

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD
CATÓLICA DEL PERÚ**

FACULTAD DE LETRAS Y CIENCIAS HUMANAS



**Evaluación de la susceptibilidad espacial del peligro de
inundación fluvial en el centro poblado de Sayán, distrito
de Sayán, región de Huaura, provincia de Lima**

Tesis para obtener el título profesional de Licenciada en Geografía y Medio

Ambiente que presenta:

Janet Cristina Figueroa Vara

Asesor:

Carlos Henrique Tavares Correa

Lima, 2024

INFORME DE SIMILITUD

Yo, Carlos Henrique Tavares Correa, docente de la Facultad de Letras y Ciencias Humanas de la Pontificia Universidad Católica del Perú, asesor de la tesis titulada “Evaluación de la susceptibilidad espacial del peligro de inundación fluvial en el centro poblado de Sayán, distrito de Sayán, región de Huaura, Provincia de Lima., de la autora Janet Cristina Figueroa Vara, dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 15%. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el 01/07/2024.
- 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: San Miguel, 2 de julio del 2024.

Apellidos y nombres del asesor: <u>TAVARES CORREA, CARLOS HENRIQUE</u>	
CE: 000219285	Firma 
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4895-6522	

AGRADECIMIENTOS

A mi Dios, mi Señor, primeramente, por ser mi ayudador en todo, mi fortaleza y la plenitud de mi vida.

A mi familia, en especial a mis padres, por su apoyo tenaz y perseverante que me acompañaron en esta etapa profesional de mi vida. También quiero agradecer a mis hermanos por estar siempre conmigo, y a mi primo Jeremy Vara quien colaboró en uno de los trabajos de campo para este proyecto de tesis.

A todos mis amigos, de la iglesia y de la carrera, por sus oraciones y palabras de ánimo, y en especial agradezco a mi amiga Flor Santos quien me ánimo, acompañó y colaboró en una salida de campo de la tesis.

A mi estimado asesor, Carlos Henrique Tavares Corrêa, por su guía, paciencia y ánimos para la realización y culminación de este trabajo de investigación.

A David Segurado, María Isabel Rodríguez y Paola Moschella por su apoyo en la realización de la tesis, tanto como en la formulación, así como en el procesamiento de la información. También a mi amiga Alessandra Gómez por su revisión y colaboración en el Abstract.

Al Sr. Carmin, al ingeniero Álvaro y a todos los sayanenses quienes me ayudaron en mi estadía y la realización del trabajo de Campo en Sayán.

Al Senamhi quien me brindo la información hidrológica para la realización del trabajo de tesis.

A mis compañeros, profesores y trabajadores de la Facultad de Letras y Ciencias Humanas de la PUCP quienes participaron en mi formación profesional.

Al gobierno del Perú por permitirme acceder a Beca 18 para estudiar y culminar la carrera profesional de Geografía y Medio Ambiente en la PUCP.

¡Muchas gracias!

RESUMEN:

Esta investigación, por medio del enfoque de Gestión de Riesgo de Desastre (GRD), delimita la extensión del peligro de inundación en el centro poblado de Sayán, provincia de Huaura, región de Lima. Así el principal objetivo es contribuir a la reducción de riesgos de desastres. El área de estudio presentó inundaciones en el pasado; además, estudios estatales comprueban a Sayán como una zona con probabilidades a inundaciones por lluvias estacionales y por el evento ENSO. Sin embargo, a pesar de la existencia del marco legal e institucional de la GRD, y la normativa del ordenamiento territorial, no existen medidas exhaustivas para hacer frente a este peligro, ello debido al desconocimiento acerca de la temática en el área de estudio. Además, en la ejecución del proyecto la metodología usada es la unión de dos métodos: hidrológico y geomorfológico, es decir los periodos de retorno y el DSM se unen mediante la delimitación digital en el SIG. Los resultados en niveles bajo, medio, alto y muy alto expresan muchos elementos antrópicos con probabilidades de ser inundados. El nivel bajo y medio no producirían inundaciones, sin embargo, el nivel medio podría causar erosiones en los márgenes o escarpes más vulnerables del cauce debido a un aumento de la velocidad del flujo. El nivel alto y muy alto producirían inundaciones y afectaciones a la infraestructura. El nivel más peligroso sería el nivel muy alto puesto que abarca mayor extensión horizontal y vertical, y tiene mayores probabilidades de erosión. El factor vulnerabilidad, mediante su único representante, la exposición, la cual se desarrolló a grandes rasgos, identifica sectores de comercio y comunicaciones con las mayores probabilidades de afectación. Esta investigación abre el camino para un estudio del riesgo, profundizando el tema de la vulnerabilidad, factor importante para llevar a cabo medidas correctivas o reductoras del riesgo.

ABSTRACT

This research uses the Disaster Risk Management (DRM) approach to delineate the flood hazard extent in Sayán, Huaura province, Lima region. The main objective is to contribute to disaster risk reduction. Despite historical flooding and government studies indicating a high flood probability due to seasonal rains and ENSO, the lack of exhaustive measures stems from insufficient knowledge in the study area. Furthermore, the project utilizes a comprehensive methodology, uniting hydrological and geomorphological methods, that is, return periods and DSM data integrate in GIS for precise digital delimitation. Results classify flood probabilities into low, medium, high, and very high levels, highlighting anthropic entities at risk. While low and medium levels pose minimal threat, the latter may induce erosion on vulnerable margins due to increase in flow velocity. High and very high levels entail flooding, with the latter presenting heightened risks due to greater horizontal and vertical coverage, amplifying the probability of erosion. Vulnerability, represented by exposure, identifies commerce and communication sectors as most susceptible. This study lays the groundwork for further risk analysis, emphasizing vulnerability as a crucial factor for implementing corrective or risk-reducing measures.

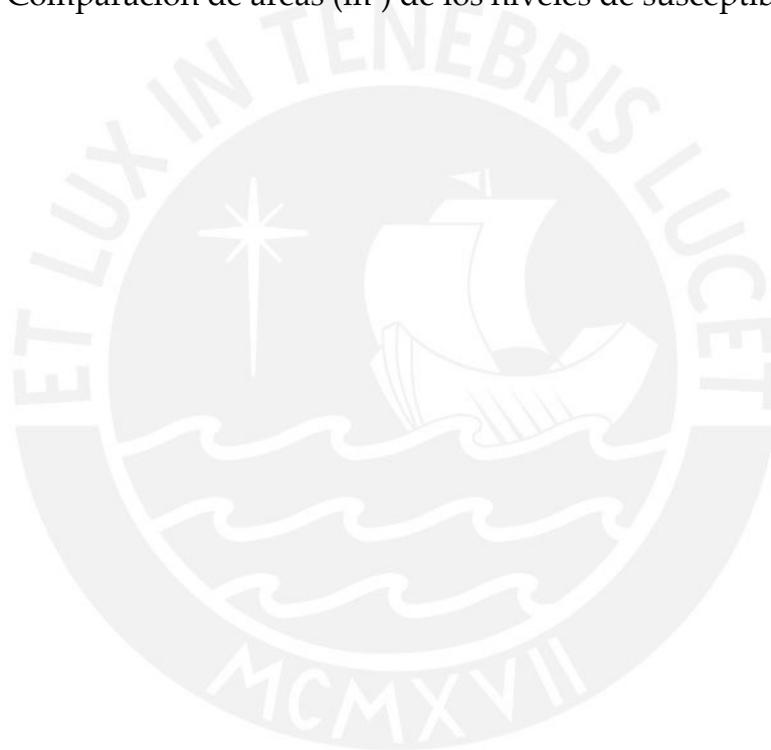
ÍNDICE DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	Problema de investigación	2
1.2	Justificación e importancia	4
1.3	Preguntas de investigación	4
1.4	Objetivos	4
2	MARCO TEÓRICO	6
2.1	Conceptos básicos acerca de la geomorfología fluvial: El sistema fluvial	6
2.1.1	El ciclo hidrológico	6
2.1.2	La geomorfología fluvial	9
2.2	Inundaciones fluviales	11
2.2.1	Inundaciones fluviales en el Perú	13
2.2.2	Inundaciones fluviales en el distrito de Sayán	14
2.3	Conceptos básicos sobre riesgos de desastres	15
2.4	Importancia y tipos de metodologías de evaluación de riesgos de inundaciones	18
2.5	Antecedentes de la evaluación de riesgo en la zona	20
3	ÁREA DE ESTUDIO	28
3.1	Ubicación	28
3.2	Características física-ambiental	30
3.2.1	Geomorfología-geología	30
3.2.2	Climatología	30
3.2.3	Hidrología-hidrogeología	30
3.3	Caracterización socioeconómica del área de estudio	31
3.3.1	Historia y sociedad	31
3.3.2	Población	31
3.3.3	Economía	32
3.3.4	Educación	33
3.3.5	Viviendas y servicios higiénicos	33
4	METODOLOGÍA	37
4.1	Etapas previas: Conociendo el área de estudio	37
4.2	Identificación de los niveles de inundación	38
4.3	Delimitación espacial de los niveles de inundación	40
4.3.1	Perfiles Topográficos	40
4.3.2	Cálculo de la pendiente	46

4.3.3	Cálculo de niveles de agua y caudales	47
4.3.4	Mapeo de los niveles de inundación	50
4.4	Estimación de la exposición al peligro de inundación.....	53
5	RESULTADOS	54
5.1	Clasificación de los niveles de inundación	54
5.1.1	Periodos de retorno.....	54
5.1.2	Tabla de clasificación de niveles de inundación	54
5.2	Delimitación espacial de los niveles de inundación.....	56
5.2.1	Perfiles topográficos.....	56
5.2.2	Perfiles topográficos y niveles de susceptibilidad a inundación.....	60
5.2.3	Delimitación de los niveles de susceptibilidad	67
5.2.4	Cartografía de niveles de susceptibilidad al peligro de inundación	74
5.3	Exposición a inundaciones en el centro poblado de Sayán.....	76
6	DISCUSIÓN	78
6.1	Análisis de los resultados.....	78
6.1.1	Caudales y extensión de los niveles de inundación de susceptibilidad ...	78
6.1.2	La importancia de la velocidad del flujo en los valores de caudales.....	79
6.2	Evaluación de la metodología: Vacíos y complicaciones	82
6.3	Comparación del nivel muy alto de la susceptibilidad a inundación en el centro poblado de Sayán con otras delimitaciones	83
7	CONCLUSIONES	87
8	RECOMENDACIONES	90
8.1.1	La importancia de la integración de la GRD en la planificación territorial	90
8.1.2	La importancia una gestión local del riesgo ante inundaciones.....	94
9	BIBLIOGRAFÍA	96
10	ANEXOS	106
10.1	ANEXO 1: Plantilla inicial para el cálculo de caudal	106
10.2	ANEXO 2: Plantilla modificada para el cálculo de los caudales en sus 4 niveles	112
10.3	ANEXO 3: Croquis del centro poblado de Sayán.....	136

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1. Tipo de servicio de desagüe que usa la población	34
Tabla 3.2. Material predominante de las paredes	35
Tabla 3.3. Abastecimiento de agua por vivienda	36
Tabla 5.1. Periodos de retorno para el río Huaura- Estación hidrológica Sayán	54
Tabla 5.2. Tabla de referencias: Clasificación de niveles de susceptibilidad a inundación	56
Tabla 5.3. Velocidad y áreas de los niveles de susceptibilidad a inundación por transecto	60
Tabla 5.4. Niveles de agua y caudales de los niveles de susceptibilidad a inundación por transecto	61
Tabla 5.5. Comparación de áreas (m ²) de los niveles de susceptibilidad.....	74

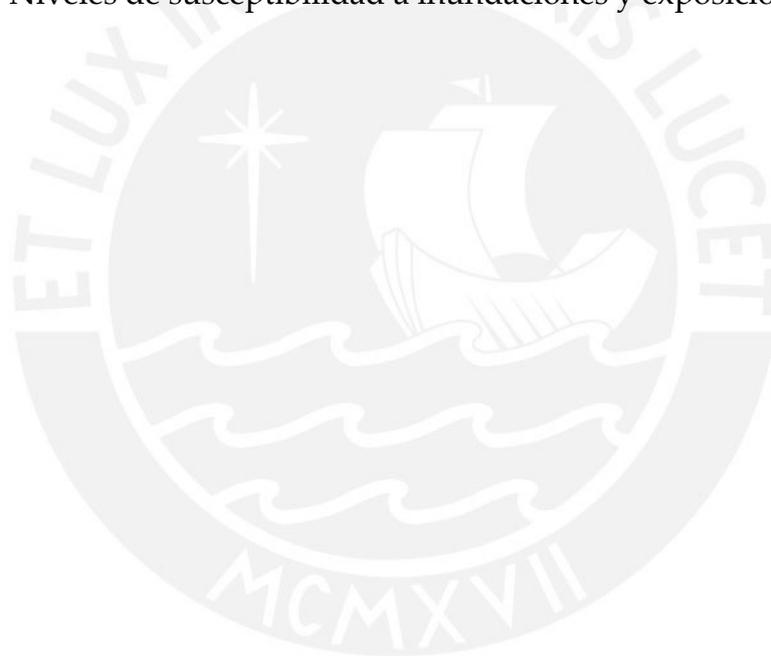


ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Proceso del ciclo hidrológico	6
Figura 2.2. La cuenca como sistema	8
Figura 2.3. La llanura de inundación y las terrazas aluviales	11
Figura 2.4. La faja marginal	24
Figura 3.1. División de la población por grupos de edades-Distrito de Sayán...	32
Figura 4.1. Fotografías de la primera salida de campo. (a) Vista desde el puente de la entrada de Sayán. (b) y (c) Vistas desde la ribera izquierda de Sayán-aguas abajo y aguas arriba	37
Figura 4.2. Fórmula de Gumbel	38
Figura 4.3. Niveles de peligros e hidrograma de caudales del río Huaura: (a) Descripción cualitativa y (b) caudales según sus niveles	40
Figura 4.4. Fotografías de la segunda salida de campo. (a) Punto de partida para el levantamiento Aero fotogramétrico. (b) Dron DJI Mavic Pro durante el vuelo.	41
Figura 4.5. Cordel amarrado a la varilla a 50 cm sobre el suelo -Transecto N° 6.	43
Figura 4.6. Amarrando la soga y el cordel de un lado al otro del río - Transecto N° 2.	44
Figura 4.7. Midiendo la profundidad cada 1 m sobre el nivel del cordel - Transecto N° 3.	44
Figura 4.8. Diferencia entre un DTM y DEM.....	45
Figura 4.9. Midiendo la pendiente para el transecto N° 3	46
Figura 4.10. Plantilla para el cálculo de caudal: Ejemplo de Transecto N° 2	47
Figura 4.11. Polígono Ejemplo	47
Figura 4.12. Clasificación para hallar el coeficiente de rugosidad.....	49
Figura 4.13. Cálculo del nivel bajo para el Transecto N° 2	50
Figura 5.1. Perfil topográfico en tres momentos del transecto N° 01	57
Figura 5.2. Perfil topográfico en tres momentos del transecto N° 02	57
Figura 5.3. Perfil topográfico en tres momentos del transecto N° 03	58
Figura 5.4. Perfil topográfico en tres momentos del transecto N° 04	58
Figura 5.5. Perfil topográfico en tres momentos del transecto N° 05	59
Figura 5.6. Perfil topográfico en tres momentos del transecto N° 06	59
Figura 5.7. Perfil topográfico N° 1 con sus niveles de inundación.....	62
Figura 5.8. Perfil topográfico N° 2 con sus niveles de inundación.....	63
Figura 5.9. Perfil topográfico N° 3 con sus niveles de inundación.....	64
Figura 5.10. Perfil topográfico N° 4 con sus niveles de inundación.....	65
Figura 5.11. Perfil topográfico N° 5 con sus niveles de inundación.....	66
Figura 5.12. Perfil topográfico N° 6 con sus niveles de inundación.....	67

ÍNDICE DE MAPAS

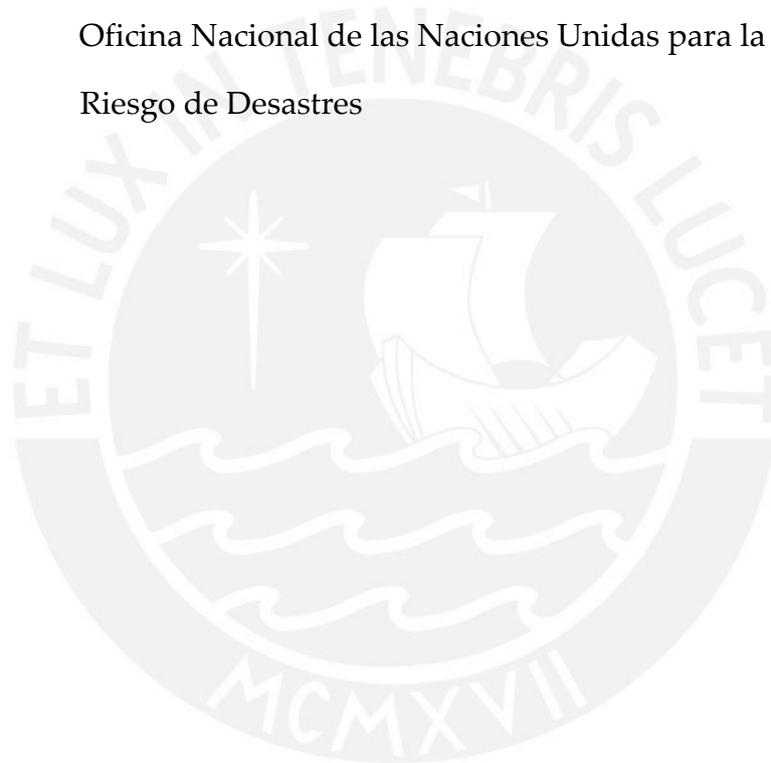
Mapa 2.1. Área susceptible de inundación en la quebrada Costa Verde, distrito de Sayán	26
Mapa 2.2. Área delimitada como faja marginal en el centro poblado de Sayán.	27
Mapa 3.1. Ubicación del área de estudio: Centro poblado de Sayán	29
Mapa 4.1. Ubicación de los perfiles topográficos.....	42
Mapa 4.2. Procesamiento: Unión de niveles Y mediante curvas de nivel – Nivel Muy Alto	52
Mapa 5.1. Nivel bajo de susceptibilidad a inundaciones	68
Mapa 5.2. Nivel medio de susceptibilidad a inundaciones	71
Mapa 5.3. Nivel alto de susceptibilidad a inundaciones.....	72
Mapa 5.4. Nivel muy alto de susceptibilidad a inundaciones.....	73
Mapa 5.5. Niveles de susceptibilidad a inundaciones.....	75
Mapa 5.6. Niveles de susceptibilidad a inundaciones y exposición.....	77



SIGLAS Y ACRÓNIMOS

ANA	Autoridad Nacional del Agua
ARCC	Autoridad para la Reconstrucción con Cambios
Cenepred	Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de desastre
Ceplan	Centro Nacional de Planeamiento estratégico
DEM	Modelo Digital de Elevación
DEPHM	Dirección de Estudios de Proyectos Hidráulicos Multisectoriales
DTM/DSM	Modelo Digital de Terreno/ Modelo Digital de Superficie
ENSO	El Niño Oscilación del Sur
Fondes	Fondo para Intervenciones ante la Ocurrencia de Desastres Naturales
GPS	Sistema de Posicionamiento Global
GRD	Gestión de Riesgo de Desastre
IGN	Instituto Geográfico Nacional
Indeci	Instituto Nacional de Defensa Civil
INEI	Instituto Nacional de Estadística e Informática
IPCC	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático
MEF	Ministerio de Economía y Finanzas
Midagri	Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego
MTC	Ministerio de Transporte y Comunicaciones
OEA	Organismos de Estados Americanos
OHLA	Obrascón Huarte Lain
PCM	Presidencia de Consejo de Ministros
PDCL	Plan de Desarrollo Concertado Local
PDU	Plan de Desarrollo Urbano

Planagerd	Plan Nacional de Gestión de Riesgo de Desastre
PNGRD	Política Nacional de Gestión de Riesgo de Desastre
PPRRD	Plan de Prevención y Reducción de Riesgo de Desastres
PP068	Programa Presupuestal 068
Senamhi	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú
SIG	Sistema de Información Geográfica
Sigrid	Sistema de Información para la Gestión del Riesgo de Desastre
Sinagerd	Sistema Nacional de Gestión de Riesgo de Desastre
UNDRR	Oficina Nacional de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres



1 INTRODUCCIÓN

El peligro de inundación se ha considerado como el fenómeno más común y destructivo a nivel mundial (Rentschler & Salhab, 2020; CenePred, 2014a). Los efectos negativos de este, en el ser humano, se deben a la ubicación geográfica de las poblaciones en áreas propensas a inundaciones. La preferencia de asentamientos humanos cerca a fuentes de agua como los mares o los ríos es causada por razones como la presencia de suelos ricos para la agricultura, el suministro de agua para consumo o riego, el agua como medio de transporte, el agua como fuente de recursos alimenticios y económicos, entre otros beneficios (Organización Meteorológica Mundial, 2011). Estas ventajas provenientes de las fuentes de agua permiten a las poblaciones realizar diversas actividades económicas como la agricultura, la pesca, la silvicultura, el comercio, etc., y, por lo tanto, asentarse en esas áreas.

Actualmente, a nivel mundial y de Latinoamérica, un elevado número de personas se encuentran expuestas al peligro de inundación. Según el estudio realizado por Rentschler & Salhab (2020) en 189 países, el 29% de personas en todo el mundo están ubicadas en espacios que serían participes de inundaciones, siendo Asia Meridional y Oriental los más afectados debido a la ubicación de poblaciones en áreas costeras o llanuras fluviales bajas. Más cercanamente en Latinoamérica, el panorama no es tan diferente; así, entre los años de 1970 y 2013 este fenómeno ha sido el más frecuente, y entre 1980 y 2010, sus impactos económicos han superado a los impactos registrados en sucesos anteriores entre 1900 y 1980. Adicional a ello, el número de población en riesgo y/o las consecuencias de este peligro podrían incrementarse por causa del Cambio Climático antropogénico (Fernández, 2016).

Si bien las inundaciones que se producen son provenientes de diversas fuentes de agua, en el Perú, el más frecuente es el desborde del río causado por prolongadas y fuertes lluvias. A este tipo de inundación se le conoce como

inundación fluvial (Cenepred, 2014b). En el Perú, las inundaciones fluviales se producen por causa de las precipitaciones estacionales en los Andes y por las precipitaciones en algunos años por el fenómeno ENSO (Cenepred, 2014a). Según el Cenepred (2014a) y Velásquez (2018) las poblaciones en las tres regiones del Perú se encuentran expuestas a este peligro.

En el presente trabajo, se evalúa el área de susceptibilidad del peligro de inundación fluvial en el centro poblado de Sayán, distrito de Sayán, provincia de Huaura, región de Lima. El centro poblado de Sayán, como centro económico y social importante para el distrito, sufre inundaciones fluviales periódicas, especialmente en años de ENSO y con menos frecuencia en la estación de verano por lluvias provenientes de los Andes (Cenepred, s. f.). De ahí surge la importancia de este tópico; el fin principal de la investigación es conocer el área susceptible de inundación en sus cuatro niveles de inundación: Nivel bajo, nivel medio, nivel alto y nivel muy alto.

1.1 Problema de investigación

En el distrito de Sayán, entre los años de 2015 y 2024, se han presentado puntos críticos de inundación y activación de quebradas en un inventario elaborado por la ANA. Asimismo, se visualizan delimitaciones del peligro en el área de Sayán, así se observa un área propensa a una susceptibilidad alta por inundaciones causadas por lluvias fuertes, un área expuesta a una susceptibilidad alta por inundaciones de lluvias asociadas a eventos de ENSO, y un área de susceptibilidad regional a inundaciones con un nivel principalmente muy alto (ANA, 2016b; Ingemmet, s. f.; Cenepred, 2021 en Cenepred, s. f.). Además, existe una delimitación más precisa del área de exposición a inundación y activación de quebrada elaborado en un contexto de previsión al fenómeno ENSO al 2017 (Quiñones, 2016; ANA, 2016b). Adicionalmente, se observó la delimitación de la faja marginal realizada a la par de esta investigación, el cual expresa un riesgo alto y muy alto de desbordes (Resolución Directoral N° 0191-2022-ANA-

AAA.CF., 2022; Cenepred, s. f.). Toda esta información se puede visualizar en el geovisor del Sigrid del Cenepred, una plataforma interactiva en relación a los fenómenos naturales (Cenepred, s. f.).

Por lo tanto, se aprecia a Sayán como un centro poblado y distrito con probabilidad a inundaciones y a activación de quebradas por lluvias estacionales en los Andes y por ENSO. Tanto el Cenepred (2021), el Ingemmet (s. f. en Cenepred s. f.), la Ana (2016b) y la Resolución Directoral N° 0191-2022-ANA-AAA.CF. (2022) delimitan áreas de inundación para Sayán. En el primer caso, debido a que es un estudio nacional no expresa límites claros, sino que consideran casi todo el valle de Sayán como el área susceptible a un nivel alto inundación. En el segundo caso, la susceptibilidad regional es más detallada, sin embargo, aún es imprecisa puesto que de la misma manera todo el valle de Sayán, pero con menor ancho que en el caso anterior, es considerado un nivel muy alto de exposición a inundación. La cartografía de inundaciones a nivel nacional y regional es útil para identificar, a grandes rasgos, probables espacios susceptibles, pero a nivel local no es de utilidad puesto que todos los centros poblados están ubicados en el valle y el área de inundación, al realizar un acercamiento, se visualiza pixelado.

En tercer lugar, se trata de un estudio local que permite ver con mayor claridad el área de exposición a inundación, pero presenta deficiencias en su metodología y exactitud de sus resultados. En cuarto lugar, la delimitación expresa la faja marginal del río Huaura en el sector Sayán basado en estudios más especializados, que resultan en un polígono que cubre ambos márgenes del río como zona de alto o muy alto riesgo (Ver Mapa 2.2.), (Resolución Directoral N° 0191-2022-ANA-AAA.CF., 2022). Si bien este estudio es de relevancia, la no precisión de los niveles del peligro hace necesario un estudio de zonificación para su complementación. Esta investigación detalla una metodología adaptada y

competente al espacio local y busca una delimitación más precisa de áreas de niveles de susceptibilidad a inundación.

1.2 Justificación e importancia

El presente estudio aporta información relevante para la reducción y prevención de riesgos de inundación en el distrito de Sayán. Ello a partir de la aplicación de técnicas que van a permitir delimitar el área de inundación en niveles de peligro con mejor precisión. Se espera que esta información sea de utilidad y complementaria a la delimitación de la faja marginal para el río Huara, y para el proyecto de reforzamiento de riveras de este río por medio de la ARCC ante inundaciones (Municipalidad distrital de Sayán, 2023b). Además, para la toma de decisiones relacionadas al ordenamiento territorial como la zonificación de áreas en riesgo. Asimismo, las autoridades podrían contribuir al aumento de la resiliencia de la población ante futuras inundaciones por medio de campañas informativas o de concientización, simulacros, reuniones vecinales, entre otros.

1.3 Preguntas de investigación

1. ¿Cuáles son los niveles de clasificación cualitativa (descripción) y cuantitativa (valores de los caudales) de inundación?
2. ¿Cómo se expresan espacialmente los niveles de peligro bajo, medio, alto y muy alto de inundación en el área de estudio?
3. ¿Cuál es el grado de exposición en el área susceptible de inundación?

1.4 Objetivos

Objetivo general: Delimitar el área susceptible del peligro de inundación en el centro poblado de Sayán con el propósito de aportar a la reducción y prevención de riesgos de desastres.

Objetivos específicos:

Primero: Identificar y calcular los niveles de inundación bajo, medio, alto y muy alto por medio de la síntesis geomorfológica e hidrológica.

Segundo: Delimitar las áreas de los niveles del peligro de inundación en el centro poblado de Sayán mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica.

Tercero: Estimar el grado de exposición en el área susceptible de inundación mediante el uso del SIG y observación en campo.



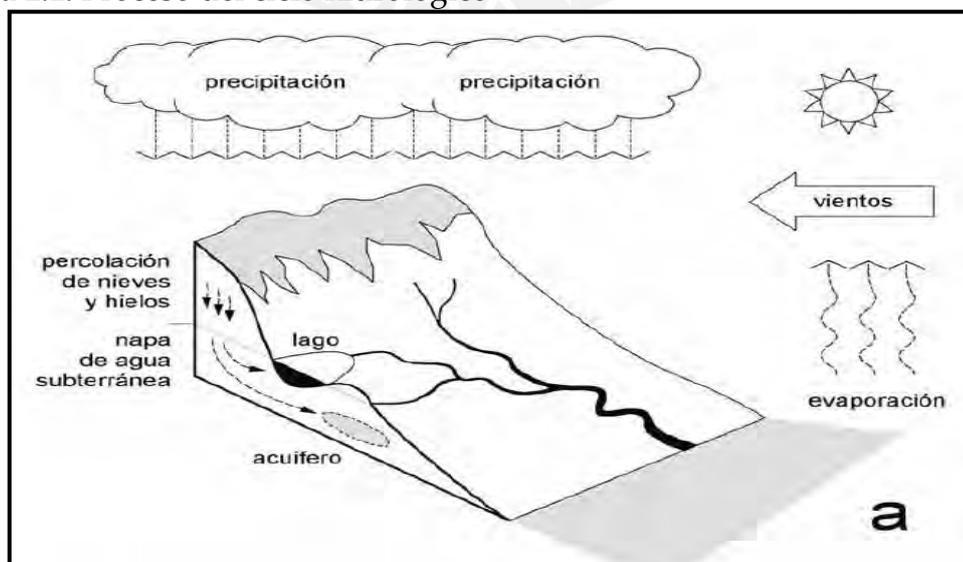
2 MARCO TEÓRICO

2.1 Conceptos básicos acerca de la geomorfología fluvial: El sistema fluvial

El sistema fluvial es el conjunto de elementos relacionados por medio de procesos que los unen entre sí, los cuales, intervienen en la formación y funcionamiento de una cuenca hidrográfica. La variación o alteración de alguno de ellos, por causas naturales o antrópicas, afectaría el funcionamiento normal del sistema. Este sistema fluvial presenta entradas y salidas que conforman su formación y funcionamiento, tales como el agua y energía, y el agua y sedimentos, respectivamente. Se aprecia una influencia bidireccional entre los elementos que intervienen en el sistema, así, por ejemplo, la geología y geomorfología del terreno afectan la formación del río, pero este, según su cantidad y energía también puede modificar la geomorfología de terreno (Charlton, 2008). Un sistema se caracteriza principalmente por sus interrelaciones, por ello es relevante no solo apreciar las partes u objetos sino el sistema como tal, que en este caso es la cuenca hidrográfica, formada principalmente por el agente agua por medio del ciclo hidrológico.

2.1.1 El ciclo hidrológico

Figura 2.1. Proceso del ciclo hidrológico



Un concepto clave del sistema fluvial es el ciclo hidrológico (Ver Figura 2.1.). Este ciclo lleva a cabo la formación de las aguas superficiales, el río, y el canal donde este fluye. El principal agente en este ciclo es el agua, el cuál es también el principal modelador del paisaje y del cauce fluvial, mediante la erosión y la sedimentación (Elliott, 2009).

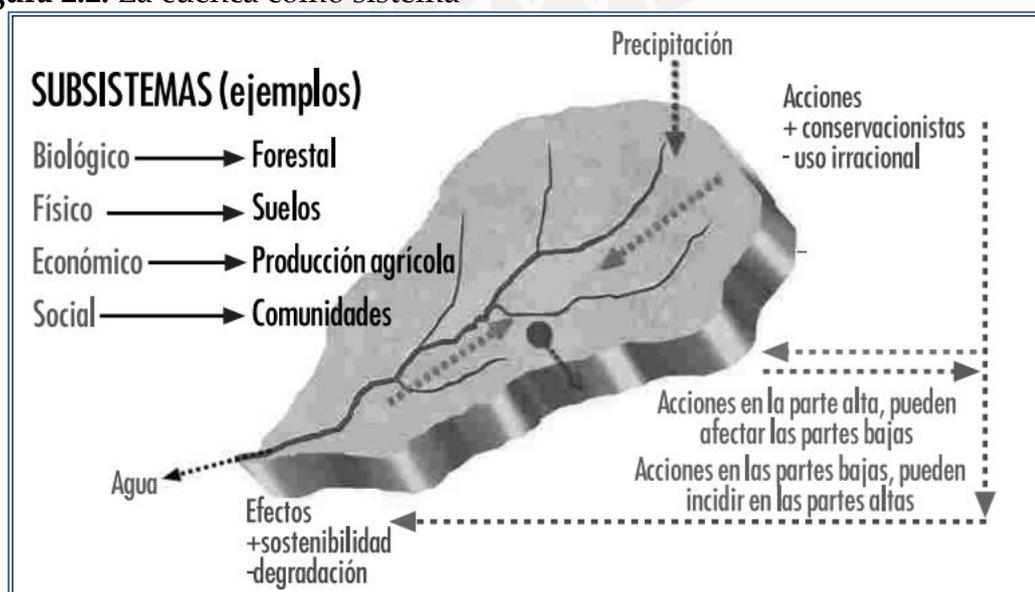
El ciclo hidrológico empieza con la evaporación de las aguas marinas por causa de la energía solar. El vapor de agua asciende en la atmósfera, ahí se condensa formando nubes que precipitan sobre el mar, y una parte del vapor de agua es transportada luego por la acción de los vientos a los continentes, donde caen en forma de nieve o lluvia (y/o granizo). En las altas latitudes o en las altas montañas, la nieve se acumula dando a la formación de los glaciares o capas de hielo. Ahí la deglaciación de este puede dar lugar a la esorrentía superficial y luego a la formación de canales y/o alimentar los ya existentes. Por otra parte, las lluvias infiltran en el suelo, alimentan los acuíferos, y cuando saturan el suelo escurren como aguas superficiales en el terreno formando cauces mediante la erosión y sedimentación del suelo. Estos canales transportan las aguas con dirección al mar y otra parte regresa nuevamente a la atmósfera por evaporación, y de esa manera el ciclo vuelve a empezar y continua el mismo proceso (Elliott, 2009; Ordoñez, 2011).

