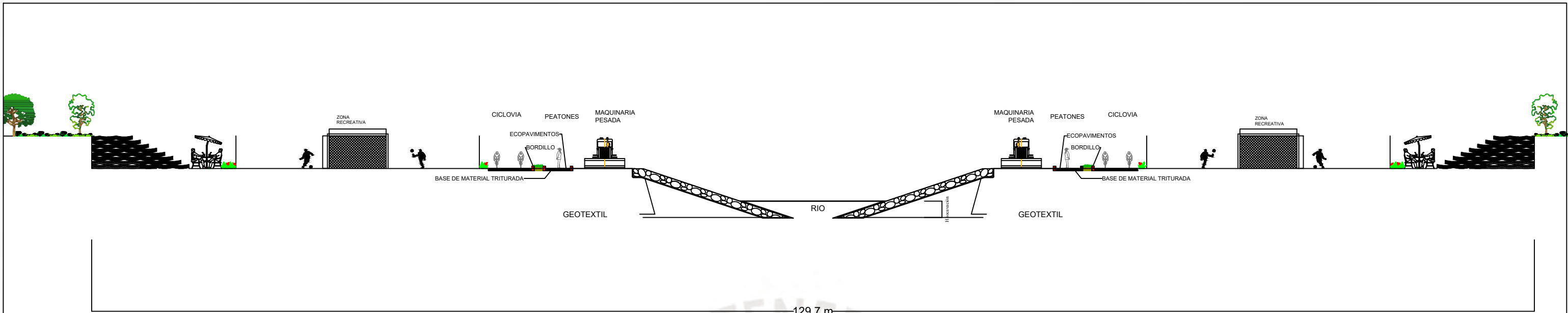


PROPUESTA CON NEUMATICOS (senda)

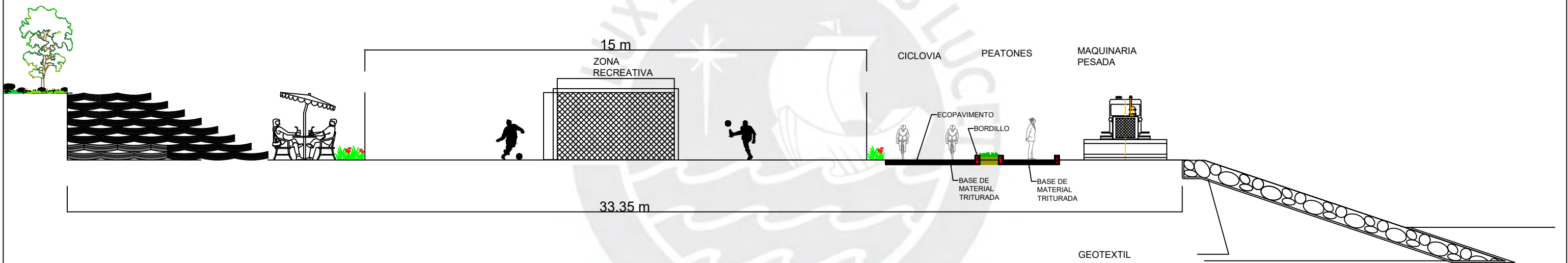


PROPUESTA CON ENROCADO (senda)

