



UNIVERSIDAD ANDINA
NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL
MENCIÓN: HIDRÁULICA



**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL AFLUENTE AZÁNGARO PARA
LA IDENTIFICACIÓN DE ZONAS INUNDABLES Y ALTERNATIVA DE
DISEÑO DE MUROS DE CONTENCIÓN EN EL DISTRITO
DE SANTIAGO DE PUPUJA – AZÁNGARO 2024**

TESIS PRESENTADA POR:
OSCAR BELIZARIO HUANCA

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE
MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL
MENCIÓN: HIDRÁULICA**

JULIACA – PERÚ
2024



**UNIVERSIDAD ANDINA
NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL
MENCIÓN: HIDRÁULICA**

**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL AFLUENTE AZÁNGARO PARA
LA IDENTIFICACIÓN DE ZONAS INUNDABLES Y ALTERNATIVA DE
DISEÑO DE MUROS DE CONTENCIÓN EN EL DISTRITO
DE SANTIAGO DE PUPUJA – AZÁNGARO 2024**

TESIS PRESENTADA POR:

OSCAR BELIZARIO HUANCA

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL

MENCIÓN: HIDRÁULICA

APROBADA POR:

PRESIDENTE DEL JURADO :



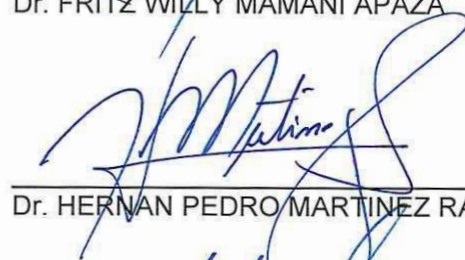
Dr. LEONEL SUASACA PELINCO

MIEMBRO DEL JURADO :



Dr. FRITZ WILLY MAMANI APAZA

MIEMBRO DEL JURADO :



Dr. HERNAN PEDRO MARTINEZ RAMOS

ASESOR DE TESIS :



Dr. ARNALDO YANA TORRES

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN :

TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – P51



TESIS UANCV



UNIVERSIDAD ANDINA

"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

ESCUELA DE POSGRADO



VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"



RESOLUCIÓN DIRECTORAL N° 558-2024-D-EPG-UANCV/J

Juliaca, 17 de diciembre del 2024

VISTOS:

El expediente N° 2024-013959 presentado por el (a) Bachiller, **OSCAR BELIZARIO HUANCA**, quien solicita nominación de jurados y Fecha y hora de sustentación de tesis, de la Escuela de Posgrado de la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez".

CONSIDERANDO:

Que, el (a) Bachiller. **OSCAR BELIZARIO HUANCA**, con número de DNI. **46292106** y con número de matrícula **1610101051**, ha solicitado asignación de jurados, Fecha y hora de sustentación de la tesis titulado: **EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL AFLUENTE AZÁNGARO PARA LA IDENTIFICACIÓN DE ZONAS INUNDABLES Y ALTERNATIVA DE DISEÑO DE MUROS DE CONTENCIÓN EN EL DISTRITO DE SANTIAGO DE PUPUJA – AZÁNGARO 2024**, para optar el **GRADO** de **MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL** Mención: **HIDRÁULICA** de la Escuela de Posgrado de la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez;

Que, de conformidad con lo previsto en el artículo 18° del Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, **COMITÉ DE INVESTIGACIÓN**;

Que, mediante Resolución N° 1191-2024-USA-EPG/UANCV SE APRUEBA Y AUTORIZA LA EJECUCION DE LA PROPOSTA DE INVESTIGACION y con Resolución N° 1719-2024-USA-EPG/UANCV, se APRUEBA Y AUTORIZA EL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS) titulado: **EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL AFLUENTE AZÁNGARO PARA LA IDENTIFICACIÓN DE ZONAS INUNDABLES Y ALTERNATIVA DE DISEÑO DE MUROS DE CONTENCIÓN EN EL DISTRITO DE SANTIAGO DE PUPUJA – AZÁNGARO 2024** La misma que pertenece a la Línea de Investigación: **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN - P51**;

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos en su artículo 28° **DE LA SUSTENTACIÓN**.

Y estando, la **opinión favorable del Director de la Unidad de Investigación y el Director de la Escuela de Posgrado** mediante acta de sorteo de jurado, con registro N° 00040 de fecha 17 de diciembre del 2024 se nomina jurados.

Que, conforme al artículo 66° del Reglamento General de la Escuela de Posgrado de la UANCV, establece que *la Tesis de Posgrado es un trabajo de investigación científica original de actualidad y de alto valor científico*;

En uso de las atribuciones conferidas a la Dirección en el inciso "J" del artículo 17° del Reglamento General de la Escuela de Posgrado, y el artículo 76° del Estatuto Universitario;

SE RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO. - DECLARAR APTO para la sustentación presencial del informe final de la investigación (**BORRADOR DE TESIS**), del (la) Bach: **OSCAR BELIZARIO HUANCA**, para optar el **GRADO** de **MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL**, Mención: **HIDRÁULICA**, en virtud de los considerandos expuestos.

ARTÍCULO SEGUNDO. - NOMINAR JURADOS para la sustentación presencial y defensa de la tesis a los siguientes docentes ordinarios:

Presidente	: Dr. LEONEL SUASACA PELINCO
Primer miembro	: Dr. FRITZ WILLY MAMANI APAZA
Segundo miembro	: Dr. HERNAN PEDRO MARTINEZ RAMOS
Asesor	: Dr. ARNALDO YANA TORRES

ARTÍCULO TERCERO. - PROGRAMAR FECHA Y HORA de sustentación como se detalla:

Fecha	: Viernes 20 de diciembre del 2024
Hora	: 11:00 a.m.
Lugar	: Aula N° 309 EPG-UANCV-JULIACA

ARTÍCULO CUARTO. - el Director de la Escuela de Posgrado queda encargado del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, comuníquese y Archívese.



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
ESCUELA DE POSGRADO
Dr. Leopoldo Wenceslao Cerdón Carr
DIRECTOR (e)



TESIS UANCV



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ" ESCUELA DE POSGRADO



VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"



RESOLUCIÓN DIRECTORAL N° 01719-2024-USA-EPG/UANCV

Juliaca, 22 de octubre de 2024

VISTOS:

El Expediente N° 2024-012120 de fecha 30 de Setiembre de 2024, el (la) Bach. OSCAR BELIZARIO HUANCA, con DNI N° 46292106, código de matrícula N° 1610101051, quien solicita Revisión de Informe Final de la Investigación (borrador de Tesis); INFORME N° 00694-2024-UI-EPG-UANCV y el Anexo (04 o 05) "Ficha de Opinión del Informe Final de la Investigación (borrador de Tesis)" del 17 de octubre de 2024, que fue revisada por el Comité de Investigación de la Escuela de Posgrado.

CONSIDERANDO:

Que, las Unidades de Investigación son unidades académicas que agrupan a docentes y estudiantes de diversas disciplinas, en razón del desarrollo de investigación científica, tecnológica y humanista de acuerdo al Estatuto Universitario Modificado 2020 de nuestra primera Casa Superior de Estudios.

Que, con Expediente N°2024-012120 el (la) Bach. OSCAR BELIZARIO HUANCA, solicita la revisión y aprobación del Informe Final de la Investigación (borrador de Tesis) titulado: **EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL AFLUENTE AZÁNGARO PARA LA IDENTIFICACIÓN DE ZONAS INUNDABLES Y ALTERNATIVA DE DISEÑO DE MUROS DE CONTENCIÓN EN EL DISTRITO DE SANTIAGO DE PUPUJA – AZÁNGARO 2024** Línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN - P51**, para optar el GRADO de MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL, mención: **HIDRÁULICA**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos plasmado en la Resolución N° 0294-2023-UANCV-CU-R.

Que, el Comité de Investigación emitió su opinión **FAVORABLE** al Informe Final de la Investigación (borrador de Tesis).

Que, el Director de la Unidad de Investigación de la Escuela de Posgrado, corroboró el asesoramiento en el Informe Final de la Investigación (borrador de Tesis) del **ASESOR Dr. ARNALDO YANA TORRES**; y,

Estando, la opinión favorable del Comité de Investigación, según **INFORME N° 00694-2024-UI-EPG-UANCV** y el **Anexo (04 o 05) "Ficha de Opinión del Informe Final de la Investigación (borrador de Tesis)"** en concordancia con el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos Resolución N° 0294-2023-UANCV-CU-R, de conformidad a lo que establece la Ley Universitaria N° 30220, Ley de Creación de la UANCV N° 23738 y Modificatoria N° 24661 y el Estatuto de la UANCV, que confiere facultades a la unidad de Investigación de la Escuela de Posgrado.

SE RESUELVE:

ARTICULO PRIMERO.- APROBAR Y AUTORIZAR EL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS) para la **REVISIÓN DE SIMILITUD TURNITIN**, titulado: **EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL AFLUENTE AZÁNGARO PARA LA IDENTIFICACIÓN DE ZONAS INUNDABLES Y ALTERNATIVA DE DISEÑO DE MUROS DE CONTENCIÓN EN EL DISTRITO DE SANTIAGO DE PUPUJA – AZÁNGARO 2024** presentado por el (la) Bach. OSCAR BELIZARIO HUANCA, en virtud de los considerandos expuestos.

ARTICULO SEGUNDO.- RATIFICAR, como **ASESOR** al (a) **Dr. ARNALDO YANA TORRES**.

ARTICULO TERCERO. - DISPONER que la Escuela de Posgrado, la Secretaría Académica y administrativa, quedan encargados del cumplimiento de la presente resolución.

Regístrese, comuníquese y archívese.



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
ESCUELA DE POSGRADO

Dr. Leopoldo Wenceslao Condori Can
DIRECTOR (e)

Jr. Loreto N° 450 - ☎ (051) 329145 - Pag. Web: www.epg@uancv.edu.pe - Juliaca - Perú

DISTRIBUCIÓN:
DIRECCIÓN EPG, INTERESADO.

**RESOLUCIÓN DIRECTORAL N° 01191-2024-USA-EPG/UANCV**

Juliaca, 21 de agosto de 2024

VISTOS:

El Expediente N° 2024-09639 de fecha 05 de agosto de 2024, el (la) Bach. OSCAR BELIZARIO HUANCA, con DNI N° 46292106, código de matrícula N° 1610101051, quien solicita Revisión de propuesta de Investigación; INFORME N° 00300-2024-UI-EPG-UANCV y el Anexo (02 o 03) "Ficha de Opinión de la Propuesta de Investigación" del 15 de agosto de 2024, que fue revisada por el Comité de Investigación de la Escuela de Posgrado.

CONSIDERANDO:

Que, las Unidades de Investigación son unidades académicas que agrupan a docentes y estudiantes de diversas disciplinas, en razón del desarrollo de investigación científica, tecnológica y humanista de acuerdo al Estatuto Universitario Modificado 2020 de nuestra primera Casa Superior de Estudios.

Que, con Expediente N° 2024-09639 el (la) Bach. OSCAR BELIZARIO HUANCA, solicita la revisión y aprobación de la propuesta de Investigación titulado: **EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL AFLUENTE AZÁNGARO PARA LA IDENTIFICACIÓN DE ZONAS INUNDABLES Y ALTERNATIVA DE DISEÑO DE MUROS DE CONTENCIÓN EN EL DISTRITO DE SANTIAGO DE PUPUJA – AZÁNGARO 2024** Línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN - P51**, para optar el **GRADO de MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL** con mención en: **HIDRÁULICA**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos plasmado en la Resolución N° 0294-2023-UANCV-CU-R.

Que, el Comité de Investigación emitió su opinión **FAVORABLE** a la propuesta de investigación.

Que, el Director de la Unidad de Investigación de la Escuela de Posgrado, corroboró la propuesta del **ASESOR MGTR. ARNALDO YANA TORRES**, quien debe estar acreditado y facultado para orientar y ayudar al asesorado en el proceso de elaboración del trabajo de investigación (Tesis) de acuerdo a la **DIRECTIVA N° 004-2019-UANCV-VRAD-OI**; y,

Estando, la opinión favorable del Comité de Investigación, según **INFORME N° 00300-2024-UI-EPG-UANCV** y el **Anexo (02 o 03) "Ficha de Opinión de la Propuesta de Investigación"** en concordancia con el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos Resolución N° 0294-2023-UANCV-CU-R, de conformidad a lo que establece la Ley Universitaria N° 30220, Ley de Creación de la UANCV N° 23738 y Modificatoria N° 24661 y el Estatuto de la UANCV, que confiere facultades a la unidad de Investigación de la Escuela de Posgrado.

SE RESUELVE:

ARTICULO PRIMERO.- APROBAR Y AUTORIZAR LA EJECUCIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN, titulado: **EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL AFLUENTE AZÁNGARO PARA LA IDENTIFICACIÓN DE ZONAS INUNDABLES Y ALTERNATIVA DE DISEÑO DE MUROS DE CONTENCIÓN EN EL DISTRITO DE SANTIAGO DE PUPUJA – AZÁNGARO 2024** presentado por el (la) Bach. OSCAR BELIZARIO HUANCA, en virtud de los considerandos expuestos.

ARTICULO SEGUNDO.- RECONOCER, como **ASESOR** al **MGTR. ARNALDO YANA TORRES**.

ARTICULO TERCERO. - DISPONER que la Escuela de Posgrado, la Secretaría Académica y administrativa, quedan encargados del cumplimiento de la presente resolución.

Regístrese, comuníquese y archívese.

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
ESCUELA DE POSGRADODr. Leopoldo Wenceslao Condori Cari
DIRECTOR (e)



EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL AFILIADO FUENTE AZÁNGARO PARA LA IDENTIFICACIÓN DE ZONAS INUNDABLES Y ALTERNATIVA DE DISEÑO DE MUROS DE CONTENCIÓN EN EL DISTRITO DE SANTIAGO DE PUPUJA - AZÁNGARO 2024

INFORME DE ORIGINALIDAD

22%

INDICE DE SIMILITUD

18%

FUENTES DE INTERNET

5%

PUBLICACIONES

11%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS


1	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez Trabajo del estudiante	6%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	2%
3	www.coursehero.com Fuente de Internet	1%
4	repositorio.unsch.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	repositorioacademico.upc.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	repositorio.uancv.edu.pe Fuente de Internet	<1%
7	repositorio.catie.ac.cr Fuente de Internet	<1%



Metadatos Complementarios

Título de la tesis	
EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL AFLUENTE AZÁNGARO PARA LA IDENTIFICACIÓN DE ZONAS INUNDABLES Y ALTERNATIVA DE DISEÑO DE MUROS DE CONTENCIÓN EN EL DISTRITO DE SANTIAGO DE PUPUJA – AZÁNGARO 2024	
Datos de autor	
Nombres y apellidos	OSCAR BELIZARIO HUANCA
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	46292106
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0006-6626-0368
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	ARNALDO YANA TORRES
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	41414676
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-6740-5024
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	LEONEL SUASACA PELINCO
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	40865558
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	FRITZ WILLY MAMANI APAZA
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02306659
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	HERNAN PEDRO MARTINEZ RAMOS



Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	01316765
Datos de investigación	
Línea de investigación	Tecnología de la construcción – P51
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento
Ubicación geográfica de la investigación	<p>País: Perú Departamento: Puno Provincia: Azangaro Distrito: Santiago de Pupuja Latitud: S 15° 03' 20" Longitud: O 70° 16' 41"</p>  <p>https://maps.app.goo.gl/awCdiibv82dCs4cS6</p>
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Agosto 2024 – Diciembre 2024
URL de disciplinas OCDE https://concytec-pe.github.io/Peru-CRIS/vocabularios/ocde_ford.html - Librería	Ingeniería civil https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01 Ingeniería de la construcción https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.03



UNIVERSIDAD ALTIPLANA "INSTRUCIONES VELASCO"
ESCUELA DE POSTGRADO

Dr. Segundo Ortiz Cansaya
DIRECTOR
DE INVESTIGACIÓN - PGO



DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo OSCAR BELIZARIO HUANCA, identificado con DNI

Nro. 46292106, en mi condición de egresado de:

- Escuela Profesional
- Programa de Segunda Especialidad,
- Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN: HIDRAÚLICA

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación, Trabajo Académico denominada:

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL AFLUENTE AZÁNGARO PARA LA
IDENTIFICACIÓN DE ZONAS INUNDABLES Y ALTERNATIVAS DE DISEÑO DE MUROS
DE CONTENCIÓN EN EL DISTRITO DE SANTIAGO DE PUPUJA - AZÁNGARO 2024

Asesorado por: Dr. ARNALDO YANA TORRES

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Juliaca 11 de MARZO del 2025

Firma del Asesor
(obligatoria)

Firma del Estudiante
(obligatoria)



Huella



DEDICATORIA

A mi Hija, A. Camila BB. Por ser la mayor Motivación en mi vida y es mi vida entera.

A mis padres, Alejandro y Francisca quienes, con su amor incondicional, su apoyo constante y sus sabios consejos han sido la base de mis logros. Gracias por creer en mí en cada paso del camino, por sus sacrificios silenciosos y por enseñarme que la perseverancia y el esfuerzo siempre encuentran recompensa. Esta meta alcanzada es tan suya como mía.

A mis Hermanos; Gelber, Juana L, Martha.

Con todo mi amor y gratitud.



AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios, fuente de fortaleza y guía en cada momento de este camino. Su presencia ha sido mi luz en los momentos de dificultad, brindándome la paz y la sabiduría necesarias para continuar.

A los profesionales que me han acompañado a lo largo de este proceso, expreso mi más profundo agradecimiento. A mis asesores y profesores, quienes con su experiencia, paciencia y valiosos consejos me guiaron y alentaron en cada etapa de esta tesis. Su dedicación y compromiso han sido fundamentales para alcanzar este logro.

Asimismo, extiendo mi gratitud a mis colegas y compañeros de estudio, por su apoyo y camaradería, y por los momentos compartidos en los que juntos enfrentamos los retos de este posgrado.



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO.....	ii
ÍNDICE GENERAL.....	iii
ÍNDICE DE TABLAS.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT.....	x
INTRODUCCIÓN.....	xi

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Análisis de la situación problemática.....	13
1.2 Planteamiento del problema.....	14
1.2.1 Problema general.....	14
1.2.2 Problemas específicos.....	15
1.3 Justificación de la investigación.....	15
1.3.1 Justificación técnica.....	15
1.3.2 Justificación económica.....	15
1.3.3 Justificación social.....	16
1.3.4 Justificación ambiental.....	16
1.4 Objetivos.....	17
1.4.1 Objetivo general.....	17
1.4.2 Objetivos específicos.....	17
1.5 Importancia y alcance de la investigación.....	17
1.6 Limitaciones y delimitaciones de la investigación.....	18
1.6.1 Limitaciones.....	18
1.6.2 Delimitación.....	18
1.7 Hipótesis.....	19



1.7.1	Hipótesis general	19
1.7.2	Hipótesis específicas	19
1.8	Variables	19
1.8.1	Variable independiente	19
1.8.2	Variable dependiente	20
1.9	Operacionalización de variables	20

CAPITULO II MARCO TEÓRICO

2.1	Antecedentes de la investigación	21
2.1.1	Antecedentes internacionales	21
2.1.2	Antecedente nacional.....	25
2.1.3	Antecedente local	29
2.2	Bases teóricas.....	32
2.2.1	Hidrología	32
2.2.2	Ciclo hidrológico.....	34
2.2.3	Caudal	49
2.2.4	Ríos afluentes	51
2.2.5	Factores climáticos	52
2.2.5.1	Precipitación	53
2.2.5.2	Temperatura	54
2.2.5.3	Humedad Atmosférica.....	55
2.2.5.4	Radiación Solar.....	57
2.2.5.5	Viento	58
2.2.6	Identificación de zonas inundables.....	60
2.2.7	Muros de contención.....	64
2.3	Marco conceptual	67

CAPITULO III METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN



3.1 Enfoque de investigación.....	69
3.2 Método de investigación.....	69
3.3 Tipo de investigación.....	70
3.4 Nivel de Investigación.....	70
3.5 Diseño de investigación.....	71
3.6 Población y muestra.....	71
3.6.1 Población.....	71
3.6.2 Muestra.....	72
3.7 Técnicas e instrumentos de recolección.....	72
3.7.1 Técnicas.....	72
3.7.2 Instrumentos.....	72
3.8 Validación y de instrumentos y confiabilidad.....	73
3.8.1 Validación de instrumentos.....	73
3.8.2 Confiabilidad de instrumentos.....	73
3.9 Trabajos realizados.....	73

CAPITULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

4.1 Resultados obtenidos.....	80
4.1.1 Estado actual y la topografía de los márgenes del afluente Azángaro.....	82
4.1.2 Determinación de zonas de inundación y caudal del afluente.....	89
4.1.3 Diseño de muro de contención en los márgenes del afluente rio Azángaro.....	94
4.2 Discusión de resultados.....	101
CONCLUSIONES.....	104
RECOMENDACIONES.....	105
REFERENCIAS.....	106
ANEXOS.....	109



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Operacionalización de variables</i>	20
Tabla 2 <i>Puntos de apoyo fotométrico</i>	85
Tabla 3 <i>Caudal en los diferentes periodos de retorno – Log Normal</i>	90
Tabla 4 <i>Caudal en los diferentes periodos de retorno – Gumbel</i>	91
Tabla 5 <i>Caudal en los diferentes periodos de retorno – Pearson III</i>	92
Tabla 6 <i>Resumen de caudales mediante los diferentes métodos</i>	93
Tabla 7 <i>Resumen de los métodos calculados</i>	96
Tabla 8 <i>Momentos de volteo</i>	100



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 *Ciclo hidrológico*..... 36

Figura 2 *Ciclo hidrológico simplificado* 37

Figura 3 *Localización de la zona de estudio*..... 81

Figura 4 *Localización de la zona de estudio*..... 81

Figura 5 *Vista aérea de la localización de la zona de inundación estudiada* 82

Figura 6 *Avenida del rio Azángaro* 82

Figura 7 *Afectación en la siembra*..... 83

Figura 8 *Vivienda afectada por inundación* 83

Figura 9 *BM-01* 84

Figura 10 *BM-02* 84

Figura 11 *Pantalla de configuración de la misión de vuelo*..... 86

Figura 12 *Creación del modelo digital*..... 87

Figura 13 *Modelado en Civil*..... 87

Figura 14 *Perfil longitudinal del tramo I*..... 88

Figura 15 *Perfil longitudinal del tramo II* 88

Figura 16 *Perfil longitudinal del tramo III* 89

Figura 17 *Zonas de inundación*..... 89

Figura 18 *Caudal en diferentes periodos de retorno - Log Normal*..... 90

Figura 19 *Caudal en diferentes periodos de retorno – Gumbel* 91

Figura 20 *Caudal en diferentes periodos de retorno – Pearson III*..... 92

Figura 21 *Caudal de diseño* 94

Figura 22 *Cálculo de anchos estables método Simons y Henderson con programa River*
..... 95

Figura 23 *Cálculo de las dimensiones del dique* 96

Figura 24 *Diseño preliminar del dique lateral* 97

Figura 25 *Tamaño de roca y representación del dique recto*..... 98



Figura 26 <i>Representación del dique en tramo curva</i>	98
Figura 27 <i>Diseño estructural del dique de curva</i>	99



RESUMEN

La investigación, denominada "Evaluación del comportamiento del afluente Azángaro para la identificación de zonas inundables y alternativa de diseño de muros de contención en el distrito de Santiago de Pupuja - Azángaro 2024", se centró en analizar el comportamiento del afluente Azángaro con el fin de identificar zonas susceptibles a inundaciones y proponer alternativas de diseño para muros de contención en el distrito de Santiago de Pupuja. Se observó que el afluente Azángaro presenta un alto riesgo de inundación, exacerbado por la topografía ondulada y los márgenes desfavorables a lo largo del río. Las áreas más propensas a inundaciones se localizaron cerca del puente Concordia, donde los efectos de las crecidas son particularmente evidentes. Para estimar el caudal de diseño en esta región, se utilizaron diversos métodos estadísticos. El método Log-Normal indicó un caudal de 263.904 m³/s, el método de Gumbel estimó un caudal de 276.297 m³/s, y el método Pearson III calculó un valor de 261.837 m³/s. Finalmente, para un período de retorno de 100 años, se estableció un caudal de diseño de 261.84 m³/s. El diseño del muro de contención fue desarrollado utilizando el software RIVER, basado en el caudal de diseño calculado. Las dimensiones propuestas para el muro incluyen un ancho de corona de 4.00 m, una base del dique de tierra de 8.65 m y una altura del dique de 2.40 m. Además, el enrocado tiene una altura de 2.40 m, mientras que el enrocado de uña presenta una altura de 1.50 m y un ancho de base de 1.50 m. La altura total del muro es de 3.90 m, con una inclinación del talud de H = 1.20. La cara mojada y seca está recubierta con enrocado de 20 cm.