Un aspecto relevante en el ciclo hidrológico es la infiltración del agua. La infiltración dependerá de la permeabilidad del suelo que está relacionado con su textura (fina como el limo a grueso como la grava), compactación, presencia de vegetación, entre otros factores. Ella alimenta los acuíferos y al sobrepasar sus límites subterráneos son transformados en esorrentía superficial. Estas aguas que han infiltrado en el subsuelo son las aguas subterráneas las cuales se relacionan con las aguas superficiales, es decir, que ambas se pueden contribuir mutuamente, así las aguas subterráneas al salir en pendientes altas o laderas

bajas pueden incrementar el nivel del río, y este a su vez puede infiltrar en otros espacios e incrementar las aguas subterráneas (Elliott, 2009). Además, durante las estaciones secas que producen la reducción de la escorrentía superficial, los acuíferos son de suma importancia como soporte para el uso y consumo humano como también los glaciares contribuyen a la escorrentía en este periodo.

Todo este proceso del ciclo hidrológico ocurre en un espacio determinado llamado cuenca hidrográfica, siendo el proceso y el lugar de su ejecución el sistema en sí. La cuenca hidrográfica es un territorio delimitado por las partes más altas de la topografía en términos de altitud, donde confluyen las escorrentías superficiales de las diferentes partes altas formando un río principal cuyas aguas fluyen hacia partes más bajas en dirección al mar. En este espacio los elementos presentes como la flora, fauna, suelo, agua, clima, subsuelo, actividades económicas y entidades institucionales se encuentran interrelacionados entre sí, es decir, la variación en la participación de alguno de ellos afectaría el sistema (Ver Figura 2.2.) (World Vision, s. f.). Por ejemplo, la deforestación en las partes altas de la cuenca aumentaría la velocidad de los flujos del agua y resultaría en menor infiltración en las partes medias y bajas, lo que resulta en menor recarga de los acuíferos.

Figura 2.2. La cuenca como sistema



Entonces, en el ciclo hidrológico el agua como recurso renovable y como materia solo se transforma en sus distintas fases y continúa circulando en el sistema. Sin embargo, la intervención del hombre causa alteración del sistema mediante decisiones de uso irracional del agua interrumpiendo la renovabilidad natural y normal del agua, y produciendo consecuencias cadenas en los otros participantes de la cuenca hidrográfica.

2.1.2 La geomorfología fluvial

En la formación de la geomorfología fluvial el inicio es con el impacto de la lluvia en el suelo, después de la infiltración y saturación del suelo, el agua empieza a escurrir superficialmente, moverse laminarmente por gravedad y a modelar el terreno mediante la erosión y sedimentación. A partir de este momento, comienza la formación de surcos pequeños que van creciendo hasta convertirse en canales para facilitar el drenaje del agua ladera abajo. Esta formación de canales se explica porque, con el aumento de la pendiente, el flujo se concentra y con ello, su capacidad erosiva, lo que se conoce técnicamente como eficiencia hidráulica (Elliott, 2009; Charlton, 2008). A continuación, se explicarán algunos conceptos relevantes de la geomorfología fluvial, así como su respectivo proceso de formación.

El **flujo** es el agua en movimiento presente en el canal o cauce. Este flujo está en movimiento en dirección a zonas bajas o el mar debido a las fuerzas de la gravedad y la inercia. Pero también hay fuerzas en contra del flujo llamado fuerzas de fricción, externas e internas. Las fuerzas externas son las paredes del cauce, tipo de suelo, topografía, pendiente, etc; y las internas son el volumen del agua y la viscosidad del agua (Elliot, 2009). Estas diferentes fuerzas varían en el tiempo (estacionalidad) y en todo el territorio que recorre el agua (espacialmente), y determinan la capacidad de la fuerza erosiva que va a crear y modificar el canal.

El agua como agente modelador a mayor descarga, volumen de flujo que transita en un tiempo y parte del transecto determinado, por mayor precipitación participará con mayor actividad en la geomorfología del cauce. Es así, que hay un equilibrio entre la fuerza erosiva del flujo y el límite a la erosión que considera las inundaciones como parte del sistema de formación de la geomorfología fluvial (Charlton, 2008).

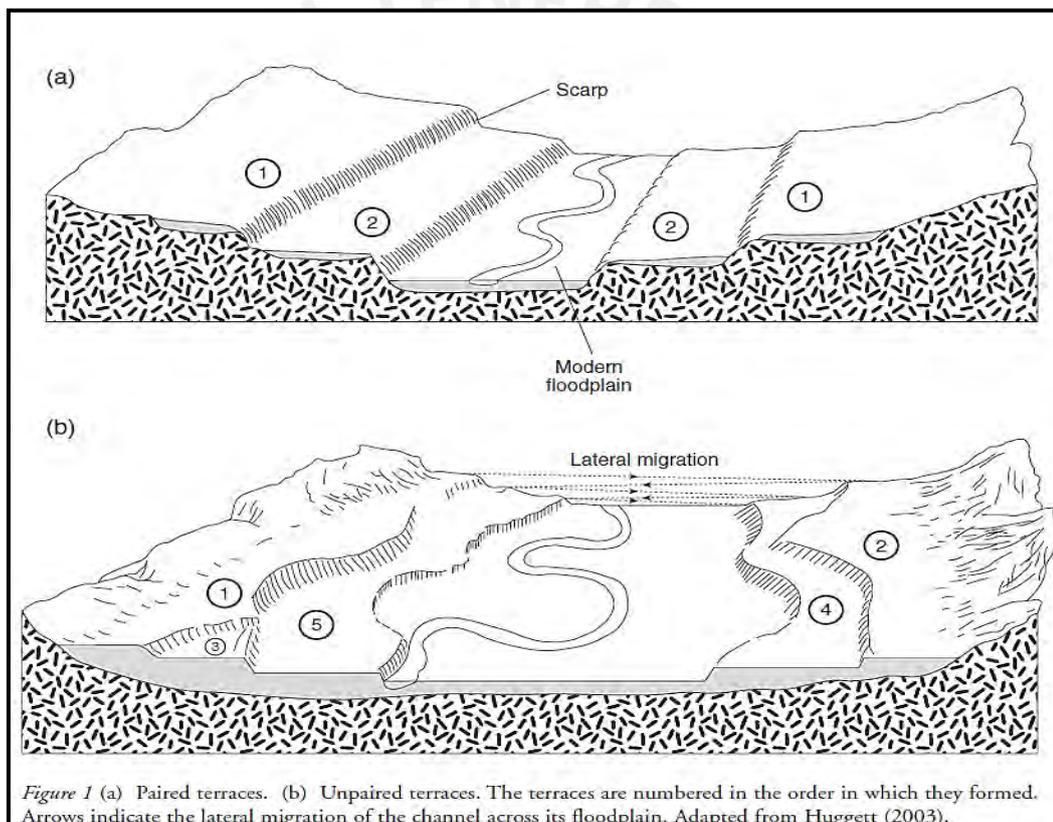
El **cauce o canal** es el espacio donde se moviliza el flujo mientras este se mueve ladera abajo. Se le puede definir como “una incisión lineal en el terreno con paredes laterales claramente definidas, al interior de las cuales ocurre, primero el flujo de agua concentrado y segundo, el transporte de sedimentos, de manera tal que aun si el agua dejara de escurrir en el, la evidencia morfológica del escurrimiento sería aparente” (Dietrich & Dune 1993, citado en Elliott 2009, p. 17). Es así, que en todo canal o cauce deben existir dos procesos específicos: el flujo del agua y el transporte de sedimentos. El flujo puede ser más o menos viscoso según la carga en cantidad de sedimentos.

La **llanura de inundación** es un espacio regularmente plano, que colinda al cauce del río. Se forma por acumulación o sedimentación aluvial, es decir, se han conformado fuera del cauce por depósitos de sedimentos traídos por el flujo, debido a que supera su capacidad de carga de material y reduce su velocidad y sedimenta. La llanura de inundación está generalmente delimitada por escarpes en forma escalonada conocidas como terrazas aluviales. Una característica relevante es que estas llanuras son frecuentemente invadidas por las inundaciones cuando las aguas del río rebalsan su cauce (OEA, 1993). Es así que, las llanuras de inundación juegan un rol importante dentro del sistema fluvial ya que reducen la energía cinética de las aguas en una inundación (Auge, 2009; Elliott, 2009).

Las **terrazas aluviales** (Ver Figura 2.3.) son superficies remanentes de antiguas llanuras de inundación formadas por sedimentación y erosión durante distintos

periodos de tiempo. A medida que el río ha profundizado por erosión su cauce, en respuesta a la variación del nivel de base, la dinámica fluvial ha erosionado las laderas, ensanchado el valle y ha depositado sedimentos, formando una nueva llanura aluvial. Las distintas terrazas representan niveles antiguos de la llanura aluvial que fueron erosionadas por el flujo debido a cambios en el nivel de base (absoluto: océano), causados por la actividad tectónica o a la variación del nivel del mar o debido a cambios en el régimen climático (Auge, 2009; Elliott, 2009; Basile, 2018).

Figura 2.3. La llanura de inundación y las terrazas aluviales



Fuente: Ro Charlton, 2008, p. 164.

2.2 Inundaciones fluviales

Las inundaciones fluviales son un fenómeno hidrometeorológico, es decir, intervienen el flujo del río y las precipitaciones. Exclusivamente, son desbordes producidos por el río. Esto ocurre, porque el flujo del agua sobrepasa la capacidad del volumen del canal y “se derrama sobre sus planas laterales” (Elliot, 2009, p. 91). Para la producción de una inundación, el principal factor es la

precipitación, pero también intervienen otros factores; por ejemplo, la forma del cauce y los sedimentos naturales o antrópicos que pueda traer el flujo. Si la forma del cauce es de tipo meándrico, por ejemplo, entonces el flujo sedimentará por un lado y por el otro erosionará, por lo que es más probable que se produzca una mayor inundación por el lado donde sedimenta (Elliot, 2009). También, la cantidad de sedimentos que carga el flujo de agua juega un rol importante, ya que, a más sedimentos, el tamaño del cauce se reduce dando lugar a una mayor probabilidad de inundaciones.

Dentro del sistema fluvial en el ciclo natural del agua, las inundaciones próximas a espacios circundantes, como en la llanura de inundación, son beneficiosas porque recargan los acuíferos, contribuyen a la permanencia de los humedales, producen suelos ricos de nutrientes, entre otros. Pero, se convierten en perjudiciales cuando hay poblaciones y/o sus actividades presentes en estas áreas (Organización Meteorológica Mundial, 2011). Esto significa que los factores antrópicos alteran el ciclo natural del río. En este mismo sentido también el cambio climático antropogénico puede producir alteraciones en la frecuencia y magnitud de este fenómeno, por lo que produciría posibles modificaciones en el ciclo hidrológico, provocando probablemente más daños a las poblaciones.

Las consecuencias de las inundaciones al hombre, en áreas urbanas o rurales, se producen en diferentes ámbitos como en la economía, la agricultura, el medio ambiente, la sociedad, etc. Se producen daños en la infraestructura física como las viviendas, los canales de riego, las áreas agrícolas, las carreteras, u otras infraestructuras públicas y privadas. Estas afectaciones producen en sí mismas pérdidas económicas, pero también afectan las actividades económicas y las paralizan temporalmente (Cenepred, 2014a). Además, se ejecutan otras afectaciones importantes como pérdidas humanas y personas lesionadas, entre otros.

2.2.1 Inundaciones fluviales en el Perú

Las inundaciones fluviales en el Perú, se producen por dos causas principales: las lluvias estacionales de los Andes y por condiciones de ENSO que afecta principalmente la costa norte (Cenepred 2014a). Las lluvias en todo el Perú son predominantemente estacionales, los meses con mayores precipitaciones se encuentran entre diciembre y marzo. La estacionalidad es más notoria en toda la costa, la sierra occidental y la sierra norte y centro oriental. En la sierra sur oriental y selva las precipitaciones si bien predominan entre el mismo intervalo de meses, en los otros meses también las precipitaciones son entre intermedias a altas (Endara, 2016).

Por su parte, el fenómeno de ENSO puede ocurrir entre cuatro a ocho años que es cuando los vientos alisios disminuyen y el agua se calienta entre 3-7 °C más, dando paso a que estas aguas cálidas del océano Pacífico arriben y se desplacen hasta el este y sur, lo cual resulta en aguas cálidas en las costas del Ecuador y el Perú. En la costa del Perú la presencia de los vientos alisios procura el afloramiento de aguas frías o la corriente de Humboldt, pero con ENSO, las aguas cálidas producen cambios no solo en los nutrientes y fauna marina, sino también en la atmosfera produciendo mayores precipitaciones (Lavado et al, 2009).

Las inundaciones son recurrentes en distintos departamentos del Perú, entre las áreas afectadas frecuentemente por inundaciones de ENSO es la costa norte con los departamentos de Piura, Lambayeque y Tumbes; además de también distritos de Lima provincias y Lima capital. En la sierra, ocurre anegamientos “en la vertiente del Titicaca, [...] [y estas son causadas] por los desbordes de los ríos Coata y Ramis debido a las lluvias intensas” (Velásquez, 2018, p. 22), además de inundaciones en otras regiones de la sierra centro y norte. Por otro lado, en la región amazónica los departamentos más afectados por este peligro de inundación son “Amazonas, Junín, Loreto y Ucayali” (Velásquez, 2018, p. 22).

2.2.2 Inundaciones fluviales en el distrito de Sayán

En el distrito de Sayán, las causas de las inundaciones son las lluvias estacionales, pero también, se ha comprobado que las condiciones de ENSO interviene en inundaciones en algunos años en la zona. En la base de datos de la UNDRR, Desinventar, que compila sucesos de fenómenos naturales y antrópicos, se aprecian eventos de inundación en los años 1970, 1972 y 1973 en los meses de enero y marzo, ocurridas en las carreteras Sayán-Churín, y en las vías Huaura-Sayán-Oyón. Aquí es importante mencionar que los años de 1972-1973 coinciden con un fenómeno ENSO (Senamhi, 2014). En los años 1970 y 1973, las inundaciones afectaron sembríos agrícolas, y en los tres años estas inundaciones afectaron las comunicaciones al bloquear las carreteras (UNDRR, s. f.).

Así también, en el 2016, en un proyecto sobre la realización de una defensa ribereña en el distrito de Sayán, se aprecia un nivel de exposición fuerte, y el riesgo de inundación presente, se estimaba que dañaría centros poblados y áreas agrícolas, por lo cual esa defensa ribereña beneficiaría 280 familias (ANA, 2016a).

Más adelante, en el 2022, en el Proyecto “Creación del servicio de protección en las Riberas del Río Huaura vulnerable ante peligro de inundaciones en las localidades de 5 distritos de la provincia de Oyón y 6 distritos de la provincia de Huaura – Departamento de Lima” (Municipalidad distrital de Sayán, 2023b, s. p.), se aprecia a Sayán como un distrito beneficiario. Según el Informe N° 0184-2023-ARCC/DE/DAI-AGRR (2023), ello se realiza como una medida preventiva ante la probabilidad de llegada de ENSO a las costas del Perú.

Más recientemente, este año, 2024, en fines del mes de enero, el río Huaura presentó un incremento del caudal con alertas de inundación. Por ello, la Municipalidad distrital de Sayán realizó una evaluación de daños en los puntos críticos del distrito, además recibió la visita de Provías Nacional para la toma de

medidas ante posible desborde, tales como el reforzamiento de la defensa natural del cauce (Municipalidad distrital de Sayán, s. f.).

2.3 Conceptos básicos sobre riesgos de desastres

Hay cuatro conceptos claves para comprender el riesgo de desastres. En primer lugar, la amenaza o peligro es la posibilidad de que un fenómeno natural o antrópico ocurra en un lugar y tiempo específico (Indeci, 2006). En segundo lugar, la vulnerabilidad, es “la susceptibilidad de la población, la estructura física o las actividades socioeconómicas, de sufrir daños por acción de un peligro o amenaza” (Cenepred, 2014b, p. 121). En tercer lugar, el riesgo de desastre es “la probabilidad de que la población y sus medios de vida sufran daños y pérdidas a consecuencia de su condición de vulnerabilidad y el impacto de un peligro” (Cenepred, 2014b, p. 194). Finalmente, en cuarto lugar, el desastre viene a ser la materialización de los daños y pérdidas causadas por un peligro “cuya intensidad genera graves alteraciones en el funcionamiento de las unidades sociales, sobrepasando la capacidad de respuesta local para atender eficazmente sus consecuencias” (Cenepred, 2014b, p. 189).

El riesgo en términos matemáticos es “el resultado de relacionar el peligro con la vulnerabilidad de los elementos expuestos, con el fin de determinar los posibles efectos y consecuencias sociales, económicas y ambientales asociadas a uno o varios fenómenos peligrosos” (Cenepred, 2014b, p. 147). El riesgo, según Cenepred (2014b, p. 147), se expresa según la siguiente ecuación:

$$Riesgo = f(Peligro, Vulnerabilidad) \quad (1)$$

Para el caso de la vulnerabilidad, esta se conforma por tres variables: la exposición, la fragilidad y la resiliencia. Por un lado, la exposición es la presencia de población en un área susceptible de peligro. En términos más amplios, son “las decisiones y prácticas que ubican al ser humano y sus medios de vida en la zona de impacto de un peligro” (Cenepred, 2014b, p. 122). Por otro lado, la fragilidad se refiere a las “condiciones de desventaja o debilidad relativa del ser

humano y sus medios de vida frente a un peligro” (Cenepred, 2014b, p. 122), tales como el material de la vivienda, acceso a servicios básicos u otros. Por último, la resiliencia es el “nivel de asimilación o capacidad de recuperación del ser humano y sus medios de vida frente a la ocurrencia de un peligro” (Cenepred, 2014b, p. 123). Esta variable se encuentra asociada a condiciones sociales como la organización de la población (Cenepred, 2014b, p. 123; Coordinación Nacional de Protección Civil México, 2015).

La resiliencia responde a la pregunta: Qué tan preparada está actualmente la población para su recuperación después de un desastre. Aprender la cultura en GRD y la organización de entidades político-administrativas podría resolver esta pregunta. Ejemplos más específicos son la realización de simulacros, sistemas de alerta temprana, planes de emergencia, viviendas sismo-resistentes, cultura educativa en GRD, etc. (Coordinación Nacional de Protección Civil México, 2015).

Las variables de la vulnerabilidad están altamente relacionadas entre sí (IPCC, 2012) y juegan un rol importante en el riesgo de desastre. Si una población tiene una baja fragilidad porque está en clase media-alta, pero baja resiliencia por encontrarse en inestabilidad política, y una alta exposición por ubicarse en una zona con alto nivel de susceptibilidad de inundación, el riesgo de desastre sería medio. En otro caso, si hubiera una baja exposición a un peligro, y una alta fragilidad por considerarse asentamientos humanos, y una resiliencia mayor que en el anterior caso, el riesgo de desastre sería también medio. El cambio de aumento o disminución de algunos de estas variables será muy relevante para el riesgo de desastre. Disminuir la fragilidad y aumentar la resiliencia, como parte de la GRD, en caso de una exposición muy alta resultaría en un riesgo menor.

La gestión de riesgos de desastre procura la prevención, disminución y administración de los factores de riesgo: peligro y vulnerabilidad (Cenepred, 2014b). Un elemento importante de la gestión es la prevención, esta etapa incluye

la evaluación o estimación del riesgo que permite principalmente medir el riesgo (Indeci, 2006). La evaluación del riesgo es el “conjunto de acciones y procedimientos que se realizan en un determinado centro poblado o área geográfica, a fin de levantar información sobre la identificación de los peligros naturales y/o tecnológicos y el análisis de las condiciones de vulnerabilidad, para determinar o calcular el riesgo esperado” (Indeci, 2006, p. 11). Los productos de esta etapa son la zonificación de niveles de peligro, de vulnerabilidad, y de riesgo, así como su adecuada interpretación y discusión. Conociendo el riesgo de un determinado lugar es posible realizar recomendaciones y tomar medidas para prevenir riesgos futuros y reducir los existentes, los cuales serían pasos posteriores de la GRD.

Existen cuatro medidas de control para la prevención, reducción y control del riesgo. Primero, la protección, consiste en informar y preparar a la población sobre el riesgo de desastre, además de monitorear el peligro y crear sistemas de alerta temprana. Segundo, la reducción del peligro y riesgo consiste en inversiones para la construcción de infraestructura física que permita la reducción de la fragilidad de la población (reforzar viviendas, construir hospitales, etc.). Además, la reducción del peligro se expresa mediante la construcción de muros de contención, diques, reforestación, etc.; la planificación de uso de suelo (reubicación en zonas seguras) y la reorientación económica (actividades con menos riesgo).

Tercero, la transferencia del riesgo se refiere a instrumentos financieros mediante seguros o bonos que permiten a terceros asumir las pérdidas. Por último, el cuarto, es el compartimento de pérdidas, este es un “acuerdo solidario entre participantes respecto de la distribución de cualquier pérdida incurrida en caso de que uno o más de los participantes no pueden cumplir su obligación” (Cenepred, 2014b, p. 174). Ello, generalmente, mediante fondos contingentes, por ejemplo, los gobiernos locales acuden al gobierno central para poder solventar

los gastos económicos de la respuesta a un desastre usando el principio de subsidiariedad administrativa (Cenepred, 2014b).

En el Perú, la GRD se enmarca en el Sinagerd que está bajo su instrumento el Planagerd 2014-2021. Este plan se rigió hasta el 2021 acorde al Marco de Hyogo de la Oficina de Naciones Unidas para la reducción del riesgo de desastre (UNDRR). El plan Nacional tenía como objetivo “reducir la vulnerabilidad de la población y sus medios de vida, ante el riesgo de desastres” (Cenepred, 2014c, p. 9). Sin embargo, en el 2021 se publicó la PNGRD que se enmarca en un nuevo marco, el Marco de Sendai, que rige desde el 2015 internacionalmente. Esta PNGRD al 2050 busca la reducción de la vulnerabilidad de la población y sus medios de vida, pero con un mayor énfasis en la reducción de fragilidad en comparación con el Planagerd (PCM, 2021).

Los tres niveles de gobierno deben actuar enmarcados en la PNGRD al 2050. El monitoreo, seguimiento y evaluación de riesgos se encuentra bajo la coordinación de la PCM y se contempla el apoyo técnico de Cenepred e Indeci, además del Ceplan y MEF (Cenepred, 2014c). El Cenepred, por un lado, se encarga de la evaluación del riesgo (reducción y prevención de riesgos), mientras que el Indeci, se enfoca más en la preparación de la población, antes, durante y después de un desastre (aumento de resiliencia).

2.4 Importancia y tipos de metodologías de evaluación de riesgos de inundaciones

Es importante conocer el funcionamiento de las diferentes metodologías para la elección de una acorde a la data, al presupuesto, al contexto, etc. Entre las metodologías para estimar el peligro de inundación se encuentran algunas revisiones. Por ejemplo, Diez et al. (2009a y 2009b) agrupan metodologías, tales como los métodos paleo hidrológicos, los métodos geológicos-geomorfológicos y los métodos hidrológico-hidráulico.

Los métodos paleohidrológicos se basan en “técnicas paleontológicas, dendrocronológicas, radiométricas o arqueológicas” (Benito, 2002 y Benito et al., 2004 citado en Diez et al., 2009b, p. 32), con las cuales se busca determinar depósitos o marcas de este fenómeno, pero en épocas muy anteriores (tiempo geológico). Estos métodos son útiles para determinar inundaciones o cauces muy antiguos y apreciar hasta donde llegaron sus límites para ser considerados en el presente como posibles territorios del río.

Por otro lado, los métodos geológico-geomorfológicos se basan en la morfología del terreno y en los depósitos generados después de una inundación para determinar áreas geomorfológicamente activas y con susceptibilidad a inundaciones. (Diez et al., 2009b). Aquí se puede hacer uso de drones o imágenes satelitales, dependiendo de la escala espacial, para poder identificar la morfología del terreno. En el caso de los drones, estos expresarían mayor exactitud en la escala espacial dando una resolución que llega a centímetros (Reuter & Pedevoni, 2019). Identificar las geoformas propias del río es importante para conocer el territorio de este, sin embargo, los depósitos también pueden ser indicadores del tiempo de sedimentación y/o inundación. Por último, en los métodos hidrológico-hidráulicos se estiman los caudales, velocidades del flujo, profundidades del cauce, u otras características, mediante modelos hidrometeorológicos (que usan datos de precipitación), y un análisis estadístico (Diez et al., 2009b). A partir de ello se podría obtener el área susceptible de inundación.

Por ejemplo, el periodo de retorno, que viene a ser el tiempo medio en el que un determinado caudal puede ser igualado, permite conocer la frecuencia de una inundación. De esta manera, si se conoce que un periodo de retorno de 10 años sobrepasa los límites del cauce, puede decirse que a cada 10 años este fenómeno probablemente sucedería. Ante ello, medidas como preparar a la población, además de evitar que asentamientos humanos se instalen dentro de los límites de

este periodo de retorno, serían de gran utilidad. Los periodos más largos vienen a ser los niveles de peligro alto y los periodos cortos, los niveles de peligro medios y bajos (MTC, s. f.). Según los autores, se recomienda realizar estos grupos de metodologías en conjunto, y no necesariamente por separado, para la obtención de mejores resultados (Diez et al., 2009a y 2009b). Es importante mencionar que los métodos de Sistemas de Información Geográfica, pueden ser considerados como una herramienta transversal en todas las metodologías, ya que el producto principal o final es un mapa de zonificación de niveles de susceptibilidad.

En otra revisión, Tilloy et al. (2019), clasifica las metodologías en estocásticas, empíricas y mecanicistas. Por otro lado, Sun et al., (2019) clasifican los métodos en probabilísticos y estadísticos, los matemáticos difusos, los de análisis cualitativo, los del modelado, los de tecnología del SIG, entre otros grupos de métodos. Estas agrupaciones de métodos son más generales, y no específicos al fenómeno de inundación, por lo que también pueden agrupar métodos de estimación de la vulnerabilidad.

2.5 Antecedentes de la evaluación de riesgo en la zona

Es de relevancia revisar los antecedentes de estudios similares en la zona para así conocer la información base y complementaria, además de los vacíos de información. Todos los estudios encontrados han sido dirigidos la gran mayoría por el Ingemmet y algunos por la ANA (en coordinación con el Midagri), ambos organismos estatales. A continuación, se revisarán los estudios sobre las inundaciones en el centro poblado de Sayán.

Uno de los primeros estudios que se refiere a las inundaciones en la zona es del Ingemmet, en este estudio se hace mención que una mayor frecuencia de inundaciones se produce en “la zona media e inferior de la cuenca” (1990, p. 94). El centro poblado Sayán está ubicado en la parte media de la cuenca, pero otros centros poblados como Andahuasi corresponden también a esta categoría.

En otro estudio del Ingemmet, Villacorta et al. (2010), realizan un inventario de procesos de inundación, algunos sectores mencionados pertenecen al distrito de Sayán. Uno de ellos, Sayán, margen izquierdo del río Huaura probablemente puede corresponder al área de estudio o cercano a este. Aquí se menciona que “se observa inundación y erosión fluvial en una llanura de inundación de material aluvial, fluvial y coluvial” (p. 82) la cual ha provocado afectaciones a áreas de cultivo y canales de irrigación.

En el visor de mapas del Sigrid del Cenepred se aprecian dos capas que delimitan el área de susceptibilidad a inundaciones, uno por lluvias fuertes y otro asociado a eventos de ENSO. El nivel alto de susceptibilidad a inundaciones por lluvias fuertes y por ENSO corresponde al centro poblado de Sayán. Esta delimitación es de un estudio de Cenepred (2018b) la cual ha sido hecha a nivel nacional en un contexto de probabilidad al 2019 de un suceso del fenómeno ENSO.

La metodología que usan para delimitar esta área en niveles de peligro se divide en cuatro etapas. La primera etapa, consiste en recopilar información secundaria, analizarla y procesarla obteniendo información geoespacial como base para el desarrollo de etapas subsiguientes. En la segunda etapa, se identifica y caracteriza el fenómeno, para lo cual se explica la distribución espacial del percentil 95 considerado para lluvias fuertes y las lluvias del evento ENSO en el 1983, 1993 y 2017. Ya para la tercera etapa, se identifica los niveles de susceptibilidad a inundaciones para los cuales se basaron en los factores condicionantes geomorfológicos y la pendiente del terreno. Por último, en la cuarta etapa rehacen los mapas considerando cuatro niveles: muy alto, alto, medio y bajo. Elaboran tres mapas, en base a la metodología explicada en la etapa anterior, mapa de susceptibilidad a inundaciones por lluvias fuertes, por lluvias relacionadas al evento ENSO, y a movimientos en masa por lluvias fuertes. Luego identifican los elementos expuestos y estiman las pérdidas y daños para cada mapa (Cenepred, 2018b).

Se aprecia que la metodología que usan para delimitar las áreas no es clara porque no está detallada. Si bien se mencionan que se usan las condiciones del terreno y el factor desencadenante, no se explica cómo se combinan estos factores para luego zonificar las áreas susceptibles. Además, debido a que el estudio tuvo una escala espacial a nivel nacional, los datos son generales y gruesos, y se aprecian pixelados al ampliar la escala al nivel local.

Por otra parte, en Quiñones (2016), por medio de la DEPHM de la ANA, se delimitó el área de inundación en la zona de estudio en una escala a nivel local. Se trata de una actualización de otro estudio realizado un año antes debido al contexto cercano de ENSO del 2016. Similarmente al caso anterior, este documento se realizó a puertas del fenómeno ENSO ocurrido en el 2017, debido a los pronósticos realizados. En el estudio se identificó a diferentes sectores del distrito de Sayán como propensos a ser inundados y afectados por la activación de quebradas y ríos. Aparte de este documento se elaboraron fichas técnicas y mapas donde se identificaba el área susceptible de ser dañada y el número de población afectada. Uno de los sectores que concuerda con el área de estudio de esta investigación se llama Costa Verde (ANA, 2016b), para el cual no se encontró la ficha técnica pero sí el área de inundación, tal como se ve en Mapa 2.1. Para la elaboración de esta área susceptible de inundación la metodología usada no es clara ni detallada. Se menciona que se empleó la misma metodología usada en Alfaro & Quiñones (2015).

Según Alfaro & Quiñones (2015), el estudio fue elaborado de la siguiente manera: El primer paso fue la elaboración de mapas base y ficha técnica. Para la elaboración de los mapas base se usaron la carta nacional del IGN con escala 1: 100 000, información de la ANA y del INEI, y se ha complementado con imágenes satelitales. Se realizó, además, un modelo o plantilla de ficha técnica donde se desarrollaría y explicaría estas áreas susceptibles a los peligros hidrometeorológicos. El segundo paso fue el registro de información de campo,

donde, se contó con la participación y coordinación de los gobiernos locales para realizar el levantamiento de campo. En el tercer y último paso se realizó la sistematización de la información, en el cual la información de campo se ha tratado a un formato Excel y procesado para hacerla visible en una cartografía mediante el SIG (Alfaro & Quiñones, 2015).

Es claro que en la metodología no hay especificidad sobre los criterios usados para delimitar el área susceptible del peligro. Sin embargo, en el apartado Resultados se hace referencia a consideraciones de asentamientos humanos ubicados “en las fajas marginales, riberas y cauces de quebradas intermitentes o estacionales, que en temporadas de lluvias se activan, ocasionando daños en viviendas, infraestructura de servicios y en la población” (Alfaro & Quiñones, 2015, pp. 12-13). Entonces, parece ser, que el área susceptible al peligro habría sido delimitada por criterios hidro-geomorfológicos, teniendo en cuenta la dinámica y morfología fluvial. Así las áreas de inundación serían las llanuras de inundación y riberas de ríos, por ejemplo. No obstante, la falta de claridad y especificidad metodológica dificulta la replicación de estos procedimientos a otras zonas.

Otro estudio en el 2022 mediante la Resolución Directoral N° 0191-2022-ANA-AAA.CF., delimita la faja marginal para el río Huaura en el sector Sayán (Ver Mapa 2.2.). Aquí en primer lugar, se tiene en cuenta la ribera del río comprendida entre su mínima y máxima crecida ordinaria, entonces la faja marginal es el espacio contiguo a la rívera que puede alcanzar entre 3-25 m de ancho mínimo dependiendo de las características del cuerpo de agua, o en caso de considerarse eventos extraordinarios, sustentados en estudios, el ancho puede ser mayor. Las fajas marginales son bienes hidráulicos del estado, delimitados por la ANA, y considerados como espacios de protección del recurso hídrico, en los cuales se prohíben asentamientos, agricultura y diversas actividades por ser estimadas

como zonas intangibles y de riesgo no mitigable (ANA, 2010; ANA, 2016; ANA, 2017 en Vásquez, s. f.; ANA, s. f.).