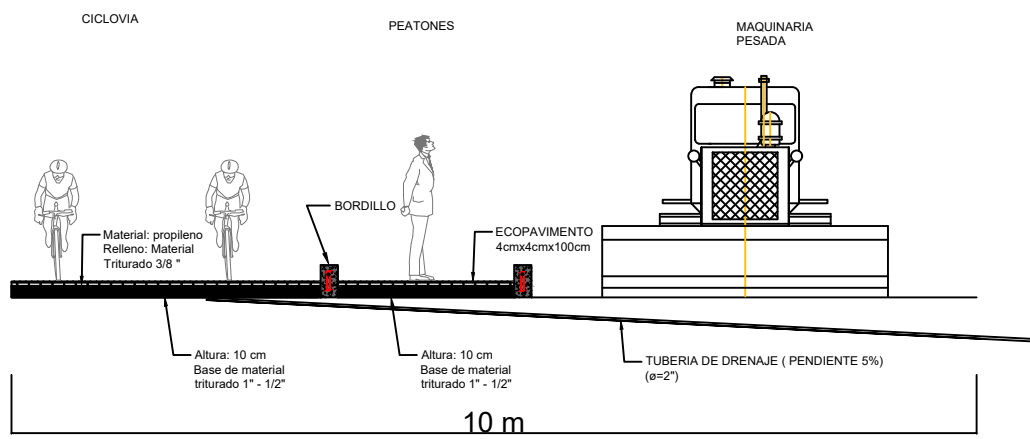
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU	
TEMA DE TESIS: "PROPUESTAS PARA LA RESTAURACION ECOFLUVIAL CON ANALISIS DE INGENIERIA SOCIAL DE UN TRAMO DEL RIO CHILLON"	LAMINA A-05
PLANO: PROPUESTAS DE DEFENSA RIBEREÑA Y SENDA ECOLÓGICA	FECHA OCTUBRE 2024
TESISTAS: - DIANA MERCEDES LEON URREGO 20122728 - CLAUDIA KATHERINE YLLATOPA BENGOA 20121247	ESCALA -



PARQUE INUNDABLE



PARQUE INUNDABLE
(LADO IZQUIERDO)



DETALLE A-A

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU

TEMA DE TESIS:
"PROPUESTAS PARA LA RESTAURACION ECOFLUVIAL CON ANALISIS DE INGENIERIA SOCIAL DE UN TRAMO DEL RIO CHILLON"