Palabras clave: Afluente Azángaro, Zonas Inundables, Diseño de Muros de Contención, Evaluación Hidrológica y Caudal.



ABSTRACT

The research, entitled "Evaluation of the behavior of the Azángaro tributary for the identification of flood-prone areas and alternative design of retaining walls in the district of Santiago de Pupuja - Azángaro 2024", focused on analyzing the behavior of the Azángaro tributary in order to identify areas susceptible to flooding and propose design alternatives for retaining walls in the district of Santiago de Pupuja. It was observed that the Azángaro tributary presents a high risk of flooding, exacerbated by the undulating topography and unfavorable banks along the river. The areas most prone to flooding were located near the Concordia Bridge, where the effects of flooding are particularly evident. Several statistical methods were used to estimate the design flow in this region. The Log-Normal method indicated a flow rate of 263,904 m³/s, the Gumbel method estimated a flow rate of 276,297 m³/s, and the Pearson III method calculated a value of 261,837 m³/s. Finally, for a return period of 100 years, a design flow of 261.84 m³/s was established. The design of the retaining wall was developed using RIVER software, based on the calculated design flow. The proposed dimensions for the wall include a crown width of 4.00 m, an earthen embankment base of 8.65 m, and an embankment height of 2.40 m. The proposed dimensions include a crown width of 4.00 m, an earthen embankment base of 8.65 m, and an embankment height of 2.40 m. In addition, the rockfill has a height of 2.40 m, while the nail rockfill presents a height of 1.50 m and a base width of 1.50 m. The total height of the wall is 3.90 m, with a slope inclination of $H = 1.20$. The wet and dry faces are covered with 20 cm of rockfill.

Keywords: Azángaro Tributary, Flood Zones, Retaining Wall Design, Hydrological Evaluation and Flow.



INTRODUCCIÓN

El aumento de la urbanización, junto con los efectos del cambio climático, ha provocado una intensificación en la frecuencia y severidad de los fenómenos meteorológicos extremos, lo que ha incrementado los riesgos de inundaciones para muchas comunidades. En el distrito de Santiago de Pupuja, perteneciente a la provincia de Azángaro, las lluvias torrenciales y el deshielo de los glaciares han generado una creciente preocupación en torno a la gestión de las aguas pluviales y el control de las inundaciones. En este escenario, el río Azángaro, un afluente fundamental para la región, adquiere una importancia crítica. Su comportamiento hidrológico es esencial para el desarrollo de estrategias eficaces que permitan mitigar los riesgos asociados a las inundaciones, protegiendo tanto a las infraestructuras como a las poblaciones locales que dependen de este recurso hídrico. La planificación adecuada y la implementación de medidas de prevención son ahora más urgentes que nunca para salvaguardar el bienestar de las comunidades frente a los impactos de estos fenómenos climáticos extremos.

La presente investigación tiene como objetivo evaluar el comportamiento hidrológico del afluente Azángaro para identificar las zonas susceptibles a inundaciones en el distrito de Santiago de Pupuja. La identificación precisa de estas zonas permitirá diseñar y proponer alternativas efectivas para la construcción de muros de contención, que son esenciales para prevenir el desbordamiento del afluente y proteger tanto la infraestructura como las áreas residenciales.

El estudio se llevará a cabo mediante la recopilación y análisis de datos hidrológicos y meteorológicos, así como mediante la modelación del comportamiento del afluente bajo diferentes escenarios de lluvia. Además, se evaluarán diversas alternativas de diseño para



los muros de contención, considerando factores como la estabilidad estructural, la resistencia a las fuerzas hidráulicas y el impacto ambiental.

En el capítulo I; esta sección se analizan la situación problemática, los objetivos y la operación de variables.

En el capítulo II; El marco teórico: En esta sección se analizan estudios anteriores y la bibliografía importante para nuestra investigación. También se hace uso del material de referencia y se establece el marco conceptual como base de nuestra investigación.

En el capítulo III; En la sección de metodología de un estudio de investigación se incluye información detallada sobre el tipo de estudio, el grado de estudio, el diseño de la investigación, así como los procedimientos e instrumentos utilizados para la recogida y el análisis de datos. En esta sección también se esboza la estructura fundamental de un estudio de investigación.

Finalmente, en el capítulo IV: Resultados y discusión: En esta sección se resumen y analizan los resultados obtenidos, que servirán de base para las conclusiones y sugerencias que se formen a partir de esta investigación cuando se presenten y discutan.



CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Análisis de la situación problemática.

A nivel mundial, el cambio climático ha intensificado tanto la frecuencia como la magnitud de fenómenos meteorológicos extremos, tales como inundaciones y tormentas severas. Este fenómeno global ha tenido un impacto significativo en múltiples regiones, incrementando notablemente el riesgo de desastres naturales y poniendo en evidencia la necesidad urgente de implementar estrategias eficaces para la gestión de aguas pluviales y la prevención de inundaciones. Según el Informe Mundial sobre Desastres, elaborado por la Federación Internacional de Sociedades de la Cruz Roja y de la Media Luna Roja, las inundaciones se destacan como uno de los desastres naturales más comunes y devastadores. Esto subraya la necesidad imperiosa de desarrollar soluciones innovadoras y adaptativas en cuanto a infraestructuras de contención y protección, que permitan mitigar los impactos de estos eventos y garantizar la seguridad de las comunidades afectadas. La creciente amenaza de estos desastres ha puesto de manifiesto que las medidas tradicionales ya no son suficientes, exigiendo una reevaluación de las estrategias

existentes y la incorporación de enfoques más resilientes y sostenibles en el manejo de los recursos hídricos.

En Perú, el fenómeno de El Niño y otros eventos climáticos extremos han generado episodios de inundaciones significativas en varias regiones del país. Las áreas rurales y suburbanas a menudo sufren desastres relacionados con el desborde de ríos y afluentes, lo que pone de manifiesto la falta de infraestructura adecuada para controlar y mitigar estos eventos. La falta de estudios específicos para la identificación de zonas inundables y el diseño de estructuras de contención contribuye a la vulnerabilidad de las comunidades locales, afectando su seguridad y bienestar. En respuesta, el gobierno peruano ha impulsado políticas para fortalecer la infraestructura hídrica, aunque la implementación efectiva aún enfrenta desafíos significativos.

En el distrito de Santiago de Pupuja, ubicado en la provincia de Azángaro, la situación se complica debido a la topografía y las características hidrológicas particulares de la región. Los afluentes locales, como el afluente Azángaro, presentan riesgos de inundaciones que afectan tanto a la infraestructura como a las viviendas y tierras agrícolas. La falta de estudios detallados sobre el comportamiento de estos afluentes y la carencia de soluciones adecuadas para la gestión del riesgo de inundaciones han llevado a la recurrente exposición de las comunidades locales a desastres naturales. La identificación precisa de zonas inundables y el diseño adecuado de muros de contención son críticos para mitigar estos riesgos y mejorar la resiliencia de la región.

1.2 Planteamiento del problema

1.2.1 Problema general

¿Cuál es el comportamiento del afluente Azángaro para la identificación de zonas inundables y alternativa de diseño de muros de contención en el distrito de Santiago de Pupuja - Azángaro 2024?



1.2.2 Problemas específicos

1. ¿Cuál es el estado actual y la topografía de los márgenes del afluente Azángaro en el distrito de Santiago de Pupuja - Azángaro 2024?
2. ¿Cuáles son las zonas inundables según la topografía y el caudal del afluente Azángaro en el distrito de Santiago de Pupuja - Azángaro 2024?
3. ¿Cuáles son las especificaciones del diseño de muros de contención en los márgenes del afluente Azángaro en el distrito de Santiago de Pupuja - Azángaro 2024?

1.3 Justificación de la investigación.

1.3.1 Justificación técnica

La evaluación del comportamiento del afluente Azángaro es crucial para identificar adecuadamente las zonas inundables en el distrito de Santiago de Pupuja. Esta evaluación técnica se fundamenta en la necesidad de aplicar modelos hidrológicos e hidráulicos avanzados que permitan una comprensión precisa de los patrones de flujo y los riesgos asociados a las inundaciones. La identificación precisa de zonas inundables permitirá diseñar muros de contención eficaces y adaptados a las condiciones específicas del área. El estudio técnico abordará el análisis de datos históricos, la modelación del flujo del afluente y la evaluación de alternativas de diseño, garantizando soluciones basadas en evidencia científica y técnica. Esto no solo mejorará la capacidad de respuesta ante inundaciones, sino que también optimizará la eficiencia de los recursos destinados a la infraestructura de protección.

1.3.2 Justificación económica

Desde un punto de vista económico, la implementación de un estudio detallado del comportamiento del afluente Azángaro y el diseño de muros de contención es una inversión estratégica para el distrito de Santiago de Pupuja. Las inundaciones pueden



causar daños significativos a la infraestructura, viviendas y tierras agrícolas, generando altos costos de reparación y pérdidas económicas. Al identificar con precisión las zonas inundables y diseñar soluciones de contención adecuadas, se pueden reducir significativamente los riesgos y los costos asociados a eventos de inundación. Además, la prevención de daños y la reducción de costos de emergencia y rehabilitación son aspectos clave que justifican la inversión en este estudio, ya que contribuye a la protección de activos y al desarrollo sostenible del distrito.

1.3.3 Justificación social

En términos sociales, la evaluación del afluente Azángaro y el diseño de muros de contención tienen un impacto directo en la calidad de vida de los residentes del distrito de Santiago de Pupuja. Las inundaciones pueden afectar gravemente a las comunidades, destruyendo hogares, tierras de cultivo y causando pérdidas humanas. Implementar medidas basadas en el estudio propuesto contribuye a la seguridad y bienestar de la población, protegiendo a las familias de posibles desastres y promoviendo un entorno más seguro y estable. Además, el proyecto involucra a la comunidad en la toma de decisiones y en la planificación de medidas preventivas, fomentando una mayor conciencia y preparación ante emergencias.

1.3.4 Justificación ambiental

Desde una perspectiva ambiental, la evaluación del comportamiento del afluente Azángaro y la planificación de muros de contención deben considerar el impacto ambiental de las soluciones propuestas. Este estudio buscará minimizar el impacto sobre los ecosistemas locales y los recursos naturales, asegurando que las medidas de contención no alteren negativamente el equilibrio ecológico. La identificación y el diseño de las estructuras de contención se realizarán con criterios ambientales que incluyan la protección de los hábitats acuáticos y terrestres. La integración de prácticas sostenibles en el diseño y la construcción de los muros contribuirá a preservar la biodiversidad y los

recursos naturales, garantizando que las soluciones propuestas sean ambientalmente responsables.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Evaluar el comportamiento del afluente Azángaro para la identificación de zonas inundables y alternativa de diseño de muros de contención en el distrito de Santiago de Pupuja - Azángaro 2024.

1.4.2 Objetivos específicos

1. Determinar el estado actual y la topografía de los márgenes del afluente en el distrito de Santiago de Pupuja - Azángaro 2024.
2. Determinar las zonas inundables según la topografía y el caudal del afluente Azángaro en el distrito de Santiago de Pupuja - Azángaro 2024.
3. Definir las especificaciones del diseño de muros de contención en los márgenes del afluente Azángaro en el distrito de Santiago de Pupuja - Azángaro 2024.

1.5 Importancia y alcance de la investigación

La tesis es crucial para abordar los riesgos asociados con inundaciones en la región. La identificación precisa de zonas inundables permitirá desarrollar estrategias efectivas para mitigar daños y proteger comunidades y bienes. Además, el diseño de muros de contención adaptados al comportamiento del afluente contribuirá a la resiliencia de la infraestructura, reduciendo pérdidas económicas y mejorando la seguridad en la región. Este estudio proporciona una base sólida para la planificación y gestión de riesgos hídricos, con beneficios significativos para la seguridad y el desarrollo sostenible de la comunidad.

El alcance de la tesis abarca un análisis exhaustivo del comportamiento hidráulico del afluente Azángaro, la identificación de zonas inundables mediante técnicas de modelado y evaluación, y el diseño de alternativas para muros de contención que respondan a las características específicas del afluente. El estudio incluirá la recopilación y análisis de datos hidrológicos, la elaboración de mapas de riesgo, y la propuesta de soluciones prácticas y sostenibles para la protección de las comunidades y la infraestructura en el distrito de Santiago de Pupuja. Además, se ofrecerán recomendaciones y un plan de acción para la implementación de las medidas propuestas.

1.6 Limitaciones y delimitaciones de la investigación

1.6.1 Limitaciones

La investigación enfrenta varias limitaciones, entre ellas la disponibilidad y calidad de los datos hidrológicos, que pueden afectar la precisión del análisis del comportamiento del afluente Azángaro. La variabilidad en los patrones climáticos y eventos extremos también puede influir en la exactitud de los modelos utilizados para identificar zonas inundables y diseñar muros de contención. Además, las características geotécnicas variables en la región podrían restringir las opciones de diseño y las soluciones propuestas. Finalmente, las restricciones presupuestarias pueden limitar el alcance del trabajo de campo y los análisis detallados necesarios para una evaluación exhaustiva.

1.6.2 Delimitación

La tesis está delimitada a la evaluación del afluente Azángaro en el distrito de Santiago de Pupuja, dentro de la provincia de Azángaro, centrando el estudio en esta área geográfica específica. El enfoque principal será el diseño de muros de contención como medida de protección contra inundaciones, excluyendo otras posibles soluciones estructurales o técnicas de gestión de riesgos. La investigación se basará en datos y condiciones actuales correspondientes al año 2024, y no se considerarán cambios futuros



en el clima o en las condiciones socioeconómicas. Aunque se evaluará el impacto ambiental de las soluciones propuestas, el análisis detallado de impactos sociales y ambientales más amplios no será el foco principal del estudio.

1.7 Hipótesis

1.7.1 Hipótesis general

El comportamiento del afluente Azángaro para la identificación de zonas inundables y alternativa de diseño de muros de contención en el distrito de Santiago de Pupuja - Azángaro 2024, contará con caudales de alto riesgo de desborde.

1.7.2 Hipótesis específicas.

1. El estado actual y la topografía de los márgenes del afluente Azángaro en el distrito de Santiago de Pupuja - Azángaro 2024, contará con un alto grado de inundación teniendo topografías desfavorables para los márgenes del afluente en estudio.
2. Las zonas inundables según la topografía y el caudal del afluente Azángaro en el distrito de Santiago de Pupuja - Azángaro 2024, estará delimitado por las zonas aledañas al puente Concordia.
3. Las especificaciones del diseño de muros de contención en los márgenes del afluente Azángaro en el distrito de Santiago de Pupuja - Azángaro 2024, estará de acuerdo a los lineamientos mínimos de diseño y protección de los márgenes.

1.8 Variables

1.8.1 Variable independiente

Comportamiento del Afluente

- Topografía
- Caudales máximos
- Aspectos relevantes del río

1.8.2 Variable dependiente

Zonas inundables y diseño de muros de contención

- Mapa de calor de riesgo de inundación
- Especificaciones técnicas

1.9 Operacionalización de variables

Tabla 1

Operacionalización de variables

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Instrumentos
Independiente		Evaluación de las características hidrológicas del afluente			
Comportamiento del Afluente	Se refiere a las características hidrológicas y dinámicas del afluente del río, como su caudal, velocidad y patrones de flujo, que pueden afectar el riesgo de inundaciones.	Azángaro, como caudal, velocidad y patrón de flujo, a través de mediciones y observaciones directas en diferentes puntos del afluente en el distrito de Santiago de Pupuja.	Características hidrológicas	Topografía, Caudales máximos y Aspectos relevantes del río	Hidrómetro, registros históricos y instrumentos para el levantamiento
Dependiente	Identificación de zonas inundables y diseño de muros de contención: Se refiere a la determinación de áreas propensas a inundaciones y la propuesta de soluciones estructurales para mitigar los efectos del desborde del afluente.	Análisis de la topografía del terreno, de histórico de inundaciones, y modelación hidrológica para identificar zonas inundables, seguido de un diseño de muros de contención adecuados para prevenir futuras inundaciones.	Modelamiento y diseño	Mapa de calor de riesgo de inundación y muro de protección	Observación directa, drones, fotografías aéreas
Zonas inundables y diseño de muros de contención					

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

2.1.1 Antecedentes internacionales

Según Sánchez et al., (2024) en su investigación "Modelo hidráulico unidimensional para determinar zonas de inundación en ríos de montaña", se recolectó información básica relacionada con la función hídrica y la configuración territorial y las características hidrológicas detalladas en el (POMCH). Esta información se obtuvo a partir de diversas bases de datos nacionales, con el fin de proporcionar una visión integral de la cuenca y su comportamiento hidrológico. La recopilación de datos incluyó aspectos como la disponibilidad de recursos hídricos, las características del terreno y los usos del suelo dentro de la cuenca. Para simular el flujo dinámico del río, se usó un modelo matemático unidimensional HEC-RAS. Este software especializado permite la simulación del comportamiento hidráulico del flujo en ríos y cauces, considerando diferentes condiciones y variables como el caudal, el perfil del cauce y las características del terreno. La aplicación de HEC-RAS facilitó la modelación precisa del comportamiento del flujo del río Pamplonita, proporcionando una herramienta eficaz para analizar escenarios hidrológicos y planificar



el manejo sostenible de la cuenca. Los datos requeridos fueron agregados al modelo. Una vez finalizado el proceso de calibración, se calculó la superficie inundada para distintos periodos de retorno de dos y cien años. Esto permitió determinar las profundidades y velocidades máximas del flujo en la zona investigada. La comprensión del comportamiento del flujo en un río de montaña fue posible gracias al modelo hidráulico, que mostró las regiones inundables de 0,75 y 1,20 hectáreas (Ha) para cada período de retorno, respectivamente. En conclusión, los resultados de esta investigación pueden ser utilizados por las autoridades competentes para mejorar la planificación y reducir la probabilidad de inundaciones, así como para idear medidas de prevención y mitigación de las posibles consecuencias futuras del cambio climático.

Según Estrada, (2021) en su investigación "Evaluación del riesgo de inundación fluvial en la cuenca baja del Río Esmeraldas", el propósito del estudio fue determinar el riesgo por inundaciones en la cuenca baja del río Esmeraldas. Esto se logró identificando las amenazas y vulnerabilidades a las que la población en la región de estudio se encuentra expuesta. El mapeo de inundaciones se realizó mediante el uso de imágenes de teledetección Sentinel RADAR y el uso de las capacidades de procesamiento de la plataforma Google Earth Engine. Se utilizó el enfoque del Análisis de Componentes Principales (ACP) para seleccionar los indicadores vulnerables a efectos del análisis de vulnerabilidad. Se utilizó la técnica Presión-Estado-Respuesta (PSR) para facilitar el desarrollo de métodos de gestión del riesgo de inundaciones. Los resultados revelaron mapas de distribución geográfica que demostraron que el diez por ciento de la región investigada se inundó como consecuencia del suceso ocurrido el 22 de febrero de 2020. Además, se encontró que el ochenta por ciento del área de estudio se caracteriza por una condición de vulnerabilidad moderada, que se encuentra principalmente en la región rural. El veinte por ciento restantes corresponde a una condición de vulnerabilidad baja, que se encuentra en la zona urbana. Con base en las respuestas del modelo PER, se sugiere principalmente la reubicación de la población y la realización de inversiones en los lugares



que presentan riesgo de inundación. En conclusión, se determinó que existe una conexión social, económica y cultural fuertemente ligada a las catástrofes por inundaciones, y que el gobierno debe intervenir en este contexto a partir de las técnicas que se idearon en este estudio.

Según Nina, (2024) en su investigación "Determinación de zonas de riesgo por inundación mediante modelación hidráulica e hidrológica en el Río Yaguachi", se concentró en la definición de zonas de riesgo por inundación en la cuenca del río Yaguachi, situada al suroeste de Guayaquil. Para ello tuvo en cuenta la variada topografía de la cuenca, la presencia de 88 microcuencas, el uso agrícola del suelo y la contaminación del agua. El objetivo general era identificar estas zonas de peligro empleando una metodología cuantitativa, que requería la recopilación y el examen meticulosos de datos relativos a la hidrología y el clima. Para ello se elaboraron modelos hidráulicos e hidrológicos y se cuantificaron los caudales de retorno para distintos periodos de tiempo. Los resultados mostraron patrones notables, como elevadas cantidades de precipitaciones durante la estación lluviosa y la identificación de lugares cruciales de alta densidad de población en zonas de peligro. Estos patrones se descubrieron mediante el uso de herramientas de visualización como ARCGIS. El modelo demostró caudales de hasta 346.070m³/s para un plazo de retorno de 15años, 394.403m³/s para 25años y 453.494m³/s para 50años, lo que proporcionó información esencial para la construcción de infraestructuras resilientes. A raíz de las conclusiones de la investigación, se recomendó actualizar y mejorar continuamente los modelos hidrológicos y utilizarlos como base para la formulación de políticas y planes de gestión de riesgos. El análisis también hizo hincapié en la urgente necesidad de acciones especializadas de gestión de riesgos. Además, subrayó la importancia de promover la colaboración entre disciplinas para poner en marcha medidas integrales que aumenten la resistencia de las poblaciones locales a los fenómenos hidrológicos extremos.