Figura 2.4. La faja marginal

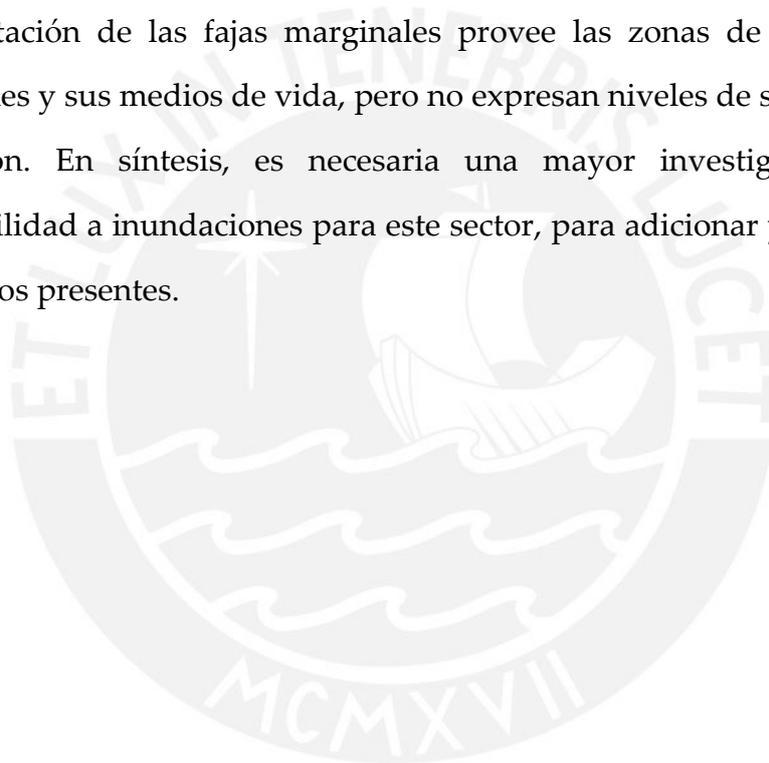


Fuente: ANA, 2024

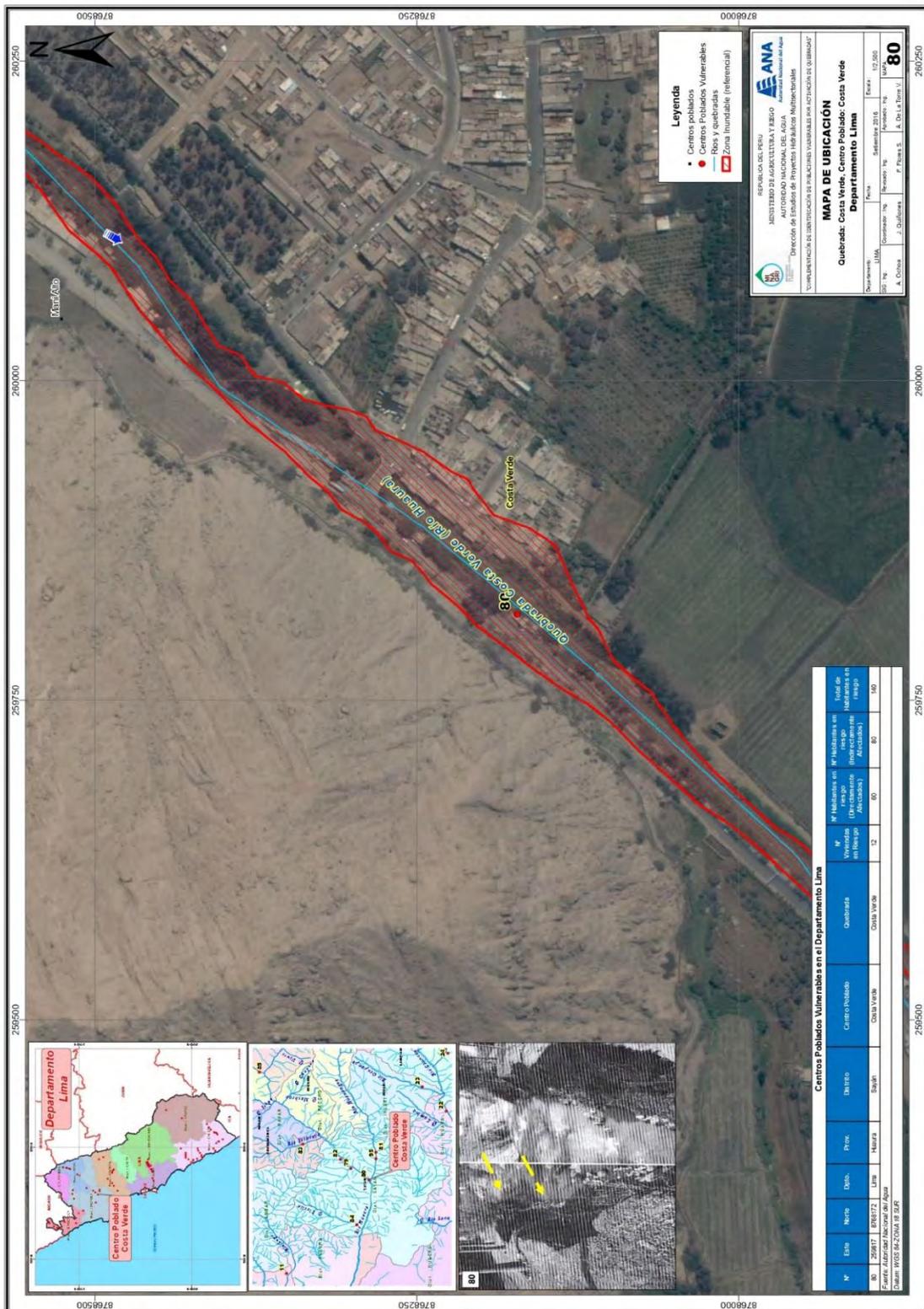
La metodología usada se basa en un estudio hidrológico, hidráulico, geodésico y morfológico. Se realiza toma de puntos de control que se agregan a la red geodésica nacional, se obtiene productos como DTM y DSM del vuelo de dron; además, luego se calculan las máximas crecidas mediante los periodos de retorno de 50 y 100 años mediante un modelamiento hidráulico bidimensional en el programa Hec ras, finalmente, siguiendo los criterios establecidos por la ANA delimitan la faja marginal. Los resultados de dicho estudio revelan extensiones

agrícolas y asentamientos ubicados dentro del límite de las fajas marginales, los cuales se expresan por normativa que están prohibidos (Resolución Directoral N° 0191-2022-ANA-AAA.CF., 2022)

Tal como se ha visto no hay exhaustiva información sobre las inundaciones en esta zona. El estudio más cercano es el realizado por la ANA en la quebrada Costa Verde, pero su metodología y resultados no expresan claridad. Si bien se logra delimitar el área susceptible de ser inundada y se menciona la cantidad de población que podría ser afectada, no se justifica la delimitación. Por otro lado, la delimitación de las fajas marginales provee las zonas de riesgo para las poblaciones y sus medios de vida, pero no expresan niveles de susceptibilidad a inundación. En síntesis, es necesaria una mayor investigación sobre la susceptibilidad a inundaciones para este sector, para adicionar y complementar los estudios presentes.



Mapa 2.1. Área susceptible de inundación en la quebrada Costa Verde, distrito de Sayán



Fuente: ANA, 2016b

Mapa 2.2. Área delimitada como faja marginal en el centro poblado de Sayán

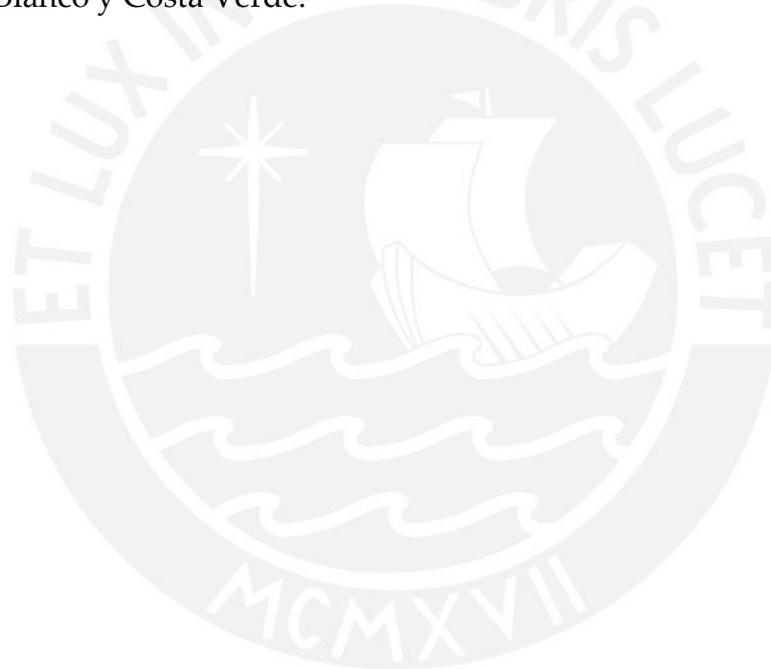


Fuente: Elaboración propia, 2024

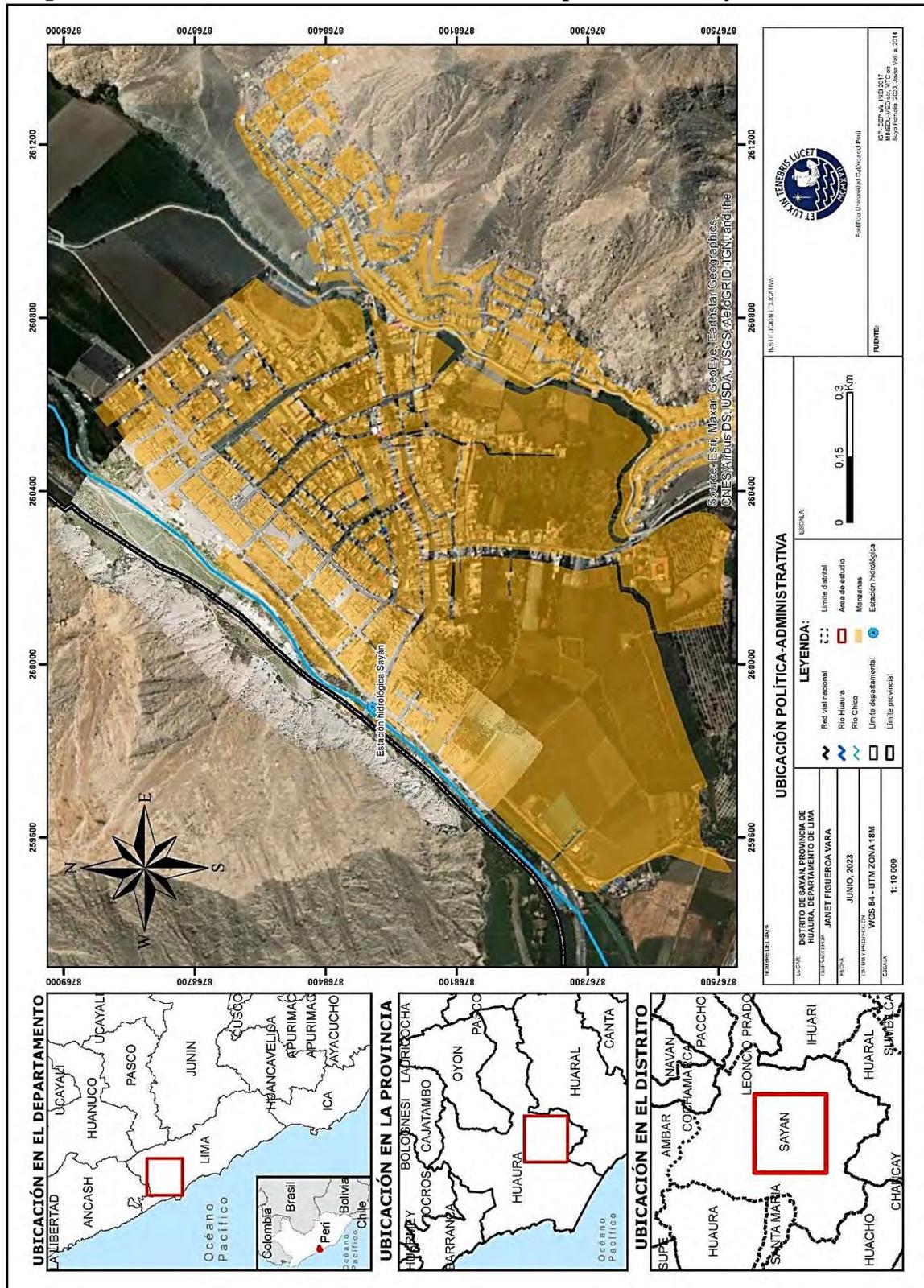
3 ÁREA DE ESTUDIO

3.1 Ubicación

El área de estudio se ubica en el distrito de Sayán, el cual pertenece a la provincia de Huaura y a la región de Lima (Ver Mapa 3.1.). El nombre completo del centro poblado es San Jerónimo de Sayán y es la capital del distrito de Sayán. Se encuentra a 675 m s.n.m. y a 50 km de Huacho, la capital provincial (Municipalidad distrital de Sayán, 2017). A continuación, se presenta el mapa del centro Poblado de Sayán, que de manera estricta está conformado por tres centros poblados, siendo los otros dos, además de Sayán, Maní Blanco y Costa Verde.



Mapa 3.1. Ubicación del área de estudio: Centro poblado de Sayán



Fuente: Elaboración propia, 2022

3.2 Características física-ambiental

3.2.1 Geomorfología-geología

Sayán se encuentra en la zona más ancha del batolito de la costa. Su formación se debe a afloramientos de rocas intrusivas que han dado forma a grandes montañas. Las cadenas montañosas en la zona se presentan en dirección este-oeste, estas fueron disectadas por las aguas del río Huaura que dieron pase a la geoforma valle, cuya caracterización topográfica es variable-discontinuo y escarpado-accidentado (Peña et al, 2019). Aquí el río Huaura, que discurre en medio del valle, se mueve con dirección al océano Pacífico, este-oeste. El valle transversal o piso de valle es la unidad del dominio morfoestructural de la zona, es un espacio plano localizado entre dos vertientes montañosas casi a lo largo de la cuenca, y contiene depósitos aluviales recientes, sedimentados de la cordillera occidental, en abanicos aluviales (Peña et al, 2019).

3.2.2 Climatología

San Jerónimo de Sayán es conocido como la tierra del sol, ello debido a la presencia de los rayos de este astro durante todo el año, incluso durante las estaciones de no-verano. El clima en este centro poblado es generalmente cálido y seco (Municipalidad distrital de Sayán, 2017). El rango de temperaturas oscila entre 14-26 °C. Por su parte, la precipitación es baja, siendo la precipitación media anual alrededor de 8 mm (Ministerio de Agricultura, 1994, citado en Villacorta et al., 2010).

3.2.3 Hidrología-hidrogeología

Sayán se encuentra ubicado en la cuenca del río Huaura, específicamente en la parte baja de la cuenca, en la subcuenca llamada Huaura-Sayán. El río Huaura es el mayor curso de agua, sin embargo, también existe otro río menor, llamado río Chico, perteneciente a la subcuenca río Chico-Auquimarca (Villacorta et al., 2010). Por otro lado, con respecto a las aguas subterráneas, el acuífero de esta zona presenta alta porosidad y muy alta permeabilidad (Peña et al., 2019). A

pesar de ser un acuífero con altas probabilidades de presentar agua, la falta de precipitaciones limita este beneficio. Por lo tanto, la población hace uso principalmente del río y de canales de regadío para su consumo y uso poblacional-agrícola.

3.3 Caracterización socioeconómica del área de estudio

3.3.1 Historia y sociedad

El centro poblado de Sayán ya existía desde tiempos pre-coloniales. El nombre anterior del pueblo era Sallan de Checla cuyo significado es estar de pie. Este fue un pueblo de paso por medio de la cual las personas transitaban llevando productos para comercializarlos de la costa a la sierra, o viceversa. Durante el periodo colonial, Sayán se mantuvo con la misma función de pueblo de paso o tránsito. En esta época, estas tierras pasaron por diferentes dueños desde tierras coloniales por las leyes toledanas, hasta manos de Ventura de Beltrán, y finalmente a Diego de Carvajal. En el periodo de la independencia, debido al reglamento provisional de 1821, Sayán pasó a ser distrito de la provincia de Chancay. Más adelante, debido a los cambios de independencia, Sayán llegó a conformar distrito de la provincia de Huaura. El pueblo de Sayán se considera como uno de los distritos de relevancia en Huaura debido a su historia, personajes ilustres y por considerarse como la tierra del eterno sol (Emilio Rosas en Municipalidad distrital de Sayán, 2017). Este centro poblado es, además, la capital distrital.

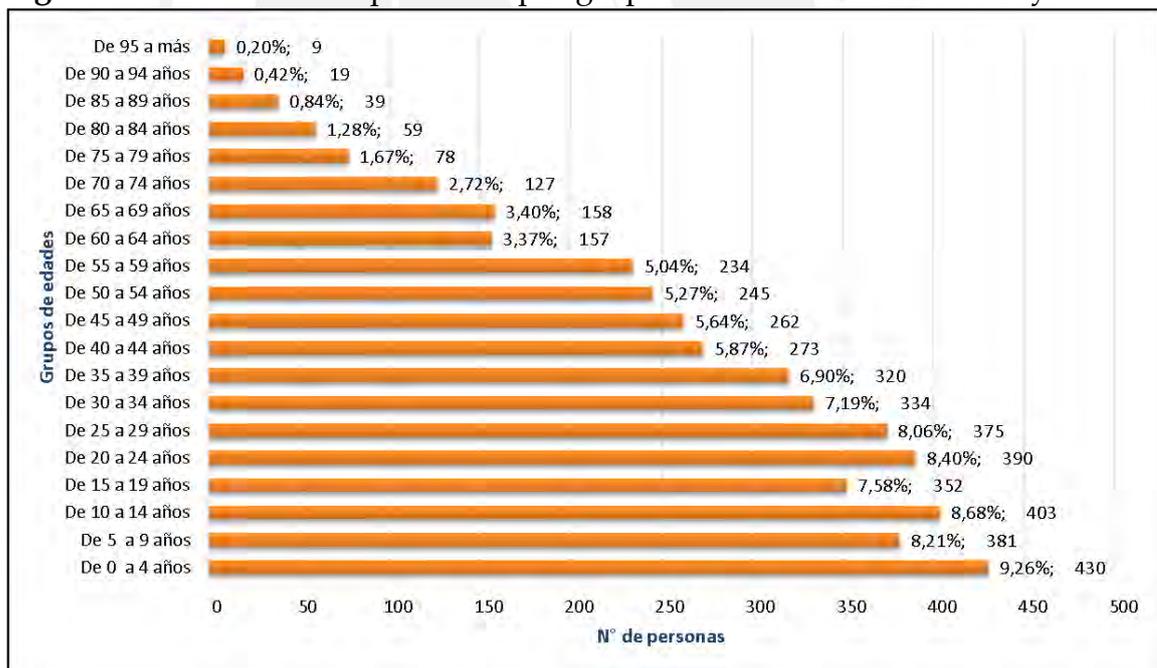
3.3.2 Población

La población total en el área de estudio, según el censo del 2017, fue de 4 647 personas (INEI, 2017). Sin embargo, es importante mencionar que todas las manzanas mapeadas por el INEI, no toman en cuenta todas las viviendas presentes observadas en campo. En la figura 3.1. se aprecia la población dividida en grupos quinquenales. Se puede observar que hay una gran población de niños entre 0-4 años, expresando una alta tasa de natalidad. También hay una gran

proporción de adolescentes entre 10-14 años, y de jóvenes entre 20-29 años, y de manera general, se aprecia una mayor población juvenil que representa una gran PET (Población en Edad de Trabajar) y probablemente también, una gran PEA (Población Económicamente Activa). Sin embargo, hay un número reducido de población adulta mayor, lo cual puede sugerir una esperanza de vida media, ya que si fuera alta habría un mayor número.

Por otro lado, el centro poblado de Sayán tiene una mayor población urbana que rural, esto claramente se da por ser la capital del distrito. Sin embargo, el distrito es mayoritariamente rural conformada por el 65% de población, mientras que solo el 35% es urbano. De este reducido porcentaje el centro poblado de Sayán junto al centro poblado de Andahuasi conforman la mayor población urbana del distrito (Municipalidad distrital de Sayán, 2011).

Figura 3.1. División de la población por grupos de edades-Distrito de Sayán



Fuente: INEI 2017, Elaboración propia, 2021.

3.3.3 Economía

En el centro poblado de Sayán se practica principalmente la agricultura, el comercio y el turismo. Aunque este centro poblado tiene mayoritariamente población urbana, los habitantes se dedican a actividades agropecuarias

(Municipalidad distrital de Sayán, 2011). En la agricultura los productos que se cultivan son la mandarina, la palta, la pitajaya, el melocotón, entre otros. Estos productos son comercializados ya sea a menor o mayor escala en términos de cantidad. Por otro lado, para el turismo hay presencia de restaurantes con comidas típicas y la presencia de alfajores como el postre típico del área, y actividades de recreación como canotaje en el río Huaura.

3.3.4 Educación

En el centro poblado de Sayán, según el censo del 2017, la mayoría de los habitantes (1 885) poseen solamente el nivel secundario, y la segunda mayoría se quedó en el nivel primaria: 1 016 personas. Los ciudadanos que alcanzaron un nivel de educación superior no universitario completo fue de 245 personas, y, el universitario completo fue de 320 personas. Mientras que solo 35 personas obtuvieron la maestría y/o doctorado, lo que equivale a menos del 1% del total poblacional.

Por otro lado, con respecto al analfabetismo en el área de estudio, se identificaron que 395 personas no sabían leer ni escribir, mientras que la gran mayoría, 3 898 personas, sí sabían leer y escribir (INEI, 2017). El nivel de educación en esta zona podría considerarse intermedio debido a que más del 50% alcanzo la educación básica completa, se aprecia un reducido número de habitantes con educación superior, y la gran mayoría de la población sabe leer y escribir.

3.3.5 Viviendas y servicios higiénicos

Es importante caracterizar los tipos de vivienda, así como el abastecimiento de servicios básicos para un mayor conocimiento de la población que vive en la zona. A continuación, se presentan características sobre la vivienda, por ello los datos ya no estarán a nivel de población sino a nivel de viviendas.

-Servicio higiénico que tiene la vivienda

Las viviendas que se han analizado en este censo ascienden a 1 257. En cuanto al servicio higiénico, se aprecia que la mayoría de viviendas, casi el 83%, tiene red

pública de desagüe dentro de la vivienda mientras que, solo 67 viviendas lo tienen fuera de la vivienda. Se visualiza también que 22 viviendas usan pozo séptico y letrina con tratamiento, los cuales tienen claramente menor calidad que la red pública de desagüe. Pero aún peor son 131 viviendas que tienen pozo ciego o negro y usan el río, acequia, campo abierto, u otro respectivamente, como servicio higiénico (INEI, 2017). Esto último puede relacionarse con un bajo nivel económico, una menor calidad, y una mayor probabilidad de enfermedades. Sin embargo, se aprecia que la gran mayoría al tener red pública de desagüe dentro de la vivienda tiene mejor calidad de este servicio.

Tabla 3.1. Tipo de servicio de desagüe que usa la población

Tipo de desagüe	N° Viviendas (%)
Red pública de desagüe dentro de la vivienda	1 037 (82,5%)
Red pública de desagüe fuera de la vivienda, pero dentro de la edificación	67 (5,33%)
Pozo séptico, tanque séptico o biodigestor, letrina con tratamiento	22 (1,74%)
Pozo ciego o negro	59 (4,79%)
Río, acequia o similar, campo abierto, otro.	72 (5,73%)

Fuente: INEI 2017: Elaboración: Janet Figueroa, 2021.

-Material de construcción predominante en las paredes

En cuanto al material de construcción predominante en las paredes, se identifica que, de las 1 257 viviendas, 588 son de material de ladrillo o cemento, y 494 son de material de adobe. Solo 3 viviendas son de piedra sillar con cal o cemento, 11 viviendas son de tapia o quincha, 44 viviendas son de madera, y 117, de triplay, calamina o estera (INEI, 2017). Estas últimas categorías son materiales más débiles, y, por tanto, más vulnerables ante un peligro físico. A pesar de ello, de

las 1 257 viviendas, casi 1 000 de ellas tienen paredes de ladrillo o de adobe, brindando una mayor seguridad y calidad para sus habitantes.

Tabla 3.2. Material predominante de las paredes

Material predominante de paredes	N° Viviendas (%)
Ladrillo o bloque de cemento	588 (46,78%)
Piedra o sillar con cal o cemento	3 (0,24%)
Adobe	494 (39,30%)
Tapia, quincha, piedra con barro	11 (0,88%)
Madera (pona, tornillo etc.)	44 (3,5%)
Triplay / calamina / estera	117 (9,31%)

Fuente: INEI 2017: Elaboración: Janet Figueroa, 2021.

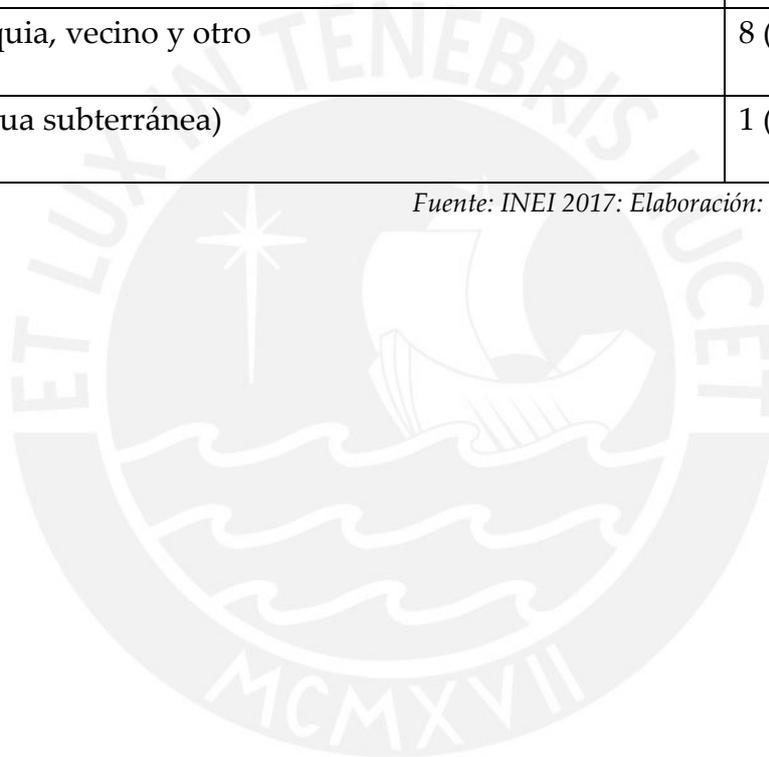
-Abastecimiento de agua en la vivienda

Con respecto al abastecimiento de agua en Sayán, más del 86% de las viviendas tiene red pública dentro de la vivienda y el 5,3% tiene este servicio fuera de la vivienda. Es decir, la mayoría de viviendas al poseer el servicio de red pública dentro de la vivienda tiene menos riesgo de salubridad, pues usa y consume un agua tratada, de mejor calidad. Hay, además un 3,9% de viviendas que se abastecen de agua de pileta de uso público. También, hay una reducida población que se abastecen de camión cisterna a un mayor costo y menor calidad (50 viviendas), y 9 viviendas se abastecen directamente de río, acequia y/o pozo, o se proveen de agua de los vecinos. Esta población, es más probable a un consumo de agua de menor calidad, que, de la red pública, con una mejor calidad (INEI, 2017).

Tabla 3.3. Abastecimiento de agua por vivienda

Infraestructura de abastecimiento de agua	N° Viviendas (%)
Red pública dentro de la vivienda	1 082 (86,08%)
Red pública fuera de la vivienda, dentro de la edificación	67 (5,33%)
Pilón o pileta de uso público	49 (3,9%)
Camión (cisterna u otro)	50 (3,98%)
Río, acequia, vecino y otro	8 (0,64%)
Pozo (agua subterránea)	1 (0,08%)

Fuente: INEI 2017: Elaboración: Janet Figueroa, 2021.



4 METODOLOGÍA

En este capítulo se explica paso a paso la metodología que se llevó a cabo. Se presentan los materiales, programas y procesos usados para responder las preguntas planteadas y llevar a cabo los objetivos propuestos. Cabe mencionar que, para esta investigación, se está considerando la clasificación de metodologías de Diez et al. (2019a) y (2019b) por ser una clasificación específica al tópico de inundaciones. Se está usando la combinación de las agrupaciones de métodos geomorfológicos-geológicos e hidrológicos-hidráulicos, llamado, en este sentido, método hidro-geomorfológico. Es decir, se usa la morfología y relieve del territorio, y el nivel del agua en caudales.

4.1 Etapa previa: Conociendo el área de estudio

Previo desarrollo a las preguntas y objetivos planteados, se realizó una primera visita al área de estudio, en octubre del 2021. Esta salida fue mayormente exploratoria y de observación (Ver Figura 4.1.). Se conoció la zona física, social y económica de la zona; además también, las características físicas del cauce y flujo de agua.

Figura 4.1. Fotografías de la primera salida de campo. (a) Vista desde el puente de la entrada de Sayán. (b) y (c) Vistas desde la ribera izquierda de Sayán-aguas abajo y aguas arriba



Fuente: Janet Figueroa, 2021

Mediante breves conversaciones con algunos pobladores se confirmó la presencia de inundaciones anteriores. Para el registro, en esta etapa previa, se tomaron fotografías y se realizaron apuntes.

4.2 Identificación de los niveles de inundación

Para la identificación de los niveles de inundación se inició en el cálculo de los periodos de retorno, para este se usaron caudales históricos (o máximos) extraídos de la estación hidrológica de Sayán, datos proporcionados por el Senamhi. Los caudales históricos pertenecen a 19 años, desde 1995 hasta 2019, con excepción de algunos años de forma intercalada. Para el cálculo de los periodos de retorno se usaron la fórmula de Gumbel (Sánchez, 2017). Primero, se calculó los niveles máximos anuales de manera automatizada en Excel con la formula Max, y luego se trasladaron estos máximos promedios anuales a otro cuadro donde se usó la fórmula de Gumbel (Ver Figura 4.2.). Los periodos de retorno se establecen, según el Indeci, en 1 a 5 años, 5 a 15 años, 15 a 50 años, 50 a 200 años a más, para clasificar los distintos niveles de intensidad desde bajo a muy alto (2011). Para fines de esta investigación se han seleccionado los periodos de retorno de 5, 10, 20, 25, 50 y 100 años porque calzan dentro de la clasificación hecha por el Senamhi para la estación hidrológica de Sayán (Ver Tabla 5.1. y Tabla 5.2.).

Figura 4.2. Fórmula de Gumbel

$$F(x) = e^{-e^{-(x-u)/\alpha}}$$

siendo: $\alpha = s_x / \sigma_y$
 $u = \bar{x} - \mu_y \cdot \alpha$

$F(x)$ = Probabilidad de que se presente un valor igual o menor que x .

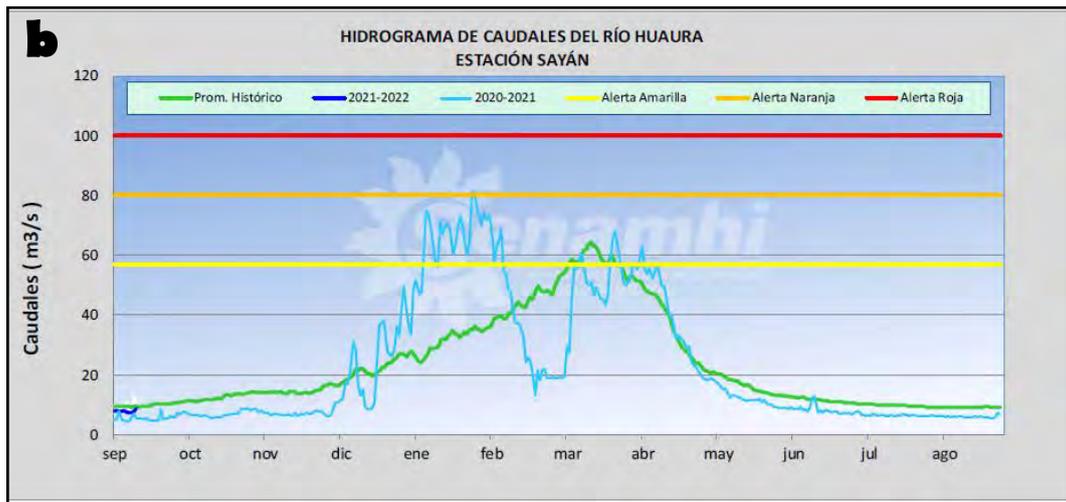
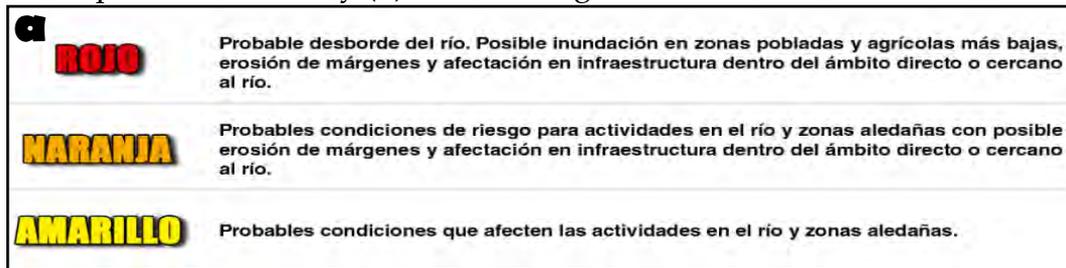
e = base de los logaritmos neperianos
 \bar{x} = media aritmética de la muestra
 s_x = desviación estándar de la muestra
 σ_y, μ_y = consultar en la tabla adjunta, según el número de datos de la muestra²]

Fuente: Javier Sánchez 2017, p. 83.