LAMINA

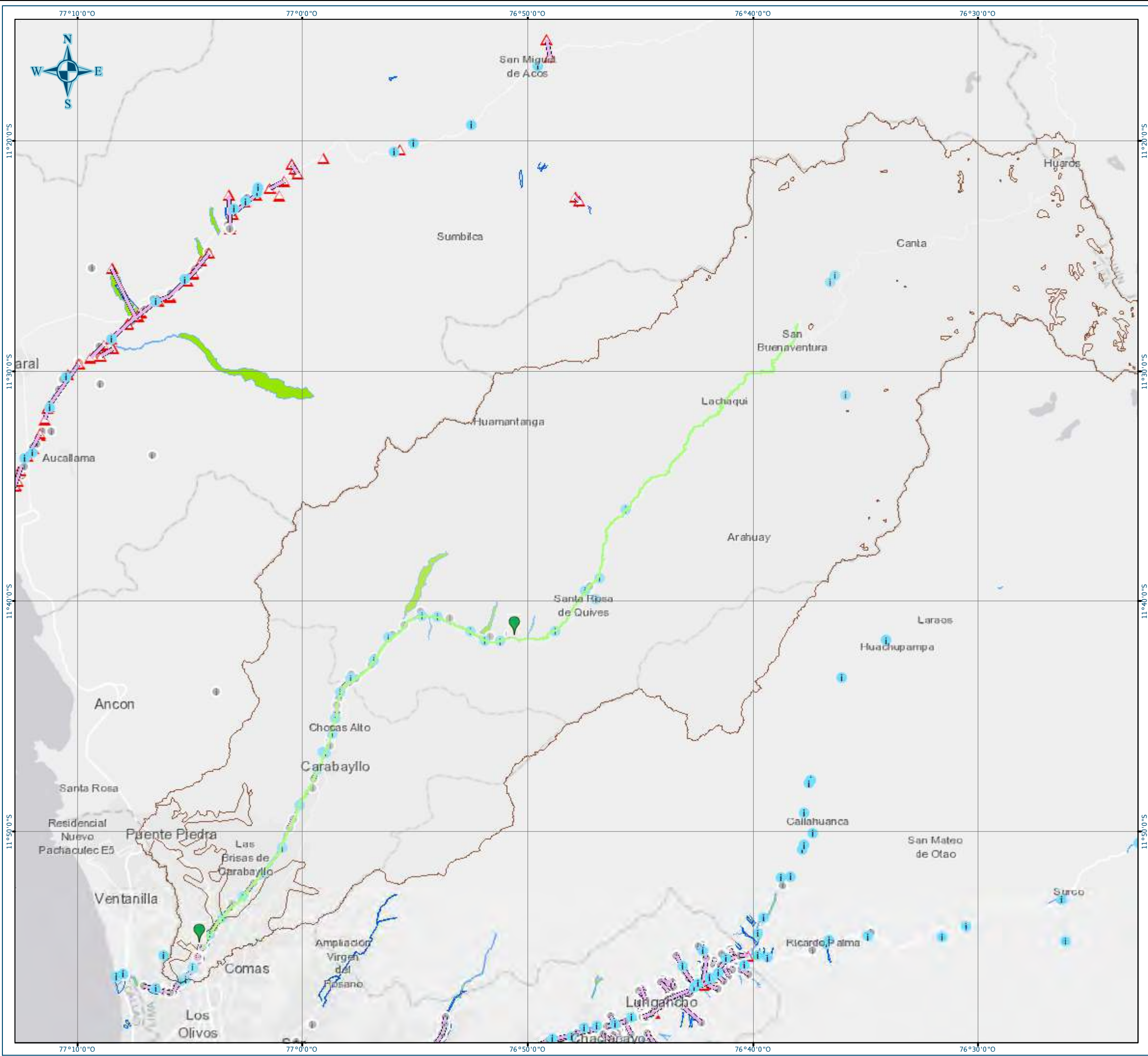
A - 06

PLANO:
DETALLES DE SENDA ECOLOGICA Y PARQUE INUNDABLE

FECHA
OCTUBRE 2024

TESISTAS:
- DIANA MERCEDES LEON URREGO 20122728
- CLAUDIA KATHERINE YLLATOPA BENGUA 20121247






ESCALA



MAPA DE UBICACION



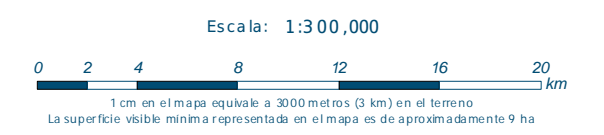
LEYENDA

-  Tramo de estudio - Rio chillón
-  Cuenca
-  Inundaciones Registrados
-  Tramos críticos
-  Puntos de inicio y fin de la zona de inundaciones