Según Alvarado, (2020) en su investigación "Modelación hidrológica del río Torres, San José, Costa Rica su variación con respecto al cambio climático", realizó una evaluación del funcionamiento hidrológico de una microcuenca en entorno urbano situada en Costa Rica, así como su fluctuación en relación con el cambio climático. Para ello, la microcuenca fue dividida en tres regiones de drenaje, las cuales fueron designadas como AD1, AD2 y AD3. Esto se hizo con el fin de llevar a cabo un examen exhaustivo de la morfometría, el relieve, la red de drenaje, el suelo y el clima. Estas fueron las aportaciones para los estudios hidrológicos. Con el fin de estimar los caudales extremos en periodos de retorno de 25, 50 y 100 años, se llevó a cabo un estudio hidrológico utilizando datos máximos anuales históricos observados de 1987 a 2019, así como datos máximos anuales proyectados de RCP8.5 para el periodo de 2006 a 2050. Se utilizaron un total de seis estaciones meteorológicas pertenecientes al (IMN) con el fin de adquirir las cifras de precipitación máxima anual registrada posibles. Para crear una serie de 33 años, se realizó un relleno de datos utilizando el enfoque de promediado con verificación de curva de doble masa. Esto se hizo porque faltaban registros. Según los resultados de la modelización realizada con el escenario RCP8.5, se produjo un aumento del 97,5% de los caudales máximos en el curso superior del río Torres, mientras que en el curso inferior se produjo un aumento del 68%. Además, se prevé que para el año 2050, los caudales inferiores a 248 m³/s serán bastante comunes, y los caudales superiores a 300 m³/s tendrán una probabilidad de ocurrencia del 1%. Se trata de una proyección realizada. En comparación con los valores registrados, el aumento de la superficie urbanizable se tradujo en un aumento del 5% de los caudales punta en la mitad superior de la microcuenca y del 2% en la sección inferior. La impermeabilidad de una región muy pequeña, que sólo era urbanizable en un 10%, reveló un alza exponencial del coeficiente de escorrentía en todas las zonas de drenaje. Sin embargo, no respondía lo suficiente al uso del suelo como para aumentar drásticamente la escorrentía y el caudal punta. Gracias a la utilización del modelo climático regional, se tuvo acceso a datos diarios simulados, lo que permitió estimar los hidrogramas en periodos de retorno de 25, 50 y 100 años. A pesar de que estos valores

eran bastante altos, el estudio se realizó utilizando una sola estación y un tamaño de píxel de 25 kilómetros, en lugar de una resolución de 900 metros, como es el caso del modelo regional PRECIS que se utiliza en Costa Rica.

2.1.2 Antecedente nacional

Según Aguila & Espinoza, (2024) en su investigación "Impacto del cambio climático en las descargas futuras de una cuenca altoandina de Perú al 2100", el objetivo de esta investigación fue evaluar el impacto del cambio climático en el comportamiento de las descargas mensuales, proyectadas al año 2100 utilizando el modelo SWAT (Soil and Water Assessment Tool). Para este análisis se utilizaron datos diarios interpolados de precipitación y temperatura. Estos datos fueron proporcionados por PISCO y corresponden al periodo 1981-2015. Adicionalmente, se utilizaron los caudales medios mensuales registrados en la estación hidrométrica de Anya. fueron los cinco modelos climáticos globales que se utilizaron para realizar un análisis de la influencia espaciotemporal del cambio climático en la temperatura y la precipitación, así como de su impacto en la escorrentía de la cuenca. Este análisis se llevó a cabo bajo dos escenarios de emisiones diferentes, a saber, RCP 4.5 y RCP 8.5. Al mismo tiempo que se realizaban las simulaciones para el periodo 2070-2100, se utilizó como referencia el periodo base 1980-2010. Los valores estadísticos de Nash-Sutcliffe (NSE), el PBIAS y el coeficiente de determinación (R²) indicaron que el rendimiento del modelo era bueno. Tanto el escenario RCP 4,5 como el RCP 8,5 para el año 2100 mostraron un aumento de la temperatura (de 2,3 grados centígrados a 4,2 grados centígrados) y de las precipitaciones (entre el 4,63% y el 8,14%). Los resultados medios sugerían que la temperatura aumentará. Del mismo modo, se preveía un aumento de los caudales en comparación con el periodo de referencia. Se estimó que, en promedio, el caudal de la cuenca aumentaría un 2,4% y un 12,6% en los escenarios RCP 4,50 y RCP 8,50, respectivamente. Se ha determinado que el aumento de la temperatura y de las precipitaciones provocaría un incremento de la



cantidad de escorrentía y un aumento del peligro de inundaciones en las regiones de la cuenca dedicadas a la producción agrícola.

Según Mallqui Carrillo, (2021), en su investigación "Análisis del impacto del cambio climático sobre el caudal del río Tebicuary", se investiga el grado de riesgo de inundación en el distrito de San Rafael ante la posibilidad de desborde del río Huallaga. El proceso de realización del estudio comprendió varias fases, que incluyeron la recopilación de información, su procesamiento y su interpretación. Con el propósito de determinar el grado de riesgo que presenta el área de investigación, se identificaron indicadores o parámetros para evaluar la peligrosidad y susceptibilidad de la región investigada. Para ello se utilizó el documento «Manual de Estimación del Riesgo ante Inundaciones Fluviales» del Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI). Además, se realizó una simulación hidráulica con el uso de instrumentos técnicos como el programa Hec-RAS 5.0.6. Este software permitió la modelización y el análisis hidráulico de los caudales máximos de inundación para varios tiempos de retorno, identificando así las áreas potencialmente afectadas por las inundaciones. Los resultados del análisis permitieron concluir que el peligro de inundación en la cuenca del río Huallaga, ubicada en la zona de San Rafael, se encuentra en un nivel medio. El nivel de peligro de inundación fue evaluado como medio, mientras que la susceptibilidad de la región de estudio a la posibilidad de inundación resultó ser alta. Además, se elaboró un mapa de riesgos teniendo en cuenta las vulnerabilidades y peligros que se encontraron en la región investigada. Con la ayuda de la modelización, fue posible crear un mapa de los lugares especialmente susceptibles a las inundaciones. También se creó un mapa que identificaba las porciones a lo largo del río Huallaga en el sector de San Rafael que tenían defensas fluviales y las que no tenían defensas fluviales. De esta manera se descubrió que se requerían fortificaciones fluviales por una longitud total de 1,736.36 metros. En el barrio Chancadora, evaluado como el de mayor peligro de inundación, se recomendó la construcción de un muro de hormigón de 5,60 metros de altura y 1.153,52



metros de longitud. El gasto total para este proyecto fue de aproximadamente S/ 6,795,998.60.

Alvarez & Moreno, (2021) en su estudio titulado "Modelamiento hidráulico para el control y prevención de inundaciones mediante el uso de Hec-Ras 2d en la zona urbana del río Piura", los investigadores pretendían reducir la superficie y el nivel de las inundaciones que se producen durante fenómenos extremos como El Niño. Para lograr este objetivo, realizaron una simulación numérica de inundaciones en zonas cercanas a los cauces de los ríos. Para el estudio se utilizaron datos hidrológicos, en concreto, los caudales medios y máximos instantáneos durante un periodo de cuarenta años. Para realizar la caracterización morfológica de la región se utilizó la información del modelo digital de elevación del terreno (MDE) que se recibió del satélite SPOT-7. La resolución del MDE fue de 6 metros. La resolución del MDE era de 6 metros por 6 metros. Con el fin de obtener los caudales simulados para periodos de retorno de 2, 5, 10, 50, 100 y 500 años, se procesó la información hidrológica mediante la técnica de Gumbel. Se realizó un proceso de modelación numérica utilizando el software HEC-RAS 5.0.7, el cual permitió determinar el área de inundación para el evento El Niño ocurrido en 2017. Para la validación del modelo se utilizó la imagen satelital SENTINEL-2. Adicionalmente, se modelaron eventos severos con periodos de retorno mayores a diez años. Esto se debe a que los resultados de estos eventos son esenciales para la ejecución de obras de protección ribereña en lugares críticos que han sido reconocidos como de alta susceptibilidad. Por último, pero no menos importante, las obras de protección ejecutadas lograron mitigar los efectos de las inundaciones, disminuyendo así la cantidad de terreno inundado en el área de investigación, que comprende la región desde la represa «Los Ejidos» hasta el puente Bolognesi en la provincia de Piura.



Moreno, (2022) en su estudio titulado "Respuesta hidrológica con cambio climático en flujos de agua azul y verde, cuenca del río Cachi, Ayacucho 2021", El propósito de este estudio es proporcionar una estimación cuantitativa de la respuesta hidrológica de los caudales de aguas azules y verdes en la cuenca del río Cachi bajo escenarios de cambio climático para la era histórica (1981-2016) así como para las décadas de 2060(2046-2070) y 2090(2075-2099). Para llevar a cabo esta técnica de estimación cuantitativa se utilizará el modelo hidrológico semidistribuido SWAT, previamente calibrado y verificado con el método SUFI-2. De los valores de Nash-Sutcliffe(0,5.07, 0,602), R^2 (0,507, 0,603) y KGE(0,604, 0,705) se desprende que el modelo rinde al máximo nivel factible. La proyección de precipitaciones y temperaturas del modelo IPSL-CM5A-MR(Francia), que fue uno de los diez modelos evaluados, se utilizó en el contexto del escenario de forzamiento radiativo RCP8.5 del Experimento Regional Coordinado de Desescalado Climático (CORDEX). En este escenario se utilizó la reducción de escala estadística con corrección de errores mediante transformación de potencia y mapeo de distribución para la precipitación y la temperatura, respectivamente, con la herramienta CMhyd. Según los resultados, se espera que el flujo medio anual de agua azul (BWF) para la década de 2060 (2046-2070) disminuya en un -6,1%(198mm-245,5mm) en las subcuencas del sur, mientras que se espera que aumente en un +19%(198 mm-245,5 mm) en las subcuencas de Huanta y San Pedro de Cachi. En las subcuencas del sur se registra una reducción significativa de la FAB de -35.1%(269.5mm-175mm) para la década de 2090 (2075-2099). Esta disminución es evidente en los años 2075-2099. Por otro lado, el flujo de agua verde (GWF) muestra un pequeño cambio del 4% (767mm-798,5mm) para la década de 2060 (2046-2070), sin embargo para la década de 2090 (2075-2099), el GWF crece un +11,5%(767mm-866,5mm) a nivel de cuenca. Lo mismo ocurre para la década de 2060. En conclusión, los resultados sugieren que el BWF mostrará una varianza regional y temporal en el futuro, pero el GWF mostrará una tendencia creciente.



2.1.3 Antecedente local

Según Laura, (2019) en su investigación "Efecto del cambio climático en la oferta hídrica superficial de la cuenca del río llave - Puno", se centra en evaluar la oferta hídrica superficial de la cuenca del río llave mediante la utilización de Modelos Climáticos Globales (MCG), según afirma Laura (2019). Sin embargo, para poder predecir con exactitud situaciones futuras, es necesario tener una sólida comprensión del presente. Por esta razón, se utilizó el modelo hidrológico SAC.SMA para ilustrar los caudales a escala diaria en tres fases temporales de tiempo diferentes: la era histórica (1975-2005), el período actual (1991-2016) y el período futuro (2020-2100). Tanto la calibración como la validación del modelo se realizaron en el periodo actual, con unos servicios de NashSutcliffe de 0,86 y 0,82, respectivamente. Se examinaron 21 modelos de circulación general (MCG) de la base de datos NEX.GDDP de la N.A.S.A. para representar el clima futuro. Elegimos los MCG que ofrecían la representación más precisa de las estadísticas actuales de precipitaciones y temperaturas entre 1981 y 2005. En cuanto al análisis gráfico, así como a las estadísticas de coeficiente de determinación (R^2) y error cuadrático medio (RMSE), el modelo CESM1-BGC demostró tener las mejores puntuaciones. Se desarrollaron funciones de transferencia mensuales para cada estación de la cuenca con el fin de rectificar las imprecisiones sistemáticas presentes en CESM1-BGC. Se simularon dos trayectorias de concentración representativas (R.C.P.4.5 y R.C.P.8.5) para el futuro próximo (2020-2050) y el futuro lejano (2070-2100). Según los resultados, el suministro anual de agua disminuirá entre un 3% y un 24% en comparación con la era histórica, con la excepción del futuro lejano bajo RCP 8.5, cuando se prevé que habrá un aumento del 58% en ese periodo de tiempo. El mes de febrero (-8%), el mes de marzo (23%), el mes de abril (30%) y el mes de noviembre (18%) registran las fluctuaciones mensuales más significativas. En cuanto a las estaciones, se prevé un aumento en otoño (82%) y un descenso en invierno (-2%). Por último, los hidrogramas mensuales revelan un cambio de los caudales más altos que se registraron en febrero a los recogidos en marzo. Cuando se trata de un futuro próximo, es posible afirmar que se producirá un descenso de los



caudales; sin embargo, cuando se trata de un futuro lejano, existe una gran falta de seguridad.

Según Pampamallco, (2022) en su investigación "Diseño de bocatoma para evitar el desborde del río Ramis en épocas de avenidas, distrito de Huancané, Puno, 2022", el objetivo del investigador es diseñar una bocatoma que pueda evitar el desborde del río Ramis en épocas de inundaciones. En la aplicación de la metodología utilizada se utilizó un diseño experimental y un enfoque cuantitativo. La población que se tomó en consideración fue la longitud completa del río Ramis, que era de sesenta kilómetros. La demostración elegida consistió en un tranvía de dos kilómetros de longitud ubicado en el distrito de Huancané. En esta demostración se evaluaron los parámetros necesarios para el diseño de la bocatoma. Se diseñó una bocatoma mixta como solución para mitigar el desborde del río Ramis, con un caudal máximo de 6,37 metros por segundo. Los resultados que se obtuvieron incluyeron el diseño de esta bocatoma mixta. Además, se diseñó un desarenador con un tamaño de sedimento medio de 0,5 milímetros, y tuvo una velocidad de sedimentación de 0,05 metros por segundo. Se estableció un canal de derivación con un diámetro de 1,8 metros y pendientes que oscilaban entre el 0,04% y el 0,85%, construido a lo largo de una vía de 11,07 kilómetros de longitud y que utilizaba carreteras locales. El canal fue diseñado para terminar en el lago Titicaca. Tras un cuidadoso análisis, se determinó que el diseño de la bocatoma y sus partes constituyentes regula eficazmente el drenaje del río Ramis. Esto se logra transportando el caudal que ha sido capturado a través de un canal de derivación que está colocado a lo largo del recorrido de la herradura, que finalmente desemboca en el lago Titicaca. Este sistema en particular salvaguarda un total de 4,208.36 hectáreas de tierras agrícolas, ganado, zonas residenciales y vidas humanas, las cuales se encuentran ubicadas en el distrito de Huancané, dentro del departamento de Puno. Además de esto, es esencial tener en cuenta el examen del comportamiento hidrológico y sedimentológico del río Ramis, además de las características topográficas de la región que se está investigando.



Según Valdez, (2021), en su investigación "Evaluación Hidráulica para estimar Áreas de Inundación del Río Molla Afluente del Río Ilave", tiene como finalidad visualizar las áreas de inundación en el tramo del río Molla. El río Molla es afluente del río Tunquipa y tributario del río Ilave. Durante el proceso de modelación hidrológica se discretizó la cuenca en tres subcuencas bastante similares entre sí. Este proceso se inició con la determinación de las características geomorfológicas de la cuenca. A continuación, se calcularon el número de curva (CN) y las abstracciones iniciales empleando el enfoque desarrollado por el Servicio de Conservación del Suelo de los Estados Unidos (SCS). La obtención de la escorrentía superficial mediante la transformación de la precipitación neta se realizó con ayuda del programa HEC-HMS en conjunción con el hidrograma sintético (SCS). Se proyectó que el caudal máximo sería de 53,40 m³/s, lo que equivaldría a un tiempo de retorno de 200 años. El resultado sería que la región investigada experimentaría inundaciones y desbordamientos. A continuación, se utilizó el programa IBER para desarrollar la simulación hidráulica del río Molla en la localidad de Huarijuyo. Este modelo toma en cuenta la geografía de la región, el caudal máximo de crecida y el coeficiente de Manning (n), entre otros factores. Como consecuencia de ello, se elaboró un mapa de inundaciones, el cual demuestra que el caudal medio del río Molla se incrementa en un rango de 0,200 a 0,700 metros en circunstancias normales. Esto tiene el potencial de tener un impacto tanto en la orilla izquierda como en la derecha de las zonas pobladas a lo largo del río, lo que puede resultar en la destrucción de propiedades, la destrucción de cultivos e incluso la pérdida de vidas humanas. Por último, se ha realizado una estimación del caudal ecológico, que ha permitido concluir que el caudal anual medio es de 0,48 m³ por segundo.



2.2 Bases teóricas

2.2.1 Hidrología

La hidrología es una disciplina científica dedicada al estudio detallado de las características y la distribución del agua en el planeta, abarcando su presencia en diversos entornos, como la superficie terrestre, la atmósfera y el subsuelo. Los principios fundamentales de esta ciencia incluyen la comprensión de los procesos que rigen el ciclo del agua, así como las interacciones que este recurso tiene con su entorno natural. Además, se enfoca en su distribución tanto en el espacio como en el tiempo. El conocimiento derivado de la hidrología es esencial para una gestión eficiente y sostenible de los recursos hídricos, así como para la prevención de desastres naturales relacionados con el agua, como inundaciones y sequías, y para el diseño de infraestructuras hidráulicas que aseguren un uso adecuado del agua (Alberca et al., 2023).

En esencia, la hidrología estudia el agua en sus diversas formas en la Tierra, analizando su distribución, circulación y propiedades físicas y químicas. Esta ciencia engloba el análisis del agua en sus tres estados: líquido, sólido y gaseoso, y examina cómo interactúa con el medio ambiente. Esto incluye su movimiento y transformación dentro de la atmósfera, su comportamiento en la superficie terrestre y su dinámica en las capas subterráneas (Orozco et al., 2018). Este enfoque integral es clave para abordar desafíos globales relacionados con el agua, desde su disponibilidad hasta su calidad, y para desarrollar soluciones que minimicen los impactos negativos del cambio climático y otras presiones ambientales.

La hidrología investiga cómo se distribuye el agua en diferentes reservorios como océanos, ríos, lagos, glaciares, acuíferos y la atmósfera. Cada uno de estos reservorios tiene diferentes tiempos de residencia del agua, que es el tiempo que el agua permanece en un determinado lugar antes de moverse a otro. Por ejemplo, el agua en los océanos



puede tener un tiempo de residencia de miles de años, mientras que el agua en la atmósfera puede permanecer solo unos días (Mendoza Cariño et al., 2018).

La base fundamental del estudio de la hidrología radica en la comprensión del ciclo hidrológico y de los diversos procesos que lo componen, tanto en su dimensión superficial como subterránea. Esta comprensión requiere, en gran medida, la capacidad de "medir" los diferentes componentes del ciclo. Si bien las técnicas y métodos de medición para elementos como los caudales de los ríos y las precipitaciones han experimentado avances notables a lo largo del tiempo, otras partes del ciclo, especialmente aquellas de naturaleza subterránea, no han contado con el mismo nivel de desarrollo tecnológico. Procesos como la infiltración, la percolación profunda, el flujo subterráneo y el flujo sub superficial generalmente deben ser medidos de forma indirecta, lo que introduce una considerable incertidumbre en la comprensión integral del ciclo hidrológico (Martín et al., 2020).

La medición directa de estos procesos subterráneos resulta compleja y costosa, ya que a menudo requiere la aplicación de tecnologías avanzadas, así como la implementación de métodos indirectos, tales como la modelización matemática y las simulaciones. Aunque estos métodos indirectos son de gran utilidad para estimar ciertos parámetros, tienden a incorporar niveles significativos de incertidumbre y suposiciones que pueden afectar la precisión de los resultados obtenidos. Por ejemplo, la infiltración y la percolación profunda son procesos que dependen de múltiples factores, como la estructura y composición del suelo, la presencia de vegetación, y las características topográficas del terreno, todos los cuales pueden variar considerablemente incluso en áreas geográficamente cercanas.

Además, tanto el flujo subterráneo como el flujo sub superficial desempeñan funciones esenciales en la recarga de los acuíferos y en el sostenimiento de los caudales de ríos y arroyos durante los periodos de sequía. Por esta razón, el entendimiento profundo

de estos procesos es crucial para la administración sustentable de los recursos hídricos, especialmente en zonas que son vulnerables a la escasez de agua o donde las fuentes subterráneas constituyen la principal vía de abastecimiento.

El reto que plantea la medición y la plena comprensión de los aspectos subterráneos del ciclo hidrológico también tiene implicaciones importantes en la modelización y la predicción de eventos hidrológicos extremos, como inundaciones y sequías. Mejorar la exactitud de las mediciones de estos procesos subterráneos y ampliar el conocimiento sobre su funcionamiento podría contribuir a implementar estrategias más eficientes para mitigar y adaptarse a los efectos del cambio climático, así como a una gestión más eficiente y sostenible de los recursos hídricos (Sanabria, 2019).

2.2.2 Ciclo hidrológico

En el mundo, el agua existe en lo que se denomina la hidrosfera, una capa que se extiende alrededor de quince kilómetros por encima de la atmósfera y hasta un kilómetro por debajo de la litosfera. La circulación continua del agua dentro de esta capa se conoce como el ciclo hidrológico. A lo largo de este ciclo, el agua puede cambiar de estado, transformándose entre sus tres formas principales: líquido, sólido y gaseoso.

Aunque no se puede determinar con precisión el punto exacto en el que comienza el ciclo hidrológico, generalmente se considera que su origen principal está en los océanos y mares, ya que estos cuerpos de agua se extienden por la mayor parte de la superficie de la Tierra. La evaporación que se produce en los océanos es significativamente mayor que la que ocurre sobre la tierra u otras áreas de la atmósfera, lo que convierte a estas grandes masas de agua en los principales motores de este ciclo (Gaona, 2020).

El vapor de agua generado por la evaporación se desplaza a través de la atmósfera, donde eventualmente se condensa y forma nubes. Este vapor condensado luego precipita

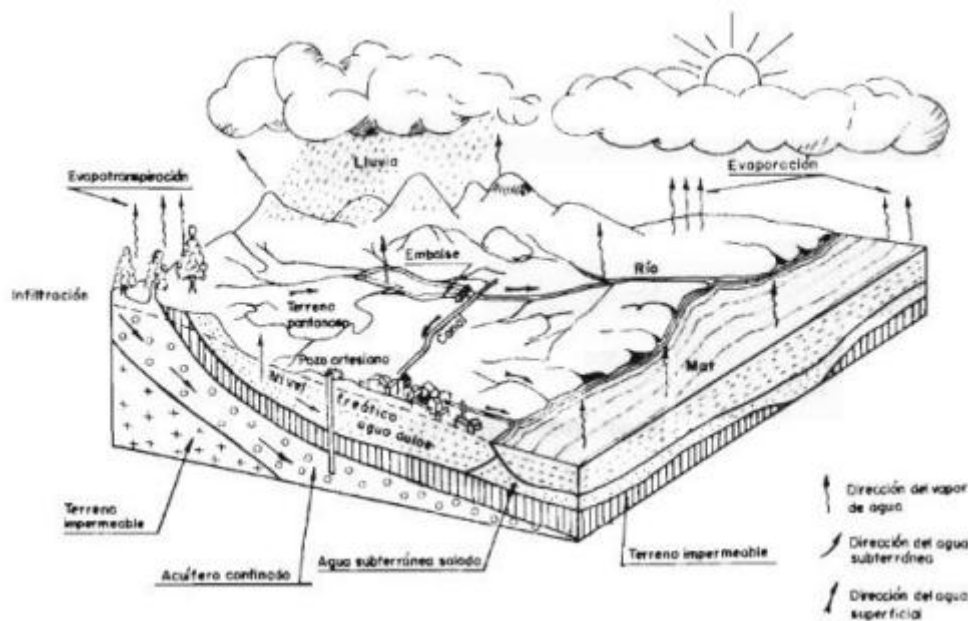


en forma de lluvia, nieve o granizo, cayendo tanto sobre la superficie terrestre como sobre los océanos. Una fracción del agua que llega a la tierra puede ser interceptada por la vegetación, desplazarse sobre la superficie como escorrentía o infiltrarse en el suelo. Gran parte de esta agua interceptada por las plantas o que escurre superficialmente regresa a la atmósfera mediante el proceso de evaporación. El agua que logra infiltrarse en el suelo puede desplazarse hacia capas más profundas, alcanzando acuíferos subterráneos. Desde estos acuíferos, el agua puede emerger nuevamente en forma de manantiales, unirse a corrientes superficiales o eventualmente regresar a los océanos, donde será evaporada nuevamente, cerrando así el ciclo hidrológico (Roggenkamp et al., 2024).