Los datos resultantes de los periodos de retorno serían válidos para el transecto número 2 por ser el más cercano a la estación hidrológica. No podrían usarse para los otros transectos debido a que las características del cauce y de la topografía son variables a lo largo del río. Entonces, es necesario elaborar referencias de caudales para cada transecto. Y es por ello que se construye una tabla de referencias de dichos caudales (Ver Tabla 5.2., en apartado de Resultados). Como aún no se calculan los caudales, se elabora la tabla en base a una clasificación que hace el Senamhi (2021) para la estación hidrológica de Sayán (Ver Figura 4.3.). Aquí lo importante no son los números (caudales), sino que estos son solo una referencia, lo relevante de esta tabla son las características en el apartado de Descripción para cada nivel, que sería el mismo para todos los transectos, es decir, una caracterización cualitativa y no cuantitativa.

La clasificación elaborada por el Senamhi (2021) es utilizada para dar avisos de crecidas de ríos y posibles inundaciones, su elaboración se basa en los datos extraídos de la estación hidrológica de Sayán. Para la construcción de la tabla de referencias (Tabla 5.2.) se tomó como base la clasificación y descripción elaborada por el Senamhi, pero adicionalmente, se añadió un nivel más llamado nivel bajo. Según la Figura 4.3.b., se aprecian cuatro intervalos de valores: caudales entre 0-58 m³/s, caudales entre 58-80 m³/s, caudales entre 80-100 m³/s, y caudales mayores a 100 m³/s, estos datos numéricos se han respetado y colocado tal cual en la tabla de referencias creada. Ante estos datos, se han colocado, en una columna adicional, la equivalencia en los periodos de retorno (Ver Tabla 5.2.). De esta manera se colocó la descripción y valores cuantitativos en la creación de la tabla de niveles de peligro de inundación.

Figura 4.3. Niveles de peligros e hidrograma de caudales del río Huaura: (a) Descripción cualitativa y (b) caudales según sus niveles



Fuente: Senamhi 2021

4.3 Delimitación espacial de los niveles de inundación

Obtenido el cuadro de caracterización de los niveles de susceptibilidad a inundaciones en Sayán y los perfiles topográficos, se calculan los caudales. Para la obtención de los caudales se necesita calcular la pendiente del terreno bajo el agua en cada transecto.

4.3.1 Perfiles Topográficos

Los perfiles topográficos son líneas horizontales en el terreno que nos permiten ver cortes transversales de la morfología y relieve del terreno. Se planteó inicialmente siete perfiles, pero, debido a que durante campo no se pudo acceder al quinto perfil por ser propiedad privada y por la presencia de cercos, se optó por quitarlo, entonces se realizaron seis perfiles topográficos (Ver Mapa 4.1.). Para la definición del número y ubicación de los perfiles topográficos se usaron los siguientes criterios: abarcar toda el área de estudio, ubicarse

perpendicularmente al río, dividirse 200 m entre ellos y longitudinalmente evitar obstáculos como casas o árboles.

Fue necesario obtener un DEM para conocer la morfología del terreno. Por ello, se realizó el método de fotogrametría con dron. En una segunda visita al área de estudio, en diciembre del 2021, se llevó a cabo el vuelo del dron (Ver Figura 4.4.). Los materiales usados fueron: un dron DJI Mavic pro, una Tablet, un sistema de control remoto, cargadores, baterías de repuesto y un GPS Garmín Monterra.

Una vez en campo, se ejecutó el vuelo de dron, este se realizó en aproximadamente una hora. Este vuelo estaba previamente programado en el software DJI Pilot, por lo que, en campo fue un vuelo automático. Se seleccionó un lugar despejado, se presionó el botón de inició del vuelo y se controló que el vuelo se ejecute correctamente.

Figura 4.4. Fotografías de la segunda salida de campo. (a) Punto de partida para el levantamiento Aero fotogramétrico. (b) Dron DJI Mavic Pro durante el vuelo.



Fuente: Janet Figueroa, 2021

Para conocer la topografía debajo del agua en cada transecto se visitó por tercera vez el área de estudio en setiembre del 2022. En esta salida de campo se realizó la medición manual de la profundidad del cauce en los seis perfiles transversales al río.

Mapa 4.1. Ubicación de los perfiles topográficos



Fuente: Elaborado por Janet Figueroa, 2023

Los materiales usados fueron: dos varillas de metal de 1 m, dos varillas medidoras de madera de 2 m, una varilla medidora de 1,5 m, una soga gruesa de 30 m, una manguera transparente de 15 m (menos de 1 cm de diámetro), dos cordeles de ropa y una botella vacía.

El primer paso en campo fue la identificación de los perfiles topográficos bajo la guía del Mapa 4.1. Luego de identificar la zona de cada transecto, en la realidad, se amarró la soga de un lado al otro del río en troncos de árboles u otros objetos (la soga serviría de soporte para cruzar el río). Después, se plantó las varillas de metal en ambos márgenes del río. Se amarró, también, el cordel a las varillas de metal, a 50 cm encima del suelo (Ver Figuras 4.5. y 4.6.) El siguiente procedimiento fue ingresar al río y medir la profundidad cada 1 m con la varilla medidora de madera, para ello se tomó como límites: el suelo bajo el agua y el nivel del cordel (Ver Figura 4.7.).

Figura 4.5. Cordel amarrado a la varilla a 50 cm sobre el suelo -Transecto N° 6.



Fuente: Janet Figueroa, 2022

Figura 4.6. Amarrando la soga y el cordel de un lado al otro del río - Transecto N° 2.



Fuente: Janet Figueroa, 2022.

Figura 4.7. Midiendo la profundidad cada 1 m sobre el nivel del cordel - Transecto N° 3.



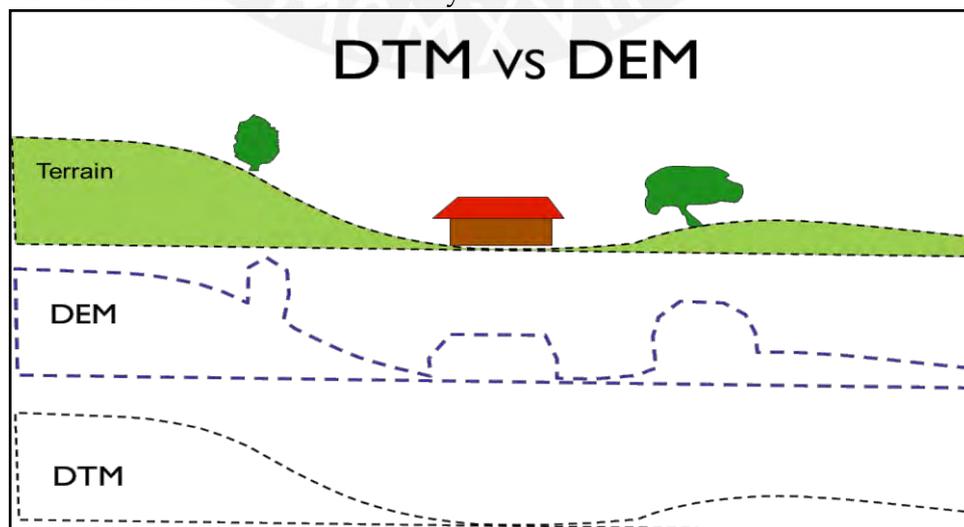
Fuente: Janet Figueroa, 2022

A partir de la segunda y tercera visita al área de estudio se obtuvieron las imágenes del dron y las mediciones del relieve bajo el agua, y con ello se construyeron digitalmente los perfiles topográficos. Primero se convierten las imágenes del dron a un DEM (Ver Figura 4.8.). Para lo cual se hace uso del

software Agisoft Metashape Professional 1.8.5. Luego, una vez obtenido el DEM y el relieve bajo el agua (en metros de profundidad), en el software QGIS 3.14.15, un sistema de información geográfica, se construye el perfil topográfico. Para esto, se coloca el shapefile de cada transecto y con la herramienta Profile Tool se selecciona el shapefile y aparece otra ventana en la cual se construye automáticamente el perfil en un gráfico (corte transversal del terreno), sin embargo, este no considera aún el relieve bajo el agua. Entonces, este gráfico que tiene sus respectivos valores X (distancia horizontal) e Y (m s.n.m.), se exporta a Excel para dicho proceso.

Una vez en el Excel, la data de los perfiles topográficos con toda la información real y actual del territorio (DEM, Ver Figura 4.8.) se pasa a limpiar quitando manualmente la información de viviendas, árboles, arbustos y todo el material construido. De esta manera, quedaría solamente el relieve del terreno desnudo, es decir un DTM (Ver Figura 4.8.). Luego, se agregan manualmente los datos medidos en campo que corresponden a la topografía bajo el agua para cada transecto. Finalmente, estos valores numéricos en X e Y, se grafican automáticamente en Excel, y se obtiene así finalmente el perfil topográfico en un gráfico. Este procedimiento se realiza para cada transecto.

Figura 4.8. Diferencia entre un DTM y DEM



Fuente: Wiki Du master géographies numériques, 2018

4.3.2 Cálculo de la pendiente

La pendiente se midió en campo durante la tercera visita al área de estudio. Para ello, se empleó el método de la manguera (Dávila et al., 2010; Construreyes Ingeniería, 2020). Se usaron dos estacas graduadas en centímetros ubicadas al centro del río de forma paralela a las riberas del río, una estaca A, aguas abajo y la estaca B, aguas arriba. Después de ello se llenó la manguera de agua, procurando no generar burbujas al interior, las cuales se encontraban amarradas en ambas estacas (Ver Figura 4.9.). Luego, se hicieron anotaciones sobre los centímetros a los cuales llegaba el nivel del agua de la manguera en cada estaca (Con esos datos se calcula la pendiente más adelante mediante una ecuación matemática).

Figura 4.9. Midiendo la pendiente para el transecto N° 3



Fuente: Janet Figueroa, 2022.

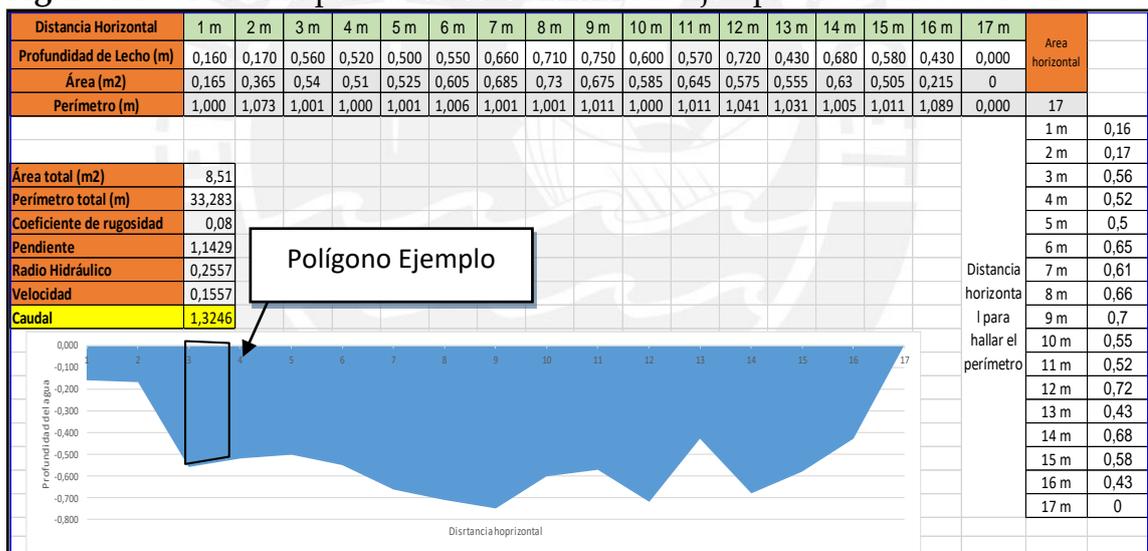
Para la pendiente se usaron las mediciones recolectadas en campo. El punto A es la medida del nivel del agua de la manguera para aguas abajo y el punto B para aguas arriba. La distancia horizontal se refiere a la distancia entre las dos estacas de madera. Se calculó la pendiente (S) mediante la siguiente fórmula:

$$Pendiente (S) = \frac{(Punto A - Punto B)}{Distancia h.} \times 100 \quad (2)$$

4.3.3 Cálculo de niveles de agua y caudales

Más adelante, en gabinete, se elaboró una plantilla en Excel para calcular el caudal (Ver Figura 4.10.). En la plantilla se colocaron los datos de la altura del nivel del agua o profundidad del lecho y la distancia horizontal del canal, ello para cada transecto (Ver Anexo 1). Es así, que para cada transecto se forma entre el lecho del río y el nivel del agua, un polígono grande, el cual a su vez se divide en polígonos pequeños separados por 1 m (se midió cada 1 m la profundidad del agua). Es con ello, que se calcula el perímetro y el área individual de cada polígono formado entre cada metro (Ver el polígono Ejemplo en Figura 4.10. y 4.11.). Luego se calcula el perímetro y el área total del polígono grande, además de otros coeficientes que llevan finalmente a obtener el caudal en m^3/s .

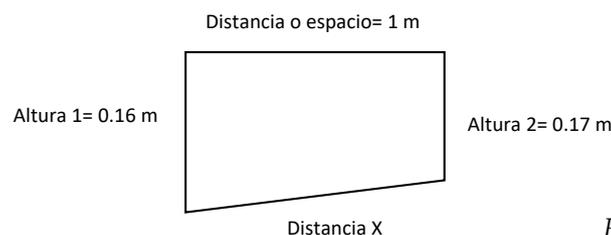
Figura 4.10. Plantilla para el cálculo de caudal: Ejemplo de Transecto N° 2



Fuente: Janet Figueroa, 2023

Las ecuaciones para obtener estos cálculos son las siguientes:

Figura 4.11. Polígono Ejemplo



Fuente: Janet Figueroa, 2023

-Fórmula para hallar el área del polígono individual (m²)

$$\text{Área} = \left(\frac{\text{Altura 1} + \text{Altura 2}}{2} \right) \times \text{Espacio} \quad (3)$$

El perímetro de un polígono es la suma de todos sus lados. Ya se cuenta con las medidas de la Altura 1, Altura 2 y Distancia o espacio. La medida que falta Distancia X se halla mediante la fórmula de distancia entre dos puntos.

-Fórmula para hallar la distancia entre dos puntos

$$D(A, B) = \sqrt{(\text{Espacio})^2 + (\text{Punto A} - \text{Punto B})^2} \quad (4)$$

Para calcular el área total se sumaron todas las áreas individuales. Mientras que para el perímetro se sumaron todos los lados del caudal, es decir, las distancias individuales.

Para calcular la velocidad del caudal se usa la fórmula de Manning.

- Formula de Manning para hallar la velocidad del caudal

$$V (\text{Fórmula de Manning}) = \frac{\text{Radio hidráulico}^{2/3} \times \text{Pendiente}^{1/2}}{\text{Coeficiente de rugosidad}} \quad (5)$$

Para ello, el Radio Hidráulico (R), parámetro que mide el efecto de la forma del cauce (Estrada, s. f.), se halló dividiendo el área total entre el perímetro total.

Por su parte, para hallar el Coeficiente de rugosidad (n) se tomó como referencia la siguiente clasificación (Ver Figura 4.12.), para este caso se eligió la clasificación Cobble/Boulder = 0.08, es decir, la que se asemeja más a la situación del área de estudio, la cual presenta entre rocas grandes a intermedias.

Finalmente, para hallar el caudal, se multiplica la velocidad por el área total.

$$\text{Caudal} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right) = \text{velocidad}(\text{m/s}) \times \text{área total} (\text{m}^2) \quad (6)$$

Figura 4.12. Clasificación para hallar el coeficiente de rugosidad

Typical Manning coefficient values (n)	
Channel-bed material	n =
Straight canal/concrete banks	0.01–0.02
Straight canal/earthen banks	0.02–0.03
Sand	0.01–0.03
Sand/gravel	0.03–0.05
Cobble/boulder	0.04–0.08
Timber/vegetation-choked	0.07–0.16

Fuente: Tabla sobre Typical Manning coefficient values (n), s. f.

Sin embargo, esta información no permite ver los diferentes niveles susceptibles a inundaciones, sino que refleja el caudal en un solo momento (momento donde se midió la profundidad de lecho-tercera visita de campo). Entonces, para la obtención de los niveles de peligros (nivel bajo, nivel medio, nivel alto y nivel muy alto) fue necesario adaptar la plantilla creada de la Figura 4.10. En esta nueva plantilla se incluyó los valores X e Y de los perfiles topográficos calculados anteriormente (Ver Figura 4.13.).

Para cada transecto se realizó la plantilla de los 4 niveles de susceptibilidad (Ver Anexo 2). El método usado para la delimitación de cada nivel, se basó en la descripción cualitativa de la Tabla 5.2. Es decir, en las plantillas se colocaron los valores Y, estas serían líneas imaginarias o límites de altitud hasta donde arribaría un determinado nivel de inundación (m s.n.m.), ello siguiendo las características descriptivas de los niveles de susceptibilidad de la tabla 5.2.; mientras los valores X, serían las distancias horizontales que abarca cada nivel. Para ello, se usó el software QGIS 3.1.4.15., el cual permite ver el perfil topográfico como un corte transversal y la imagen del área de estudio en 3D.

Figura 4.13. Cálculo del nivel bajo para el Transecto N° 2

Distancia horizontal: X	41,73331561	41,82875822	41,924201	42,019643
Profundidad de lecho: Z	0,006985323	0,032845616	0,0587059	0,0845662
Y	642,9930147	642,9671544	642,94129	642,91543
Área individual	0,001900784	0,004368958	0,0068371	0,0093053
Perímetro individual	0,098884	0,098884	0,098884	0,098884
Area total	40,161066	NIVEL BAJO		
Perímetro total	57,86139			
Coefficiente de rugosidad	0,08			
Pendiente	0,8979592			
Radio hidráulico	0,6940909			
Velocidad	0,9012559			
Caudal	36,195397			

Fuente: Janet Figueroa, 2023

Fue en este software donde se identificó visualmente cual sería el nivel (valores Y de altitud o m s.n.m.) a la que arribarían los diferentes niveles de susceptibilidad a inundaciones. Luego en la plantilla de Excel, se identificaron estos valores Y en los datos X de los perfiles topográficos, y se crearon cuatro hojas en Excel pertenecientes al nivel bajo, medio, alto y muy alto. En cada hoja se usó la plantilla creada, en la cual solo cambiaron los datos X e Y según sea el nivel. Finalmente, ya teniendo estos datos se pasó a calcular los caudales para los diferentes niveles. En la Figura 4.13., el X corresponde a distancia horizontal y el Y las altitudes del relieve, todas las Y del perfil topográfico incluyendo el relieve bajo el agua, que abarca cada nivel de inundación. En este caso para el Transecto número 2, la línea imaginaria del nivel bajo sería 643 m s.n.m. por lo que se aprecia todo el relieve que se encuentra debajo de este valor. Para hallar la profundidad del lecho del caudal (Z) se resta este nivel (643 m s.n.m.) a todos los valores Y. Con ello ya sería posible calcular el caudal, siguiendo las ecuaciones de las Figuras 4.10. y 4.11.

4.3.4 Mapeo de los niveles de inundación

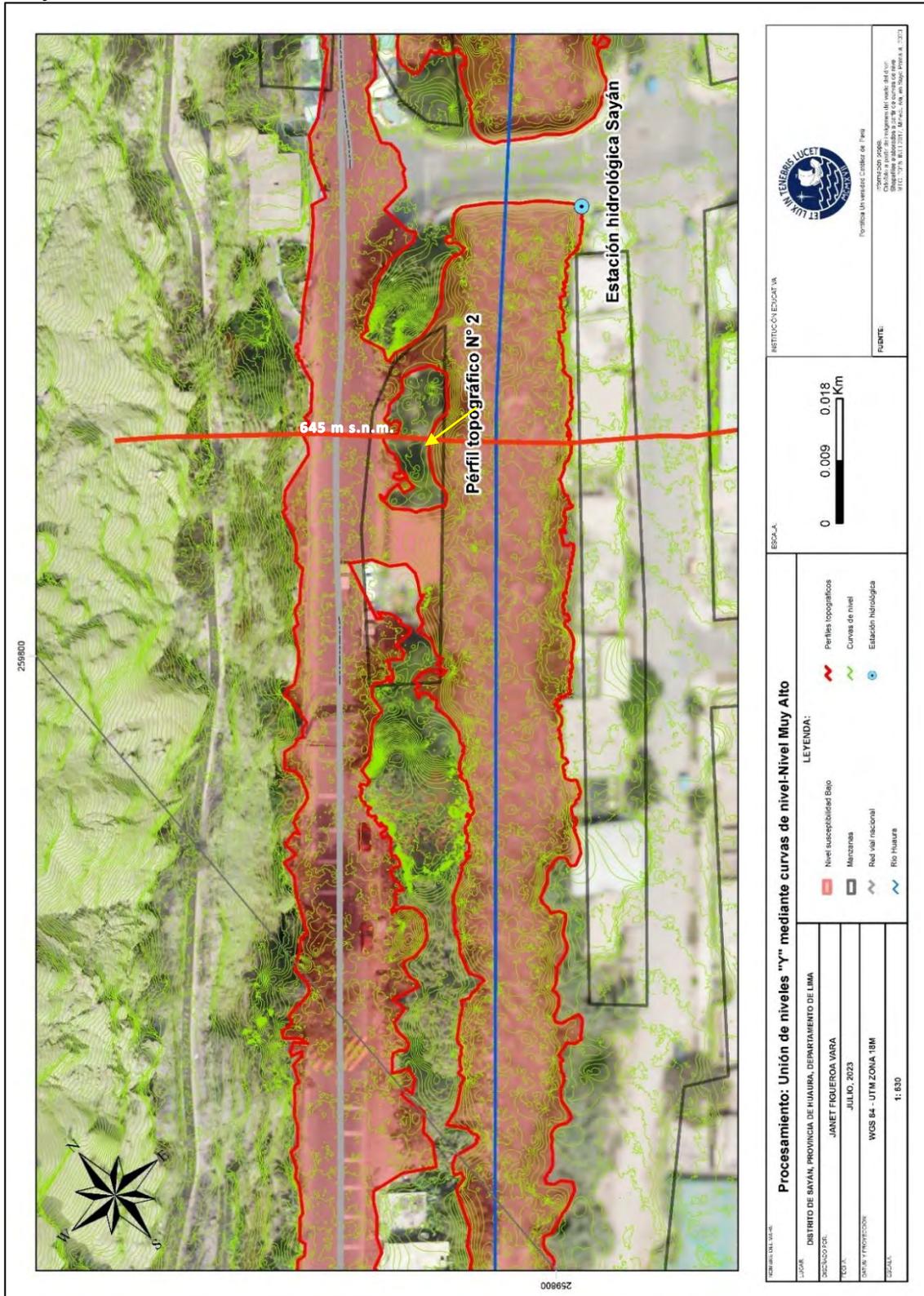
En este paso se elabora el mapa de susceptibilidad del peligro de inundación, para ello, se continuó usando el software QGIS 3.14.15. Primero, se identificó en el área de estudio, mediante la herramienta Profile tool, los valores X e Y ya

conocidos de los perfiles topográficos que delimitan los diferentes niveles de susceptibilidad. Luego, se crearon capas o shapefiles de puntos con la ubicación de estos valores en el mapa del área de estudio. También se creó a partir del DEM curvas de nivel, mediante la herramienta Curvas de nivel, separadas cada medio metro (0.5 m).

Después de ello, se elaboraron otros transectos, llamados sub-transectos en el shapefile donde se encontraban los seis transectos principales (Ver Mapa 4.1.). Luego, se colocaron a los transectos y sub-transectos etiquetas sobre el valor Y (m s.n.m.) para los diferentes niveles de susceptibilidad. Este procedimiento se realizó para cada nivel de susceptibilidad, iniciándose con el nivel bajo hasta el nivel muy alto. Es decir, por ejemplo, para el nivel bajo, cada transecto llevaba la etiqueta en m s.n.m. a la que llegaría el agua en dicho nivel y transecto. Los sub-transectos fueron divisiones entre estos transectos para ayudar a la visualización.

A partir de ello, se creó un polígono que uniera los puntos, siguiendo los valores de las curvas de nivel, con guía de los transectos y sub-transectos, hasta formar el polígono de susceptibilidad del nivel bajo para toda el área de estudio. Este procedimiento se realizó para cada nivel. Así, ya culminado con el nivel bajo, luego se cambiaron las etiquetas para el nivel medio, y se realizó el mismo procedimiento, y similarmente para el nivel alto y muy alto (Ver proceso en el Mapa 4.2.). Finalmente, obtenido las capas de los diferentes niveles de susceptibilidad de inundación se pasa a la edición del mapa de zonificación para colocar título, leyenda, escala, norte, etc. Así, se obtiene el mapa de susceptibilidad a inundación en el centro poblado de Sayán (Ver Mapa 5.5.).

Mapa 4.2. Procesamiento: Unión de niveles Y mediante curvas de nivel – Nivel Muy Alto



Fuente: Elaborado por Janet Figueroa, 2023

4.4 Estimación de la exposición al peligro de inundación

Finalmente, para conocer la exposición antrópica a los diferentes niveles se usó el método experimental en el software QGIS 3.14.15. Así, consistió en la observación y contabilización de los elementos expuestos dentro de cada nivel de susceptibilidad. Para ello, se quitó la coloración a cada nivel representado por un polígono, quedando solo el contorno. Además, se añadió el shapefile de manzanas del centro poblado de Sayán para visualizar las manzanas susceptibles a la inundación, y lograr una mejor descripción y análisis. En este caso también se elabora el mapa de exposición al peligro de inundación (Ver Mapa 5.6.), en el cual se coloca una transparencia de 60% para apreciar los elementos expuestos.



5 RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos. Se dividirá esta sección buscando desarrollar cada objetivo de investigación.

5.1 Clasificación de los niveles de inundación

La clasificación de los niveles de inundación es relevante puesto que expresa la caracterización cualitativa acerca de cada nivel de inundación.

5.1.1 Periodos de retorno

Los periodos de retorno muestran un aumento gradual del caudal, siendo a mayor periodo en años, mayor caudal (Ver Tabla 5.1.). El periodo de retorno de 5 años presenta un caudal bajo para la sección del transecto número 2, el periodo de 10 años muestra un caudal medio, mientras que los periodos de 20 y 25 años alcanzan un caudal alto, y los periodos de 50 y 100 años, los menos frecuentes, presentan un caudal muy alto.

Tabla 5.1. Periodos de retorno para el río Huaura- Estación hidrológica Sayán

Periodos de retorno - E.H. Sayán	
Periodo (años)	Caudal (m ³ /s)
5 años	44,011 m ³ /s
10 años	65,769 m ³ /s
20 años	86,639 m ³ /s
25 años	93,259 m ³ /s
50 años	113,653 m ³ /s
100 años	133,896 m ³ /s

Fuente: Elaboración propia, 2023

5.1.2 Tabla de clasificación de niveles de inundación

La tabla de clasificación se divide en cuatro niveles: bajo, medio, alto y muy alto. La sección de Descripción expresa los atributos específicos a los que se sujeta cada nivel para todos los transectos (Ver Tabla 5.2.). El nivel bajo expresa condiciones

normales sin ninguna afectación al medio natural y antrópico. Delimita hasta su máxima altura en la que puede considerarse normal. El nivel medio muestra cierto riesgo debido a que muestra probabilidad de erosión en los márgenes (viviendas en algunas áreas) por el mayor volumen del flujo. Además, ya no se pueden realizar actividades en el río, ni cerca a este debido a que el flujo de agua llena el cauce por uno de los márgenes del río, pero no rebalsa. El nivel alto tiene probabilidad de desborde en zonas bajas y aledañas al cauce. El flujo de agua llena el cauce en ambos márgenes del río, e inunda por la pared del cauce más bajo. Debido al mayor volumen de agua y al desborde hay probabilidad de daño a infraestructura colindante y cercana al río. El nivel muy alto presenta probabilidad de un desborde mayor al de nivel alto, además de que desborda en el otro margen del río. Las consecuencias probables en la infraestructura son mayores que en el anterior caso.

La última fila hace referencia al intervalo del caudal en m^3/s para cada nivel, sin embargo, es válido solo para el transecto número 2, debido a que se basa en los periodos de retorno calculados con los datos de la estación hidrológica ubicada cerca a dicho transecto.

Tabla 5.2. Tabla de referencias: Clasificación de niveles de susceptibilidad a inundación

Nivel de susceptibilidad a inundación*	Descripción	Intervalo en m ³ /s=Periodo de retorno (transecto 2)	
Bajo	Condiciones normales sin afectación a las actividades en el río y espacios aledaños.	0-57 m ³ /s	5 años (44 m ³ /s)
Medio	Probabilidad de condiciones con riesgo en caso de actividades en el río, erosión de márgenes, y afectación de infraestructura aledaña. El caudal llenaría el cauce por uno de los márgenes del río.	58-80 m ³ /s	10 años (65,8 m ³ /s)
Alto	Probabilidad de desborde en zonas aledañas bajas, daño de infraestructura aledaña y cercana. El caudal llenaría el cauce por ambos márgenes del río, y desborda por alguno de ellos.	81-113 m ³ /s	20 y 25 años (86,6 y 93,2 m ³ /s)
Muy alto	Probabilidad de un desborde de mayor extensión en zonas aledañas, cercanas bajas y medias con daño de infraestructura. El caudal desbordaría ambos márgenes del río.	114- Más m ³ /s	50 y 100 años (113,7 y 133,9 m ³ /s)
<i>Fuente: Elaboración propia, 2022, adaptado del Senamhi, 2021</i>			

5.2 Delimitación espacial de los niveles de inundación

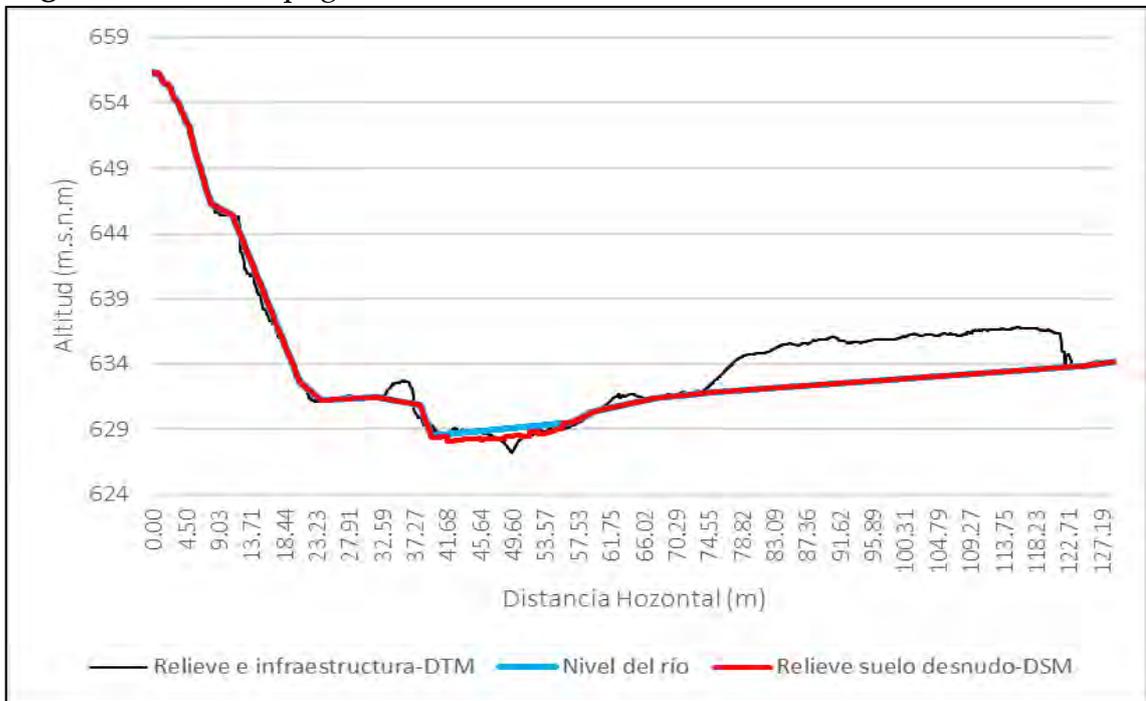
La digitalización de la descripción cualitativa permite visualizar la extensión espacial de los cuatro niveles de inundación en el área de estudio.