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU

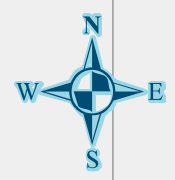
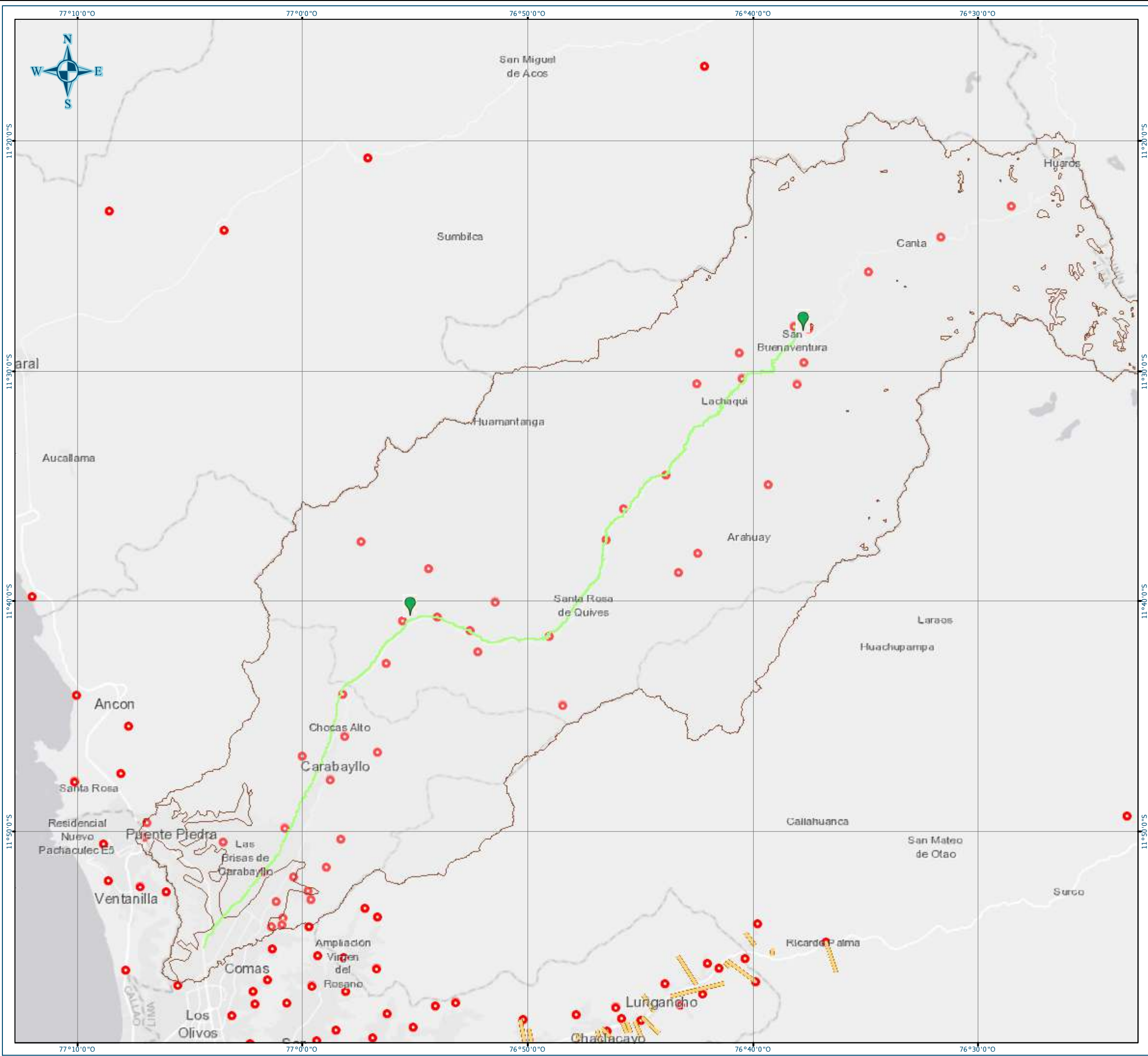
TEMA DE TESIS: "PROPUESTAS PARA LA RESTAURACION ECOFLUVIAL CON ANALISIS DE INGENIERIA SOCIAL DE UN TRAMO DEL RIO CHILLON"	LAMINA B - 02
PLANO: ZONAS CRITICAS POR INUNDACIONES - CENEPRED	FECHA OCTUBRE 2024
TESISTAS: - DIANA MERCEDES LEON IRRIGO 20122728 - CLAUDIA KATHERINE YLLATOPA BENGUA 20121247	ESCALA

REFERENCIA CARTOGRAFICA



Sistema de Coordenadas Geográficas
Datum Horizontal de Referencia WGS84





MAPA DE UBICACION

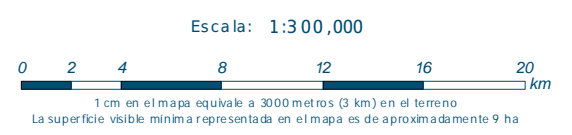


LEYENDA

- Tramo de estudio - rio Chillón
- Cuenca
- Tramos críticos
- Zonas críticas
- Puntos de inicio y fin de movimientos de masa

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU	
TEMA DE TESIS: "PROYECTOS PARA LA RESTAURACION ECOLOGICA CON ANALISIS DE INGENIERIA SOCIAL DE UN TRAMO DEL RIO CHILLON"	LAMINA: B - 03
PLANO: ZONAS CRITICAS POR DESLIZAMIENTOS - CENEPRD	FECHA: OCTUBRE 2024
TESISISTAS: - DIANA MERCEDES LEON URRUGO 20122129 - CLAUDIA NATHERNE YLLA TOPIA BENEGGA 20121247	ESCALA

REFERENCIA CARTOGRAFICA



Sistema de Coordenadas Geográficas
 Datum Horizontal de Referencia WGS84