Dada la complejidad inherente de los fenómenos hidrológicos, es probable que nunca se logre una comprensión completa y exhaustiva de todos los procesos involucrados. No obstante, estos fenómenos pueden ser representados de manera simplificada mediante el sistema es un conjunto organizado de componentes que trabajan en conjunto interrelacionados que, en su totalidad, conforman un todo coherente. En el caso del ciclo hidrológico, elementos como la precipitación, la evaporación, la escorrentía y otros componentes permiten considerar el ciclo como un sistema integrado. Estos componentes pueden agruparse en subsistemas, que pueden ser analizados individualmente. Posteriormente, los resultados de estos análisis pueden combinarse según las interacciones entre los subsistemas, lo que permite realizar un análisis integral del sistema hidrológico en su conjunto (Krapesch et al., 2023).

Figura 1

Ciclo hidrológico

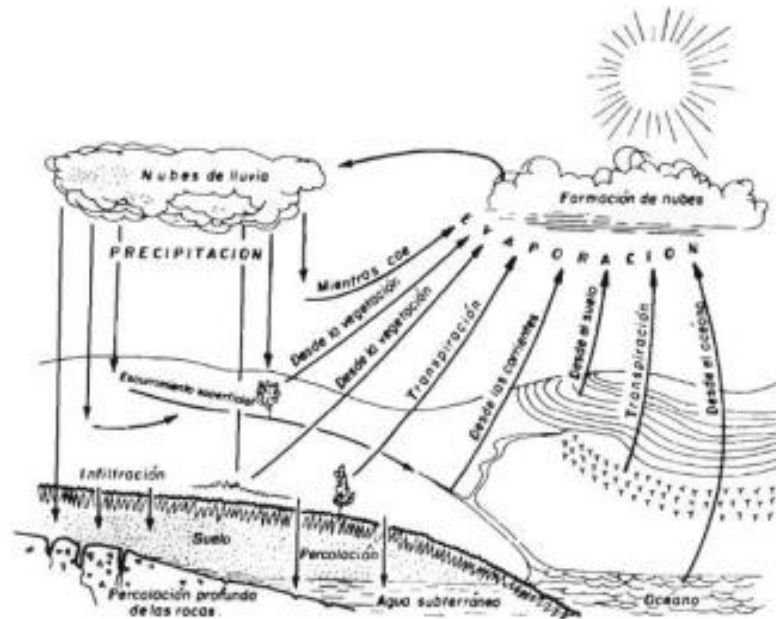


Nota: Tomada de (Baptista & Pillco, 2017).

El ciclo hidrológico está compuesto por un conjunto de procesos interrelacionados entre sí y que transcurren constantemente sin un principio ni un final que puedan identificarse con precisión. La evaporación del agua de los mares y de la superficie terrestre da lugar a la formación de vapor, que se integra en la atmósfera. Este vapor es transportado por la atmósfera y asciende hasta que se condensa y precipita en la tierra o en los océanos. Tras producirse la precipitación, el agua puede ser absorbida por las plantas, transformarse en flujo superficial en el suelo, penetrar en el suelo, desplazarse como flujo subsuperficial y, en última instancia, fluir hacia los ríos como escorrentía superficial. Mediante el proceso de evaporación, la mayor parte del agua y de la escorrentía superficial que se recoge vuelve a la atmósfera. Es posible que el agua infiltrada se filtre en profundidad, rellenando así los acuíferos subterráneos. Desde estos acuíferos, el agua puede aflorar en manantiales o fluir hacia los ríos, sumándose así a la escorrentía superficial. Este proceso continúa hasta que el agua llega al océano o se evapora de nuevo a la atmósfera, repitiéndose así el ciclo de los fluidos (Baptista & Pillco, 2017).

Figura 2

Ciclo hidrológico simplificado



Nota: Tomada de (Baptista & Pillco, 2017).

El ciclo hidrológico es un proceso natural y constante que permite la circulación del agua en sus diferentes formas físicas a lo largo de la atmósfera, la superficie terrestre y el subsuelo. Este ciclo desempeña un papel esencial en la distribución y renovación del agua en nuestro planeta, asegurando que este recurso vital se mantenga disponible en una amplia variedad de ecosistemas y reservas naturales. A través de una serie de fenómenos interconectados, como la evaporación, la condensación, la precipitación y la infiltración, el ciclo hidrológico garantiza la continuidad del agua en sus diferentes estados, contribuyendo al equilibrio hídrico del planeta y al mantenimiento de la vida en la Tierra. Este sistema dinámico es crucial no solo para los ecosistemas naturales, sino también para los seres humanos, ya que proporciona agua dulce necesaria para el consumo, la agricultura, la industria y otros usos.



Componentes del ciclo hidrológico

❖ Evaporación

La evaporación es el proceso mediante el cual el agua en estado líquido se transforma en vapor debido a la energía solar. Este fenómeno ocurre predominantemente en grandes cuerpos de agua como océanos, mares, ríos y lagos, pero también tiene lugar en superficies húmedas, como el suelo y la vegetación. La evaporación está influenciada por diversos factores, entre los que destacan la temperatura del agua y del aire, la velocidad del viento y la humedad relativa del ambiente. A mayor temperatura y menor humedad relativa, se incrementa la tasa de evaporación, lo que convierte a este proceso en un componente crucial del ciclo hidrológico, siendo el principal mecanismo por el cual el agua entra en la atmósfera (Solla et al., 2024).

La evaporación no solo contribuye a la redistribución del agua, sino que también regula el transporte de humedad y calor en la atmósfera. La energía solar calienta las moléculas de agua en la superficie, dándoles la energía cinética suficiente para vencer las fuerzas de cohesión y transformarse en vapor. Este vapor asciende y se mezcla con el aire, facilitando la formación de nubes y, más tarde, la precipitación. Por tanto, la evaporación no solo es un motor del ciclo hidrológico, sino que también juega un papel clave en la regulación climática.

Además de los cuerpos de agua, la evaporación también ocurre desde el suelo y la vegetación. En el caso del suelo, este proceso influye en los niveles de humedad, lo que puede afectar tanto a la agricultura como a la disponibilidad de agua para las plantas. En la vegetación, la evaporación se combina con la transpiración de las plantas en un fenómeno conocido como evapotranspiración, que regula tanto el clima local como el ciclo de nutrientes dentro de los ecosistemas. La evapotranspiración es un proceso fundamental para mantener el equilibrio hídrico y térmico en muchos sistemas naturales (Orozco et al., 2018).



La velocidad del viento es otro factor determinante en la evaporación. El viento que sopla sobre cuerpos de agua o sobre la superficie terrestre ayuda a desplazar las moléculas de vapor, acelerando el proceso de evaporación. En regiones donde los vientos son fuertes, las tasas de evaporación tienden a ser significativamente más altas, lo que tiene relevantes implicaciones para la administración de los recursos hídricos, especialmente en áreas con climas secos y ventosos (Aju et al., 2024).

La evaporación también tiene un impacto directo en la salinidad de los océanos y otras formaciones acuáticas. Conforme el agua se evapora, deja atrás las sales y otros solutos, lo que aumenta la concentración de sal en el agua restante. Este fenómeno es particularmente relevante en regiones tropicales, donde las altas tasas de evaporación generan aguas más salinas, lo cual afecta tanto a las corrientes oceánicas como a los ecosistemas marinos.

En el contexto del cambio climático, la evaporación está siendo objeto de un estudio más profundo debido a su papel en los procesos de retroalimentación climática. A medida que las temperaturas globales aumentan, se espera que las tasas de evaporación también se incrementen, lo que podría alterar significativamente los patrones de precipitación y la disponibilidad de agua en muchas regiones del mundo. Entender estos cambios es esencial para desarrollar estrategias de adaptación y mitigación frente a los desafíos climáticos.

Desde una perspectiva práctica, la evaporación es un factor clave a considerar en el diseño y manejo de sistemas de gestión hídrica, como embalses y sistemas de riego, con el fin de minimizar la pérdida de agua y optimizar su uso. Además, su estudio es fundamental en la meteorología para mejorar las predicciones del clima y en la ingeniería ambiental para enfrentar problemas como la salinización del suelo y la contaminación del agua (Ramos, 2016).



❖ Transpiración

La transpiración es un proceso fundamental dentro del ciclo hidrológico, a través del cual las plantas absorben agua del suelo por medio de sus raíces y posteriormente liberan vapor de agua hacia la atmósfera. Esta liberación de vapor ocurre desde las hojas y otros tejidos aéreos de la planta. El mecanismo que permite la salida del vapor de agua se lleva a cabo principalmente a través de estructuras especializadas denominadas estomas, que son pequeñas aberturas presentes en las hojas. Estos estomas regulan la cantidad de agua que se pierde durante la transpiración y, al mismo tiempo, facilitan el intercambio de gases necesario para la fotosíntesis.

Durante el proceso de transpiración, el agua absorbida por las raíces es transportada a través del sistema vascular de la planta, conocido como xilema, hasta llegar a las hojas. Una vez allí, una parte del agua se utiliza en las reacciones bioquímicas de la fotosíntesis, mientras que el resto se evapora y se libera a la atmósfera en forma de vapor. Este fenómeno contribuye no solo a la regulación de la temperatura de la planta, sino que también desempeña un papel importante en el ciclo global del agua, ya que la transpiración es uno de los mecanismos que devuelve el agua a la atmósfera, influyendo en la formación de nubes y en los patrones de precipitación.

La transpiración es, por tanto, un proceso esencial para el mantenimiento de los ecosistemas, ya que ayuda a regular la humedad del aire y contribuye a la circulación del agua en la naturaleza. Además, este proceso es crítico para la supervivencia de las plantas, ya que favorece la absorción de nutrientes del suelo y la distribución de estos a lo largo de la planta. Sin la transpiración, las plantas no podrían llevar a cabo sus funciones vitales ni contribuir de manera tan significativa al ciclo hidrológico.

La transpiración es importante por varias razones:

- Regulación del agua en el suelo: Ayuda a mantener un balance de humedad en el suelo, lo que es esencial para la salud de las plantas y otros organismos del suelo.
- Contribución al ciclo del agua: Junto con la evaporación, la transpiración forma la evapotranspiración, que es una fuente principal de vapor de agua en la atmósfera, contribuyendo a la formación de nubes y, eventualmente, a las precipitaciones.
- Control térmico de las plantas: La transpiración ayuda a regular la temperatura de las plantas, evitando el sobrecalentamiento mediante el enfriamiento evaporativo.
- Movimiento de nutrientes: Facilita el transporte de nutrientes y minerales desde las raíces hacia otras partes de la planta (Haque et al., 2023).

❖ Evapotranspiración

La evapotranspiración es el proceso que combina la evaporación del agua desde diversas superficies, como el suelo, cuerpos de agua y otras áreas expuestas, con la transpiración de las plantas. Este fenómeno es fundamental para el ciclo hidrológico, ya que representa la cantidad total de agua que retorna a la atmósfera, influyendo de manera directa en la formación de nubes y en los patrones de precipitación. La importancia de la evapotranspiración radica en su impacto en la disponibilidad de agua en los ecosistemas y en la agricultura, pues determina cuánta agua queda disponible para los cultivos y la vegetación, afectando el rendimiento agrícola y el equilibrio hídrico de los ecosistemas naturales (ul Hasson & Böhner, 2019).

En el contexto del análisis del balance hídrico de una cuenca de drenaje, es esencial cuantificar las pérdidas totales de agua, comúnmente denominadas evapotranspiración. Este concepto abarca tanto la evaporación que ocurre en superficies abiertas, como lagos, nieve, hielo o el suelo, como la transpiración de las plantas, que libera agua desde sus tejidos hacia la atmósfera. Además, el término "uso consuntivo" se refiere a la cantidad total de agua que se pierde en una zona específica debido a la evaporación y la que se utiliza en la formación de nuevos tejidos vegetales. Este uso

consuntivo es un parámetro clave en la gestión de recursos hídricos, ya que influye en la planificación agrícola y en la sostenibilidad del uso del agua en regiones con diferentes climas y características hídricas.

La correcta estimación de la evapotranspiración es crucial para la toma de decisiones en la gestión del agua, ya que permite entender mejor cómo el agua se distribuye y se utiliza en una cuenca. Esto, a su vez, facilita la planificación de estrategias de riego más eficientes, la evaluación del impacto del cambio climático sobre los recursos hídricos, y el desarrollo de modelos hidrológicos que aseguren un uso sostenible del agua en áreas urbanas y agrícolas.

Existen varios métodos para medir y calcular la evapotranspiración. La medición directa se realiza utilizando un evapotranspirómetro, que es un tanque enterrado con una capa inferior de 10 cm de grava cubierta por suelo tamizado del área de estudio. Para los cálculos indirectos, se utilizan con frecuencia los métodos de Thornthwaite, Turc y Hargreaves debido a su precisión y simplicidad

❖ Condensación

La condensación es el proceso mediante el cual el vapor de agua presente en la atmósfera se enfría y se transforma en pequeñas gotas de agua líquida. Este fenómeno ocurre cuando el aire húmedo asciende, se enfría a medida que sube, y alcanza un punto en el que la temperatura es lo suficientemente baja como para que el vapor de agua se condense, lo que lleva a la formación de nubes y niebla. La condensación es un paso clave para que ocurra la precipitación, ya que las gotas de agua formadas se agrupan y, con el tiempo, crecen lo suficiente para caer a la superficie terrestre en forma de lluvia (Haque et al., 2023).



El proceso de condensación comienza cuando el aire cálido y húmedo se eleva en la atmósfera, encontrándose con capas de aire de menor presión a medida que asciende. Esta reducción de presión provoca la expansión del aire, lo que a su vez genera un descenso en la temperatura. Cuando el aire se enfría hasta alcanzar su punto de rocío, el vapor de agua presente comienza a condensarse alrededor de pequeñas partículas de polvo y otros aerosoles suspendidos en la atmósfera, formando diminutas gotas de agua. A medida que estas gotas se agrupan, dan lugar a la formación de nubes que son visibles en el cielo.

La condensación desempeña un papel fundamental en el ciclo hidrológico al transformar el vapor de agua en líquido, facilitando la eventual formación de precipitaciones. Dependiendo de las condiciones atmosféricas, las nubes formadas por condensación pueden adoptar diferentes formas, tales como cúmulos, estratos o cirros. Por otro lado, cuando la condensación ocurre cerca de la superficie terrestre, se forma niebla, que consiste en una capa densa de pequeñas gotas de agua suspendidas en el aire (Issakhov et al., 2023).

Además de su relevancia en la formación de precipitación, la condensación tiene un impacto significativo en la regulación del clima y la temperatura del planeta. Las nubes creadas por este proceso reflejan parte de la radiación solar que llega a la Tierra, ayudando a moderar las temperaturas globales. Asimismo, el proceso de condensación libera calor latente, que es una fuente clave de energía en la atmósfera. Este calor liberado puede influir en la dinámica atmosférica, promoviendo la formación de fenómenos meteorológicos importantes, como tormentas y huracanes.

En cuanto a las precipitaciones, la condensación es el paso crítico que precede al crecimiento de las gotas de agua en las nubes. A medida que estas gotas se combinan y aumentan de tamaño mediante procesos como la coalescencia y la captura, llegan a un

punto en el que superan la resistencia del aire y caen hacia la Tierra. Dependiendo de las condiciones de temperatura y presión que encuentren en su trayecto, estas precipitaciones pueden manifestarse en forma de lluvia, nieve, aguanieve o granizo (Sacaca, 2023).

Además de su importancia en el ciclo hidrológico, la condensación tiene aplicaciones prácticas en diversas áreas. Por ejemplo, los sistemas de recolección de agua de niebla utilizan la condensación para capturar agua potable en regiones áridas. En la ingeniería y la construcción, comprender los principios de la condensación es crucial para diseñar sistemas de climatización y ventilación eficientes que eviten la acumulación de humedad y el crecimiento de moho (Pang et al., 2024).

❖ **Precipitación**

El caudal de un río está principalmente influenciado por las variaciones en la precipitación. La precipitación se refiere al agua que desciende desde la atmósfera hacia la superficie terrestre, manifestándose en formas como lluvia, granizo, nieve, entre otras. Este proceso se origina cuando una masa de aire asciende debido a corrientes, alcanzando una altitud donde la temperatura es más baja que la de la masa de aire, permitiendo la condensación.

Las precipitaciones se pueden clasificar en tres tipos: convectivas, orográficas y ciclónicas. Las precipitaciones convectivas ocurren cuando el aire caliente, que es más ligero que el aire frío circundante, asciende. Las precipitaciones orográficas se producen cuando el aire cálido asciende al encontrarse con una cadena montañosa. Por último, las precipitaciones ciclónicas se generan cuando masas de aire con diferentes temperaturas se encuentran, resultando en la formación de precipitaciones (Sacaca, 2023).

❖ Infiltración

La infiltración es el proceso mediante el cual el agua de las precipitaciones penetra en la superficie del suelo y se desplaza hacia abajo a través de los poros y espacios intersticiales del suelo, permitiendo la recarga de los acuíferos subterráneos. Este proceso es esencial para el suministro sostenible de agua dulce, ya que contribuye a mantener los niveles de los acuíferos y asegura la cantidad de agua disponible para el ecosistema, incluyendo plantas, animales y el uso humano.

La tasa de infiltración está influenciada por una serie de factores, como la textura y estructura del suelo, la cobertura vegetal, la intensidad de la precipitación y el grado de saturación previa del suelo. Los suelos arenosos, debido a la mayor dimensión de sus partículas y sus poros más amplios, facilitan una mayor infiltración en comparación con los suelos arcillosos, que tienen partículas más pequeñas y menor espacio para el paso del agua. Asimismo, la presencia de vegetación favorece la infiltración, ya que las raíces de las plantas crean conductos en el suelo, mientras que la materia orgánica mejora la estructura del suelo y su capacidad para retener agua (Sacaca, 2023).

El proceso de infiltración resulta fundamental para la recarga de los acuíferos subterráneos, que constituyen una fuente vital de agua para diversas actividades, como el consumo humano, la agricultura y la industria. La infiltración no solo repone el agua que es extraída de los acuíferos, sino que también contribuye a mantener el flujo base de los ríos y arroyos, especialmente durante las estaciones secas. Sin un proceso adecuado de infiltración, los niveles de agua subterránea disminuirían, lo que podría comprometer la disponibilidad de agua dulce y afectar negativamente los ecosistemas acuáticos que dependen de este recurso.

Además, la infiltración desempeña un papel crucial en la prevención de la erosión y las inundaciones. Cuando el agua pluvial se filtra en el terreno, en lugar de desplazarse rápidamente sobre la superficie terrestre, se reduce la velocidad del escurrimiento



superficial. Esto ayuda a mitigar los riesgos de erosión del suelo y disminuye la posibilidad de que se formen escorrentías que pueden desencadenar inundaciones. Este control natural del flujo de agua es esencial para proteger tanto las tierras agrícolas como las infraestructuras urbanas de los impactos negativos de las tormentas y precipitaciones intensas (Mayta & Mamani, 2018).

La infiltración también contribuye significativamente a la purificación natural del agua. A medida que el agua se filtra a través de las diferentes capas del suelo, las partículas y la materia orgánica presentes actúan como un sistema de filtrado, atrapando sedimentos y absorbiendo diversas sustancias químicas. Este proceso de filtración natural es clave para mejorar la calidad del agua subterránea, asegurando que sea apta para el consumo humano, el uso agrícola y otras aplicaciones, lo que a su vez refuerza la sostenibilidad del ciclo del agua en los ecosistemas (Robertson et al., 2022).

❖ Escorrentía

La escorrentía es el proceso mediante el cual una parte del agua de la precipitación fluye sobre o bajo la superficie terrestre, eventualmente llegando a un curso de agua que desemboca en una cuenca o en un cuerpo de agua mayor, como un río, lago o mar. Este flujo de agua es una consecuencia directa de la interacción entre las precipitaciones y la superficie del suelo, y juega un papel crucial en el ciclo hidrológico.

Existen tres tipos principales de escorrentía: superficial, subsuperficial y subterránea. La escorrentía superficial se refiere al agua de lluvia que no se infiltra en el suelo y, en cambio, fluye directamente sobre la superficie terrestre hacia los cursos de agua, generando un impacto inmediato en el volumen del caudal de los ríos o arroyos. Esta escorrentía suele ocurrir en suelos saturados o impermeables, donde la capacidad de infiltración es limitada.



La escorrentía subsuperficial, por otro lado, es el agua que se infiltra parcialmente en las capas superiores del suelo, pero que se mueve más lentamente que la escorrentía superficial. Este tipo de flujo depende de las características geológicas del terreno, como la porosidad del suelo y la topografía, y afecta al caudal de los ríos de forma más gradual. Finalmente, la escorrentía subterránea proviene del agua que se infiltra profundamente en el suelo hasta llegar a los niveles freáticos, contribuyendo a la recarga de acuíferos. Dado que este tipo de escorrentía se desplaza lentamente a través de las capas geológicas, su impacto en los cursos de agua es menos inmediato, pero es fundamental para el mantenimiento de los flujos base de los ríos durante los períodos secos (Mayta & Mamani, 2018).

Cuando la precipitación alcanza la superficie terrestre, una porción se infiltra en las capas superiores del suelo hasta que estas se saturan. Una vez que el suelo está saturado, las depresiones superficiales se llenan de agua, lo que provoca que el exceso comience a fluir sobre la superficie en dirección a los cursos de agua cercanos. Durante este recorrido, parte del agua superficial puede infiltrarse nuevamente o evaporarse, reduciendo ligeramente el volumen de escorrentía. Una vez que este flujo alcanza un cauce definido, se clasifica como escorrentía superficial. La porción de agua que se infiltra en las capas superiores y fluye cerca de la superficie, pero por debajo de ella, es conocida como escorrentía subsuperficial. Por último, el agua que se infiltra hasta alcanzar las capas más profundas del suelo, llegando al nivel freático, se denomina escorrentía subterránea. Esta última es esencial para la recarga de acuíferos y proporciona un suministro constante de agua a los cursos fluviales, aunque a un ritmo más lento y estable (Quispe, 2018).

De este modo, la escorrentía es un componente clave del ciclo hidrológico, no solo por su influencia en los cuerpos de agua superficiales, sino también por su rol en la recarga de acuíferos y el control del flujo base de los ríos. Cada tipo de escorrentía, con sus diferentes tiempos de respuesta y trayectorias, contribuye de manera única al balance



hídrico de una cuenca y a la gestión sostenible del agua en diferentes contextos geográficos.

❖ Flujo Subterráneo

El flujo subterráneo es el movimiento del agua almacenada en los acuíferos hacia ríos, lagos y océanos. Este proceso es más lento que la escorrentía superficial y puede tardar desde días hasta siglos. El flujo subterráneo es esencial para mantener el flujo base de los ríos y garantizar un suministro continuo de agua durante períodos secos.