5.2.1 Perfiles topográficos

Los perfiles topográficos de los seis transectos expresan el relieve y la topografía del terreno. A continuación, se presentan los perfiles topográficos de los seis transectos en tres momentos, la línea negra el primer momento, la línea celeste el segundo momento y la línea roja el tercer momento, el cual es así mismo el perfil topográfico final procesado (Ver Figuras 5.1. a 5.6.). En cada transecto la línea negra expresa el relieve del terreno junto a las viviendas y otros objetos (arbustos,

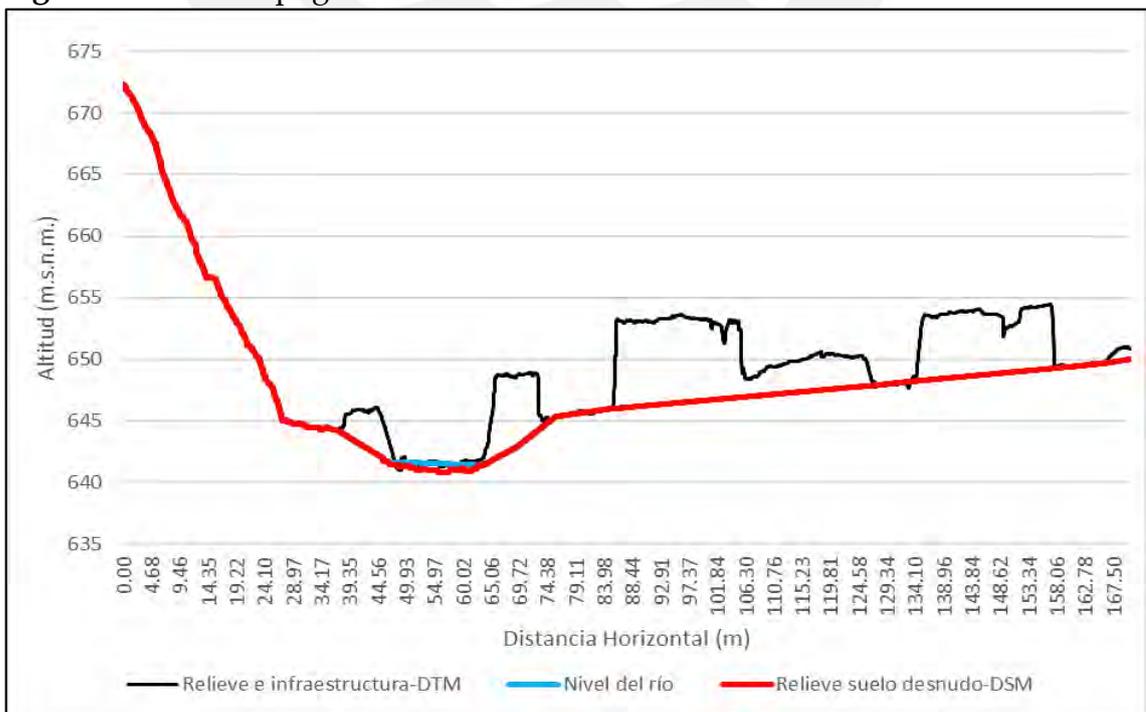
vegetación, vía pública, veredas, etc) encima del suelo. La línea celeste muestra el relieve sin los objetos sobre el suelo más el nivel del río. Por último, la línea roja muestra el relieve anterior, pero además muestra el relieve del lecho del río.

Figura 5.1. Perfil topográfico en tres momentos del transecto N° 01



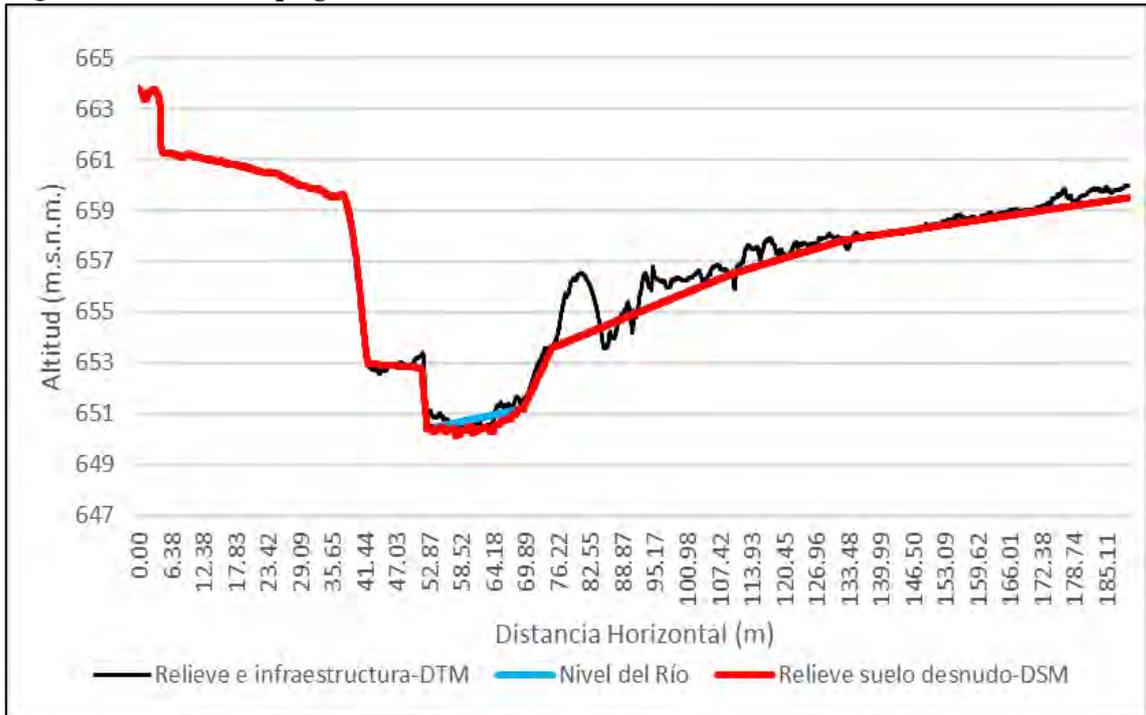
Fuente: Elaboración propia, 2023

Figura 5.2. Perfil topográfico en tres momentos del transecto N° 02



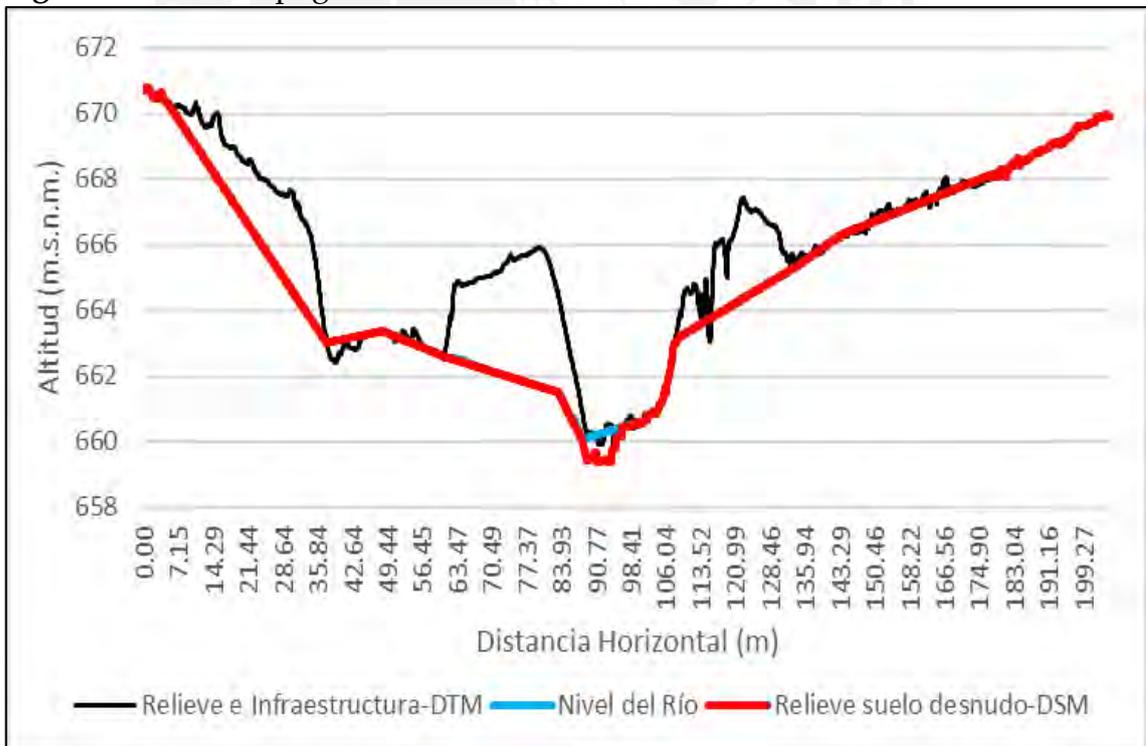
Fuente: Elaboración propia, 2023

Figura 5.3. Perfil topográfico en tres momentos del transecto N° 03



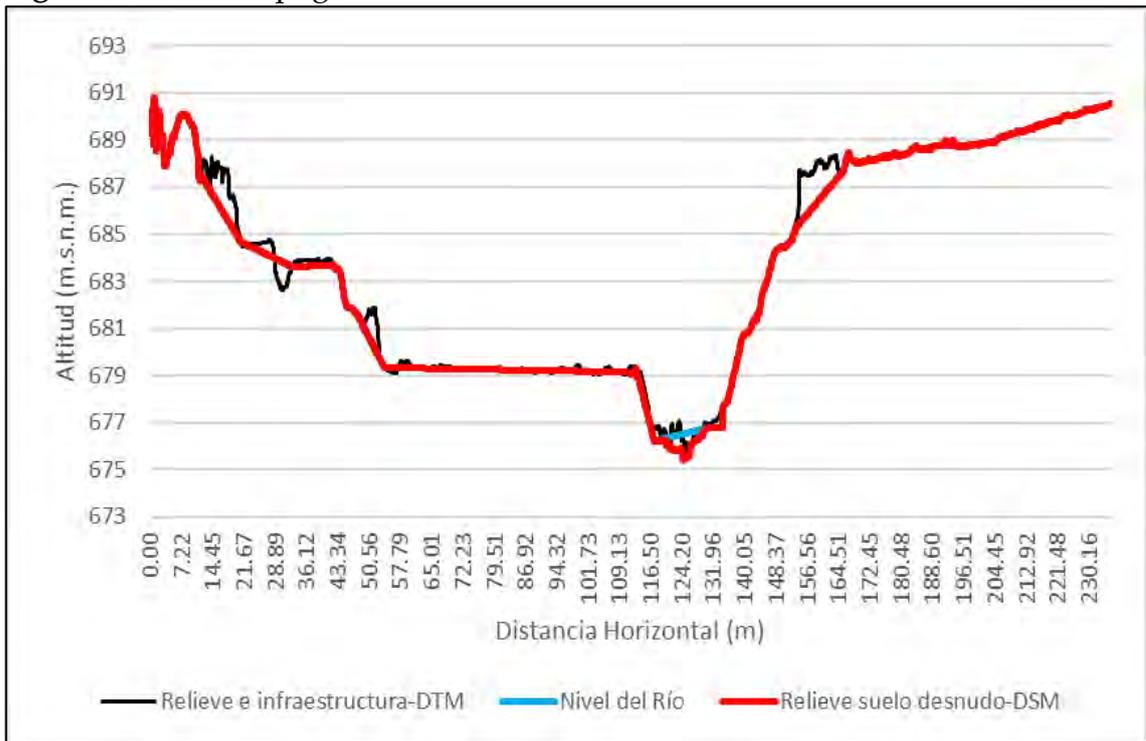
Fuente: Elaboración propia, 2023

Figura 5.4. Perfil topográfico en tres momentos del transecto N° 04



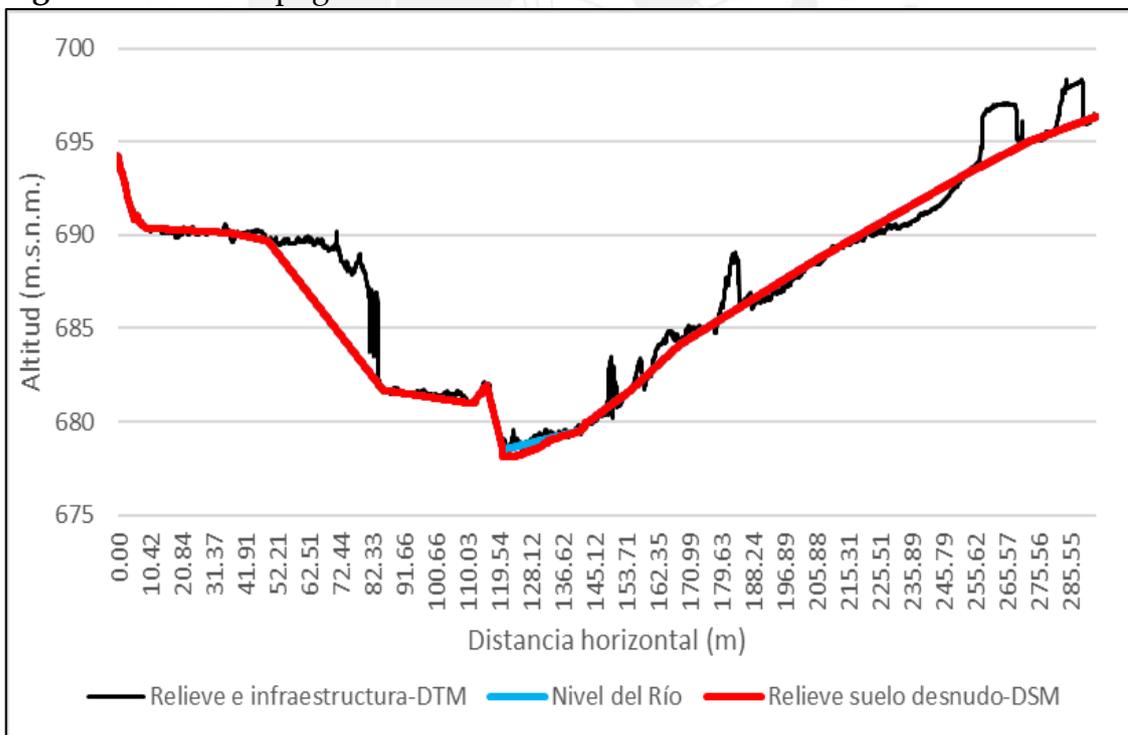
Fuente: Elaboración propia, 2023

Figura 5.5. Perfil topográfico en tres momentos del transecto N° 05



Fuente: Elaboración propia, 2023

Figura 5.6. Perfil topográfico en tres momentos del transecto N° 06



Fuente: Elaboración propia, 2023

5.2.2 Perfiles topográficos y niveles de susceptibilidad a inundación

En esta sección se aprecia los cuatro niveles de susceptibilidad de inundación identificados en los seis perfiles topográficos.

La Tabla 5.3. expresa las velocidades y áreas de los caudales en sus diferentes niveles de inundación y transectos. Se aprecia que el área en metros cuadrados para cada transecto aumentaría al subir de nivel. Por otro lado, a excepción del transecto número 2, la velocidad tendría un comportamiento distinto, esta es mayor en niveles intermedios y altos, y menor en niveles bajos y muy altos. Solo en el caso del transecto número 2, la velocidad aumentaría al subir de nivel de susceptibilidad a inundación.

Tabla 5.3. Velocidad y áreas de los niveles de susceptibilidad a inundación por transecto

Transectos o Perfiles topográficos	Niveles de susceptibilidad a inundación							
	Nivel Bajo		Nivel Medio		Nivel Alto		Nivel muy alto	
	Velocidad en m/s	Área en m ²	Velocidad en m/s	Área en m ²	Velocidad en m/s	Área en m ²	Velocidad en m/s	Área en m ²
Transecto nº 1	0,52	17,43	1,40	35,02	1,66	49,61	1,17	67,52
Transecto nº 2	0,90	40,16	1,91	71,22	2,01	89,55	3,12	136,02
Transecto nº 3	0,38	17,12	1,60	42,95	0,99	48,44	1,73	67,94
Transecto nº 4	1,51	7,98	1,40	26,80	1,84	60,28	2,52	84,88
Transecto nº 5	2,30	32,79	5,30	57,57	0,99	83,63	2,16	126,31
Transecto nº 6	0,55	16,41	2,98	41,57	6,99	85,92	3,69	114,51

Fuente: Elaboración propia, 2023

En la tabla 5.4. se visualiza la altitud (m s.n.m.) a la que arribaría cada transecto en sus diferentes niveles de susceptibilidad a inundación, además de los caudales (m³/s). Habría una relación directa entre la altitud en m s.n.m. y el nivel de susceptibilidad de inundación. Sin embargo, a excepción del transecto número 2

y 4, el caudal en m³/s y el nivel de susceptibilidad a inundación de los otros perfiles topográficos presentaría una relación irregular, es decir directa e inversa a la vez. Por ejemplo, para el transecto número 1, el caudal en el nivel bajo sería 8,99 m³/s, en el nivel medio sería 49,07 m³/s, el nivel alto sería 82,48 m³/s, pero en el nivel muy alto sería 79,62 m³/s. De la misma manera sucede para los transectos número 3, 5 y 6.

Tabla 5.4. Niveles de agua y caudales de los niveles de susceptibilidad a inundación por transecto

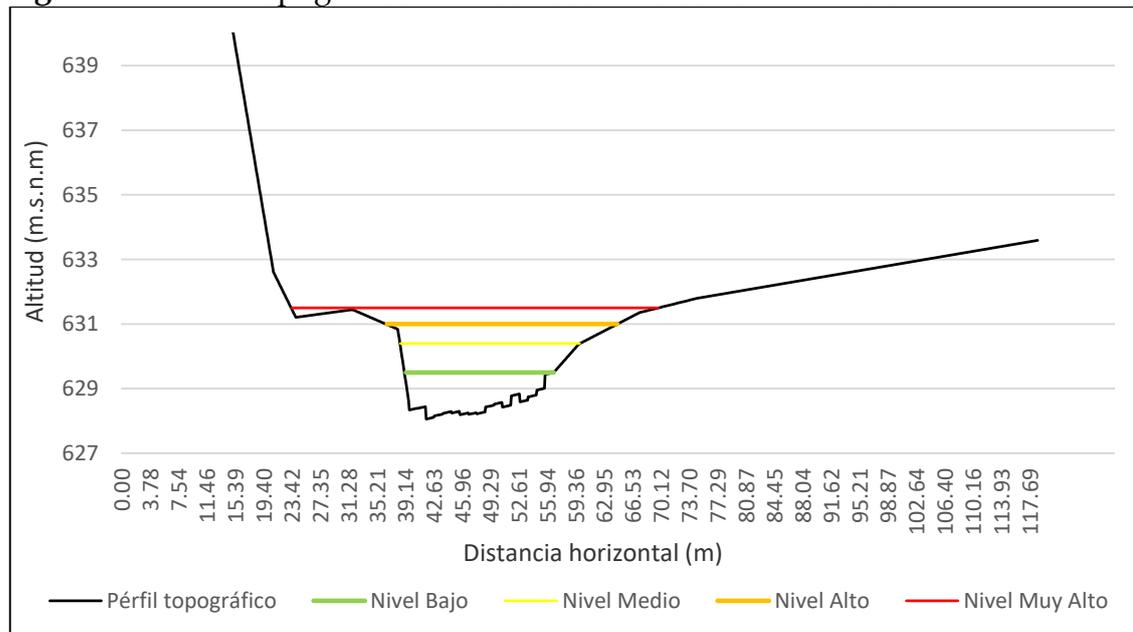
Transectos o Perfiles topográficos	Niveles de susceptibilidad a inundación							
	Nivel Bajo		Nivel Medio		Nivel Alto		Nivel muy alto	
	Nivel del agua en m s.n.m.	Caudal en m ³ /s	Nivel del agua en m s.n.m.	Caudal en m ³ /s	Nivel del agua en m s.n.m.	Caudal en m ³ /s	Nivel del agua en m s.n.m.	Caudal en m ³ /s
Transecto nº 1	629,5	8,99	630,4	49,07	631	82,48	631,5	79,62
Transecto nº 2	643	36,19	644	136,14	644,5	179,86	645,5	424,08
Transecto nº 3	651,5	6,57	652,8	68,52	653	48,26	653,6	117,77
Transecto nº 4	660,5	12,04	661,5	37,39	662,5	110,97	663	214,25
Transecto nº 5	678	75,45	679,1	305,31	679,5	83,63	680	273,38
Transecto nº 6	679,5	9,13	680,5	123,80	681,8	601,39	682	422,97

Fuente: Elaboración propia, 2023

En la Figura 5.7. se aprecia el perfil topográfico número 1. El nivel bajo (línea verde) se encontraría a 629,5 m s.n.m. y presentaría un caudal de 8,99 m³/s. Por su parte, el nivel medio (línea amarilla) se ubicaría a 630,4 m s.n.m. y presentaría un caudal de 49,07 m³/s. En este caso el nivel medio llenaría el cauce al margen derecho. A 631 m s.n.m. se encontraría el nivel alto (línea anaranjada) con un

caudal de 82,48 m³/s. Este nivel llenaría el cauce en ambo márgenes del río y además inundaría las partes bajas del margen derecho. Por último, el nivel muy alto se posicionaría a 631,5 m s.n.m. y resultaría en un caudal de 79,62 m³/s. En este caso inundaría la vía de tránsito nacional, por el margen izquierdo, y por el margen derecho, un camino-trocha.

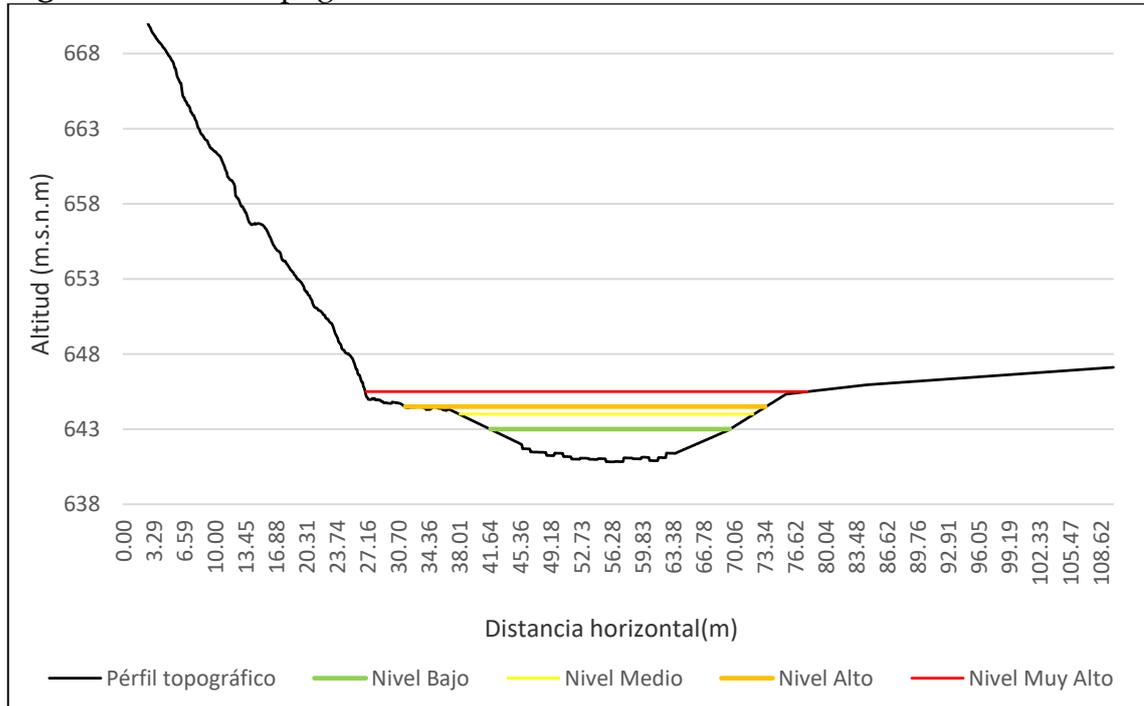
Figura 5.7. Perfil topográfico N° 1 con sus niveles de inundación



Fuente: Elaboración propia, 2023

Para el transecto número 2 (Ver Figura 5.8.), el nivel bajo se encontraría a una altitud de 643 m s.n.m. Este nivel presentaría un caudal de 36,19 m³/s. Por su parte, el nivel medio se ubicaría a 644 m s.n.m. y expresaría 136,14 m³/s en su caudal. Este nivel alcanzaría a llenar el cauce por el margen izquierdo. El nivel alto, por su parte, se encontraría a 644,5 m s.n.m. y presentaría un caudal de 179,86 m³/s. Esta cantidad de caudal llenaría y desbordaría en ambos márgenes, puesto que en el margen derecho la pared del cauce lo conforman viviendas, y el agua ingresaría por ventanas, escaleras, u otros. Finalmente, el nivel muy alto se posiciona a 645,5 m s.n.m. con un caudal de 424,08 m³/s. A este nivel, el caudal inundaría la carretera de la vía nacional e inundaría en mayor altitud a las viviendas ya afectadas en el nivel alto, además de que, ingresaría a nuevas viviendas, no afectadas en el nivel anterior.

Figura 5.8. Perfil topográfico N° 2 con sus niveles de inundación



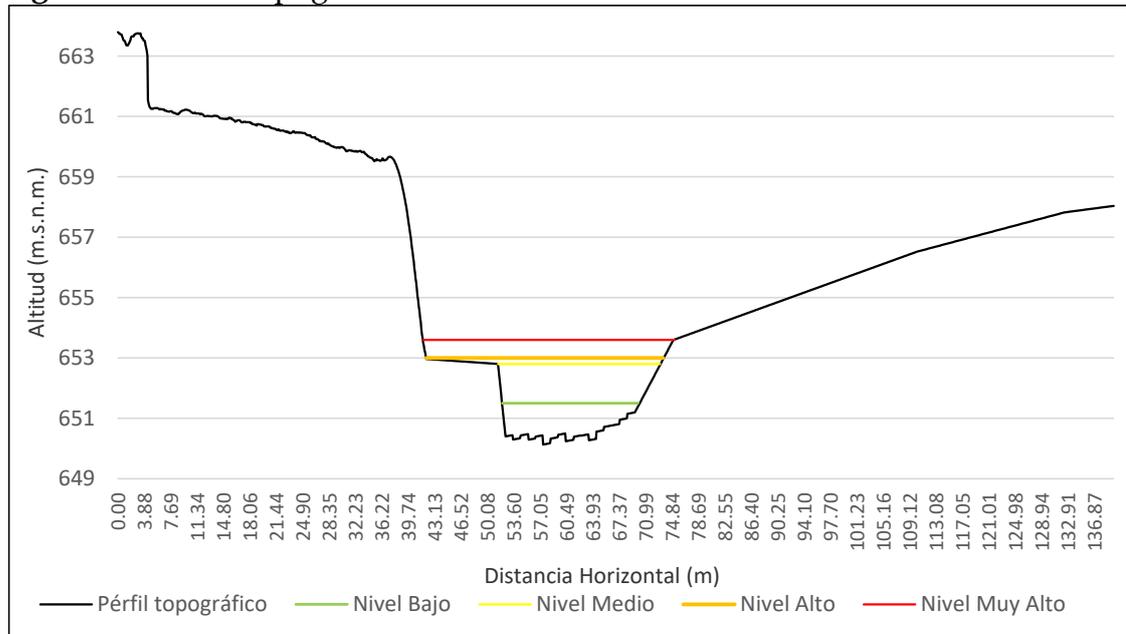
Fuente: Elaboración propia, 2023

En el caso del transecto número 3 (Ver Figura 5.9), el nivel bajo se encontraría a una altitud de 651,5 m s.n.m. con un caudal de 6,57 m³/s. Para el nivel medio, el caudal ascendería a 68,52 m³/s con una altitud de 652,8 m s.n.m. En este nivel el agua llenaría el cauce por el margen izquierdo. Por otro lado, el nivel alto se encontraría a 653 m s.n.m. y presentaría un caudal de 48,26 m³/s. Aquí el agua ascendería 0,2 m más que en el nivel medio, pero por el margen izquierdo inundaría la carretera de la vía nacional. Finalmente, el nivel muy alto presentaría una altitud de 653,6 m s.n.m. y un caudal de 117,77 m³/s. En este nivel el caudal llenaría al margen derecho, pero no causaría mayor afección ello debido a que la pared del cauce presenta una gran altitud.

Para el transecto número 4, ver Figura 5.10., el nivel bajo se encontraría a 660,5 m s.n.m. con un caudal de 12,04 m³/s. El nivel medio se hallaría a una altitud de 661,5 m s.n.m. con un caudal de 37,39 m³/s. Aquí el agua ascendería 1 m y llenaría el cauce por el margen izquierdo, pero aún no causaría alteraciones antrópicas. Para el nivel alto el agua ascendería a una altitud de 662,5 m s.n.m. y presentaría un caudal de 110,97 m³/s. A este nivel, el agua inundaría los patios de

las viviendas que se encuentran al margen izquierdo. Por su parte, el nivel muy alto se encontraría a una altitud de 663 m s.n.m. y presentaría un caudal de 214,25 m³/s. A este nivel, el agua ingresaría a las viviendas asentadas al margen izquierdo, y por el margen derecho, el agua llenaría el cauce.

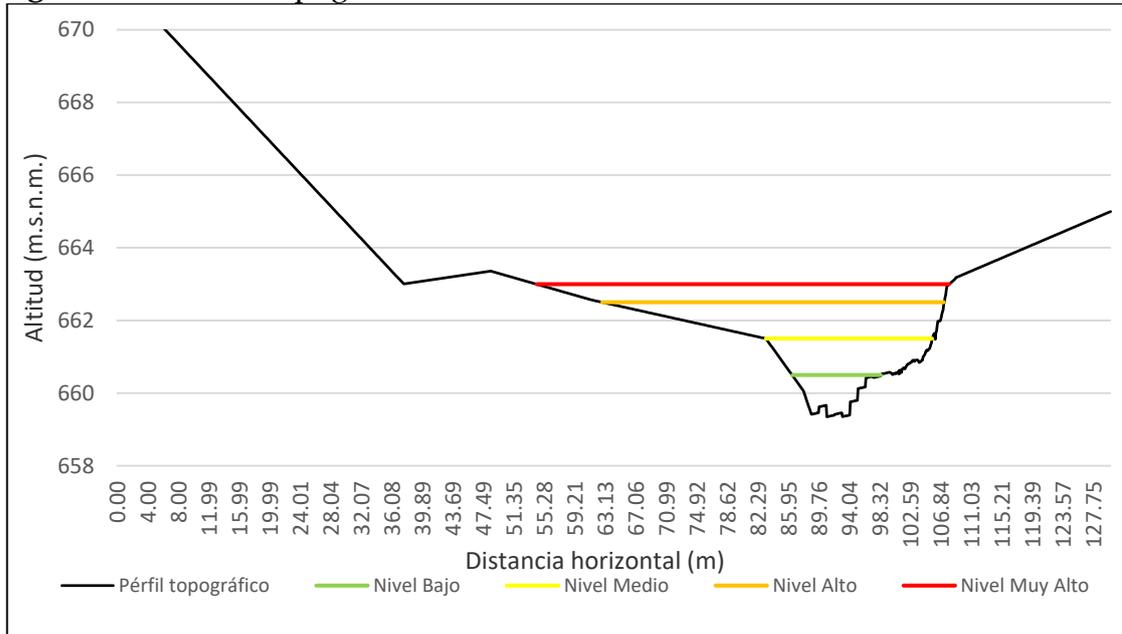
Figura 5.9. Perfil topográfico N° 3 con sus niveles de inundación



Fuente: Elaboración propia, 2023

El perfil topográfico número 5, ver Figura 5.11., presenta otras particularidades porque al margen derecho existe una pared muy alta reforzada por pirca de piedras, y al margen izquierdo una pared más baja y una terraza de inundación que es un área dedicada a la actividad agrícola. En este caso la carretera de la vía nacional ubicado al margen izquierdo se encuentra a mayor altitud por lo que no sufriría ningún daño en los niveles alto y muy alto.

Figura 5.10. Perfil topográfico N° 4 con sus niveles de inundación

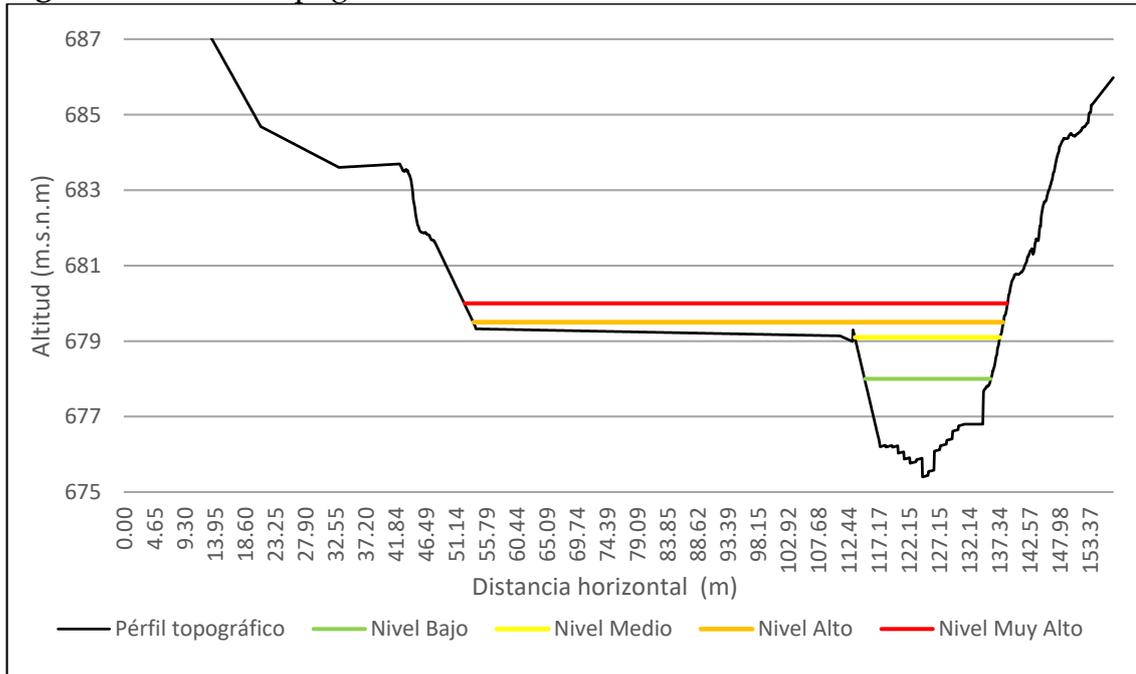


Fuente: Elaboración propia, 2023

En el perfil número 5, para el nivel bajo la altitud resultaría en 678 m s.n.m. y su caudal es de 75,45 m³/s. Ya para el nivel medio la altitud ascendería a 1,10 m, es decir, 679,1 m s.n.m. y presentaría un caudal de 305,31 m³/s. En este nivel el caudal llenaría el cauce por el margen izquierdo. El nivel alto se encontraría a 679,5 m s.n.m., es decir 0,4 m más que el nivel anterior, pero ocuparía un caudal de 83,63 m³/s. En este nivel el agua ingresaría a las plantaciones ubicadas en la llanura de inundación del margen izquierdo. Por su parte, el nivel muy alto se encontraría a 680 m s.n.m. con un caudal de 273,38 m³/s, aquí el nivel del agua inundaría las plantaciones con una mayor altitud. Por el margen derecho, el agua ascendería más, casi a cubrir la pared del cauce.

Por último, el perfil topográfico número 6 (Ver Figura 5.12.), presenta al margen izquierdo un área más pequeña para la agricultura, y al margen derecho hay presencia de arbustos y también áreas agrícolas. Se aprecia, además, una elevación en el terreno de 1 m al margen izquierdo entre las altitudes de 681-683 m s.n.m., el cual hace referencia a una pirca de un grosor de más de 2 m, más pronunciada. Esta pirca de piedras limitaría que el nivel medio y alto ingrese a los cultivos del margen izquierdo.

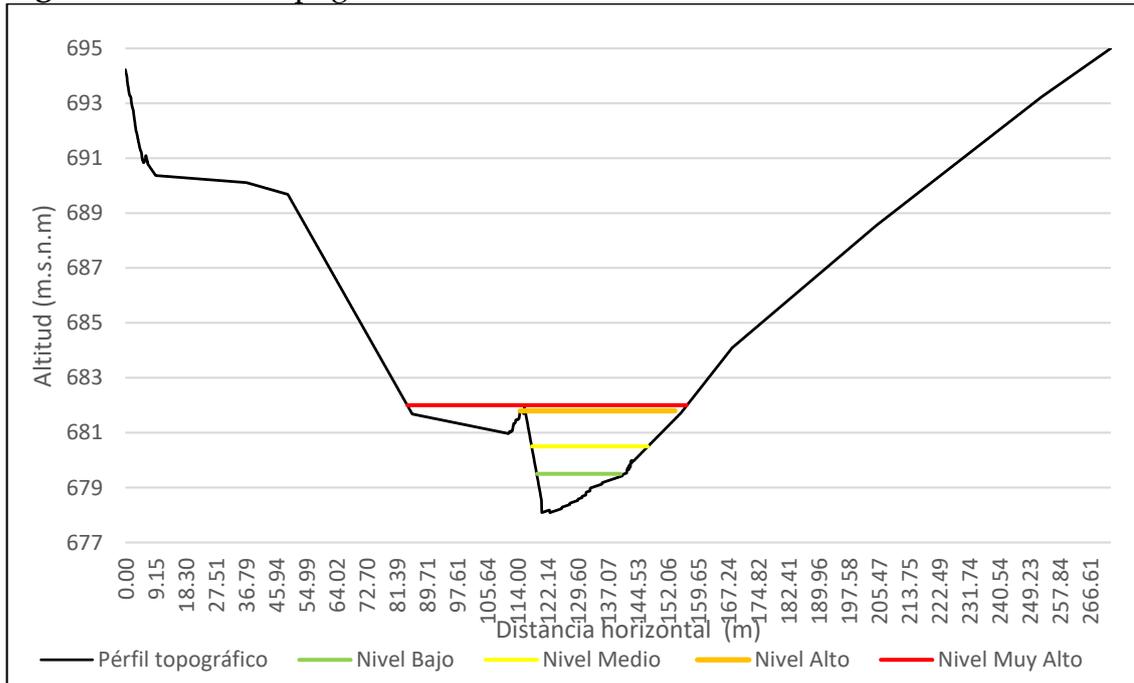
Figura 5.11. Perfil topográfico N° 5 con sus niveles de inundación



Fuente: Elaboración propia, 2023

En el perfil número 6, el nivel bajo se encontraría a 679,5 m s.n.m. y presentaría un caudal de 9,13 m³/s. El nivel medio ascendería a 680,5 m s.n.m., y resultaría en un caudal de 123,80 m³/s. A este nivel, el agua subiría al límite, antes de entrar a los cultivos, del margen derecho. El nivel alto se ubicaría a 681,8 m s.n.m. y presentaría un caudal de 601,39 m³/s. Con este nivel, el agua ascendería en unos 1,30 m, hasta el término de la pirca, pero sin pasar sobre ella, por el margen izquierdo, mientras que en el margen derecho inundaría terrenos bajos con sembríos. Finalmente, el nivel muy alto se encontraría a los 682 m s.n.m. y presentaría un caudal de 422,97 m³/s. A este nivel el caudal pasaría la pirca e inundaría el área cultivada al margen izquierdo, aparte que alcanzaría mayor área en el margen derecho.

Figura 5.12. Perfil topográfico N° 6 con sus niveles de inundación



Fuente: Elaboración propia, 2023

5.2.3 Delimitación de los niveles de susceptibilidad

En este apartado se aprecia la extensión en toda el área de estudio de cada nivel de susceptibilidad a inundación.

-Nivel Bajo

En el mapa 5.1. se aprecia la delimitación del nivel bajo. La delimitación del nivel bajo seguiría el rumbo del cauce del río y solo en algunas áreas abarcaría un poco de vegetación. El área de extensión que cubriría el nivel bajo en el centro poblado de Sayán es 12 738,7 m².

Mapa 5.1. Nivel bajo de susceptibilidad a inundaciones



Fuente: Elaborado por Janet Figueroa, 2023

-Nivel Medio

En el mapa 5.2., el nivel medio cubriría más área que el nivel bajo, pero más verticalmente que horizontalmente. Este nivel tomaría mayores áreas de vegetación e incluso inundaría pequeños espacios cubiertos de vegetación fuera del cauce como se ve en la parte 2 del mapa. El río, en este nivel, llenaría todo el cauce, pero sin inundar, el área que cubre esta delimitación del nivel medio sería 16 117 m².

-Nivel Alto

En el mapa 5.3. se aprecia claramente las zonas a donde el nivel alto arribaría produciendo inundaciones. El río no solo crecería verticalmente, sino que sobrepasaría la capacidad del cauce e inundaría (horizontal) las zonas bajas, especialmente, en el margen izquierdo. En la parte 1, se aprecia que el río desbordaría más al margen izquierdo, y cubriría casi toda la carretera. Más al nor-este antes de finalizar la parte 1, el río también desbordaría en las partes más bajas del área verde recreacional, cubriendo vegetación y terreno vacío.

En la parte 2, el río desbordaría también en el margen izquierdo, pero ya no la carretera, pues esta se encuentra a mayor altitud, sino áreas agrícolas. En la parte inicial de la parte 2, hay viviendas al margen izquierdo, aquí el agua inundaría los patios traseros. Al margen derecho, casi no desbordaría por motivo que las paredes lateras son más altas. Esta área es claramente más grande y cubriría 39 004,9 m².

-Nivel Muy Alto

Este nivel cubriría casi toda la carretera del área de estudio, solo una parte de la vía al nor-este, debido a su mayor altitud, no se inundaría. A diferencia de los otros niveles, que no inundarían al margen derecho, este nivel cubriría parte de un camino en este margen, al sur-este del Mapa 5.4. En la parte 1, el río inundaría toda la carretera de la vía nacional ubicado al margen izquierdo, ahí también inundaría suelo desnudo y vegetación. Solo se aprecian algunas viviendas y

árboles, los cuales no serían cubiertas debido a su altitud. En el caso del puente de ingreso a Sayán, si bien este no es cubierto, se vería bloqueado su entrada y salida debido a la inundación de la vía nacional con la que colinda. Hacia el margen derecho, el agua inundaría parte de un camino al sur-este y algunas áreas con vegetación en el parque ubicado al nor-este.

En la parte 2, en el margen izquierdo el río también inundaría la vía nacional y solo una parte al nor-este no sería cubierto. Las áreas agrícolas serían afectadas en su totalidad. Solo algunas vegetaciones, de mayor altitud, y un grupo de viviendas, no serían cubiertos. Sin embargo, los patios de estos asentamientos sí serían cubiertos, y estas viviendas, como islas, resultarían rodeadas por el agua. Por su parte en el margen derecho, debido a la mayor altitud de las paredes del cauce, solo habría inundaciones en algunas partes con vegetación, y solo al nor-este, casi al finalizar el área de estudio, el río inundaría un poco de área agrícola. En este nivel el área sería la más grande de todos los niveles, 51 076,1 m².

Mapa 5.2. Nivel medio de susceptibilidad a inundaciones



Fuente: Elaborado por Janet Figueroa, 2023

Mapa 5.4. Nivel muy alto de susceptibilidad a inundaciones



Fuente: Elaborado por Janet Figueroa, 2023

5.2.4 Cartografía de niveles de susceptibilidad al peligro de inundación

En este apartado se presenta el producto principal del trabajo de investigación, el Mapa de susceptibilidad a inundaciones en el centro poblado de Sayán. Este expresa la extensión de cada nivel de susceptibilidad (Ver Mapa 5.5.). A grandes rasgos, el nivel bajo y medio no abarcarían elementos antrópicos. Pero el nivel alto y muy alto sí abarcarían zonas extensas de infraestructura estatal y privada, en especial en el margen izquierdo. En este margen, la infraestructura vial, viviendas, restaurantes, y puestos de comida y venta de productos alimenticios-agrícolas, zonas agrícolas serían los más afectados de toda el área de estudio.

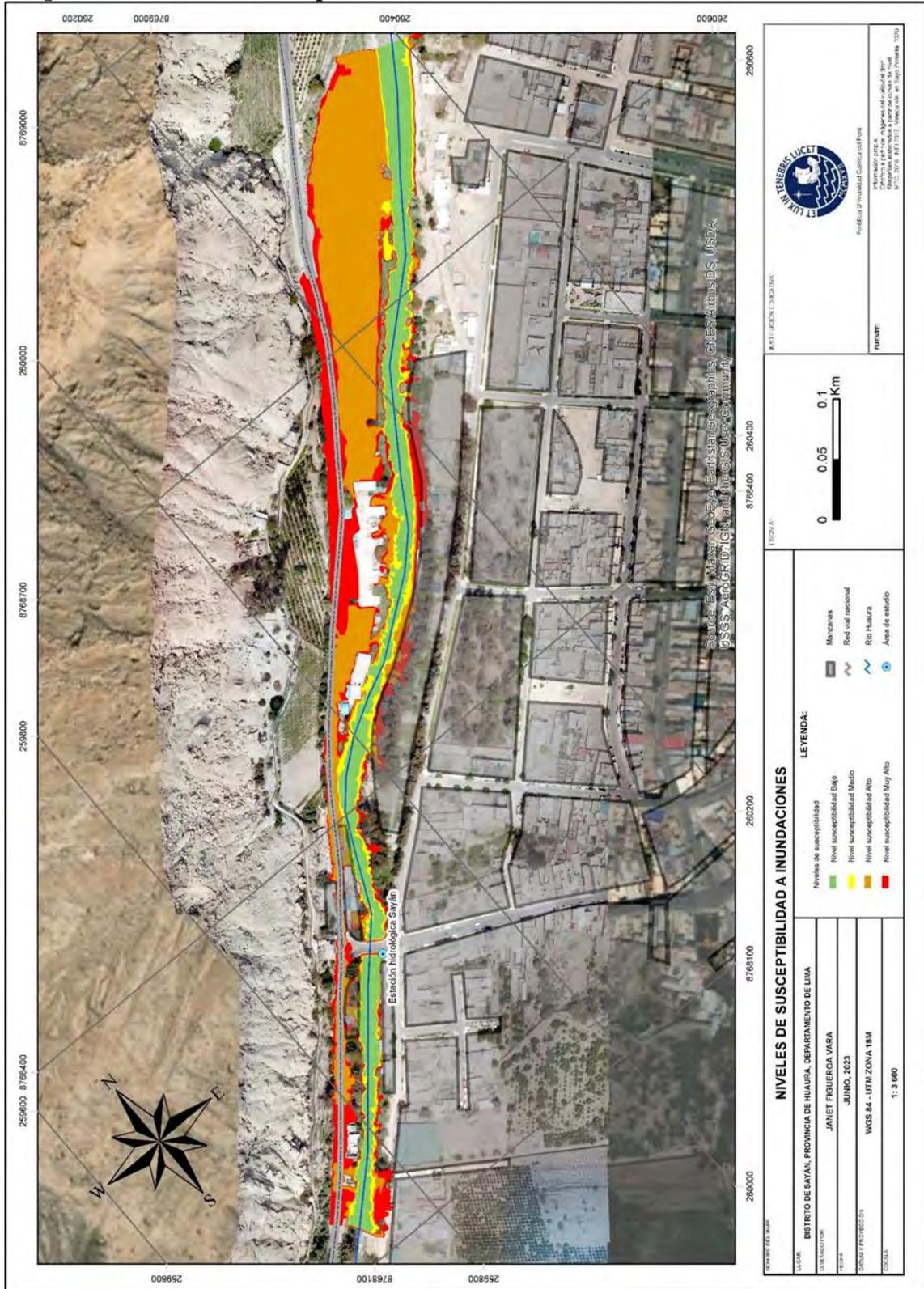
En la Tabla 5.5. se muestran que las áreas de niveles de susceptibilidad oscilan entre 12 000-51 000 m². El nivel bajo y medio se diferencia en aproximadamente 4 000 m². Pero entre el nivel medio y alto, el área crece más del doble, debido al crecimiento horizontal. El nivel muy alto, abarcaría mayor área, más de 10 000 m² que el nivel alto. Aquí no se aprecia mucha diferencia, puesto que en algunas zonas crecería más en el espacio vertical, que en la horizontal.

Tabla 5.5. Comparación de áreas (m²) de los niveles de susceptibilidad

Niveles de susceptibilidad	Área (m ²)
Nivel Bajo	12 738,7 m ²
Nivel Medio	16 117,0 m ²
Nivel Alto	39 004,9 m ²
Nivel Muy Alto	51 076,1 m ²

Fuente: Elaboración propia, 2023

Mapa 5.5. Niveles de susceptibilidad a inundaciones



Fuente: Elaborado por Janet Figueroa, 2023

5.3 Exposición a inundaciones en el centro poblado de Sayán

Los niveles de susceptibilidad arribarían cubriendo diferentes áreas (Ver mapa 5.6.) (Para mayor comprensión de este apartado, ver Anexo C). En el nivel bajo no habría ningún aspecto antrópico intervenido. Por su parte, el nivel medio cubriría ciertos espacios con vegetación. Algunas de estas áreas, al margen izquierdo están en la ribera del río y en la zona agrícola, mientras que, por el margen derecho, son áreas ubicadas en el parque y al sur-este, cubrirían una pequeña porción de un camino. En este nivel, 7 casas, ubicadas al sur-este del puente, y 3 viviendas ubicadas al nor-este, ambos en el margen izquierdo, podrían verse afectadas por posible erosión a causa del aumento de la velocidad del caudal.

En el nivel alto, los elementos expuestos ascenderían en número. Este nivel cubriría 3 035,95 m² de la carretera de la vía nacional. La vegetación afectada se encontraría en el parque, riberas del río, y parte del camino-trocha al sur-este (margen derecho). En la parte 1, el caudal inundaría a aproximadamente 14 viviendas y 4 puestos de comercio y/o restaurantes. Aquí también, 18 m² de un camino-trocha en el margen derecho sería inundado. En la parte 2, aproximadamente 11 viviendas serían afectadas y 12 793 m² de área agrícola.

Finalmente, en el nivel muy alto habría una mayor exposición, la carretera afectada ascendería a 7 055,48 m², cubriendo casi toda la vía que colinda con el centro poblado de Sayán. En la parte 1 del Mapa 5.6., 21 viviendas serían afectadas, en la parte 2, 17 viviendas, y todos los puestos/restaurantes, 24 en total, serían también perjudicados. El área agrícola afectada ascendería a 13 014,65 m², esto incluiría las áreas agrícolas en ambos márgenes del río. Finalmente, al sur-este, 55 m² del camino del margen derecho, que se aprecia en la parte 1, se vería bloqueado al ser cubierto por inundación del río.

Mapa 5.6. Niveles de susceptibilidad a inundaciones y exposición



Fuente: Elaborado por Janet Figueroa, 2023

6 DISCUSIÓN

En esta sección se presenta el análisis e interpretación de los resultados.

6.1 Análisis de los resultados

6.1.1 Caudales y extensión de los niveles de inundación de susceptibilidad

Los niveles de susceptibilidad a inundación alcanzarían diferentes distancias y consecuencias en el área de estudio. El nivel bajo en todos los transectos no produciría ninguna afectación a los sayanésenses ni a sus medios de vida. En este estado, las actividades recreacionales como el canotaje, apreciación de la naturaleza, así como actividades cercanas de comercio y recreación en las áreas verdes, podrían continuar su normalidad.

Por su parte, el nivel medio, si bien no inundaría, podría causar erosiones de las paredes laterales, incluyendo, en ciertos casos, algunas viviendas. Las paredes del cauce son conformadas por viviendas, por el cauce natural, por pirca de grandes bloques de piedra, y por paredes de concreto. En este nivel, al aumentar la profundidad del cauce, por aumento de altitud del nivel de agua, se incrementaría, para algunos transectos, la velocidad del flujo (Erwanto & Sugata, 2019), ello podría ser la causa de las posibles erosiones en algunas áreas de las paredes laterales, en especial de las más vulnerables debido a su material y/o estado.

En el caso del nivel alto, este sí produciría desbordes, pero en las zonas más bajas, además también, posibles erosiones en algunas áreas de las paredes del cauce. Los desbordes en las zonas más bajas como en el patio de ciertas viviendas, el parque del centro poblado, áreas verdes naturales, y en zonas agrícolas podrían producir daños en las mismas, aunque menores. En este nivel el río no solo crecería verticalmente, sino que sobrepasaría la capacidad del cauce e inundaría y se expandiría en mayor medida horizontalmente y en especial al margen izquierdo. Ello se produciría debido a que en el margen derecho la pared del

cauce es más alta, con pirca y por la presencia de viviendas cuyas paredes funcionan como paredes laterales del cauce e impedirían al agua cruzar el límite.

Por su parte, el nivel muy alto produciría inundaciones mayores y, probablemente también una mayor erosión. La inundación sería la mayor en este nivel, por lo que abarcaría mayor superficie horizontal y vertical de infraestructura vial, vía pública, viviendas, áreas verdes naturales, áreas recreaciones, áreas de comercio, etc. (Ver Anexo C), y produciría daños en ellas. En este nivel, la inundación bloquearía la carretera de acceso al centro poblado, no solo limitando el pase de personas sino de productos a comercializar, además de que, al bloquear la carretera, la vía principal, afectaría las comunicaciones entre costa y sierra. Así también, uno de los principales afectados serían los comerciantes ubicados en la carretera, cuyos puestos se verían inundados.

6.1.2 La importancia de la velocidad del flujo en los valores de caudales

La velocidad del flujo tiene una influencia relevante en el caudal, según la ecuación número 6, ambos parámetros son directamente proporcionales. Se ha podido visualizar mayores caudales en los niveles medios y altos de susceptibilidad a inundación, que en los niveles muy altos. Por ejemplo, para el transecto número 1 se visualiza que el nivel muy alto estaría 0,5 m más elevado que en el nivel alto, sin embargo, su caudal es menor que en el nivel alto, esto se debería a que, en el nivel muy alto, al desbordar el río, ocuparía el flujo más espacio horizontal, como la vía asfaltada y la trocha, y, por lo tanto, su profundidad de cauce disminuiría, por lo que disminuye, asimismo, la velocidad del flujo (Erwanto & Sugata, 2019). Entonces, si bien el agua ocuparía más área, debido a la reducción de la velocidad del flujo, su caudal también disminuiría.

De la misma manera, para el caso del transecto número 3, a pesar de un aumento de 0.20 m del nivel del agua en el nivel alto con respecto al nivel medio, el caudal es menor que en el nivel medio. Esto sucedería porque el río desborda y la carretera se convierte en parte del cauce, al reducir la profundidad del cauce se

reduce la velocidad del flujo, y por lo tanto también el caudal. La velocidad en el nivel medio fue de 1,59 m/s, pero en el nivel alto fue de 0,99 m/s.

Por otro lado, en algunos casos se aprecian cambios bruscos en los caudales de un mismo transecto al aumentar el nivel de susceptibilidad de inundación. Lo cual se debería a variaciones bruscas también en la velocidad. Por ejemplo, para el transecto número 2, el caudal en el nivel bajo sería 36,19 m³/s y para el nivel alto sería 136,23 m³/s. Este cambio tan brusco en el caudal, al aumentar el flujo en 1 m de altitud se debería a la morfometría del cauce que resultan en mayor profundidad del cauce que permite una rápida movilización del flujo, por lo que aumentaría su velocidad, y por tanto generaría un mayor caudal. Se aprecia que cuando la forma del cauce produce un crecimiento del agua más vertical que horizontal, permite un aumento de la velocidad, puesto que el flujo encuentra mayor facilidad de moverse. Con una mayor velocidad de flujo podría haber mayor probabilidad de erosiones.

Otros sucesos similares ocurrirían para este transecto, en otros niveles, y otros transectos. Para el transecto número 3 también habría un cambio brusco en el caudal del nivel alto (48,31 m³/s) y muy alto (118,09 m³/s). En el nivel alto la velocidad fue menor (0,99 m/s) porque el flujo rozaba con la vía, pero al crecer (vertical) el nivel de agua, el flujo se mueve con mayor rapidez (1,73 m/s) por lo que se produciría un aumento alto en el caudal.

Asimismo, para el transecto número 5 se produciría un aumento brusco entre el nivel bajo y medio. Para el nivel bajo, la altitud que alcanzaría el caudal resultaría en 678 m s.n.m. y su caudal sería de 75,57 m³/s. Ya para el nivel medio la altitud ascendería 1,10 metros, es decir, a 679,1 m s.n.m. y presentaría un caudal de 305,81 m³/s. Este brusco aumento de caudal se debería a la forma del cauce (mayor profundidad del mismo) que generaría un aumento grande de velocidad (5,31 m/s) a diferencia de la velocidad del nivel anterior (2,30 m/s). A pesar de ser un caudal grande, el nivel medio no produciría inundaciones, pero habría

probabilidad de generar erosiones. En el caso del nivel alto para este mismo transecto, este se encontraría a 679,5 m.s.n.m., es decir 0,4 m más que el nivel anterior, pero ocupa un caudal de 83,65 m³/s. La reducción brusca del caudal se debe a que el agua al desbordar rozaría con el suelo, por lo cual reduciría su velocidad (a 1 m/s, que es 4 m/s menos que en el nivel anterior). En este nivel el agua ingresaría a las plantaciones agrícolas ubicadas en la llanura de inundación del margen izquierdo.

Para el transecto número 6 ocurriría lo mismo entre los niveles alto y muy alto. El nivel alto se ubicaría a 681,8 m s.n.m. y presentaría un caudal de 601,38 m³/s. Con este nivel el agua ascendería hasta el término de la pirca, pero sin pasar sobre ella, por el margen izquierdo, mientras que, en el margen derecho inundaría terrenos bajos con sembríos. La velocidad de flujo en este caso sería 6,99 m/s por causa de la forma y profundidad de cauce. Por su parte, el nivel muy alto se encontraría a los 682 m s.n.m. y presentaría un caudal de 423,04 m³/s. A este nivel el agua pasaría la pirca e inundaría el área cultivada al margen izquierdo, y sube a terrenos más altos, al margen derecho, también con sembríos. En este caso, su caudal disminuiría, a diferencia del nivel alto, debido a la reducción de la velocidad (3,69 m/s) por razones morfométricas ya explicadas.

Por otro lado, con respecto a los caudales a lo largo de los transectos en un mismo nivel, estos no serían similares ni cercanos entre ellos. Por ejemplo, en el nivel bajo, el transecto número 5 presentaría un caudal de 75,45 m³/s, mientras que el transecto número 1, un caudal de 8,99 m³/s. Esta variación de caudal, que también ocurre en los otros transectos, se debería a la profundidad del cauce que influencia en una mayor o menor velocidad.

La velocidad del flujo podría estar en relación con la erosión. En términos generales, al aumentar la profundidad del cauce en el nivel medio con respecto al nivel bajo, aumentaría la velocidad del flujo, por lo tanto, habría más probabilidad de erosión (Erwanto & Sugata, 2019). Sin embargo, al desbordar el

río en el nivel alto, la morfometría del cauce cambia, disminuyéndose su profundidad del cauce, y por lo tanto su velocidad. Y en el nivel muy alto al crecer el nivel del agua crece la profundidad del cauce, aumentando la velocidad, y, por lo tanto, la probabilidad de erosión. En todos estos casos, la velocidad de flujo juega un rol importante en el aumento o reducción del caudal, así como en la probabilidad de la erosión, además que se demuestra que un nivel mayor de susceptibilidad a inundación no es sinónimo de un aumento de caudal.

6.2 Evaluación de la metodología: Vacíos y complicaciones

Para esta investigación se utilizó la combinación del grupo de metodologías geológicas-geomorfológicas e hidrológicas-hidráulicas (Diez et al., 2009a). Si bien, adicional a ella, existen otros tipos de metodologías que mencionan los autores, se optó por elegir la metodología geomorfológica-hidrológica, dado el contexto de la investigación y los recursos pertenecientes a estas. El centro poblado cuenta con una estación hidrológica manejada por el Senamhi, de la cual se obtuvo información hidrológica. Además, se logró obtener un modelo de elevación del terreno generado a partir del vuelo de un dron, de esta manera se consiguió la información geomorfológica. Fue por ello, además, por medio del SIG que se logró unir ambas metodologías. Los autores recomiendan usar de forma complementaria todos los grupos de metodologías que ellos proponen siempre y cuando sea posible acceder a la información necesaria (Diez et al., 2009b). En este caso, debido a la extensión, alcance y presupuesto para la investigación, esta metodología fue adaptada teniendo en cuenta el contexto del área de estudio y la investigación.

Al ser el área de estudio espacialmente de escala pequeña fue necesaria la obtención de fuentes primarias para el caso de la morfología del terreno. Debido a la baja resolución espacial por los píxeles de las imágenes satelitales, se optó, aunque sin conocimiento ni experiencia previa, por la fotogrametría espacial. Ante esto se solicitó ayuda a especialistas. Durante el procesamiento se apreció

algunos errores en el DEM debido a fallas técnicas mínimas, las cuales se procuraron corregir a partir de la información de campo (visualización, fotografías).

Otra limitación, fue el destiempo entre dos salidas de campo: fotogrametría del dron y batimetría del lecho del río. Lo ideal, hubiera sido realizar estas dos mediciones en el mismo periodo de tiempo. Sin embargo, al no ser posible, se buscó correlacionar la información mediante corrección manual durante el procesamiento.

Asimismo, por motivos de propiedad privada y/o cercada no se pudo acceder para tomar el quinto transecto. Así es que entre el transecto número 4 y 5 (entre los dos debería haber un transecto más) hay una gran distancia. Durante el uso del SIG para unir la información geomorfológica e hidrológica, se buscó corregir este error colocando un transecto imaginario basado en las mediciones del DEM.

Otra limitación importante, fue la no-correlación de los periodos de retorno calculados en base a información de la estación hidrológica. Puesto que dichos resultados se asemejarían exclusivamente para el transecto número 2, el más cercano en términos de ubicación, pero no para los otros transectos. Por causa de ello, se delimitó los niveles de susceptibilidad a inundación en base a la descripción cualitativa, y no cuantitativa. Sin embargo, los periodos de retorno servirían de referencia para proyectos posteriores puesto que acercan a la información de probabilidades en años en los que podrían ocurrir inundaciones.

6.3 Comparación del nivel muy alto de la susceptibilidad a inundación en el centro poblado de Sayán con otras delimitaciones

Al apreciar el área susceptible del nivel muy alto de la presente evaluación y la delimitación realizada por la ANA (2016b) en el área de estudio se aprecian similitudes (Ver Mapas 2.1. y 5.4.). Debido a que ambos mapas no abarcan el mismo tamaño del área de estudio, no se pueden comparar áreas. Pero las formas

tienen similitudes y algunas diferencias. Al sureste del puente, los límites del polígono a grandes rasgos tienen la misma forma, con excepción de la parte del cauce que colinda con viviendas al margen derecho. La ANA delimitó esa área más grande, ya que incluso pasa toda la cuadra. Ello se debe a que la ANA si bien también usa un DTM, no toma en cuenta las viviendas como un obstáculo para el agua, a diferencia del mapa de susceptibilidad del nivel muy alto, en esta investigación, que sí lo considera. Entonces, para el caso del puente, la ANA delimita el área de inundación un área que inunda todo el puente e incluso entra al centro poblado. Pero más al noreste, el área delimitada por la ANA se va reduciendo e incluso ya no toma la carretera, a diferencia del nivel muy alto que sí lo considera.

De manera general, la ANA considera un área más amplia, debido a que no considera los obstáculos presentes. Además, la ANA llama a esta área como zona inundable referencial, y la manera que llega a ese resultado, como se describió anteriormente, es un proceso que no es claro ni detallado. Además, se basan en información estatal como carta nacional de 1: 100 000, por tanto, de baja resolución; si bien hacen trabajo de campo, no se especifica que procesos se realizan. Posiblemente contrastan información de campo con gabinete, por lo que buscaron identificar que las áreas delimitadas sean fajas marginales, cauces, quebradas y riberas del río.

A diferencia, el área de susceptibilidad a inundaciones del nivel muy alto se describe específicamente, y su elaboración fue cuidadosa basándose en información de curvas de nivel con distancia de 0,5 m provenientes del vuelo de un dron, una mejor resolución que la que considera la ANA. Además, se toma en cuenta los obstáculos presentes en la realidad, es decir que, ante crecidas, estas van a ser obstaculizadas por dichos objetos, por lo cual es viable reconocerlo también en el mapa. Esta información es más actualizada, puesto que es información entre 2021 y 2023, mientras que la ANA realizó esta investigación en

el 2016. En la presente investigación el enfoque fue el centro poblado de Sayán, mientras que la ANA lo elaboró para muchas localidades del Perú. Generalmente, mientras más se abarca la extensión del área de estudio no es tan precisa su delimitación, además del poco tiempo que duró el procesamiento (unos meses), a diferencia que, si abarcas una sola entidad y un mayor tiempo, como en el caso del proceso llevado a cabo en esta investigación, resultaría en mejores resultados.

Por otro lado, al realizar la comparación de la delimitación del área susceptible del nivel muy alto de inundación con la delimitación de la faja marginal realizada mediante la Resolución Directoral N° 0191-2022-ANA-AAA.CF. (2022) se aprecian ciertas similitudes (Ver Mapas 2.2. y 5.5). La delimitación de la faja marginal, se aprecia claramente, posee una mayor área. La mayor similitud se aprecia en que ambos consideran como espacio vulnerable casi todo el margen izquierdo, la vía nacional. Solo el lado del nor-este donde la vía se encuentra a mayor altitud no es tomada en cuenta, pero la delimitación del nivel muy alto abarca más área de vía nacional y área agrícola que la faja marginal.

La delimitación de la faja marginal, a diferencia del nivel muy alto, no toma en cuenta los objetos presentes sobre el suelo como viviendas y árboles, que podrían actuar como límites y obstáculos para el desarrollo de las inundaciones. Otra diferencia, de mucha relevancia, es al margen derecho, la faja marginal considera más área y toma en cuenta la vía local de trocha (sur-oeste) y pavimentado (centro), el parque de Sayán y las oficinas municipales, y las viviendas ubicadas al nor-este. El nivel muy alto no considera el margen derecho, a excepción de la vía local trocha al sur-oeste, debido a su mayor altitud de la pared del cauce y a los obstáculos presentes como las viviendas, árboles y pircas.

Es importante recalcar, que como se mencionó anteriormente, la faja marginal toma mayor área a las avenidas máximas ordinarias, puesto que considera un área adicional para la protección riverense (construcciones, caminos, u otros). Pero

no toma en cuenta las avenidas extraordinarias. Entonces las fajas marginales no expresan el área de inundación como tal y tampoco consideran eventos extraordinarios que sí se aproxima el nivel muy alto. Sin embargo, la metodología usada por la ANA para la delimitación de la faja marginal es más clara y sus resultados con mayor resolución espacial. Por ello, este estudio de delimitación en niveles de susceptibilidad a inundación sería un estudio complementario al de las fajas marginales.



7 CONCLUSIONES

La presente investigación realiza una evaluación del peligro de susceptibilidad a inundación en el centro poblado de Sayán, provincia de Huaura, ello mediante el enfoque de la GRD. Sayán, como centro capital de Huaura, ha presentado problemas de inundación y es una zona bajo probabilidades de este fenómeno, tal como lo demuestran estudios a nivel nacional y a escala local. A pesar de la existencia del marco institucional de la GRD y medidas normativas sobre las fajas marginales de los ríos según el Ordenamiento Territorial, no se considera tan relevante para los actores sociales esta temática de las inundaciones, hasta el reciente 2022 en la que se comienzan a realizar coordinaciones de obras, por intermedio de la ARCC (Ley N° 30556, 2017), para hacer frente a futuras inundaciones, dándose a conocer la temática en la zona.