El flujo subterráneo ocurre cuando el agua de precipitación se infiltra en el suelo y recarga los acuíferos, que son formaciones de roca porosa o sedimentos capaces de almacenar y transmitir agua. Esta agua subterránea se desplaza lentamente hacia zonas de menor presión, lo que eventualmente provoca su surgimiento en manantiales, ríos, lagos e incluso océanos. La velocidad con la que este flujo subterráneo se desplaza depende tanto de la permeabilidad del material geológico como del gradiente hidráulico, que es la diferencia en el nivel del agua entre dos puntos (Mayta & Mamani, 2018).

El flujo subterráneo desempeña un papel esencial en el ciclo hidrológico, ya que asegura la sostenibilidad de los ecosistemas acuáticos. Durante las épocas secas, cuando las precipitaciones son limitadas, este flujo proporciona un aporte constante de agua a ríos y arroyos, manteniendo el flujo base que es indispensable para la supervivencia de la vida acuática y los ecosistemas que dependen de estos cuerpos de agua. Sin este suministro subterráneo, muchos ríos y corrientes podrían secarse durante los periodos de sequía, lo que afectaría gravemente tanto a la biodiversidad como a las comunidades humanas que dependen de estos recursos hídricos para su supervivencia.

Además de garantizar el flujo base de los ríos, el flujo subterráneo también contribuye de manera significativa a la pureza del agua en los cuerpos de agua



superficiales. A medida que el agua se infiltra a través de las capas de suelo y roca, pasa por un proceso de filtración natural que facilita la remoción de contaminantes y el mejoramiento de la pureza del agua antes de que alcance los ríos, lagos u otros cuerpos superficiales. Este proceso de purificación natural es crucial para mantener la salud de los ecosistemas acuáticos y asegurar un suministro de agua limpia para las comunidades humanas que dependen de estas fuentes.

La gestión adecuada y sostenible del flujo subterráneo es fundamental para la conservación de los recursos hídricos a largo plazo. La sobreexplotación de los acuíferos, ya sea para la agricultura, la industria o el uso doméstico, puede provocar una reducción en los niveles freáticos, lo que a su vez disminuye el flujo base de los ríos y pone en riesgo la disponibilidad futura de agua. Por esta razón, es imperativo implementar prácticas de manejo que equilibren la extracción de agua con la recarga natural de los acuíferos. De esta manera, se puede garantizar un suministro sostenible de agua para atender las demandas actuales sin comprometer los recursos hídricos de las próximas generaciones (Robertson et al., 2022).

2.2.3 Caudal

En el campo de la hidrología se denomina «caudal» al volumen de agua que pasa por un lugar determinado de un río, arroyo u otra masa de agua durante un tiempo determinado. Es práctica habitual medir este caudal en unidades de volumen por tiempo, como (m^3/s) o (L/s), y es una característica clave para la gestión de los recursos hídricos y la construcción de infraestructuras hidráulicas.

Existen dos enfoques principales para trabajar con el caudal de un río. El primero se aplica cuando se dispone de datos de caudales máximos instantáneos. En este caso, se utiliza un análisis estadístico para determinar el caudal correspondiente a diferentes

periodos de retorno, es decir, la frecuencia con la que se espera que ocurran caudales de cierta magnitud. Este análisis ajusta los datos observados a una distribución estadística que represente de manera más precisa el comportamiento del río, permitiendo estimar los caudales máximos probables. Este enfoque es especialmente útil para evaluar eventos extremos, como inundaciones, y para planificar infraestructuras hidráulicas que sean capaces de soportar las máximas cargas esperadas durante esos eventos, garantizando su seguridad y funcionalidad a largo plazo (Mayta & Mamani, 2018).

En situaciones donde no se dispone de datos suficientes sobre caudales históricos, el segundo enfoque utiliza las precipitaciones como dato de entrada para estimar el caudal. Este método parte de la premisa de que, cuando ocurre una precipitación, una porción del agua se infiltra en el suelo, mientras que otra parte se convierte en escorrentía superficial después de un tiempo. A través de modelos hidrológicos, se simula cómo responde la cuenca ante la precipitación, lo que permite calcular el caudal correspondiente para diferentes periodos de retorno. Estos modelos consideran diversos factores, como la topografía del terreno, las características del suelo, la vegetación y el uso del suelo, para predecir cómo se comportará la cuenca durante los eventos de lluvia (Quispe, 2024).

Un aspecto clave en este enfoque es el tiempo de concentración de la cuenca, que se define como el tiempo que tarda el agua en viajar desde los puntos más distantes de la cuenca hasta el punto de salida. Este tiempo es un factor crucial, ya que influye en la forma y la altura del hidrograma, una representación gráfica que muestra el caudal en función del tiempo. La forma del hidrograma es importante para comprender cómo varía el flujo del agua durante una tormenta y, por lo tanto, es esencial para el diseño de obras hidráulicas y para la gestión de riesgos de inundación.

Este segundo enfoque es particularmente valioso en áreas donde los datos históricos sobre caudales son limitados o inexistentes, ya que permite hacer estimaciones



fiables sobre el caudal esperado. Esto resulta fundamental para la planificación y gestión de recursos hídricos, la prevención de inundaciones y el diseño de infraestructuras hidráulicas. Es posible generar una previsión más precisa de los caudales futuros incluyendo datos pluviométricos y otros parámetros importantes en los modelos hidrológicos. Esto no sólo mejora la capacidad de respuesta ante fenómenos hidrológicos importantes, sino que también optimiza el uso de los recursos de que se dispone en la actualidad (Pampamallco, 2022).

2.2.4 Ríos afluentes

Un río afluente es un cuerpo de agua que desemboca en otro río más grande, aportando su flujo y aumentando el volumen de agua del río principal. A diferencia de los ríos que desembocan directamente en el mar o en un océano, los ríos afluentes se unen a otros ríos en su trayecto hacia una desembocadura común. Este proceso de unión no solo incrementa el caudal del río principal, sino que también contribuye significativamente a la dinámica y estructura de la cuenca hidrográfica (Pampamallco, 2022).

La confluencia, o el punto donde se unen el río afluente y el río principal, puede variar considerablemente en forma y tamaño. Esta unión puede ser suave y gradual, o abrupta y turbulenta, dependiendo de la topografía y la velocidad del flujo de ambos cuerpos de agua. En muchos casos, la confluencia de múltiples afluentes da lugar a grandes sistemas fluviales que abarcan vastas regiones geográficas, creando redes complejas de drenaje que distribuyen agua a lo largo de amplios territorios.

Los ríos afluentes juegan un papel crucial en el ciclo hidrológico, un proceso continuo que involucra la circulación del agua en la Tierra. Contribuyen al transporte de sedimentos y nutrientes, elementos esenciales que sostienen la biodiversidad y fertilidad de los ecosistemas acuáticos y terrestres. Los sedimentos transportados por los afluentes



pueden formar deltas y planicies aluviales, creando hábitats ricos en nutrientes que son fundamentales para la agricultura y la vida silvestre (Quispe, 2018).

Además, los afluentes ayudan a regular el flujo del río principal, mitigando los efectos de las inundaciones al distribuir el agua de manera más uniforme a lo largo de la cuenca. Durante las estaciones secas, los afluentes pueden mantener el flujo en el río principal, asegurando un suministro constante de agua que es vital para el consumo humano, la agricultura y la industria (Mayta & Mamani, 2018).

Los ríos afluentes también son importantes corredores ecológicos que permiten la migración y dispersión de especies, conectando diferentes hábitats y contribuyendo a la resiliencia de los ecosistemas frente a cambios ambientales y climáticos. La gestión y conservación de los afluentes son esenciales para mantener la salud y funcionalidad de las cuencas hidrográficas, garantizando la disponibilidad de recursos hídricos para las generaciones futuras.

2.2.5 Factores climáticos

Al realizar un estudio del ciclo hidrológico, es de suma importancia tener en cuenta una serie de condiciones climáticas que interactúan entre sí para dar origen a las numerosas actividades que componen este ciclo. Las precipitaciones, la temperatura, la humedad del aire, la radiación ultravioleta del sol y el viento son ejemplos de estas variables. Lo que impulsa y mantiene el ciclo del agua en la Tierra es la interacción entre estos componentes climáticos, que siempre están cambiando.

A modo de ejemplo, la radiación solar, la temperatura del aire y la velocidad del viento tienen efectos directos sobre la evapotranspiración, que forma parte del ciclo hidrológico y se considera uno de sus componentes más importantes. La energía necesaria para que el agua se evapore de las superficies y sea transpirada por las plantas la

proporciona la radiación solar. La temperatura y el viento aceleran o ralentizan este proceso, según las circunstancias. Por consiguiente, el análisis hidrológico depende de un conocimiento sólido de las interacciones entre los distintos elementos climáticos.

Además, es importante considerar la interacción de estos factores climáticos con los factores antrópicos, es decir, aquellos relacionados con las actividades humanas, como la urbanización, la agricultura y el uso de recursos naturales. Las actividades humanas pueden alterar los patrones climáticos locales y, en consecuencia, influir en el comportamiento del ciclo hidrológico. Por ello, es esencial analizar estos factores en conjunto, dentro de un ciclo sinérgico, para entender de manera más precisa cómo los factores climáticos y las actividades humanas se interrelacionan y afectan el ciclo del agua (Huisa & Huanca, 2024).

2.2.5.1 Precipitación

La precipitación es uno de los factores más determinantes en el comportamiento hidrodinámico de un río, ya que constituye la principal fuente de aporte hídrico a su cauce. La cantidad de agua que cae en forma de lluvia afecta directamente la generación de escorrentías, la recarga de los cuerpos de agua y, en última instancia, el caudal del río. La magnitud de las precipitaciones, así como su distribución temporal, influye significativamente en el flujo del río, su capacidad para transportar sedimentos y la disponibilidad de recursos hídricos en toda la cuenca (Huisa & Huanca, 2024).

Dado su impacto directo en los sistemas fluviales, es fundamental identificar y monitorear cuidadosamente las estaciones pluviométricas y pluviográficas situadas dentro de la cuenca y en sus alrededores. Estas estaciones deben contar con un extenso historial de datos sobre precipitaciones, lo que permitirá obtener información precisa y confiable para los análisis hidrológicos. La disponibilidad de registros detallados es esencial para

modelar el comportamiento del río bajo distintas condiciones climáticas y, a su vez, para planificar de manera efectiva la gestión de los recursos hídricos.

Además, el análisis de los patrones de precipitación es crucial para prevenir y mitigar los efectos adversos de eventos climáticos extremos, como inundaciones y sequías. La información obtenida de estos estudios también es indispensable para el diseño de infraestructuras hidráulicas que puedan enfrentar los desafíos asociados a variaciones en el régimen de precipitaciones. Comprender en detalle cómo las precipitaciones afectan a la cuenca permite a los gestores de recursos hídricos tomar decisiones más informadas y formular estrategias sostenibles para la conservación y el uso eficiente del agua, minimizando los riesgos y garantizando la disponibilidad del recurso a largo plazo (Mayta & Mamani, 2018).

2.2.5.2 Temperatura

La temperatura actúa como un factor determinante en el clima esencial que influye en el nivel de actividad o alteración a nivel de partículas en cualquier sistema. Su medición es sencilla de obtener y su relevancia es considerable, ya que la temperatura actúa como un indicador del nivel de energía que un sistema ha recibido. Si consideramos al planeta Tierra como un sistema, la radiación solar constituye la principal fuente de entrada de energía, cuyo remanente se manifiesta en forma de calor, lo que percibimos como temperatura (Huisa & Huanca, 2024).

Este parámetro climático tiene una influencia significativa en numerosos procesos físicos, químicos y biológicos que ocurren en el medio ambiente. Por ejemplo, la temperatura afecta la velocidad de las reacciones químicas, la tasa de actividad metabólica en organismos vivos y la solubilidad de gases en cuerpos de agua. Además, tanto la temperatura del aire como del agua son fundamentales para la regulación de los



ecosistemas, influyendo en el comportamiento de las especies y en la estabilidad de los entornos naturales (Cabrera & Mamani, 2022).

Es esencial tener en cuenta que la relación entre la temperatura y la humedad es bastante estrecha y directamente proporcional. Tanto la capacidad del aire para retener vapor de agua como la temperatura aumentan a medida que aumenta la temperatura, lo que demuestra aún más la dependencia que existe entre ambos componentes. Esta interacción influye notablemente en diversos fenómenos meteorológicos y medioambientales, como la producción de nubes, las precipitaciones y la evapotranspiración, entre otros.

En regiones cálidas y húmedas, por ejemplo, el aire tiene la capacidad de contener mayores cantidades de vapor de agua, lo que puede dar lugar a una mayor frecuencia e intensidad de precipitaciones. Por el contrario, en climas fríos, el aire seco y frío limita la cantidad de humedad que puede retener, lo que afecta tanto la formación de nubes como la ocurrencia de nevadas. Estos efectos climáticos tienen implicaciones directas en numerosos aspectos, como la agricultura, la disponibilidad de agua, la salud pública y la planificación urbana. En contextos agrícolas, la temperatura influye en los ciclos de cultivo, mientras que en el ámbito urbano afecta el diseño de infraestructuras resilientes al clima (Quispe, 2018).

2.2.5.3 Humedad Atmosférica

Cuando hablamos de la concentración de vapor de agua en la atmósfera, nos referimos a la humedad atmosférica. El origen de esta humedad está directamente relacionado con las actividades que forman parte del ciclo hidrológico, como la evaporación y la evapotranspiración. Estas actividades dan lugar a la producción de vapor de agua, que se acumula en la atmósfera. Cuando las condiciones son favorables, este vapor de agua



se condensa en nubes, que finalmente se transforman en precipitaciones (Huisa & Huanca, 2024).

Utilizando el transporte de Reynolds, que es un método que permite estudiar la variación de las características del aire a lo largo del tiempo y del lugar, es posible realizar un análisis del movimiento del vapor de agua en la atmósfera dentro de un sistema hidrológico. En el marco de esta discusión, se establece un parámetro denominado β . Este parámetro se representa mediante la ecuación $\beta = Db/dm$, donde B representa la cantidad de vapor de agua y m representa la masa de aire húmedo. Esta cantidad, que se denomina humedad específica, se utiliza para representar la fracción de vapor de agua en relación con la masa total de aire húmedo.

En los ámbitos de la meteorología y la climatología, la humedad específica es un indicador importante porque desempeña un papel crucial en el desarrollo de las nubes y la creación de precipitaciones. Concretamente, el aire que tiene un alto contenido de humedad específica tiene un mayor potencial para favorecer la formación de nubes, lo que a su vez aumenta la probabilidad de que se produzcan precipitaciones. Este hecho es especialmente significativo en el ámbito de la agricultura debido a que la lluvia es un suministro esencial de agua para las plantas. Por otra parte, la humedad específica es sumamente importante para la gestión de los recursos hídricos y el diseño de las zonas urbanas, ya que influye en la disponibilidad de agua y en la reducción de los riesgos relacionados con el clima, como las inundaciones y las sequías.

El nivel de humedad del aire también influye considerablemente en el nivel de confort y salud que experimentan las personas. La sensación de calor puede verse amplificada por niveles altos de humedad, mientras que los niveles bajos pueden producir sequedad en la piel y el sistema respiratorio. La humedad relativa es un factor importante en el diseño de los sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC). Esto

se debe a que influye en la cantidad de energía que se ahorra y en el nivel de confort que se experimenta en el ambiente circundante (Quispe, 2018).

La comprensión de los patrones de humedad atmosférica también es vital para predecir y gestionar fenómenos meteorológicos extremos, como huracanes y tormentas severas. Los datos sobre la humedad específica y relativa, junto con otras variables climáticas, ayudan a mejorar los modelos de pronóstico y a desarrollar estrategias de mitigación y adaptación frente al cambio climático.

2.2.5.4 Radiación Solar

La radiación solar es un factor clave que representa la principal fuente de energía proveniente del sol, y su influencia se extiende a todos los procesos ambientales, particularmente al ciclo hidrológico, donde desempeña un papel fundamental al afectar la evapotranspiración. Esta energía solar se genera a partir de la fusión nuclear en el sol y se transfiere a través de ondas electromagnéticas. Al no requerir un medio material para propagarse, estas ondas pueden atravesar el espacio entre el Sol y la Tierra, permitiendo que la energía solar llegue a nuestro planeta (Huisa & Huanca, 2024).

Para medir la radiación solar se emplean diversos instrumentos especializados, como radiómetros, piranómetros y heliógrafos. La medición precisa de la radiación solar es crucial para analizar la transferencia de energía entre la Tierra y la atmósfera, así como para evaluar la distribución de la radiación que incide, se refleja y se retiene en el planeta. Estos análisis son esenciales en múltiples campos, como la biología, la arquitectura y la agricultura, ya que permiten comprender mejor cómo la radiación solar influye en el ambiente y satisfacer las demandas energéticas y productivas en estos sectores.

La radiación solar también es fundamental en el diseño de sistemas de energía renovable, especialmente en los sistemas de energía solar. Los paneles solares dependen



de la cantidad y calidad de radiación recibida para generar electricidad de manera eficiente. Asimismo, la energía solar influye en los microclimas locales, afectando variables como la temperatura y la humedad en áreas pequeñas, lo que impacta directamente en la vegetación, la fauna y las actividades humanas, como la agricultura.

En el ámbito de la arquitectura, la radiación solar es un factor determinante en el diseño de edificios y estructuras. Un diseño adecuado permite maximizar el uso de la luz natural, reduciendo la dependencia de la iluminación artificial y minimizando la necesidad de sistemas mecánicos de calefacción y refrigeración. Este enfoque no solo mejora la eficiencia energética, sino que también contribuye a la sostenibilidad ambiental. En la agricultura, la radiación solar es vital para la fotosíntesis, proceso esencial para el crecimiento de las plantas y la productividad de los cultivos. La cantidad de radiación solar disponible tiene un impacto directo en el rendimiento agrícola, lo que subraya su importancia en la planificación de actividades agrícolas y la gestión de los recursos naturales (Cabrera & Mamani, 2022).

La comprensión precisa de la radiación solar y su variabilidad es clave para el desarrollo sostenible y la adaptación al cambio climático. Permite optimizar el uso de recursos energéticos y mejorar la planificación ambiental y urbana. El análisis detallado de la radiación solar ayuda a anticipar las necesidades energéticas, planificar cultivos agrícolas y diseñar infraestructuras resilientes al clima (Quispe, 2018).

2.2.5.5 Viento

El viento es un fenómeno meteorológico que se produce como consecuencia de las variaciones en la presión de la atmósfera que tienen lugar en distintas regiones del mundo. Como resultado de estas diferencias de presión, las partículas de aire se desplazan de las regiones de mayor presión a las de menor presión, con el objetivo de lograr una distribución más equilibrada de la presión en toda la atmósfera. A pesar de que este concepto



fundamental proporciona una explicación para la formación del viento, no es el único aspecto que determina su funcionamiento. Otros factores, como la rotación de la Tierra (efecto Coriolis), las características del terreno y las fluctuaciones de temperatura, intervienen en el desarrollo y comportamiento de las corrientes de viento (Huisa & Huanca, 2024). Estos factores también influyen en la dirección y fuerza del flujo de las corrientes de viento.

Además, la interacción del viento con estos componentes puede dar lugar a fluctuaciones en la velocidad y dirección del viento, que a su vez repercuten en muchos aspectos del clima y los ecosistemas. Estas variaciones pueden tener varias causas. El viento tiene efectos directos en actividades humanas como la agricultura, la creación de energía eólica y la navegación aérea y oceánica. El viento también desempeña un papel importante en la transferencia de calor sobre la Tierra e influye en el ciclo hidrológico a través de la evaporación y el transporte de vapor de agua.

La ubicación en el globo terrestre también influye en las características del viento. Factores como las corrientes oceánicas y los efectos producidos por la rotación de la Tierra (efecto Coriolis) desempeñan un papel importante en la dirección y velocidad del viento. Además, la topografía local, como montañas y valles, puede modificar los patrones del viento, creando zonas de aceleración o desaceleración. Las diferencias en la temperatura de la superficie terrestre y del mar también generan brisas locales que afectan los microclimas regionales (Mayta & Mamani, 2018).

El viento tiene un impacto significativo en diversos aspectos del clima y el medio ambiente. Influye en la dispersión de contaminantes atmosféricos, lo cual es crucial para la calidad del aire en las zonas urbanas e industriales. También juega un papel en la erosión del suelo, especialmente en áreas áridas y semiáridas, donde puede desplazar grandes cantidades de tierra y arena. Además, el viento es fundamental para la

polinización de muchas plantas, facilitando la reproducción y la biodiversidad de los ecosistemas (Cabrera & Mamani, 2022).

Además, el viento juega un papel crucial en el transporte de calor y humedad, afectando el clima regional y global. Las corrientes de viento pueden llevar aire caliente o frío a diferentes regiones, influyendo en las temperaturas locales y en los patrones de precipitaciones. La comprensión de los patrones de viento es esencial para la navegación aérea y marítima, ya que los vientos pueden afectar la ruta, la velocidad y la seguridad de los vuelos y los barcos. Asimismo, el viento es un factor clave en la planificación de infraestructuras, como puentes y edificios, que deben ser diseñados para resistir las cargas del viento. La gestión de recursos naturales también se ve influenciada por el viento, especialmente en la agricultura, donde puede afectar la irrigación y la distribución de semillas y nutrientes (Quispe, 2018).

2.2.6 Identificación de zonas inundables

La identificación de zonas inundables es un proceso fundamental para la gestión de riesgos de desastres, planificación urbana, y desarrollo de infraestructuras resilientes. Este proceso permite identificar las áreas susceptibles de inundación, evaluar el impacto potencial de dichos eventos, y diseñar estrategias adecuadas de mitigación y adaptación. Existen varias metodologías para llevar a cabo esta identificación, que se basan en un enfoque multidisciplinario y en el uso de herramientas tecnológicas y científicas avanzadas (Lipa & Vilca, 2021).

❖ Análisis Hidrológico e Hidráulico

El análisis hidrológico e hidráulico se centra en entender el comportamiento del agua en una cuenca hidrográfica.

- **Análisis Hidrológico:** Consiste en evaluar las condiciones de precipitación, escorrentía, infiltración, y evapotranspiración en una cuenca. Mediante el uso de modelos matemáticos y estadísticos, se estiman los caudales de diseño de eventos extremos, como tormentas o lluvias intensas, que podrían causar inundaciones. Estos modelos consideran factores como el tipo de suelo, uso del suelo, pendientes, cobertura vegetal, y características climáticas.
- **Análisis Hidráulico:** Se enfoca en el estudio del flujo de agua a través de los ríos, arroyos y canales. Utiliza modelos computacionales para simular cómo se comporta el agua en los cauces durante un evento de inundación, considerando la geometría del cauce, la rugosidad, y la pendiente del lecho. Permite determinar parámetros como la altura del agua, la velocidad de flujo, y la extensión de las áreas inundadas bajo diferentes escenarios de caudal (Mayta & Mamani, 2018).

❖ Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Los SIG son herramientas que permiten la integración, análisis y visualización de datos espaciales, fundamentales para la identificación de zonas inundables.

- **Mapeo Topográfico y Digitalización del Terreno:** Los SIG permiten crear modelos digitales del terreno (MDT) que representan la elevación de la superficie terrestre en alta resolución. Estos modelos se combinan con datos hidrológicos para identificar cuencas de drenaje, áreas de acumulación de agua y rutas de flujo potenciales durante eventos de lluvia intensa.
- **Análisis de Vulnerabilidad:** Mediante la superposición de mapas de usos del suelo, infraestructura crítica, y densidad poblacional, los SIG facilitan el análisis de vulnerabilidad de las zonas inundables. Esto permite determinar qué áreas son más propensas a sufrir daños significativos y cuáles requieren intervenciones prioritarias.
- **Monitoreo en Tiempo Real:** Los SIG integrados con sensores de campo, estaciones meteorológicas y plataformas de observación remota permiten el monitoreo en tiempo

real de las condiciones hidrometeorológicas, facilitando la toma de decisiones ante eventos de inundación inminentes (Lipa & Vilca, 2021).

❖ Teledetección y Uso de Imágenes Satelitales

La teledetección se refiere al uso de tecnologías de sensores remotos, como satélites y drones, para recolectar datos sobre la superficie terrestre sin contacto directo.

- **Imágenes Satelitales Multiespectrales:** Las imágenes capturadas en diferentes bandas espectrales (visible, infrarrojo, radar, etc.) permiten detectar cambios en la cobertura del suelo, cuerpos de agua y vegetación. Esta información es crucial para identificar áreas inundadas, tanto históricamente como en tiempo real.
- **Detección de Cambios:** La comparación de imágenes satelitales en diferentes períodos ayuda a identificar cambios en el paisaje, como deforestación, urbanización, y alteraciones en el curso de los ríos, que pueden aumentar la vulnerabilidad a inundaciones.
- **Radar de Apertura Sintética (SAR):** La tecnología SAR es capaz de penetrar nubes y oscuridad, lo que permite monitorear inundaciones incluso en condiciones meteorológicas adversas. Este método es efectivo para mapear extensiones de inundación y evaluar daños en tiempo real (Mayta & Mamani, 2018).

❖ Modelos de Predicción y Simulación Numérica

Los modelos de predicción y simulación numérica son herramientas computacionales que utilizan algoritmos avanzados para simular escenarios de inundación bajo diferentes condiciones climáticas y ambientales.

- **Modelos Unidimensionales (1D) y Bidimensionales (2D):** Los modelos 1D simulan el flujo de agua a lo largo de un único eje (como un río), mientras que los modelos 2D permiten simular la propagación del agua en superficies planas, como llanuras de

inundación. Estos modelos ayudan a prever la extensión de la inundación, la profundidad del agua, y las áreas afectadas con gran precisión.

- **Modelos de Eventos Extremos:** Simulan eventos climáticos extremos, como huracanes o lluvias torrenciales, para evaluar el riesgo de inundación en áreas vulnerables. Estos modelos consideran factores como el cambio climático, el aumento del nivel del mar y la urbanización para estimar escenarios futuros.
- **Simulaciones de Monte Carlo y Análisis de Incertidumbre:** Estas técnicas se utilizan para evaluar la incertidumbre en las predicciones de inundación. Al simular miles de escenarios posibles, los modelos pueden proporcionar rangos de posibles resultados y probabilidades asociadas, mejorando la gestión del riesgo (Flores, 2021).

❖ Evaluación de Riesgos y Análisis Multicriterio

La evaluación de riesgos consiste en combinar datos de múltiples fuentes y metodologías para proporcionar una imagen integral del riesgo de inundación en una zona específica.

- **Análisis Multicriterio (AMC):** Este enfoque permite integrar diferentes variables, como la vulnerabilidad de la infraestructura, la exposición de la población, el valor económico de los bienes afectados, y las características del terreno. Utiliza técnicas como el Proceso Analítico Jerárquico (AHP) para ponderar y clasificar las zonas en función de su riesgo relativo.
- **Evaluación Cualitativa y Cuantitativa del Riesgo:** Las evaluaciones cualitativas se basan en el conocimiento experto y los datos históricos para identificar áreas de alto riesgo, mientras que las evaluaciones cuantitativas utilizan datos medibles y modelos matemáticos para estimar la probabilidad de ocurrencia de inundaciones y sus posibles impactos.
- **Desarrollo de Mapas de Riesgo:** Los resultados de estos análisis se traducen en mapas de riesgo, que son herramientas visuales cruciales para la planificación territorial, la

elaboración de planes de emergencia, y la implementación de medidas de mitigación, como la construcción de diques, embalses o sistemas de drenaje (Flores, 2021).

- ❖ Estudios de Campo y Participación Comunitaria
- **Recolección de Datos In Situ:** Los estudios de campo proporcionan datos empíricos sobre las características del suelo, vegetación, uso del suelo, y presencia de estructuras de mitigación (como diques o zanjas). Esta información es fundamental para validar y calibrar modelos hidrológicos e hidráulicos.
- **Participación Comunitaria:** Involucrar a las comunidades locales en la identificación de zonas inundables es crucial, ya que los residentes a menudo poseen un conocimiento detallado de los patrones históricos de inundación y los puntos críticos. La participación comunitaria también ayuda a aumentar la conciencia y la preparación ante desastres (Quispe, 2018).

2.2.7 Muros de contención

Los muros de contención son estructuras diseñadas para soportar y contener materiales como tierra, rocas o escombros, especialmente en situaciones donde existe un cambio repentino en la elevación del terreno. Su función principal es evitar deslizamientos de tierra, controlar la erosión y garantizar la estabilidad de taludes o pendientes, que podrían ceder debido a la presión lateral ejercida por el terreno. Estos muros son fundamentales en proyectos de ingeniería civil, ya que contribuyen a la seguridad y estabilidad de infraestructuras como carreteras, ferrocarriles, edificaciones y otras obras importantes.

A continuación, se detallan los aspectos clave que deben considerarse en el diseño y las características de los muros de contención:

❖ Tipos de Muros de Contención

Existen varios tipos de muros de contención, cada uno diseñado para adaptarse a las condiciones específicas del sitio y a los requerimientos del proyecto:

- **Muros de Gravedad:** Se basan en su propio peso para resistir las fuerzas laterales del suelo. Están hechos de materiales pesados como concreto ciclópeo, piedra, o mampostería. Su gran masa proporciona estabilidad, pero requieren un volumen significativo de material y espacio.
- **Muros en Voladizo:** Consisten en una delgada losa vertical (tallo) conectada a una base o zapata en forma de "L" o "T". El peso del suelo sobre la base proporciona estabilidad adicional. Este tipo de muro es eficiente para alturas moderadas y utiliza menos material en comparación con los muros de gravedad.
- **Muros Anclados:** Se utilizan cuando el espacio es limitado o cuando las cargas de contención son muy elevadas. Incorporan anclajes de acero, barras, o cables que se insertan en el terreno adyacente y se fijan mediante tensores. Son adecuados para terrenos rocosos o muy empinados.
- **Muros de Gaviones:** Compuestos por cestas metálicas llenas de piedra o grava. Son flexibles, permeables y económicos, ideales para áreas donde se requiere drenaje natural o donde los asentamientos diferenciales podrían ser un problema.
- **Muros de Tierra Reforzada:** Utilizan capas de materiales reforzantes, como geotextiles o tiras metálicas, integradas con el suelo compactado. Son adecuados para grandes alturas y permiten una cierta flexibilidad ante movimientos sísmicos o asentamientos diferenciales (Quispe, 2018).

❖ Principios de Diseño de Muros de Contención

El diseño de muros de contención debe considerar múltiples factores para garantizar su estabilidad, durabilidad y funcionalidad:

- **Estabilidad Estructural:** Se debe evaluar la capacidad del muro para resistir las fuerzas laterales del suelo, la presión del agua, y otras cargas externas. Esto incluye el análisis de estabilidad frente al deslizamiento, volcamiento, y falla del terreno subyacente.
- **Resistencia de Materiales:** Los materiales utilizados en la construcción deben tener suficiente resistencia a la compresión, tracción y corte. Se considera el uso de concreto reforzado, acero, piedra o materiales geosintéticos, según el tipo de muro y las condiciones del terreno.
- **Drenaje Adecuado:** El diseño debe incorporar sistemas de drenaje para evitar la acumulación de agua detrás del muro, lo que podría aumentar la presión hidrostática y comprometer la estabilidad. Estos sistemas pueden incluir tuberías de drenaje, filtros, y capas permeables.
- **Control de Fisuración y Deformación:** Es importante considerar los movimientos del terreno, la temperatura, y otros factores que pueden causar deformaciones o fisuras en el muro. Esto se maneja a través de juntas de expansión, refuerzo adecuado y materiales flexibles.
- **Consideraciones Sísmicas:** En áreas propensas a terremotos, se deben aplicar criterios de diseño sísmico, como la incorporación de refuerzos adicionales, selección de materiales con mayor ductilidad y diseño de muros que permitan cierto grado de movimiento sin perder estabilidad (Flores, 2021).

❖ Características Específicas de los Muros de Contención

Las características específicas de un muro de contención dependen de su tipo, ubicación, y función. A continuación, se destacan algunos aspectos importantes:

- **Altura y Espesor:** La altura del muro afecta directamente su diseño estructural. Los muros más altos requieren mayor espesor y refuerzo para resistir las cargas laterales. Generalmente, el espesor se incrementa hacia la base para aumentar la estabilidad.



- **Inclinación del Muro:** La inclinación o "batería" del muro hacia el relleno puede ayudar a aumentar la estabilidad. Algunos muros se diseñan con una inclinación ligera hacia el material que contienen, lo que reduce la presión activa del suelo.
- **Materiales Utilizados:** Los materiales de construcción deben ser seleccionados en función de la resistencia requerida, la durabilidad, y las condiciones ambientales. El concreto, la piedra, y el acero son comunes, aunque también se utilizan materiales alternativos como bloques de tierra compactada o gaviones.
- **Revestimientos y Acabados:** En algunos casos, se requieren revestimientos especiales para proteger el muro de la intemperie, la erosión, o el impacto de agentes químicos. Los acabados estéticos también pueden ser importantes en áreas urbanas o de alto tráfico.
- **Facilidad de Construcción y Mantenimiento:** El diseño debe considerar la facilidad de construcción y los costos asociados, así como la posibilidad de mantenimiento a lo largo del tiempo. Los muros de contención deben ser inspeccionados regularmente para detectar signos de desplazamiento, agrietamiento o erosión.

El diseño de muros de contención debe cumplir con los criterios de seguridad establecidos por las normativas locales e internacionales, como el Código Técnico de Edificación (CTE) o los estándares del American Concrete Institute (ACI). Estos criterios incluyen factores de seguridad mínimos para deslizamiento, volcamiento y falla del suelo, así como especificaciones sobre el uso de materiales, métodos de construcción, y mantenimiento (Flores, 2021).

2.3 Marco conceptual

- a. Afluentes.** - Un afluente es un río o arroyo que desemboca en otro río de mayor tamaño, contribuyendo al flujo de agua del mismo. Los afluentes pueden variar en tamaño y caudal, y juegan un papel importante en el sistema fluvial, aportando agua,



sedimentos y nutrientes al río principal. En un sistema de drenaje, los afluentes son esenciales para la formación de cuencas hidrográficas.

- b. Caudal.** - En el contexto de un río, arroyo u otra masa de agua, el término «caudal» se refiere a la cantidad de agua que se mueve a través de una masa de agua concreta en un momento determinado. Las unidades de medida estándar son los metros cúbicos por segundo (m³/s) o los litros por segundo (l/s). En el campo de la hidrología, el caudal es una métrica fundamental que desempeña un papel esencial en la gestión de los recursos hídricos, la construcción de infraestructuras hidráulicas y la previsión de inundaciones.
- c. Ciclo hidrológico.** - El ciclo hidrológico, a veces conocido como ciclo del agua, es una metáfora que explica el movimiento continuo del agua en, sobre y bajo la superficie de la Tierra. Evaporación, condensación, precipitación, infiltración, escorrentía y transpiración son algunas de las actividades importantes que se incluyen en este patrón del ciclo del agua. Este ciclo está impulsado por la energía solar, que es necesaria para el mantenimiento de la vida en la Tierra, así como para la distribución de los recursos hídricos en todo el mundo.
- d. Hidrología.** - La hidrología es la ciencia que estudia las propiedades, distribución y circulación del agua en la Tierra. Esta disciplina abarca la investigación de los procesos del ciclo hidrológico, la interacción del agua con el medio ambiente, y el impacto de las actividades humanas sobre los recursos hídricos. Los hidrólogos analizan datos de precipitación, caudales de ríos, niveles de aguas subterráneas y otros parámetros para gestionar y proteger los recursos hídricos.



CAPITULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Enfoque de investigación

El enfoque cuantitativo es una técnica de estudio sistemática y objetiva que se utiliza para describir, explicar y prever sucesos mediante la recopilación y el análisis de datos numéricos. La base de este método es la utilización de técnicas estadísticas y matemáticas para procesar y analizar la información. Este enfoque permite llegar a conclusiones reproducibles y generalizables. En la investigación, el método cuantitativo pretende reducir la subjetividad. En la recogida de datos se utilizan procedimientos normalizados. Siempre que la muestra sea representativa de la población, el enfoque cuantitativo permite extender las conclusiones adquiridas a una población más amplia. Esto es posible gracias a su capacidad para manejar enormes cantidades de datos y a la utilización de procedimientos estadísticos mediante el uso de métodos estadísticos (Alfonso et al., 2020).

3.2 Método de investigación

Procedimiento a la vez metódico y minucioso, el método científico es un proceso que emplean los investigadores para investigar fenómenos, adquirir nuevos conocimientos



o rectificar y sintetizar la información recopilada previamente. Este enfoque se distingue por ser empírico, reproducible y objetivo, y se construye mediante una secuencia de procesos claramente definidos. El primer paso del proceso es la observación real de un determinado fenómeno o recopilación de datos. Una observación de este tipo puede ser directa o indirecta, y plantea una pregunta para seguir indagando. En última instancia, la observación conduce a la formulación de un tema de investigación claro y específico. La pregunta debe ser explícita, cuantitativa y susceptible de respuesta dentro de los parámetros de la investigación. El método científico es crucial porque proporciona un marco estructurado para el descubrimiento y la validación del conocimiento. A través de su enfoque riguroso y sistemático, minimiza los sesgos y maximiza la objetividad, permitiendo a la comunidad científica construir una base de conocimiento confiable y acumulativa (Arias, 2012).

3.3 Tipo de investigación

La investigación aplicada es un tipo de investigación que pretende abordar problemas prácticos concretos y mejorar la calidad de vida de las personas o el funcionamiento de sistemas y procesos. El objetivo primordial de este tipo de estudios es mejorar la calidad de vida. La investigación aplicada, por su parte, está orientada a la práctica y a la aplicación de soluciones reales, a diferencia de la investigación fundamental, que se centra en el desarrollo de conocimientos teóricos sin un objetivo inmediato de aplicación. La investigación aplicada se centra en problemas específicos y bien definidos que necesitan una solución práctica. El objetivo principal es encontrar soluciones que puedan ser implementadas de manera efectiva para mejorar una situación existente o desarrollar nuevas tecnologías, procesos o políticas (Baena, 2017).

3.4 Nivel de Investigación

La investigación explicativa es un nivel de investigación que se centra en identificar y entender las causas y efectos de un fenómeno determinado. Su objetivo principal es



explicar por qué y cómo ocurren los eventos, a diferencia de otros niveles de investigación que pueden centrarse solo en describir o explorar un fenómeno. La investigación explicativa busca establecer relaciones causales entre variables. Intenta responder preguntas como “¿Por qué ocurre esto?” y “¿Cómo se relaciona este fenómeno con otros?”. Este nivel de investigación requiere un análisis profundo y detallado de los fenómenos estudiados. Se enfoca en desentrañar los mecanismos y procesos subyacentes que dan lugar a los eventos observados (Baena, 2017).

3.5 Diseño de investigación

Investigación descriptiva: este tipo de diseño es utilizado ampliamente en diversas disciplinas científicas y se centra en describir características, fenómenos o situaciones de manera sistemática y precisa. El objetivo principal de la investigación descriptiva no es determinar relaciones de causa y efecto, sino proporcionar un panorama claro y detallado de cómo son las cosas en un momento determinado. En la investigación descriptiva, los investigadores observan y describen los elementos de un fenómeno sin modificarlos. Esto puede incluir la descripción de poblaciones, eventos, comportamientos o condiciones. Las técnicas comunes utilizadas en este tipo de investigación incluyen encuestas, estudios de caso, observación sistemática y registros de bases de datos (Alfonso et al., 2020).

3.6 Población y muestra

3.6.1 Población

La población de la investigación es el conjunto de personas, objetos, acontecimientos o cosas que son de interés para un estudio concreto y comparten características comunes. Esta población también puede denominarse muestra de la investigación. Dicho de otro modo, la población se refiere al grupo completo que es objeto de una investigación y del que se pretende adquirir información y extraer observaciones.



La población debe estar claramente definida y delimitada. Esto incluye especificar los criterios de inclusión y exclusión que determinan quién o qué forma parte de la población.

La población en tu investigación está constituida por el afluente Azángaro en su totalidad. Esto incluye todas las secciones del río, sus características hidráulicas, y las áreas potencialmente afectadas por inundaciones.

3.6.2 Muestra

Se elige un subconjunto de toda la población para participar en un estudio de investigación, y esta fracción se denomina muestra de investigación. Este subconjunto tiene que ser representativo de la población para que los resultados obtenidos puedan generalizarse y aplicarse a un grupo más amplio. Uno de los factores más importantes para determinar la validez y fiabilidad de los resultados del estudio es la selección de una muestra adecuada. La muestra debe reflejar las características y variabilidad de la población total. Esto significa que debe ser lo suficientemente diversa como para incluir las distintas subpoblaciones dentro del grupo total.

La muestra comprende de un estudio de los tramos del distrito de Santiago de Pupuja donde nos enfocamos en el análisis del comportamiento del afluente y el diseño de muros de contención.

3.7 Técnicas e instrumentos de recolección

3.7.1 Técnicas

- Observación
- Análisis de datos
- Recopilación de información

3.7.2 Instrumentos

- Fichas técnicas



- Equipos de laboratorio
- Herramientas de laboratorio

3.8 Validación y de instrumentos y confiabilidad

3.8.1 Validación de instrumentos

El proceso de validación de instrumentos es un paso esencial en el proceso de investigación. Su finalidad es garantizar que los instrumentos utilizados para la recogida de datos (incluidos, entre otros, cuestionarios, exámenes, entrevistas y encuestas) miden de forma fiable y coherente las variables para las que han sido diseñados. Para garantizar la validez y fiabilidad de los resultados obtenidos mediante el uso de tales dispositivos, este procedimiento es muy necesario.

3.8.2 Confiabilidad de instrumentos

Cuando hablamos de la fiabilidad de un instrumento, nos referimos a la medida en que es capaz de ofrecer resultados coherentes y estables a lo largo del tiempo y en distintos entornos. Se trata de un componente crucial para garantizar que los resultados obtenidos sean fiables y reproducibles, y es una evaluación de la precisión y coherencia de un dispositivo de medición.

3.9 Trabajos realizados

Levantamiento topográfico

- Mediante el método descriptivo, análisis visual utilizando Google Earth y levantamiento topográfico, el río Azángaro en el sector de Santiago de Pupuja se clasifica como un río meándrico con una sección de canal natural irregular. Se realizó un levantamiento topográfico con estación total y un levantamiento aéreo con dron en una franja del río, con el propósito de determinar características físicas como la pendiente, el ancho y la profundidad promedio, entre otras, necesarias para el diseño.
- Una vez completados los trabajos de campo, se procedió a la descarga de datos en una laptop y al procesamiento de la información en programas como Excel y AutoCAD.

En estos programas se procesaron las curvas primarias y secundarias, entre otros datos relevantes.

Cálculo hídrico

- Para el cálculo hidrológico, primero se realizó una solicitud a SENAMI con el fin de obtener los datos históricos de precipitaciones y caudales del río Azángaro. Esta información es crucial para analizar las variaciones en el flujo del río a lo largo del tiempo y para evaluar los eventos extremos que podrían afectar el diseño de las defensas ribereñas.
- Posteriormente, los datos obtenidos fueron procesados utilizando el software River. Este software permite llevar a cabo un análisis detallado del comportamiento hidrológico del río, facilitando la simulación de diferentes escenarios y la evaluación de los caudales para distintos períodos de retorno.
- Con base en los resultados del análisis, se calculó el caudal correspondiente al período de retorno de 100 años. Este cálculo es fundamental para garantizar que las defensas ribereñas sean adecuadas para enfrentar eventos de alta magnitud. Además, se determinó el diseño y las características de las defensas ribereñas, asegurando su efectividad para proteger las áreas adyacentes al río de posibles inundaciones y erosiones.

Elaboración de defensas

- Realizar un análisis detallado de los riesgos de inundación y erosión en las zonas ribereñas identificadas. Este análisis debe incluir estudios históricos de eventos de inundación y modelaciones de escenarios futuros basados en los datos climáticos.
- Diseñar las estructuras de defensa ribereña, que se adecuen a las necesidades específicas del área en base a los resultados del análisis de riesgos. Estos diseños

deben considerar la funcionalidad, resistencia y adaptabilidad a las condiciones cambiantes del clima y del río.

- Seleccionar los materiales más adecuados para la construcción de las defensas, priorizando aquellos que ofrecen durabilidad, sostenibilidad y mínima afectación ambiental.

Ancho de cauce

El ancho del cauce es una característica fundamental en el diseño y análisis de ríos y canales, especialmente en lo que se refiere a la estabilidad de la sección y la capacidad de manejo de caudales. A continuación, se detallan diversos métodos utilizados para calcular el ancho medio de la sección estable de un cauce, empleando distintas fórmulas desarrolladas por varios expertos en la materia.

Método de Simons y Henderson

Este método utiliza una fórmula basada en la teoría de Simons y Henderson para determinar el ancho medio del cauce, donde se relaciona el caudal de diseño con las condiciones del fondo y orilla del río. La fórmula es la siguiente:

$$B = K1 * Q^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

B = Ancho medio de la sección (en metros).

Q = Caudal de diseño.

K1 = Un coeficiente que refleja las condiciones del fondo y las orillas del río.

Método de Pettis

El método de Pettis es una simplificación del enfoque de Simons y Henderson y se emplea para estimar el ancho del cauce en función del caudal de diseño. La fórmula específica es:



$$B = 4.44 * (Q)^{\frac{1}{2}}$$
$$B = 4.44 * (37.25)^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

B = Ancho medio de la sección (en metros).

Q = Caudal de diseño.

Método de Manning (Altunin – Manning)

Este método utiliza la ecuación de Manning, ampliamente aplicada en la ingeniería hidráulica para calcular el flujo en canales y ríos. El ancho del cauce en este caso está relacionado con el caudal, la pendiente, la rugosidad del lecho y el tipo de río:

$$B = \left(\frac{Q^{1/2}}{S^{1/5}}\right)(nK^{5/3})^{3/(3+5m)}$$

Donde:

B = Ancho medio de la sección (en metros).

Q = Caudal de diseño.

S = Pendiente del cauce.

n = Coeficiente de rugosidad de Manning.

K = Coeficiente del material del cauce.

m = Coeficiente que depende del tipo de río

Método de Blench

El método de Blench se basa en la interacción entre los factores del fondo y de las orillas del cauce para estimar el ancho de la sección estable. La fórmula es:

$$B = 1.81 * \left(\frac{Q * Fb}{Fs}\right)^{1/2}$$

Donde:

B = Ancho medio de la sección (en metros).

Q = Caudal de diseño.

Fb = Factor de fondo, que describe las características del lecho del río.

Fs = Factor de orilla, que refleja las condiciones de las márgenes del cauce.