Por su parte, la bibliografía revisada ha permitido comprender las inundaciones como parte del sistema fluvial, entonces, estas se convierten en una problemática al estar en contacto con los elementos antrópicos. Se ha observado, también, que los estudios presentes, en su mayoría a escalas nacional o regional, no permiten ver el caso particular de las inundaciones en Sayán. Además, el estudio más cercano realizado a escala local, la delimitación en la quebrada Costa Verde, no demuestra una claridad en su procesamiento y resultados, y la delimitación de las fajas marginales, aunque presenta claridad metodológica, no expresa como tal el área susceptible de inundación y no considera eventos extraordinarios. Ante ello, surge la necesidad de evaluar el peligro de inundación siguiendo una metodología más acorde a la escala local. Cuyo objetivo principal es delimitar el área del peligro en niveles de inundación en el centro poblado de Sayán con el propósito de aportar a la reducción de riesgos de desastres.

Dada esta línea de investigación, si bien no se abarca el riesgo como tal, sino que se realiza un énfasis al componente de peligro, no se minimiza la importancia de los actores sociales que abarca la vulnerabilidad, sino que se abre camino para la

continuación de la temática del riesgo de desastre. Para estimar el área de inundación, teniendo en cuenta el área de estudio, sus componentes y el contexto de la investigación, se optó por usar la metodología geomorfológica-hidrológica. Durante el trabajo de campo y gabinete, por momentos separados se recogió la información morfológica e hidrológica. Para la unión de estos dos componentes se realizó la delimitación del peligro de inundación por medio del SIG.

La facilitación para el acceso de información de la estación hidrológica de Sayán, así como el vuelo del dron, la medición del relieve y pendiente del lecho del río durante el trabajo de campo permitieron desarrollar el primer objetivo. Además, el procesamiento de la información mediante cálculos matemáticos, gráficos en Excel y digitalización del área de inundación en el SIG, permitieron desarrollar el segundo objetivo. Finalmente, mediante la observación en campo e información digital, y mediante un análisis en el SIG se logró explicitar los elementos expuestos, cumpliendo así el tercer objetivo.

Además, los resultados obtenidos han podido satisfacer el objetivo principal de esta investigación. Se ha calculado la extensión de la inundación en sus 4 niveles de susceptibilidad: bajo, medio, alto y muy alto; además, se ha identificado los elementos antrópicos expuestos. El nivel bajo y medio no ocasionarían daños mayores, pero hay probabilidades de que ocurra, debido a la alta velocidad del flujo en el nivel medio, erosión en las paredes laterales, en especial del material más vulnerable. En el caso del nivel alto, este si bien inunda las partes bajas dañando algunas viviendas, áreas agrícolas, áreas verdes y puestos de comercio, tiene menores probabilidades de erosión por sus bajas en la velocidad del flujo, debido a las fuerzas de fricción con las que roza el agua. El nivel más dañino y preocupante es el nivel muy alto, este bloquea la carretera y por lo tanto las comunicaciones. Además de que bloquea la entrada y salida del centro poblado, en este nivel la velocidad vuelve a subir, por lo que hay mayor velocidad del flujo de agua, que podría causar mayores daños. Sería entonces, el nivel alto, y en

especial, el muy alto, que expresa un grado medio a alto de exposición de elementos antrópicos, los más relevantes en la GRD.

El objetivo principal también incluye un fin, que es aportar a la reducción del riesgo de inundación. A partir de los resultados se da a conocer el peligro de inundación e inicialmente una parte de la vulnerabilidad, la exposición, las cuales permiten advertir a los actores sociales, parcialmente, sobre el riesgo presente en la zona. Esta información abre paso y aclara la necesidad de desarrollar esta temática con más prontitud para así determinar medidas de reducción del riesgo, todo ello en el contexto de ENSO cercano y el cambio climático ya presente. Además, que, a partir de este estudio, complementario a la delimitación de las fajas marginales, podría ser posible tomar medidas en el ámbito de ordenamiento territorial con respecto a las riberas del río, fajas marginales y la normativa relacionada, estas medidas contribuirían directamente a la reducción del riesgo.

Esta investigación desarrollada a nivel local expresa un proceso claro y resultados a detalle para la escala de análisis. Sin embargo, se considera pertinente contener la evaluación del riesgo como tal, es decir, no solo basarse en la parte física-natural, sino tener en cuenta siempre la condición y la voz de los actores sociales. Por ello, se invita a interesados en esta temática a continuar la línea de esta investigación procurando la búsqueda del mismo fin, la reducción de los riesgos. Asimismo, esta metodología podría ser replicada en otras comunidades también expuestas a este peligro, incluso las que tienen pocas probabilidades, debido al eminente contexto del cambio climático. Cabe recalcar, que estos estudios a pequeña escala, si bien logran medidas enfocadas en las comunidades, deben también considerarse dentro de estudios a escalas mayores, puesto que las acciones o medidas dentro de la GRD, no deben realizarse aisladamente, sino considerando las diversificadas interrelaciones que existen en un sistema, en especial entre las comunidades más cercanas.

8 RECOMENDACIONES

8.1.1 La importancia de la integración de la GRD en la planificación territorial

El centro poblado de Sayán es un centro urbanizado, ocupado mayoritariamente por viviendas y alrededor de estas se ubican áreas agrícolas. En el centro poblado se encuentra la plaza, la municipalidad, la parroquia y otros centros estatales de una manera organizada, es por ello que hubo una probable previa planificación. Alrededor del centro, el cual se encuentra alejado del río Huaura, está ocupado, principalmente, por viviendas, sin embargo, los asentamientos han llegado hasta las riberas del río. Incluso en la parte sur-este, algunas viviendas funcionan como parte de las paredes del cauce y al nor-este en el margen izquierdo, algunas viviendas están asentadas en la llanura de inundación del río. Sayán, al igual que la mayoría de poblados en el Perú, no tuvieron una previa planificación de uso de suelo.

Dentro de la planificación hay un instrumento llamado zonificación, aquí se clasifican los usos del suelo. En caso de identificarse zonas expuestas a peligros (movimientos en masa e inundaciones) en un nivel muy alto o muy recurrentes, los cuales no pueden ser reducidos, se declaran como zonas de muy alto riesgo no mitigable, los cuales son zonas intangibles e inhabitables (Cenepred, 2018a). Es decir, por medio de una normativa (Ley N° 30645) estas zonas no pueden ser habitadas. Y en caso que haya asentamientos en estas zonas, la norma indica que deben ser reubicados a espacios seguros (2017). Asimismo, un Decreto Supremo N° 012/94/AG declara zonas intangibles a los cauces, riberas y fajas marginales de los ríos, arroyos, lagos, lagunas y vasos de almacenamiento (1994). Es decir, son áreas que no pueden ser pobladas.

Para el caso de Sayán, en el contexto del peligro de inundación, se han identificado poblaciones asentadas en zonas expuestas a un peligro alto y muy alto de inundación. Así también por medio de la Resolución Directoral N° 0191-

2022-ANA-AAA.CF. de la delimitación de la faja marginal, se afirma que estas áreas son zonas de muy alto riesgo no mitigable y, por lo tanto, las viviendas deberían ser reubicadas (2022).

Por lo tanto, es recomendable, tomar acciones para evitar más asentamientos y reducir los riesgos en los existentes. Las autoridades municipales podrían usar la planificación preventiva. Esta planificación consta de inspecciones o monitoreo por parte de la policía nacional para evitar su poblamiento. También podrían realizarse construcciones de áreas verdes o plazas sin/con uso recreacional dependiendo de la gravedad y frecuencia del peligro. Por ejemplo, en el caso de las riberas del río Rímac en Lima estas fueron clasificadas como zonas de recreación pública e incluso en una parte se construyó una plaza pública, ello con el motivo de evitar la urbanización de estas áreas (Robert & Sierra, 2009).

Dentro del conglomerado urbano, existe una buena interconexión de las vías de comunicación. Pero, del centro urbano al exterior, su interconexión con otros pueblos, no es adecuada. Hay un solo puente que permite cruzar el río, por el cual no solo transitan personas y vehículos particulares, sino también vehículos con carga de productos a comercializar (agrícolas y no agrícolas). Este puente al ser bloqueado, además de la vía nacional, aislaría o paralizaría muchas actividades de Sayán. Existe un camino-trocha que también conduce al exterior, ubicado al margen derecho, sin embargo, este también se ve afectado en el nivel alto y muy alto. Ante esto, es recomendable construirse al menos un puente más, asfaltar el camino-trocha, y reforzar riveras para reducir la inundación a las vías de inundación. Estas medidas se han formulado en el proyecto sobre la protección de riberas del río Huaura, por lo que se espera se lleven a cabo en este y los próximos años (Informe N° 0184-2023-ARCC/DE/DAI-AGRR, 2023; Municipalidad distrital de Sayán, 2023a; OHLA, s. f.)

Las actividades que se realizan en el río como canotaje claramente serían afectadas en niveles medios y altos. Por lo cual es recomendable solo realizar

dichas actividades en temporadas de verano en un nivel bajo del río Huaura. Por otro lado, en las riberas del río, en especial en el parque hay una gran presencia de mosquitos, estos se incrementan en mayores temperaturas (Blanc & Zorgno, 2020) donde, asimismo, hay una mayor humedad. Por tanto, ante inundaciones probables en temporadas de verano, la presencia de estos insectos los convierte en vectores de enfermedades contagiosas para la población humana. Es por ello, que se debe considerar esta temática y área como sanitaria en la GRD de Sayán.

Entonces, ante crecidas del río a un nivel alto y muy alto, las poblaciones, viviendas y puestos de trabajo serían afectados directamente, e indirectamente todo el centro poblado de Sayán por el bloqueo que habría del puente y de la vía nacional. Las pérdidas también serían económicas por la infraestructura que se dañaría por el comercio y agricultura que se vería también afectado. Finalmente, también habría daño al medio ambiente como árboles, riberas del río, y laderas de los cerros.

Por todo ello, es recomendable que la municipalidad de Sayán incluya la gestión de riesgos ante inundaciones en un PDU y en un PDCL. En específico, la gestión prospectiva y correctiva, que busca prevenir nuevos riesgos y reducir los riesgos existentes, respectivamente. Ello, incorporar en los instrumentos de planificación territorial, para el caso de la municipalidad distrital de Sayán, un PDU y un PDCL (Cenepred, 2018a).

Para implementar la gestión correctiva y prospectiva en la planificación territorial se deben elaborar instrumentos técnicos luego incorporarlos en la planificación estratégica y planificación territorial. Entre los instrumentos técnicos están la evaluación de peligros, vulnerabilidades y de riesgos en el primer proceso que es la estimación. En el segundo proceso, la prevención (gestión prospectiva) “se elaboran planes para prevenir los riesgos [...] evitar la generación de nuevos riesgos” (Cenepred, 2018a, p. 21). Los planes que se deben realizar son: PPRRD, Declaratoria de Intangibilidad (zonificación de usos de

suelos), Declaratoria de zona de muy alto riesgo no mitigable y Determinación de fajas marginales (Cenepred, 2018a). Cabe mencionar que esta última ya fue elaborada en el 2022 (Ver Mapa 2.2.).

En el tercer proceso, se elaboran planes con el fin de reducir los riesgos ya existentes (gestión correctiva), los cuales se hacen en base a los planes del segundo proceso. Así, aquí están los proyectos de infraestructura para reforzar las riberas, para reubicar poblaciones, limpieza del cauce, entre otros. Por último, está el proceso de reconstrucción o construcción, aquí se elaboran planes enfocados en la recuperación post-desastre “que identifica proyectos de inversión pública para reconstruir o construir” (Cenepred, 2018a, p. 23). Ambos procedimientos, la gestión correctiva y la reconstrucción viene realizándose bajo la ARCC (Ley N° 30556, 2017), esto mediante el proyecto ya mencionado sobre la protección de riberas del río Huaura.

En este proyecto se está realizando la zonificación del peligro mediante estudios hidráulicos, geotécnicos, de ingeniería, etc, sin tomar en cuenta estudios que le preceden como la elaboración de instrumentos de la gestión correctiva y prospectiva. Sin embargo, es de suma importancia, puesto que contribuye a la reducción del riesgo ante inundaciones. A la actualidad, para la zona del área de estudio de la presente investigación, el proyecto se encuentra paralizado en la etapa del diseño definitivo e inicios de la construcción (Informe N° 0184-2023-ARCC/DE/DAI-AGRR, 2023). Sus medidas propuestas se basan sobre todo en construcciones para hacerle frente al peligro, quedaría aún la brecha que se recomienda, el desarrollo de medidas que incrementen la resiliencia y preparación ante un desastre (gestión reactiva) (Cenepred, 2018a).

Finalmente, según el Cenepred (2018a), quedaría incorporar los instrumentos técnicos generados en la planificación estratégica (PDCL), el cual permite “permite determinar el uso y ocupación ordenada, segura y sostenible del espacio urbano y rural” (p. 24). Y también, incorporarlo en la planificación

territorial (PDU) para “establecer parámetros para la clasificación del tipo de suelo y la zonificación, establecer mecanismos para reasentar a la población ubicada en zonas de muy alto riesgo no mitigable, dar normas especiales para la reducción de la vulnerabilidad” (p. 24). Para programar y llevar a cabo las acciones y actividades propuestas se realizan mediante el financiamiento del PP068 y el Fondes. El Cenepred es la entidad encargada de brindar asesoramiento técnico a los gobiernos (Cenepred, 2018a). La función principal de un gobierno es velar por el bienestar de sus ciudadanos, así como generar crecimiento económico y cuidar el medio ambiente, es por ello, que la municipalidad de Sayán debería desarrollar esta área de GRD.

8.1.2 La importancia una gestión local del riesgo ante inundaciones

Como se ha visto, la necesidad de una gestión local, a pequeña escala, ha sido la influencia en esta investigación. Estudios a nivel nacional de la GRD ante inundaciones y otros tipos de fenómenos, no permiten hacer una evaluación local. Puesto que no considera las particularidades de cada comunidad. El Perú cuenta con los instrumentos de Plan de Gestión del Riesgo de desastre, Plan de Preparación, Plan de Operaciones de Emergencia, entre otros, que existen para el nivel nacional, regional, provincial y distrital (Lozano, 2011). Sin embargo, muchos de estos planes no existen o no son accesibles aún a nivel regional, provincial, distrital y menos comunitario. Ante el riesgo eminente del cambio climático antropogénico y sus probables consecuencias en los fenómenos naturales, es de relevancia el desarrollo de estos planes a nivel local como distrital y comunitario. Puesto que sin esta información detallada no se podrán tomar acciones para la gestión de los riesgos dentro de las comunidades.

Este fenómeno de la inundación, a diferencia de otros fenómenos, es uno de los más comunes, e intervienen claramente el factor climático (precipitación) e hidrológico. Estos factores no solo son relevantes en el contexto del calentamiento global y cambio climático, sino que, además, la problemática con el agua para el

consumo y la seguridad alimentaria es otro tópico relevante en nuestros días (Guerra & Saco, 2008). Las inundaciones harían más difícil el procesamiento en el tiempo de agua potable y/o riego, además, afectaría el abastecimiento de agua. Ante ello, es necesaria información detallada sobre los riesgos de inundaciones para la toma de acciones de las autoridades correspondientes.

Si bien esta investigación no ha abarcado la vulnerabilidad completa de las poblaciones en el centro poblado de Sayán, este es un tema de relevancia. En esta investigación se ha evaluado el peligro, y a grandes rasgos, la exposición, un componente de la vulnerabilidad, pero no se ha visto a mayor profundidad ni se ha desarrollado esta temática. Por temas de extensión y logística no se ha abarcado la vulnerabilidad, pero, al desarrollar el peligro, más la delimitación de la faja marginal de la Resolución Directoral N° 0191-2022-ANA-AAA.CF. (2022), es un inicio y además al estar en escala local, abre camino para una continuidad por parte de las autoridades municipales o a la academia de desarrollar la evaluación completa del riesgo de inundaciones en Sayán.

La información generada en esta investigación es complementaria a la delimitación de las fajas marginales y abren pase para tomar medidas iniciales en el ordenamiento del territorio, puesto que dan a conocer las áreas en situación de peligro y alerta a la población. Por ello, es recomendable que las autoridades den a conocer esta información inicial a las poblaciones por medio de charlas participativas y murales expositivos. Además de ello, se plantee la continuidad del estudio para comprender el riesgo a inundación presente en Sayán.

9 BIBLIOGRAFÍA

Alfaro, T., & Quiñones, J. (2015). *Identificación de poblaciones vulnerables por activación de quebradas*. Autoridad Nacional del Agua. <https://hdl.handle.net/20.500.12543/3823>

Autoridad Nacional del Agua. (2016a). *Identificación de zonas vulnerables ante inundaciones en ríos y quebradas 2016*. <https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/documento/2580>

Autoridad Nacional del Agua. (2016b). *Mapa de ubicación de poblaciones vulnerables por inundación de la quebrada Costa verde, distrito Sayán, Lima*. [Mapa]. Sistema de Información para la Gestión del Riesgo de Desastre. <https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/documento/5844>

Autoridad Nacional del Agua. (2017). *Delimitación de fajas marginales*. <https://repositorio.ana.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12543/4447/ANA0002862.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Autoridad Nacional del Agua. (2024, 31 de enero). *¿Qué es una faja marginal y por qué es importante?* [Infografía]. Plataforma digital única del Estado Peruano. <https://www.gob.pe/institucion/ana/informes-publicaciones/5139289-que-es-una-faja-marginal-y-por-que-es-importante>

Autoridad Nacional del Agua. (s. f.). *La regulación de las fajas marginales*. [Diapositivas de Power Point]. https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/fajas_marginales_0.pdf

Auge, M. (2009). *Hidrogeología de llanuras*. Universidad de Buenos Aires.

Basile, P. (2018). *Transporte de sedimentos y morfodinámica de ríos aluviales*. Universidad Nacional de Rosario.

Blanc, M., & Zorgno, I. (2020). *Aplicación de vapor para el control de los huevos del mosquito Aedes aegypti*. [Proyecto Final de la Carrera, Instituto Tecnológico de Buenos Aires]. <http://ri.itba.edu.ar/handle/123456789/3254>

Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres. (2014a). *Manual para la evaluación de riesgos originados por inundaciones fluviales*. <https://dimse.cenepred.gob.pe/simse/cenepred/docs/MAN-manual-evar-inundac-fluviales.pdf>

Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres. (2014b). *Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales* 02 Versión. <https://dimse.cenepred.gob.pe/simse/cenepred/docs/MAN-manual-evaluacion-riesgos-natural-v2.pdf>

Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres. (2014c). *Plan nacional de gestión del riesgo de desastres - PLANAGERD 2014-2021*. <https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/documento/417>

Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres. (2016). *Guía Metodológica Elaboración de Plan de Reasentamiento Poblacional en zonas de muy alto riesgo mitigable*. <https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/documento/2064>

Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres. (2018a) *Orientaciones para la implementación de la gestión prospectiva y correctiva del riesgo de desastres en los gobiernos regionales y locales*. <https://cenepred.gob.pe/web/wp->

content/uploads/Guia_Manuales/Orientaciones%20para%20implementar%20la%20GP%20y%20GC%20(002).pdf

Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres. (2018b). *Escenarios de riesgos por lluvias intensas*. <https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/documento/7101>

Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres. (2021) *Escenarios de riesgos por lluvias intensas*. <https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/documento/11283>

Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres. (s. f.). [Sistema de Información para la Gestión de Riesgos y Desastres]. <http://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/mapa>

Charlton, R. (2008). *Fundamentals of fluvial geomorphology*. Routledge, Taylor & Francis Group.

Construreyes Ingeniería. (29 de junio de 2020). *Cómo Obtener la pendiente de un terreno, usando manguera de niveles*. [Video]. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=ttR-dEyarM4>

Coordinación Nacional de Protección Civil México. (2015). *Índice de resiliencia a nivel municipal*. <http://www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx/descargas/Methodologias/Resiliencia.pdf>

Dávila, C., Vilar, D., Villanueva, G. y Quiroz, L. (2010). *Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de microcentrales hidroeléctricas*. Soluciones Prácticas. <https://iiab.me/modules/es-soluciones/pubs/NjU1.pdf>

Decreto Supremo N° 012/94/AG. (1994). Declara áreas intangibles los cauces, riberas y fajas marginales de los ríos, arroyos, lagos, lagunas y vasos de almacenamiento. 25 de marzo de 1994.

Diez, A., Laín, L. y Llorente, M. (2009a). *A Handbook on Flood Hazard Mapping Methodologies*. Geological Survey of Spain.

Diez, A., Laín, L. y Llorente, M. (2009b). Riesgos por avenidas e inundaciones fluviales. *Enseñanzas de las ciencias de la tierra*. 17(3), 254-263. <https://raco.cat/index.php/ECT/article/view/199928>

Elliott, S. (2009). *El río y la forma: Introducción a la geomorfología fluvial*. RIL Editores.

Endara, S. (2016). *Ciclos horarios de precipitación en el Perú utilizando información satelital*. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. <https://hdl.handle.net//20.500.12542/112>

Erwanto, Z., & Sugata, A. (2019). The effect of river flow velocity distribution on indications of the occurrence of degradation of the Tambong River basin. *Journal of Physics. Conference Series*, 1450(012030), 1-11. 10.1088/1742-6596/1450/1/012030

Fernández, C. (2016). *Ocurrencia y gestión de inundaciones en América Latina y el Caribe: Factores claves y experiencia adquirida*. Banco Interamericano de desarrollo.

<https://publications.iadb.org/publications/spanish/viewer/Ocurrencia-y-gesti%C3%B3n-de-inundaciones-en-Am%C3%A9rica-Latina-y-el-Caribe-Factores-claves-y-experiencia-adquirida.pdf>

- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (2012). *Gestión de los riesgos de fenómenos meteorológicos extremos y desastres para mejorar la adaptación al cambio climático. Resumen para responsables de políticas.*
- Guerra, A., & Saco, V. (2008). El Derecho y la problemática del agua en el Perú. En A. Guevara (Ed.), *Derechos y Conflictos de Agua en el Perú* (pp. 13-26). Pontificia Universidad Católica del Perú. <https://departamento.pucp.edu.pe/derecho/wp-content/uploads/2019/05/derechos-y-conflictos-de-agua-en-el-peru.pdf>
- Informe N° 0184-2023-ARCC/DE/DAI-AGRR. (2023). Sobre aprobación y registro de consistencia de las acciones: “Construcción de defensa ribereña: Diques entre Progresivas 9+945 a 25+965” y “Adquisición de área verde: Liberación de áreas, entre Progresivas 9+945 a 25+965” del PI con CUI N° 2499886 (Río Huaura). 27 de setiembre de 2023.
- Instituto Nacional de Defensa Civil. (2006). *Manual básico para la estimación del riesgo.* http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/pdf/esp/doc319/doc319_contenido.pdf
- Instituto Nacional de Defensa Civil. (2011). *Manual de Estimación del Riesgo ante Inundaciones Fluviales.* <http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/pdf/esp/doc1743/doc1743-contenido.pdf>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2017). [Sistema de consulta de Bases de datos]. <https://censos2017.inei.gob.pe/redatam/>
- Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico. (1990). *Estudio geodinámico de la cuenca del río Huaura.* <https://hdl.handle.net/20.500.12544/274>

Lavado, W., Silvestre, E. y Felipe, O. (2009). Impacto de ENOS en la Hidrología del Perú (1968-2006). *Revista Peruana Geo-atmosférica*, 1, 48-57. <http://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/1070>

Ley N° 30556. Ley que aprueba disposiciones de carácter extraordinario para las intervenciones del gobierno nacional frente a desastres y que dispone la creación de la Autoridad para la Reconstrucción Con Cambios. (29 de abril de 2017). <https://busquedas.elperuano.pe/dispositivo/NL/1514994-1>

Ley N° 30645. Ley que modifica la ley 29869, ley de reasentamiento poblacional para zonas de muy alto riesgo no mitigable. (17 de agosto de 2017). <https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/ley-que-modifica-la-ley-29869-ley-de-reasentamiento-poblaci-ley-n-30645-1555415-5/>

Lozano, O. (2011). *Guía metodológica para incorporar la gestión del riesgo de desastres en la planificación del desarrollo*. Centro de Estudios y Prevención de Desastres https://predes.org.pe/wp-content/uploads/2017/10/guia-metodologica_grd_pd.pdf

Ministerio de Transporte y Comunicaciones. (s. f.). *Manual de hidrología, hidráulica y drenaje*. http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/P_recientes/970.pdf

Municipalidad distrital de Sayán. (2011). *Plan de desarrollo concertado 2011-2021*. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2162648/Plan%20Desarrollo%20Concertado%20-%202011%20.pdf?v=1631130835>

Municipalidad distrital de Sayán (2017). *Memoria anual 2017 municipalidad distrital de Sayán*.

Municipalidad Distrital de Sayán (13 de enero de 2023a). *Alcalde Jesús Torres sostuvo reunión con representantes de la empresa OHLA encargada de la*

ejecución del proyecto de las defensas ribereñas. Plataforma del Estado Peruano. <https://www.gob.pe/institucion/munisayan/noticias/695573-alcalde-jesus-torres-sostuvo-reunion-con-representantes-de-la-empresa-ohla-encargada-de-la-ejecucion-del-proyecto-de-las-defensas-riberenas>

Municipalidad Distrital de Sayán (14 de abril de 2023b). *Alcalde Jesús Torres participó de taller del proyecto de Defensa Ribereña del Río Huaura desarrollado por las empresas OHLA y TYPESA*. Plataforma del Estado Peruano. <https://www.gob.pe/institucion/munisayan/noticias/743937-alcalde-jesus-torres-participo-de-taller-del-proyecto-de-defensa-riberena-del-rio-huaura-desarrollado-por-las-empresas-ohla-y-typsa>

Municipalidad distrital de Sayán. (s. f.). Home [Facebook page]. Facebook. Recuperado el 22 de junio del 2024. <https://www.facebook.com/municipalidaddistritaldesayan>

Obrascón Huarte Lain. (s. f.). *Entrega de las defensas ribereñas del río Cañete y río Huaura*. <https://solucionesintegrales-rioscaneteyhuaura.com.pe/proyecto.html>

Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres. (s. f.). *Region: Perú*. DesInventar Sendai. <https://www.desinventar.net/>

Ordoñez, J. (2011) *Cartilla Técnica: Ciclo hidrológico*. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/ciclo_hidrologico.pdf

Organización de Estados Americanos. (1993) *Manual Sobre el Manejo de Peligros Naturales en la Planificación para el Desarrollo Regional Integrado*.

<https://www.oas.org/DSD/publications/Unit/oea65s/begin.htm#Contents>

Organización Meteorológica Mundial. (2011). *Guía de prácticas hidrológicas*.

Peña, F., Renou, F., Condori, E., Sánchez, M. y Pari, W. (2019). *Hidrogeología de la cuenca del río Huaura - región Lima*. Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2164>

Presidencia de Consejos de Ministros. (2021). *Política nacional de gestión del riesgo de desastres al 2050*. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1862231/Pol%C3%ADtica%20nacional%20de%20gesti%C3%B3n%20del%20riesgo%20de%20desastres%20al%202050.pdf.pdf?v=1619822381>

Quiñones, J. (2016). *Complementación de Identificación de poblaciones vulnerables por activación de quebradas 2016-2017*. Autoridad Nacional del Agua. <https://hdl.handle.net/20.500.12543/491>

Rentschler, J., & Salhab, M. (2020). *People in Harm's Way Flood Exposure and Poverty in 189 Countries*. World Bank. DOI: 10.1596/1813-9450-9447.

Resolución Directoral N° 0191-2022-ANA-AAA.CF. (2022). *Delimitación de la Faja Marginal con Modelamiento Hidráulico del Río Huaura – Sector Sayán, de 7.2 Km distrito de Sayán, provincia de Huaura, región Lima*. 3 de febrero de 2022.

Reuter, F., & Pedenovi, A. (2019). *Cátedra de Teledetección. Los drones y sus aplicaciones a la ingeniería*. Universidad Nacional de Santiago del Estero. https://fcf.unse.edu.ar/wp-content/uploads/2014/07/SD-43-Drones-y-su-aplicacion-a-la-ingenieria-REUTER_r.pdf

Robert, J., & Sierra, A. (2009). Construcción y refuerzo de la vulnerabilidad en dos espacios marginales de Lima. *Bulletin de l'Institut français d'études andines*, 38(3), 595-621. <https://doi.org/10.4000/bifea.2371>

Sun, R., Gao, G., Gong, Z. y Wu, J. (2019). A review of risk analysis methods for natural disasters. *Natural Hazards*, 100(1), 571-593. <https://doi.org/10.1007/s11069-019-03826-7>

Sánchez, J. (2017). *Cálculos estadísticos en Hidrología*. Universidad de Salamanca. https://hidrologia.usal.es/temas/calculos_esta.pdf

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (2014). *El fenómeno El Niño en el Perú*. https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2014/07/Dossier-El-Ni%C3%B1o-Final_web.pdf

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (21 de febrero del 2021). *Situación actual del río Huaura-Estación Sayán*. <https://www.senamhi.gob.pe/?p=avisos-detalle-hidrologicos&ca=23551&ce=4724966C#:~:text=Se%20esperan%20condiciones%20de%20riesgo,directo%20o%20cercano%20al%20r%C3%ADo>

[Tabla sobre Typical Manning coefficient values] (s. f.). Typical Manning coefficient values.

Tilloy A., Malamud, B., Winter, H. y Joly-Laugel, A. (2019). A review of quantification methodologies for multi-hazard interrelationships. *Earth-Science Reviews*, 196(1), 1-20. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2019.102881>

Vásquez, A. (s. f.). *Delimitación de las fajar marginales* [Diapositivas de PowerPoint]. Autoridad Nacional del Agua.

<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1755429/Ing.Ana%20Vasquez%20Fajas.pdf>

Velásquez, K. (2018). *Localización de albergues y evacuación de personas para casos de inundación en la costa peruana utilizando métodos de optimización multicriterio*. [Tesis de licenciatura, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio Digital de Tesis y Trabajos de Investigación PUCP.

Villacorta, S., Chira, J., Ochoa, M., Sánchez, M., Pari, W. y Valencia, M. (2010). *Estudio geoambiental de la cuenca del río Huaura*. Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico.