TIRANTE MÁXIMO Y ALTURA DE ENCAUZAMIENTO

Para determinar el Tirante Máximo en un cauce, se emplea la fórmula de Manning-Strickler, que permite calcular el tirante en función del caudal, el ancho medio de la sección, la pendiente y el coeficiente de rugosidad del cauce. La fórmula es la siguiente:

$$t = \left(\frac{Q}{K_S * B * S^{1/2}} \right)^{3/5}$$

Donde:

t = Tirante máximo (en metros), que es la profundidad máxima del flujo.

Q = Caudal de diseño (en metros cúbicos por segundo).

B = Ancho medio de la sección del cauce (en metros).

S = Pendiente del cauce (adimensional).

Ks = Coeficiente de Strickler (inverso de la rugosidad de Manning, n), el cual varía según las características del cauce natural.

Número de Froude

El número de Froude es una magnitud adimensional que indica la relación entre las fuerzas inerciales y las fuerzas gravitatorias en un flujo. Se utiliza para clasificar el tipo de flujo en un cauce (subcrítico, crítico o supercrítico). El número de Froude se calcula mediante la fórmula:

$$F = \frac{V}{(g * y)^{1/2}}$$



Donde:

F = Número de Froude (adimensional).

V = Velocidad media del flujo, calculada utilizando la ecuación de Manning (en metros por segundo).

g = Aceleración de la gravedad (9.81 m/s^2).

y = Tirante máximo del flujo (en metros).

El número de Froude permite caracterizar el comportamiento del flujo:

$F < 1$: Flujo subcrítico (lento), donde las fuerzas gravitatorias predominan sobre las inerciales.

$F = 1$: Flujo crítico.

$F > 1$: Flujo supercrítico (rápido), donde las fuerzas inerciales predominan sobre las gravitatorias.

Altura de Encauzamiento (Altura del Dique)

La altura de encauzamiento, también conocida como altura del dique, se calcula sumando el tirante máximo al tirante libre (BL), que es una medida adicional para garantizar que el flujo no sobrepase la estructura incluso en condiciones extremas. La fórmula para la altura de encauzamiento es:

$$H_M = y + BL$$

Donde:

H_M = Altura de encauzamiento o altura del dique (en metros).

y = Tirante máximo (en metros).

BL = Tirante libre, un margen de seguridad que se añade a la altura total para evitar que el agua rebalse.

El tirante libre (BL) generalmente se estima según criterios de diseño, y su valor depende de factores como el tipo de proyecto, la capacidad del cauce y las condiciones



extremas del flujo. Esta medida garantiza que la infraestructura diseñada, como diques o canales, pueda manejar picos de caudal sin riesgo de desbordamiento.



CAPITULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

4.1 Resultados obtenidos

En este capítulo, se exponen de manera detallada los resultados obtenidos en función de cada uno de los objetivos planteados en el estudio. Se incluyen los datos recopilados durante el levantamiento topográfico, los cuales son fundamentales para el análisis del área de estudio. Además, se realiza una identificación exhaustiva de las zonas susceptibles a inundaciones, acompañada de un análisis del caudal actual del río Azángaro, lo que permite comprender mejor el comportamiento hidrológico de la zona. Finalmente, se presenta una propuesta de diseño para un muro de contención, con el objetivo de mitigar los riesgos asociados a las inundaciones en el distrito de Santiago de Pupuja.

- **Ubicación de la zona de estudio**

Departamento	: Puno
Provincia	: Azángaro
Distrito	: Santiago de Pupuja

Figura 3

Localización de la zona de estudio

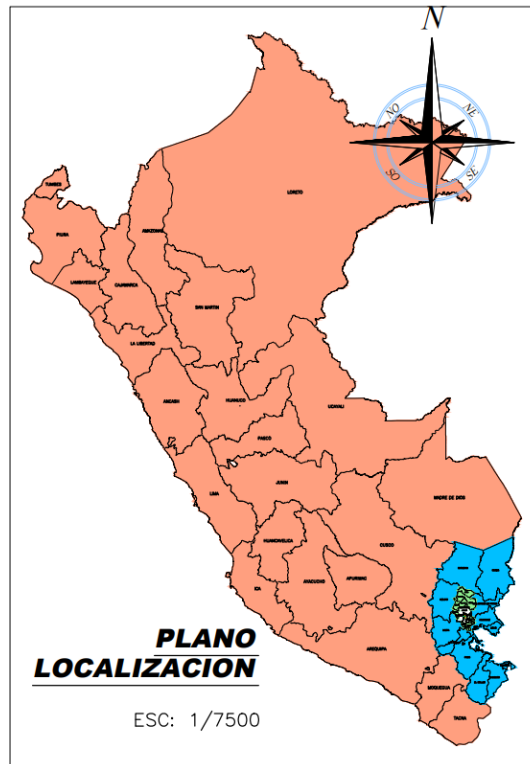


Figura 4

Localización de la zona de estudio

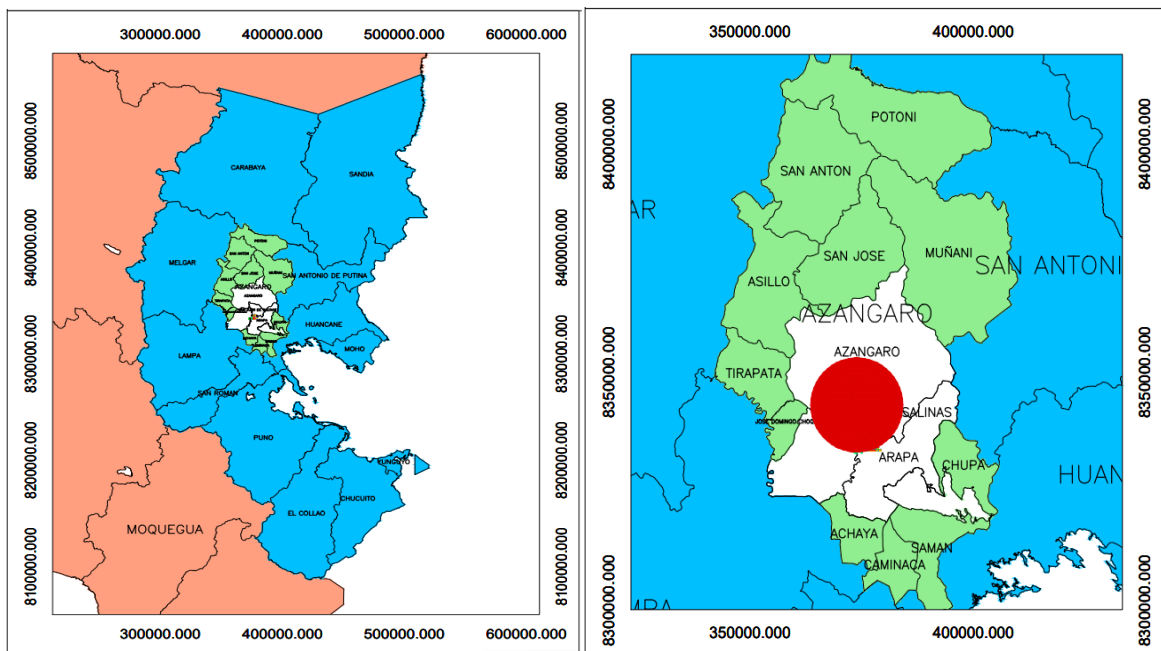


Figura 5

Vista aérea de la localización de la zona de inundación estudiada



La localización fue identificada utilizando las herramientas Google Earth y Google Maps, las cuales se emplearon para realizar un reconocimiento preliminar del campo. A través de estas plataformas, se recopiló datos esenciales como los accesos a la zona de estudio y se recolectó información clave para evaluar la densidad de vegetación en el área.

4.1.1 Estado actual y la topografía de los márgenes del afluente Azángaro

❖ Estado actual de los márgenes

Figura 6

Avenida del río Azángaro



La imagen muestra la avenida del río Azángaro, ubicada en el distrito de Santiago de Pupuja. Se observa que la avenida se encuentra a lo largo de la orilla del río, resaltando su proximidad al cauce.

Figura 7

Afectación en la siembra



Se ha registrado el desborde del río, lo cual ha provocado inundaciones significativas que afectan extensamente las áreas de cultivo, poniendo en riesgo la producción agrícola.

Figura 8

Vivienda afectada por inundación



Se observan numerosas viviendas desalojadas como consecuencia directa de las inundaciones que han azotado. Este fenómeno natural no solo ha desplazado a numerosas familias, sino que también ha provocado daños significativos a los cultivos locales, afectando la economía agrícola de la zona.

❖ Reconocimiento del terreno

Reconocimiento de campo: Se realizó un exhaustivo reconocimiento de campo. Durante este recorrido, se inspeccionó toda la zona de estudio, identificando de manera precisa los accesos y evaluando las condiciones del terreno.

- Puntos de BM

Figura 9

BM-01



Bm 01 ubicado al lado del ingreso al puente.

Figura 10

BM-02



Bm 01 ubicado al lado del ingreso al puente lado de Santiago de Pupuja.



- Levantamientos de puntos de control

Tabla 2

Puntos de apoyo fotométrico

Nº	NORTE	ESTE	ELEV.	PUNTO
1	8333273	375272	3878.536	punto1
2	8333344	374962.8	3873.548	punto2
3	8333287	374600.3	3870.038	punto3
4	8333219	374248.2	3872.789	punto4
5	8333149	374025.7	3869.332	punto5
6	8332336	375104.3	3882.554	punto6
7	8332428	374766.9	3878.045	punto7
8	8332791	374696.8	3878.749	punto8
9	8332865	374516.7	3875.468	punto9
10	8333054	374456.8	3875.028	punto10
11	8332947	374772.9	3869.862	punto11
12	8333098	375165.4	3879.108	punto12
13	8333193	374913.7	3872.314	punto13
14	8332780	373534.7	3870.421	punto14
15	8332702	373520.4	3873.191	punto15
16	8332743	373181.5	3877.736	punto16
17	8332724	372976.2	3877.129	punto17
18	8332843	372838.9	3875.605	punto18
19	8332780	372698.6	3879.763	punto19
20	8332747	373831.6	3872.767	punto20
21	8332587	373806.2	3871.417	punto21
22	8332459	373672.6	3871.671	punto22
23	8332974	373721.2	3873.817	punto23
24	8332742	373691.8	3871.973	punto24

- **Plan de vuelo**

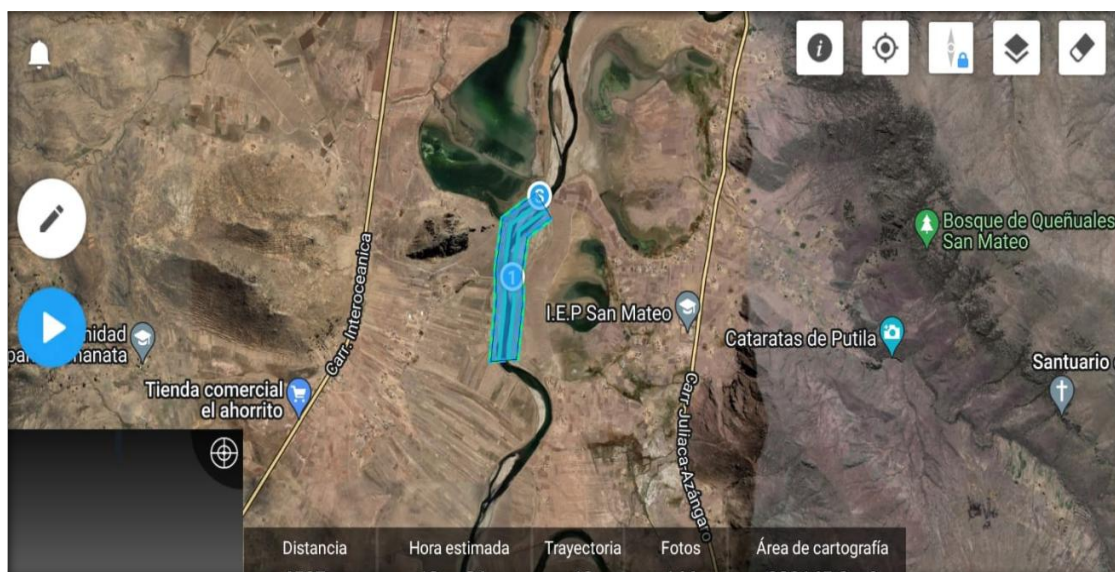
Se optó por realizar el vuelo de los drones de manera programada, programando por cada misión de vuelo 2 pasadas.

- **Traslape de fotografías**

El traslape lateral y frontal de fotografías es importante para obtención de vistas angulares de un punto para la obtención de un modelo tridimensional fiable, el parámetro que se ha manejado para este trabajo fue de 70%, Estos se hizo en el programa DJI PILOT.

Figura 11

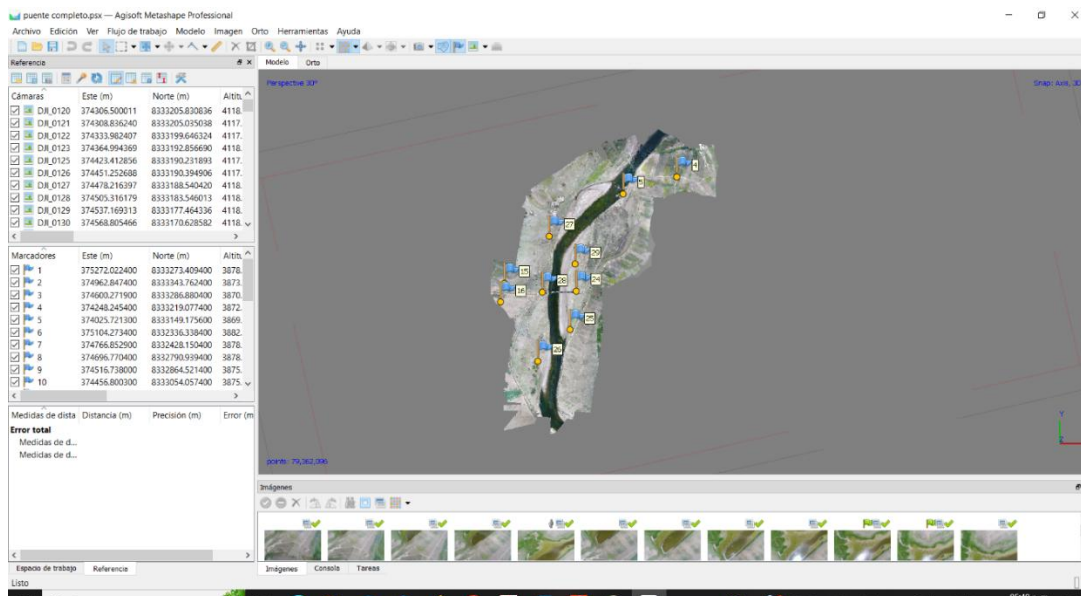
Pantalla de configuración de la misión de vuelo



El vuelo se realizó usando la aplicación DJI PILOT, enviados desde un punto de partida recorriendo a una velocidad de 8 metros por segundo para posteriormente capturar imágenes temporizadas a cada 3 segundos con la cámara en posición totalmente horizontal controlados automáticamente por un Gimbal (accesorio inteligente que controla el posicionamiento de la cámara) a una altura de 100 metros del terreno.

Figura 12

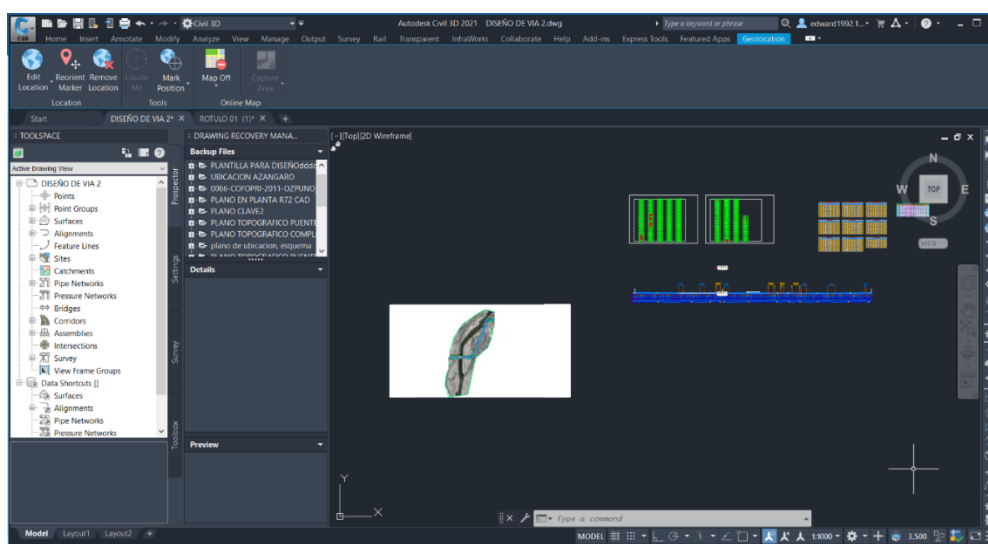
Creación del modelo digital



Este proceso se hizo en el programa Agisoft Metashape. a través de la nube de puntos clasificado, para esto se tomó solo los puntos de terreno.

Figura 13

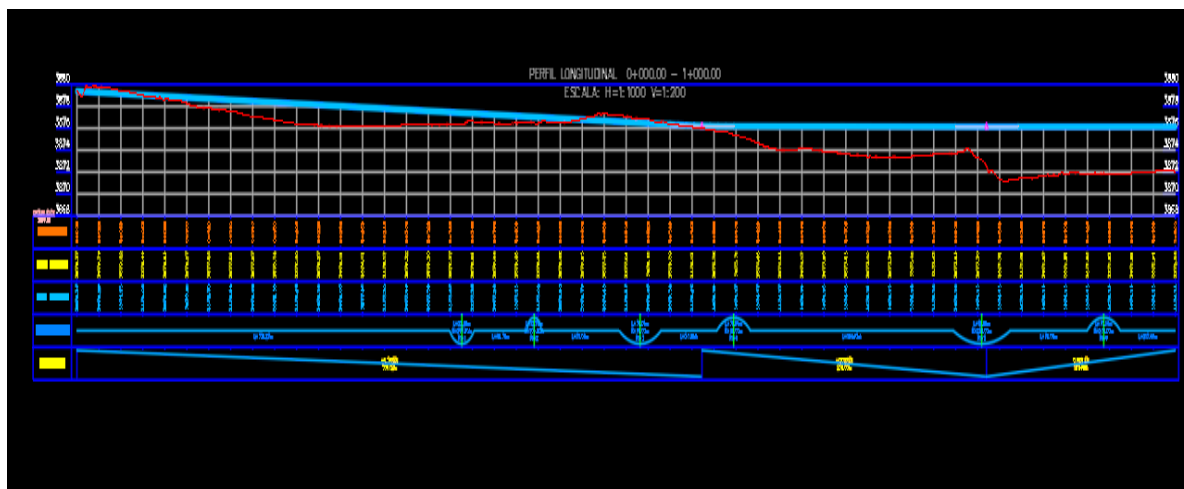
Modelado en Civil



Se llevó a cabo el levantamiento topográfico detallado del área del proyecto, utilizando las herramientas avanzadas de Civil 3D y AutoCAD para capturar con precisión las características geográficas y geométricas del terreno.

Figura 14

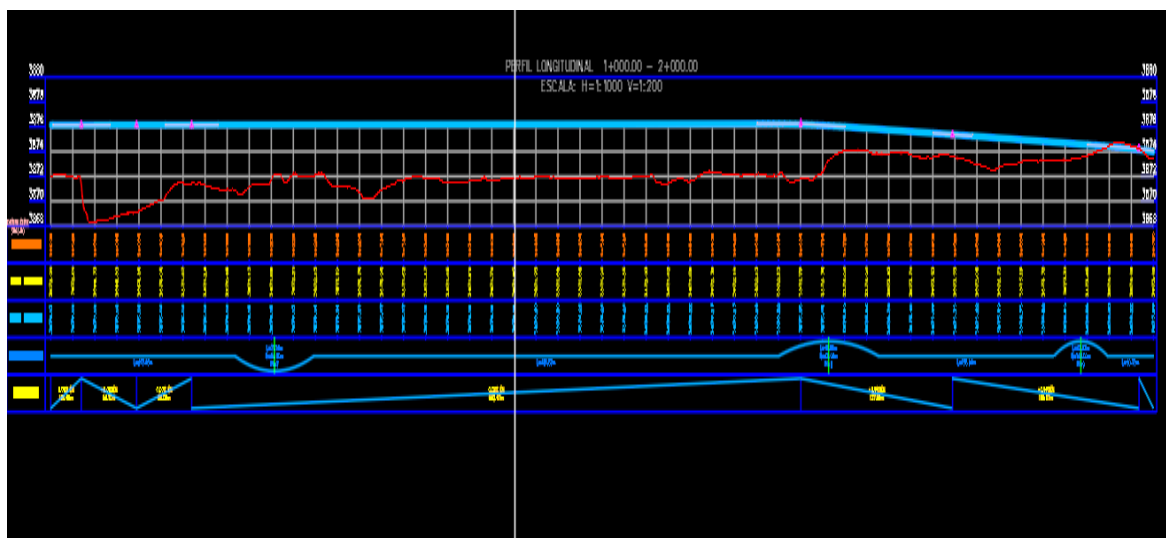
Perfil longitudinal del tramo I



Se presenta el perfil longitudinal del río Azángaro en el distrito de Santiago de Pupuja, correspondiente al tramo de estudio I, que abarca desde el kilómetro 0+000.00 hasta el 1+000.00.

Figura 15

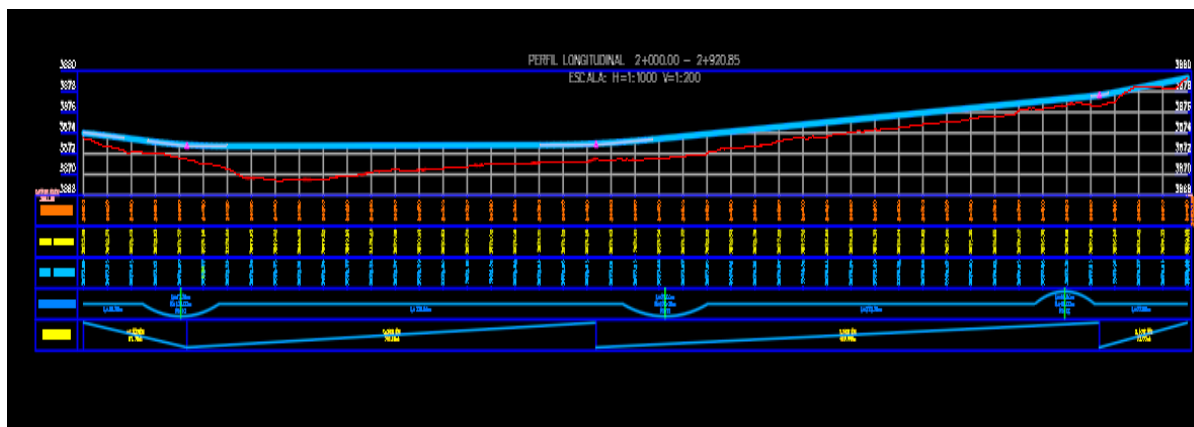
Perfil longitudinal del tramo II



Se presenta el perfil longitudinal del río Azángaro en el distrito de Santiago de Pupuja, correspondiente al tramo de estudio II, que abarca desde el kilómetro 1+000.00 hasta el 2+000.00.