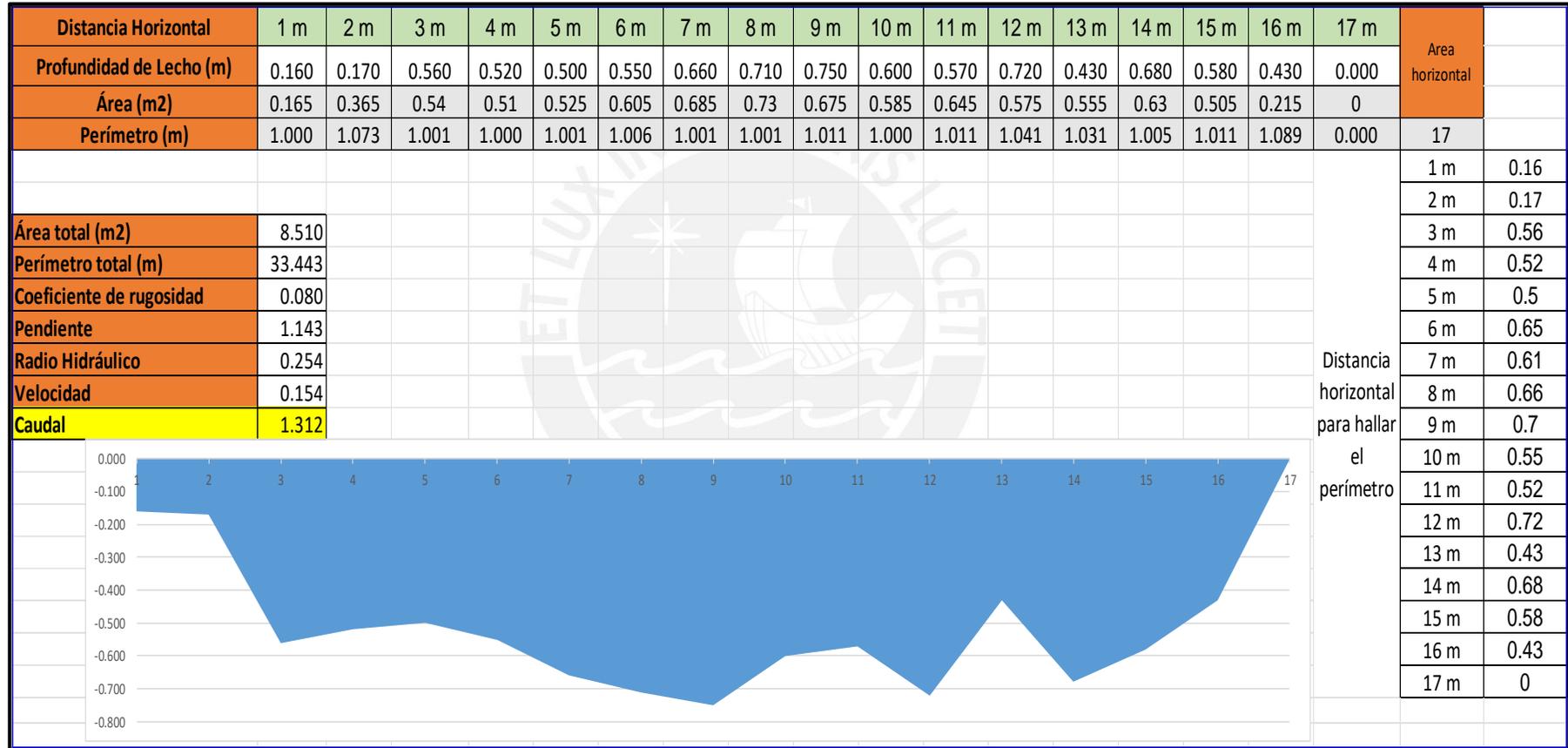
Wiki du Master Géographies Numeriques. (s. f.). *Digital Terrain Model (DTM)*. [Figura] <https://www.univ-st-etienne.fr/wikimastersig/doku.php/english:glossary:dtm>

World Vision. (s. f.). *Manual de manejo de cuencas*. https://www.uv.mx/oabcc/files/2018/11/MANUAL-DE-MANEJO-DE-CUENCAS_COMPLETO.pdf

10 ANEXOS

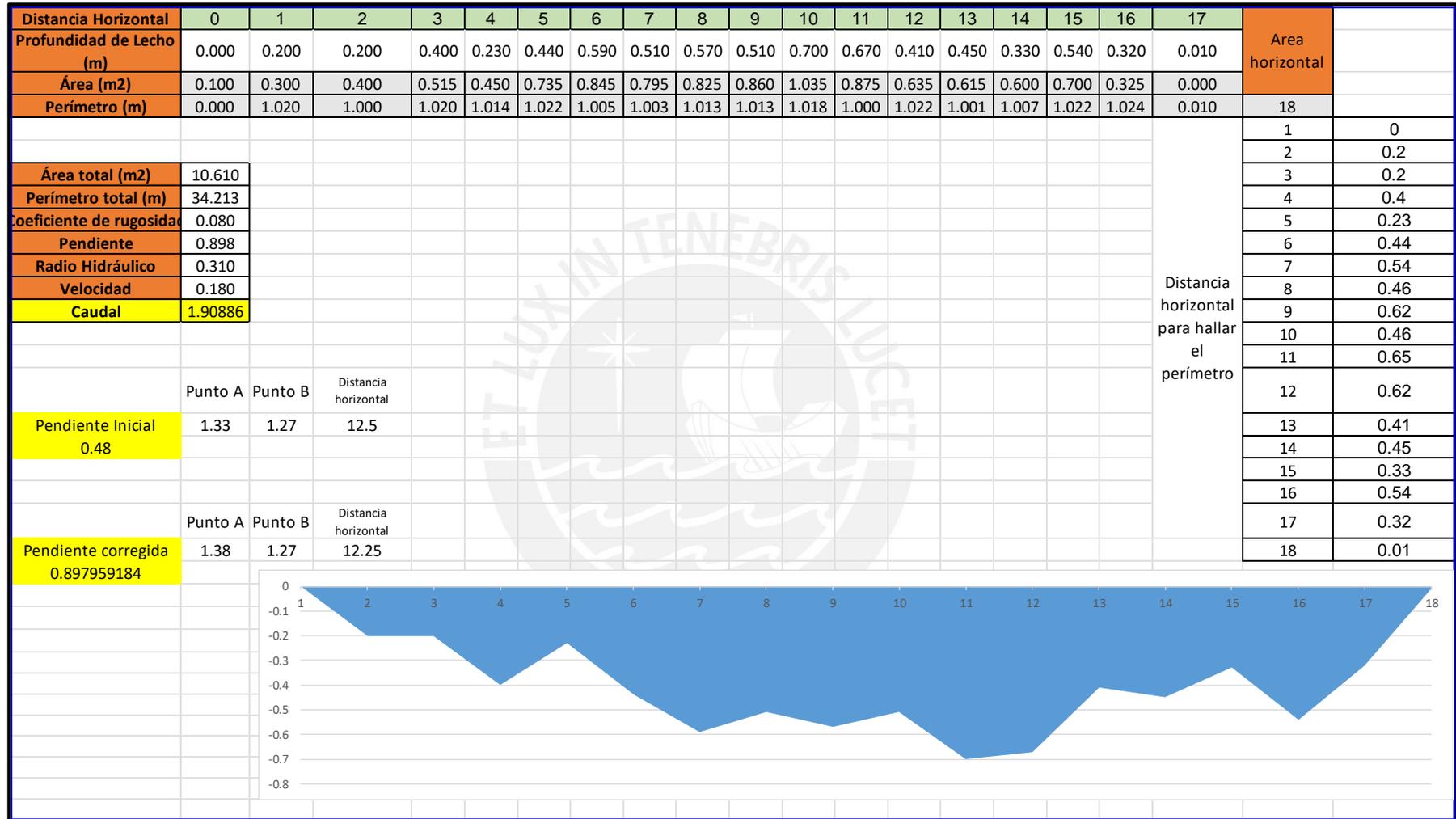
10.1 ANEXO 1: Plantilla inicial para el cálculo de caudal

Transecto nº 01



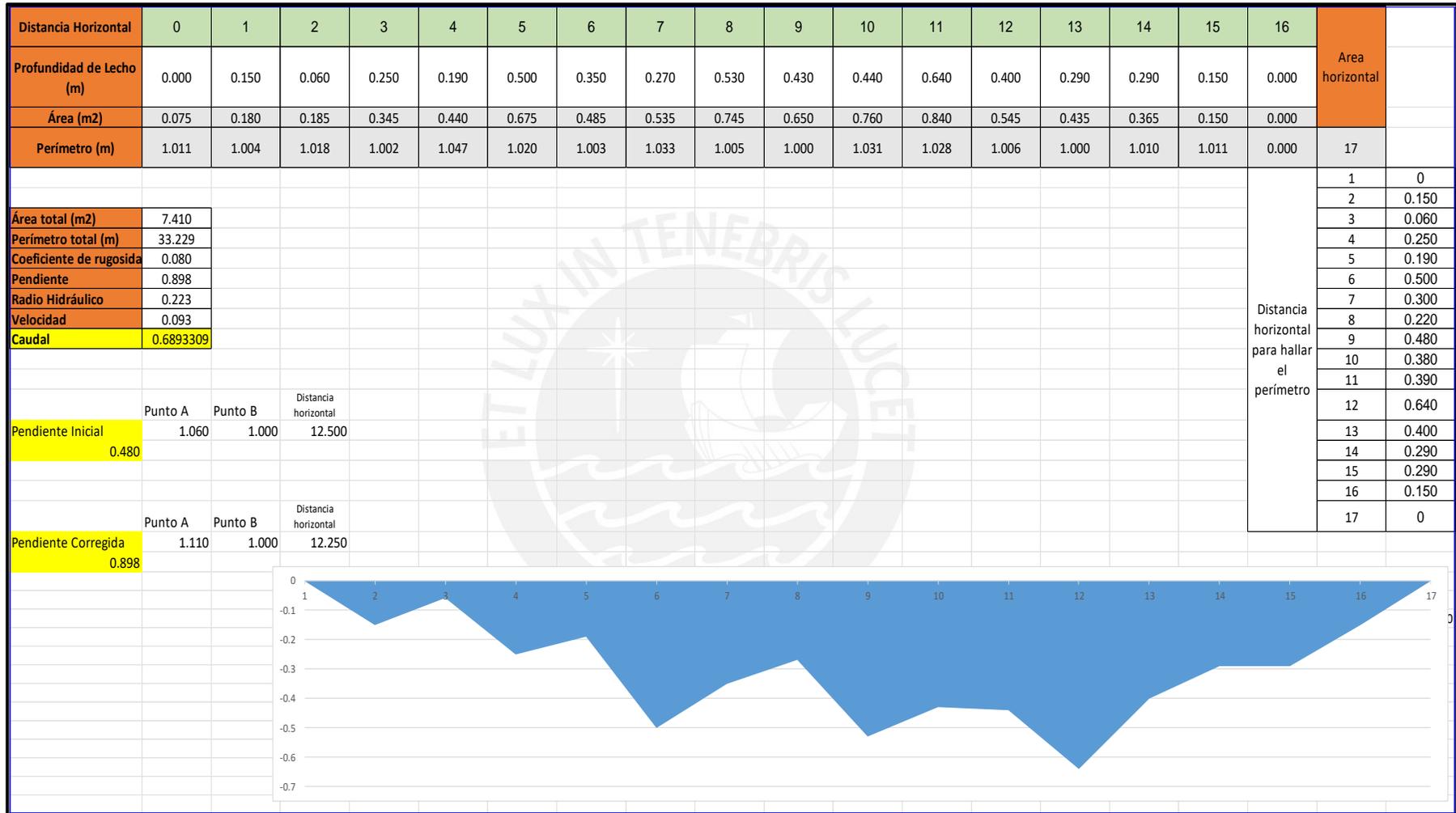
Fuente: Elaboración propia, 2023

Transecto nº 02



Fuente: Elaboración propia, 2023

Transecto nº 03



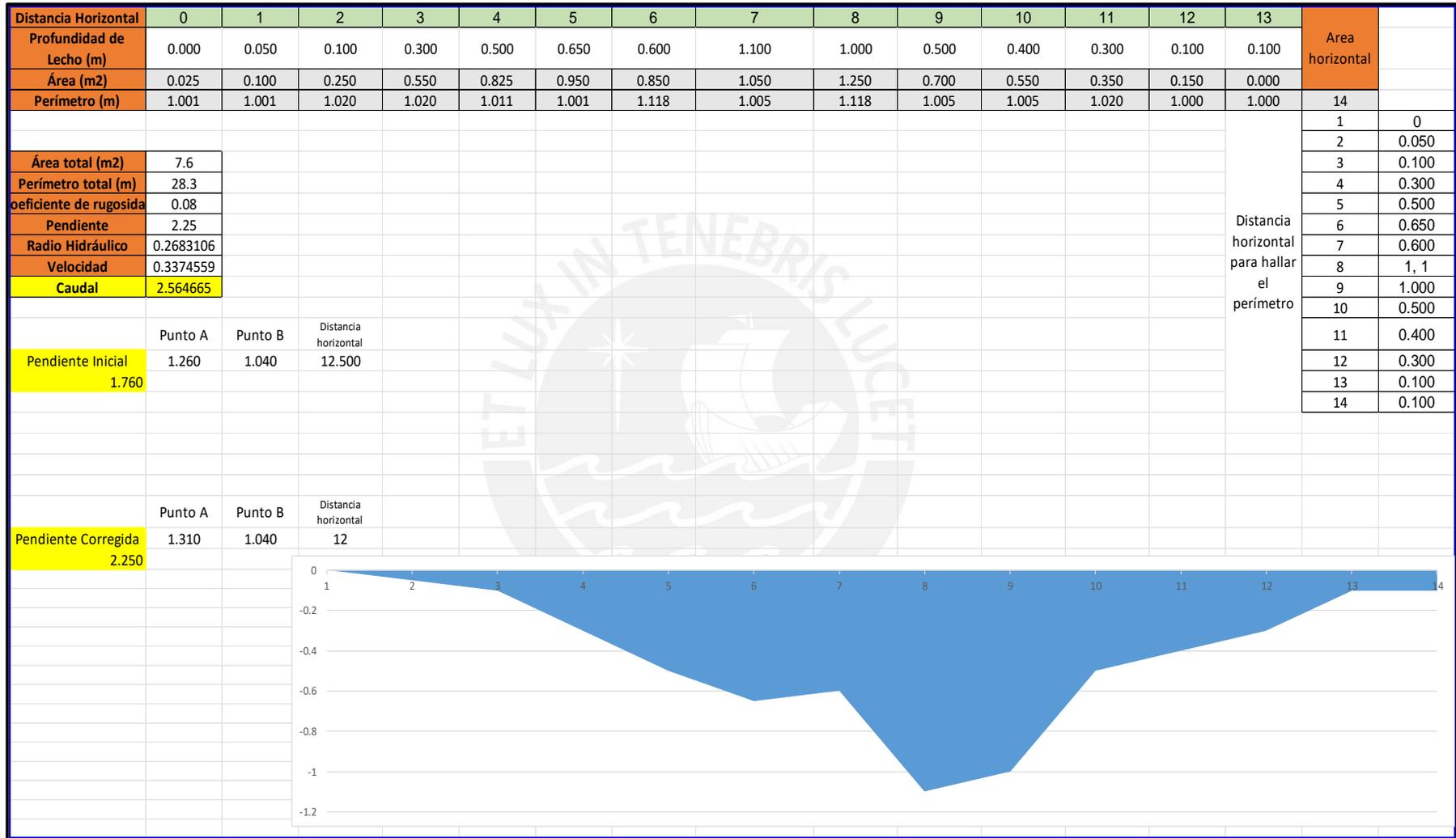
Fuente: Elaboración propia, 2023

Transecto nº 04

Distancia Horizontal	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Area horizontal		
Profundidad de Lecho (m)	0.000	0.690	0.530	0.850	0.830	0.940	0.580	0.260	0.010	0.050	0.000			
Área (m ²)	0.345	0.955	0.955	1.265	1.300	1.230	0.710	0.265	0.035	0.050	0.000			
Perímetro (m)	1.215	1.013	1.036	1.000	1.006	1.063	1.036	1.031	1.001	1.001	0.000		11	
Área total (m ²)	7.110											Distancia horizontal para hallar el perímetro	1	0
Perímetro total (m)	21.401												2	0.690
Coefficiente de rugosidad	0.080												3	0.530
Pendiente	2.041												4	0.800
Radio Hidráulico	0.332												5	0.780
Velocidad	0.469												6	0.890
Caudal	3.3365412												7	0.530
													8	0.260
												9	0.010	
												10	0.050	
												11	0	
Pendiente Inicial	Punto A	Punto B	Distancia horizontal											
1.6	1.350	1.150	12.500											
Pendiente Corregida	Punto A	Punto B	Distancia horizontal											
2.041	1.400	1.150	12.250											

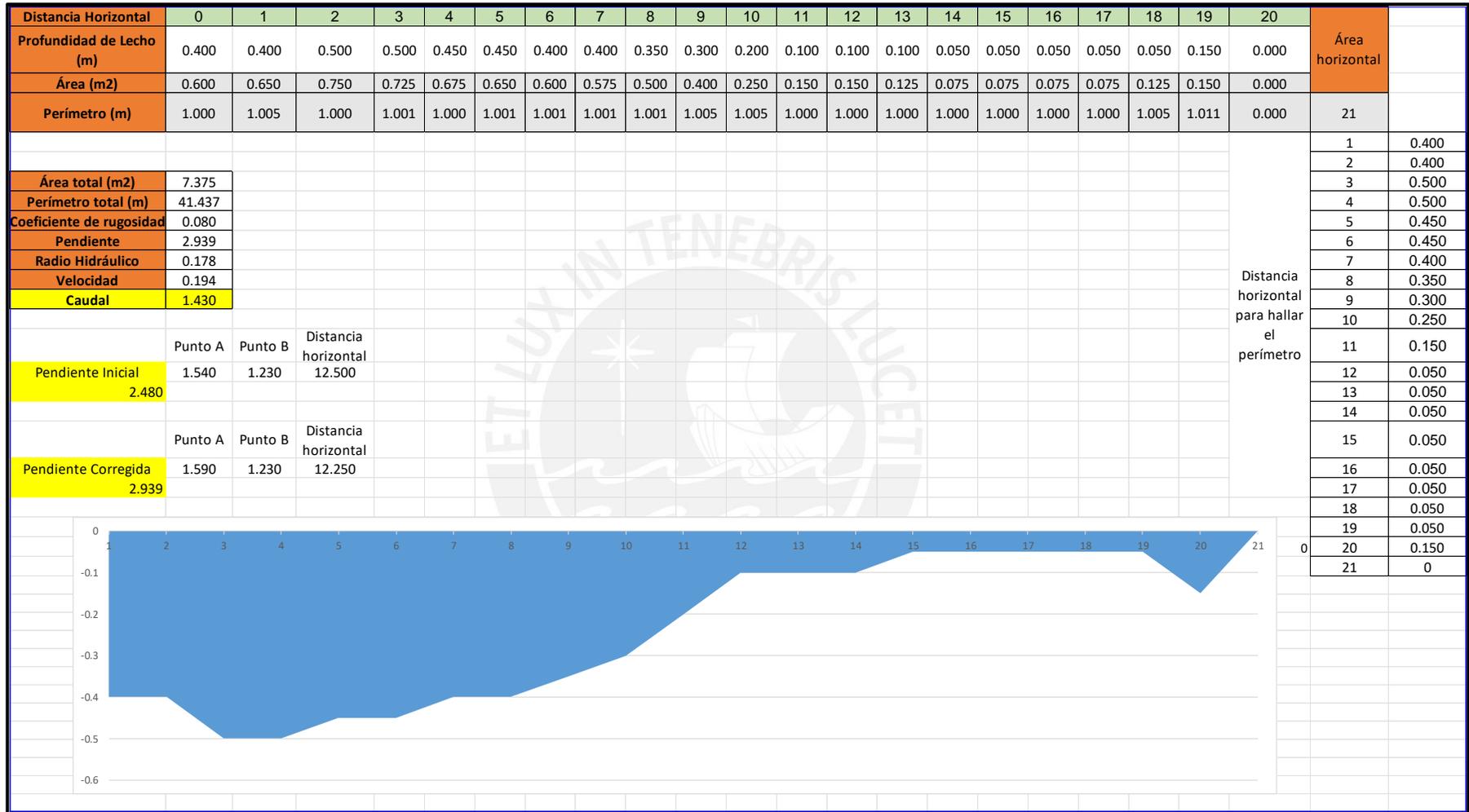
Fuente: Elaboración propia, 2023

Transecto nº 05



Fuente: Elaboración propia, 2023

Transecto nº 06



Fuente: Elaboración propia, 2023

10.2 ANEXO 2: Plantilla modificada para el cálculo de los caudales en sus 4 niveles

Transecto nº 01

-Nivel Bajo

Distancia horizontal: X	39.050	39.144	39.238	39.331	39.425	39.518	39.612
Profundidad de lecho: Z	0.037	0.175	0.312	0.450	0.587	0.725	0.862
Y	629.463	629.325	629.188	629.050	628.913	628.775	628.638
Área	0.010	0.023	0.036	0.049	0.061	0.074	0.095
Perímetro	0.166	0.166	0.166	0.166	0.166	0.166	0.312
Area t	17.429	Nivel Bajo					
Perímetro	37.446						
Coefficiente de rugosidad	0.080						
Pendiente	1.143						
Radio hidráulico	0.465						
Velocidad	0.516						
Caudal	8.991						

Fuente: Elaboración propia, 2023

-Nivel Medio

Distancia horizontal: X	38.489	38.583	38.676	38.770	38.863	38.957	39.050
Profundidad de lecho: Z	0.112	0.249	0.387	0.525	0.662	0.800	0.937
Y	630.288	630.151	630.013	629.875	629.738	629.600	629.463
Área	0.017	0.030	0.043	0.056	0.068	0.081	0.094
Perímetro	0.166	0.166	0.166	0.166	0.166	0.166	0.166
Area t	35.017	Nivel Medio					
Perímetro	45.641						
Coeficiente de rugosidad	0.080						
Pendiente	1.143						
Radio hidráulico	0.767						
Velocidad	1.401						
Caudal	49.075						

Fuente: Elaboración propia, 2023

-Nivel Alto

Distancia horizontal: X	36.524	36.617	36.711	36.805	36.898	36.992	37.085	37.179
Profundidad de lecho: Z	0.008	0.017	0.026	0.035	0.044	0.053	0.062	0.071
Y	630.992	630.983	630.974	630.965	630.956	630.947	630.938	630.929
Área	0.001	0.002	0.003	0.004	0.005	0.005	0.006	0.007
Perímetro	0.094	0.094	0.094	0.094	0.094	0.094	0.094	0.094
Area t	49.608	Nivel Alto						
Perímetro	59.363							
Coefficiente de rugosidad	0.080							
Pendiente	1.143							
Radio hidráulico	0.836							
Velocidad	1.663							
Caudal	82.483							

Fuente: Elaboración propia, 2023

-Nivel Muy Alto

Distancia horizontal: X	23.423	23.517	23.610	23.704	23.797	23.891	23.985
Profundidad de lecho: Z	0.039	0.081	0.124	0.166	0.208	0.251	0.293
Y	631.461	631.419	631.376	631.334	631.292	631.249	631.207
Área	0.006	0.010	0.014	0.018	0.021	0.025	0.027
Perímetro	0.103	0.103	0.103	0.103	0.103	0.103	0.094
Area t	67.522	Nivel Muy Alto					
Perímetro	95.945						
Coefficiente de rugosidad	0.080						
Pendiente	1.143						
Radio hidráulico	0.704						
Velocidad	1.179						
Caudal	79.624						

Fuente: Elaboración propia, 2023

Transecto nº 02

-Nivel Bajo

Distancia horizontal: X		41.733	41.829	41.924	42.020	42.115	42.211	42.306
Profundidad de lecho: Z		0.007	0.033	0.059	0.085	0.110	0.136	0.162
Y		642.993	642.967	642.941	642.915	642.890	642.864	642.838
Área individual		0.002	0.004	0.007	0.009	0.012	0.014	0.017
Perímetro individual		0.099	0.099	0.099	0.099	0.099	0.099	0.099
Área total		40.161	NIVEL BAJO					
Perímetro total		57.868						
Coefficiente de rugosidad		0.080						
Pendiente		0.898						
Radio hidráulico		0.694						
Velocidad		0.901						
Caudal		36.187						

Fuente: Elaboración propia, 2023

-Nivel Medio

Distancia horizontal: X	38.106	38.202	38.297	38.393	38.488	38.584
Profundidad de lecho: Z	0.024	0.050	0.076	0.102	0.128	0.154
Y	643.976	643.950	643.924	643.898	643.872	643.846
Área individual	0.004	0.006	0.008	0.011	0.013	0.016
Perímetro individual	0.099	0.099	0.099	0.099	0.099	0.099
Área total	71.220	NIVEL MEDIO				
Perímetro total	70.455					
Coefficiente de rugosidad	0.080					
Pendiente	0.898					
Radio hidráulico	1.011					
Velocidad	1.912					
Caudal	136.143					

Fuente: Elaboración propia, 2023

-Nivel Muy Alto

Distancia horizontal: X	26.984	27.075	27.165	27.255	27.345	27.436	27.526
Profundidad de lecho: Z	0.214	0.362	0.402	0.521	0.524	0.534	0.534
Y	645.286	645.138	645.098	644.979	644.976	644.966	644.966
Área individual	0.026	0.034	0.042	0.047	0.048	0.048	0.047
Perímetro individual	0.174	0.098	0.150	0.090	0.091	0.090	0.093
Área total	136.019	NIVEL MUY ALTO					
Perímetro total	105.362						
Coefficiente de rugosidad	0.080						
Pendiente	0.898						
Radio hidráulico	1.291						
Velocidad	3.118						
Caudal	424.078						

Fuente: Elaboración propia, 2023

Transecto nº 03

-Nivel Bajo

Distancia horizontal: X	52.108	52.193	52.277	52.362	52.447
Profundidad de lecho: Z	0.100	0.300	0.500	0.700	0.900
Y	651.400	651.200	651.000	650.800	650.600
Área	0.017	0.034	0.051	0.068	0.085
Perímetro	0.217	0.217	0.217	0.217	0.217
Area total	17.118	Nivel Bajo			
Perímetro	37.796				
Coefficiente de rugosidad	0.080				
Pendiente	0.898				
Radio hidráulico	0.453				
Velocidad	0.384				
Caudal	6.569				

Fuente: Elaboración propia, 2023

-Nivel Medio

Distancia horizontal: X	51.516	51.600	51.685	51.770	51.854	51.939	52.023
Profundidad de lecho: Z	0.000	0.200	0.400	0.600	0.800	1.000	1.200
Y	652.800	652.600	652.400	652.200	652.000	651.800	651.600
Área	0.008	0.025	0.042	0.059	0.076	0.093	0.110
Perímetro	0.217	0.217	0.217	0.217	0.217	0.217	0.217
Area total	42.950	Nivel Medio					
Perímetro	46.510						
Coefficiente de rugosidad	0.080						
Pendiente	0.898						
Radio hidráulico	0.923						
Velocidad	1.595						
Caudal	68.520						

Fuente: Elaboración propia, 2023

-Nivel Alto

Distancia horizontal: X	42.083	42.164	42.245	42.326	42.406	42.487	42.568	42.649
Profundidad de lecho: Z	0.034	0.036	0.037	0.039	0.040	0.042	0.043	0.044
Y	652.966	652.964	652.963	652.961	652.960	652.958	652.957	652.956
Área	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.004	0.004
Perímetro	0.081	0.081	0.081	0.081	0.081	0.081	0.081	0.081
Area total	48.435	Nivel Alto						
Perímetro	66.367							
Coefficiente de rugosidad	0.080							
Pendiente	0.898							
Radio hidráulico	0.730							
Velocidad	0.996							
Caudal	48.260							

Fuente: Elaboración propia, 2023

-Nivel Muy Alto

Distancia horizontal: X	41.680	41.760	41.841	41.922	42.003	42.083	42.164
Profundidad de lecho: Z	0.095	0.181	0.337	0.408	0.533	0.634	0.636
Y	653.505	653.419	653.263	653.192	653.067	652.966	652.964
Área	0.011	0.021	0.030	0.038	0.047	0.051	0.051
Perímetro	0.118	0.176	0.107	0.149	0.130	0.081	0.081
Area total	67.937	Nivel Muy Alto					
Perímetro	70.575						
Coefficiente de rugosidad	0.080						
Pendiente	0.898						
Radio hidráulico	0.963						
Velocidad	1.734						
Caudal	117.769						

Fuente: Elaboración propia, 2023

Transecto nº 04

-Nivel Bajo

Distancia horizontal: X	86.5010	86.5790	86.6571	86.7351	86.8132	86.8912	86.9692	87.0473
Profundidad de lecho: Z	0.0184	0.0432	0.0680	0.0929	0.1177	0.1426	0.1674	0.1922
Y	660.4816	660.4568	660.4320	660.4071	660.3823	660.3574	660.3326	660.3078
Área	0.0024	0.0043	0.0063	0.0082	0.0102	0.0121	0.0140	0.0160
Perímetro	0.0819	0.0819	0.0819	0.0819	0.0819	0.0819	0.0819	0.0819
Area total	7.979	Nivel Bajo						
Perímetro	13.391							
Coefficiente de rugosidad	0.080							
Pendiente	2.041							
Radio hidráulico	0.596							
Velocidad	1.509							
Caudal	12.044							

Fuente: Elaboración propia, 2023

-Nivel Medio

Distancia horizontal: X	83.301	83.379	83.457	83.535	83.614	83.692	83.770	83.848
Profundidad de lecho: Z	0.000	0.025	0.050	0.075	0.099	0.124	0.149	0.174
Y	661.500	661.475	661.450	661.425	661.401	661.376	661.351	661.326
Área	0.001	0.003	0.005	0.007	0.009	0.011	0.013	0.015
Perímetro	0.082	0.082	0.082	0.082	0.082	0.082	0.082	0.082
Area total	26.795	Nivel Medio						
Perímetro	46.773							
Coefficiente de rugosidad	0.080							
Pendiente	2.041							
Radio hidráulico	0.573							
Velocidad	1.395							
Caudal	37.389							

Fuente: Elaboración propia, 2023

-Nivel Alto

Distancia horizontal: X		62.800	62.883	62.967	63.050	63.134	63.218	63.301
Profundidad de lecho: Z		0.002	0.006	0.010	0.014	0.018	0.022	0.025
Y		662.498	662.494	662.490	662.486	662.482	662.478	662.475
Área		0.000	0.001	0.001	0.001	0.002	0.002	0.002
Perímetro		0.084	0.084	0.084	0.084	0.084	0.084	0.084
Area total	60.280	Nivel Alto						
Perímetro	91.611							
Coefficiente de rugosidad	0.080							
Pendiente	2.041							
Radio hidráulico	0.658							
Velocidad	1.841							
Caudal	110.968							

Fuente: Elaboración propia, 2023

-Nivel Muy Alto

Distancia horizontal: X		54.359	54.442	54.526	54.610	54.693	54.777	54.860
Profundidad de lecho: Z		0.005	0.010	0.015	0.020	0.025	0.030	0.036
Y		662.995	662.990	662.985	662.980	662.975	662.970	662.964
Área		0.001	0.001	0.001	0.002	0.002	0.003	0.003
Perímetro		0.084	0.084	0.084	0.084	0.084	0.084	0.084
Area total		84.884	Nivel Muy Alto					
Perímetro		110.168						
Coeficiente de rugosidad		0.080						
Pendiente		2.041						
Radio hidráulico		0.770						
Velocidad		2.524						
Caudal		214.250						

Fuente: Elaboración propia, 2023

Transecto nº 05

-Nivel Bajo

Distancia horizontal: X		115.061	115.146	115.230	115.315	115.399	115.484	115.568	115.652
Profundidad de lecho: Z		0.037	0.098	0.159	0.220	0.280	0.341	0.402	0.463
Y		677.963	677.902	677.841	677.780	677.720	677.659	677.598	677.537
Área		0.006	0.011	0.016	0.021	0.026	0.031	0.037	0.042
Perímetro		0.104	0.104	0.104	0.104	0.104	0.104	0.104	0.104
Area total		32.791	Nivel Bajo						
Perímetro		44.575							
Coeficiente de rugosidad		0.080							
Pendiente		2.041							
Radio hidráulico		0.736							
Velocidad		2.301							
Caudal		75.449							

Fuente: Elaboración propia, 2023

-Nivel Medio

Distancia horizontal: X		113.541	113.626	113.710	113.795	113.879	113.964
Profundidad de lecho: Z		0.043	0.104	0.165	0.225	0.286	0.347
Y		679.057	678.996	678.935	678.875	678.814	678.753
Área		0.006	0.011	0.016	0.022	0.027	0.032
Perímetro		0.104	0.104	0.104	0.104	0.104	0.104
Area total	57.574	Nivel Medio					
Perímetro	51.553						
Coefficiente de rugosidad	0.080						
Pendiente	2.041						
Radio hidráulico	1.117						
Velocidad	5.303						
Caudal	305.308						

Fuente: Elaboración propia, 2023

-Nivel Alto

Distancia horizontal: X		53.884	53.967	54.050	54.133	54.216	54.299
Profundidad de lecho: Z		0.026	0.056	0.086	0.116	0.176	0.176
Y		679.474	679.444	679.414	679.384	679.324	679.324
Área		0.003	0.006	0.008	0.012	0.015	0.015
Perímetro		0.088	0.088	0.088	0.102	0.083	0.083
Area total	83.632	Nivel Alto					
Perímetro	172.454						
Coeficiente de rugosidad	0.080						
Pendiente	2.041						
Radio hidráulico	0.485						
Velocidad	1.000						
Caudal	83.626						

Fuente: Elaboración propia, 2023

-Nivel Muy Alto

Distancia horizontal: X	52.472	52.555	52.638	52.721	52.804	52.887	52.970
Profundidad de lecho: Z	0.019	0.049	0.078	0.108	0.138	0.168	0.198
Y	679.981	679.951	679.922	679.892	679.862	679.832	679.802
Área	0.003	0.005	0.008	0.010	0.013	0.015	0.018
Perímetro	0.088	0.088	0.088	0.088	0.088	0.088	0.088
Area total	126.313	Nivel Muy Alto					
Perímetro	177.041						
Coefficiente de rugosidad	0.080						
Pendiente	2.041						
Radio hidráulico	0.713						
Velocidad	2.164						
Caudal	273.376						

Fuente: Elaboración propia, 2023

Transecto nº 06

-Nivel Bajo

Distancia horizontal: X		119.462	119.545	119.627	119.710	119.793	119.876	119.958
Profundidad de lecho: Z		0.057	0.116	0.176	0.236	0.295	0.355	0.414
Y		679.443	679.384	679.324	679.264	679.205	679.145	679.086
Área		0.007	0.012	0.017	0.022	0.027	0.032	0.037
Perímetro		0.102	0.102	0.102	0.102	0.102	0.102	0.102
Area total	16.410	Nivel Bajo						
Perímetro	54.421							
Coefficiente de rugosidad	0.080							
Pendiente	2.939							
Radio hidráulico	0.302							
Velocidad	0.557							
Caudal	9.134							

Fuente: Elaboración propia, 2023

-Nivel Medio

Distancia horizontal: X		118.055	118.138	118.221	118.304	118.386	118.469
Profundidad de lecho: Z		0.044	0.103	0.163	0.222	0.282	0.342
Y		680.456	680.397	680.337	680.278	680.218	680.158
Área		0.006	0.011	0.016	0.021	0.026	0.031
Perímetro		0.102	0.102	0.102	0.102	0.102	0.102
Area total		41.569	Nivel Medio				
Perímetro		59.603					
Coeficiente de rugosidad		0.080					
Pendiente		2.939					
Radio hidráulico		0.697					
Velocidad		2.978					
Caudal		123.795					

Fuente: Elaboración propia, 2023

-Nivel Alto

Distancia horizontal: X	114.829	114.911	114.994	115.077	115.160	115.242	115.325	115.408	115.491	115.573	115.656
Profundidad de lecho: Z	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.047
Y	681.800	681.800	681.800	681.800	681.800	681.800	681.800	681.800	681.800	681.800	681.753
Área	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.006
Perímetro	0.083	0.083	0.083	0.083	0.083	0.083	0.083	0.083	0.083	0.095	0.099
Area total	85.92	Nivel Alto									
Perímetro	80.36273										
Coefficiente de rugosidad	0.08										
Pendiente	2.93877551										
Radio hidráulico	1.069197091										
Velocidad	6.999076043										
Caudal	601.385822										

Fuente: Elaboración propia, 2023

-Nivel Muy Alto

Distancia horizontal: X	84.483	84.569	84.655	84.741	84.827	84.913	84.999
Profundidad de lecho: Z	0.013	0.032	0.051	0.070	0.089	0.109	0.128
Y	681.987	681.968	681.949	681.930	681.911	681.891	681.872
Área	0.002	0.004	0.005	0.007	0.009	0.010	0.012
Perímetro	0.088	0.088	0.088	0.088	0.088	0.088	0.088
Area total	114.514	Nivel Muy Alto					
Perímetro	147.434						
Coefficiente de rugosidad	0.080						
Pendiente	2.939						
Radio hidráulico	0.777						
Velocidad	3.694						
Caudal	422.968						

Fuente: Elaboración propia, 2023

10.3 ANEXO 3: Croquis del centro poblado de Sayán



Fuente: Elaboración propia, 2024