Figura 16

Perfil longitudinal del tramo III

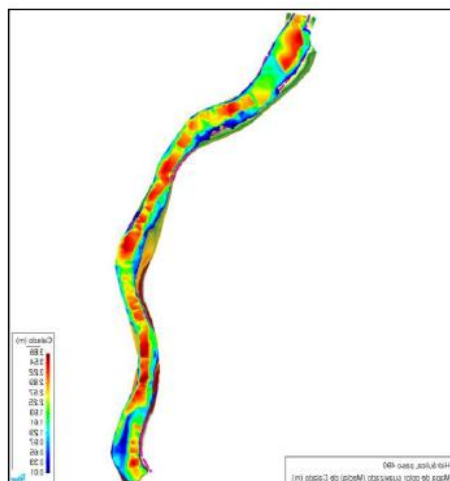


Se presenta el perfil longitudinal del río Azángaro en el distrito de Santiago de Pupuja, correspondiente al tramo de estudio III, que abarca desde el kilómetro 2+000.00 hasta el 3+000.00.

4.1.2 Determinación de zonas de inundación y caudal del afluente

Figura 17

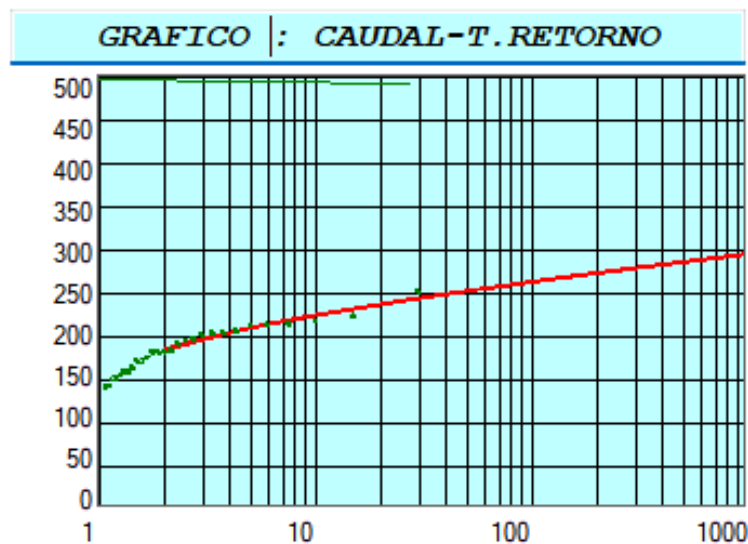
Zonas de inundación



Se presenta un mapa detallado que identifica las zonas de inundación del río Azángaro en la localidad de Santiago de Pupuja, el cual es fundamental para la planificación de medidas de mitigación y prevención de desastres en esta área.

❖ Cálculo de caudal**Cálculo del caudal por el método de Log-Normal****Tabla 3***Caudal en los diferentes periodos de retorno – Log Normal*

Tr	Prob	A	K	Caudal
2	50	0.5	0	185.75
5	20	0.8	0.841621	210.914
10	10	0.9	1.281552	225.397
25	4	0.96	1.750686	241.938
50	2	0.98	2.053748	253.264
100	1	0.99	2.326347	263.904
150	0.67	0.993	2.47474	269.882
300	0.33	0.997	2.713057	279.768
500	0.2	0.998	2.878172	286.829
1000	0.1	0.999	3.090253	296.161

Figura 18*Caudal en diferentes periodos de retorno - Log Normal*

Se presentan los caudales correspondientes a distintos periodos de retorno, calculados utilizando el método estadístico log-normal. Como resultado de este análisis, se obtiene un caudal de diseño de 263.904 m³/s.

Cálculo del caudal por el método Gumbel

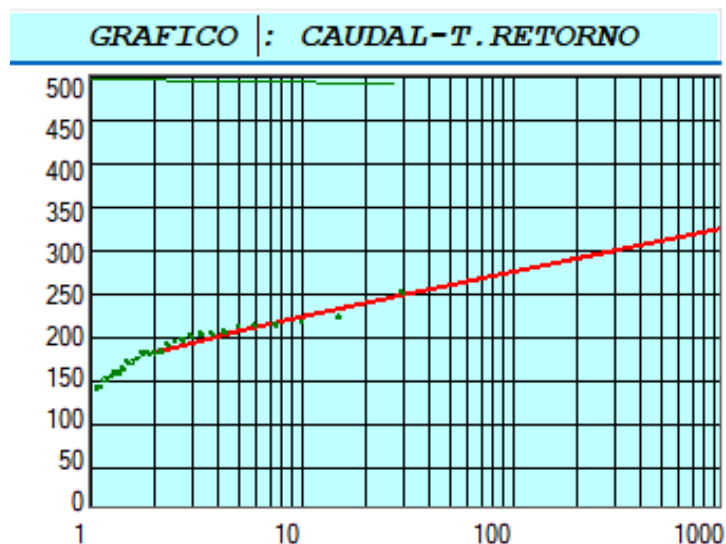
Tabla 4

Caudal en los diferentes periodos de retorno – Gumbel

Tr	Prob	A	K	Caudal
2	50.000	-0.367	-0.164272	183.160
5	20.000	-1.500	0.719456	208.095
10	10.000	-2.250	1.304560	224.604
25	4.000	-3.199	2.043841	245.463
50	2.000	-3.902	2.592282	260.937
100	1.000	-4.600	3.136673	276.297
150	0.670	-5.007	3.454121	285.254
300	0.330	-5.702	3.995869	300.540
500	0.200	-6.214	4.394678	311.792
1000	0.100	-6.907	4.935512	327.052

Figura 19

Caudal en diferentes periodos de retorno – Gumbel



Se presentan los caudales correspondientes a distintos periodos de retorno, calculados utilizando el método estadístico Gumbel. Como resultado de este análisis, se obtiene un caudal de diseño de 276.297 m³/s.

Cálculo del caudal por el método Pearson III

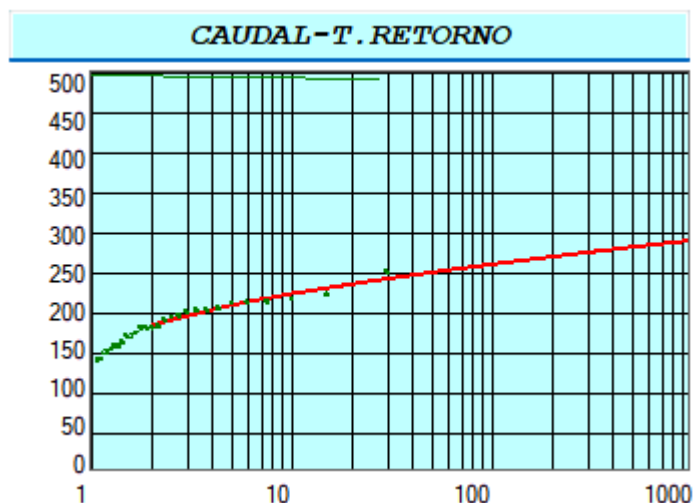
Tabla 5

Caudal en los diferentes periodos de retorno – Pearson III

Tr	Prob	A	K	Caudal
2	50.000	0.000000	0.012	186.081
5	20.000	0.841621	0.845	211.017
10	10.000	1.281552	1.274	225.131
25	4.000	1.750686	1.726	241.042
50	2.000	2.053748	2.016	251.811
100	1.000	2.326347	2.274	261.837
150	0.670	2.474740	2.414	267.432
300	0.330	2.713057	2.638	276.626
500	0.200	2.878172	2.793	283.147
1000	0.100	3.090253	2.990	291.710

Figura 20

Caudal en diferentes periodos de retorno – Pearson III



Se presentan los caudales correspondientes a distintos periodos de retorno, calculados utilizando el método estadístico Pearson III. Como resultado de este análisis, se obtiene un caudal de diseño de 261.837 m³/s.



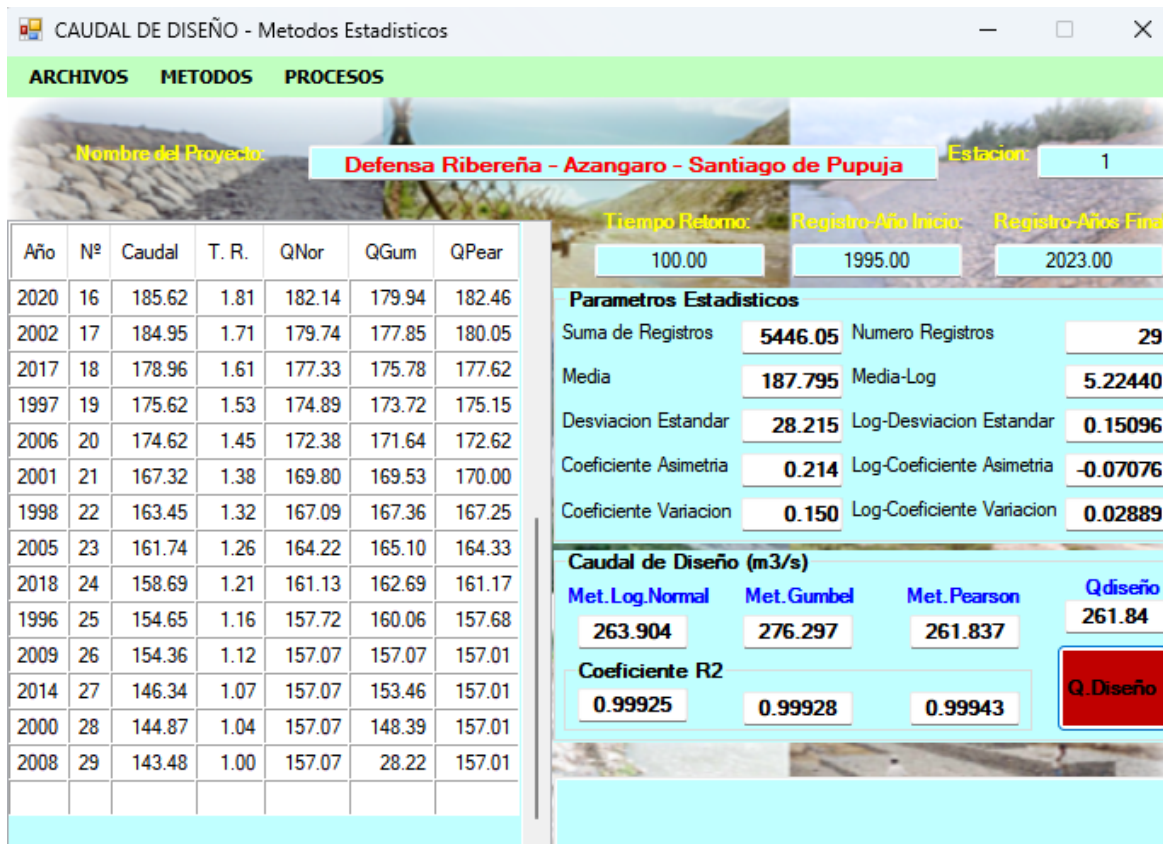
Tabla 6

Resumen de caudales mediante los diferentes métodos

Año	N°	Caudal	T.R	Q-LN	Q-G	Q-P
2012	1	254.62	29	244.43	248.79	243.42
2011	2	226.57	14.5	232.38	233.15	231.87
2019	3	221.56	9.67	224.74	223.82	224.49
2021	4	218.22	7.25	218.96	217.07	218.88
2023	5	216.89	5.8	214.22	211.72	214.25
2013	6	216.54	4.83	210.14	207.26	210.26
2010	7	210.36	4.14	206.51	203.4	206.69
1999	8	207.62	3.63	203.21	199.97	203.44
2016	9	206.78	3.22	200.16	196.88	200.42
2015	10	204.63	2.9	197.29	194.03	197.58
2003	11	200.67	2.64	194.57	191.39	194.88
2022	12	198.67	2.42	191.96	188.89	192.28
1995	13	195.32	2.23	189.43	186.53	189.76
2004	14	187.25	2.07	186.97	184.26	187.3
2007	15	185.68	1.93	184.54	182.07	184.87
2020	16	185.62	1.81	182.14	179.94	182.46
2002	17	184.95	1.71	179.74	177.85	180.05
2017	18	178.96	1.61	177.33	175.78	177.62
1997	19	175.62	1.53	174.89	173.72	175.15
2006	20	174.62	1.45	172.38	171.64	172.62
2001	21	167.32	1.38	169.8	169.53	170
1998	22	163.45	1.32	167.09	167.36	167.25
2005	23	161.74	1.26	164.22	165.1	164.33
2018	24	158.69	1.21	161.13	162.69	161.17
1996	25	154.65	1.16	157.72	160.06	157.68
2009	26	154.36	1.12	157.07	157.07	157.01
2014	27	146.34	1.07	157.07	153.46	157.01
2000	28	144.87	1.04	157.07	148.39	157.01
2008	29	143.48	1	157.07	28.22	157.01

Figura 21

Caudal de diseño



Para un periodo de retorno de 100 años, se ha obtenido un caudal de 261.84 m³/s, empleando el método de distribución de Pearson, el cual se considera el más apropiado para este tipo de análisis hidrológico.

4.1.3 Diseño de muro de contención en los márgenes del afluente río Azángaro

En los análisis hidrológicos realizados para evaluar el caudal máximo del Río Azángaro en el sector de Santiago de Pupuja, se emplearon métodos estadísticos avanzados, incluyendo Log-Normal, Gumbel y Log-Pearson. Estos métodos permiten estimar el caudal máximo con base en datos históricos y distribuciones estadísticas. Los resultados indican que el caudal máximo esperado para un período de retorno de 100 años es de 261.84 m³/s.

Figura 22

Cálculo de anchos estables método Simons y Henderson con programa River



Método de Pettis:

$$B = 4.44 * (Q)^{\frac{1}{2}}$$

$$B = 4.44 * (261.84)^{\frac{1}{2}}$$

$$B = 71.85m.$$

Método de Simons y Herderson:

$$B = 5.70 * (261.84)^{\frac{1}{2}}$$

$$B = 92.23m.$$

Método de Blench:

$$B = 1.81 * \left(\frac{Q * Fb}{Fs}\right)^{1/2}$$

$$B = 82.84$$

Método de Manning:

$$B = \left(\frac{Q^{1/2}}{S^{1/5}}\right)(nK^{5/3})^{3/(3+5m)}$$

$$B = 85.83m.$$

Tabla 7

Resumen de los métodos calculados

Item	Método	Ancho De Cauce O Seccion Estable O Amplitud De Cauce (M)
n1	Simons Y Henderson	92.23
n2	Pettis	71.85
n3	Manning	85.83
n4	Blench	82.84
n5	Recomendación Practica	85.83

El valor adoptado para el Ancho Estable del cauce del río, basado en las marcas del cauce y las mediciones de campo, es de B = 85.00 metros.

Figura 23

Cálculo de las dimensiones del dique

Información Inicial			Dimensiones del Dique	
Caudal (Q)	P. Retorno	Pendiente	Forma Dique	Tipo de Suelo
261.84	100	0.00300	<input type="radio"/> Recto <input checked="" type="radio"/> Curva	<input checked="" type="radio"/> No Cohesivo <input type="radio"/> Cohesivo
Ancho Estable del Cauce (B)			Dm (mm)	Radio Curva
Recomendación Practica			3.00	300.00
Método de Pettis			Método de U. List Van Levediev	
Método de Simons y Henderson			Dique en Recta	Dique en Curva
Método de Blench y Altunin			Tirante de Socavacion (m)	
Método de Manning y Strickler			0.00	4.17
Seccion Teorica del Cauce			Profundidad de Socavacion (m)	
Método de Manning			0.00	2.47
Tirante (Y)	Ancho (T)	Talud (Z)	Altura de Uña	
1.70	89.08	1.20	0.00	2.50
Area (A)	Perimetro	B. Libre (Bl)	Altura de Dique	
147.97	90.31	0.70	2.40	2.40
Velocidad	Nº Froude	Rugosidad	Altura Total (m)	
1.770	0.433	0.0430	2.40	4.90

Los valores obtenidos son:

Y socavación=4.17 m

H socavación=2.47m

H uña=2.50m

H dique=2.40m

H total=4.90m

Figura 24

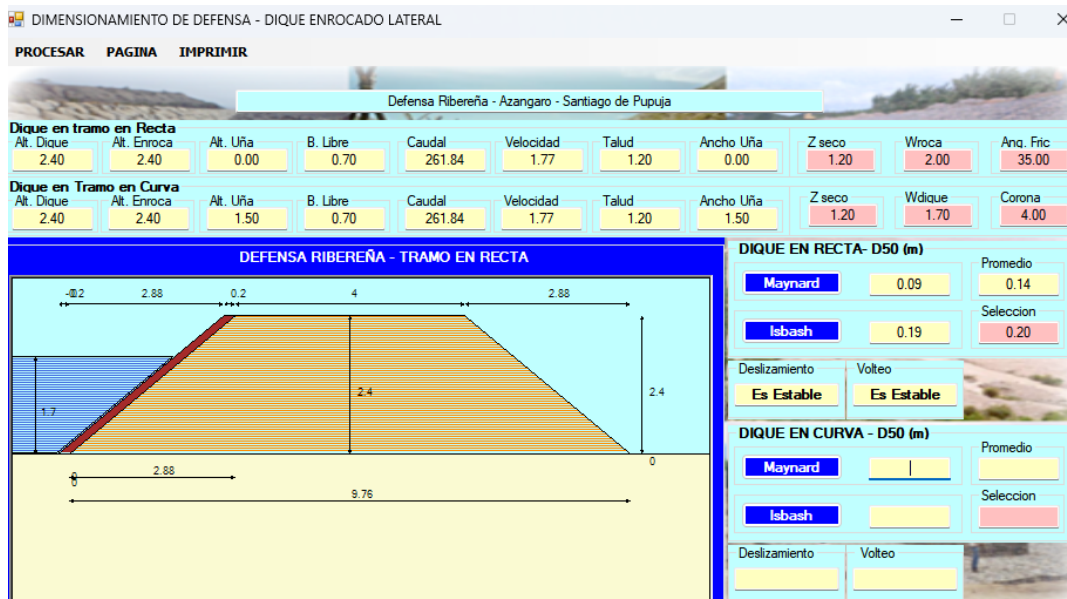
Diseño preliminar del dique lateral



El diseño preliminar para un dique en curva y en recta se establece considerando diversas características estructurales para garantizar su estabilidad frente a las condiciones hidráulicas del entorno. En el caso del dique en curva, se propone un ancho de corona de 4.00 m, una altura del dique y del enrocado de 2.40 m cada uno, una altura de uña de 1.50 m, un ancho de uña de 1.50 m, y una altura total de 4.90 m. Por otro lado, el dique en recta mantiene el mismo ancho de corona y alturas del dique y del enrocado, pero sin incluir la uña, resultando en una altura total de 2.40 m. Estas dimensiones permiten una estructura resistente y adecuada para diferentes configuraciones del terreno, asegurando protección y funcionalidad en ambos tipos de diques.

Figura 25

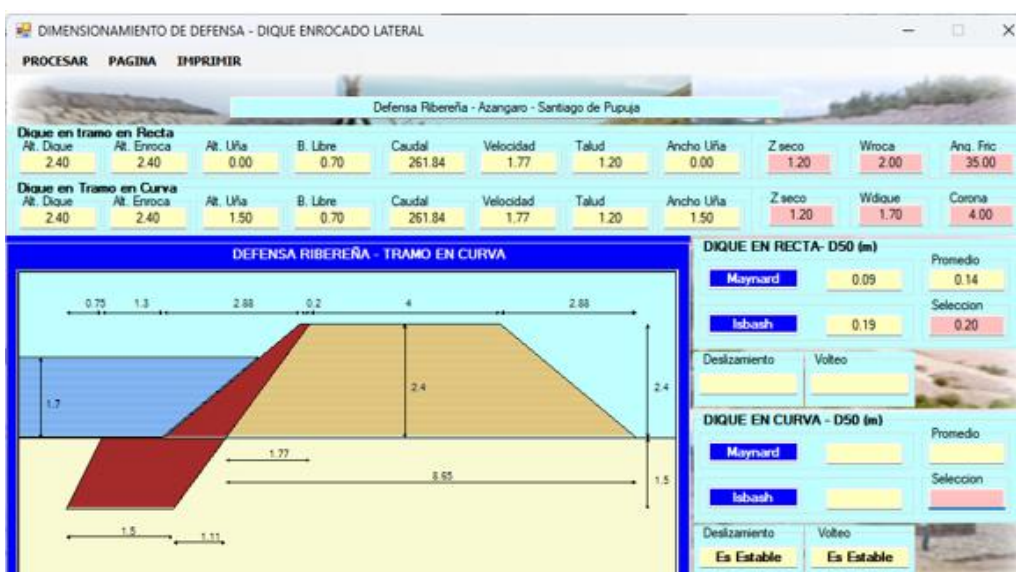
Tamaño de roca y representación del dique recto



El resultado obtenido indica que, para el dique recto, el tamaño de la roca utilizada debe tener un diámetro promedio mínimo de 20 cm, con una forma preferentemente cuadrada y/o rectangular.

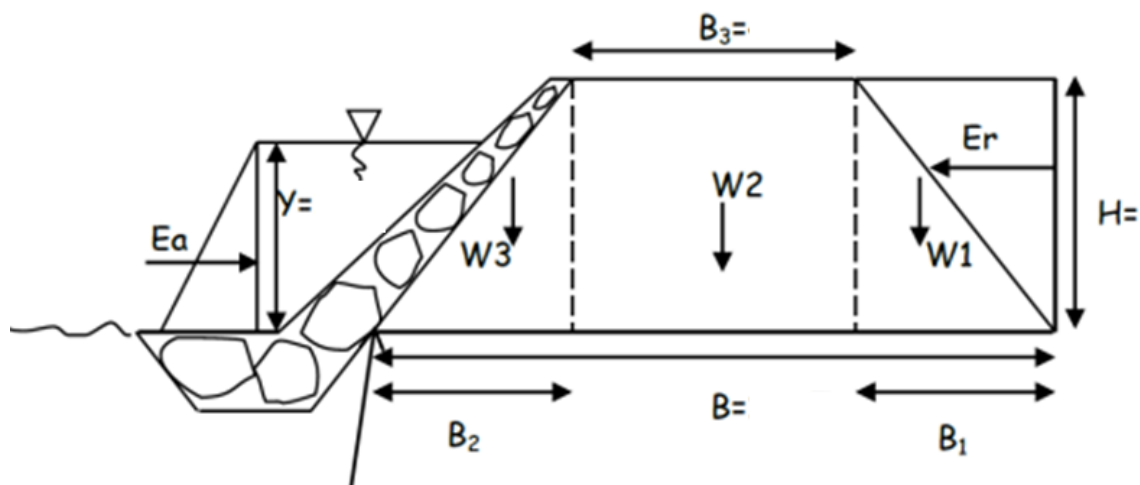
Figura 26

Representación del dique en tramo curva



❖ Cálculo estructural

Figura 27

Diseño estructural del dique de curva

Donde:

$$B = 8.65$$

$$B_1 = 2.88$$

$$B_3 = 4.00$$

$$B_2 = 1.77$$

$$H = 2.40$$

$$Y = 1.70$$

Además, se ha determinado que el suelo húmedo en el talud presenta una densidad de 1.79 t/m^3 , con una presión admisible del terreno de 1.02 kg/cm^2 . Estos valores son fundamentales para evaluar la capacidad del suelo para soportar las cargas impuestas por el dique, garantizando la estabilidad estructural y evitando asentamientos o fallas en el terreno bajo condiciones operativas.



Tabla 8

Momentos de volteo

Momentos	Ea	Er	E
Empuje tn	3.754	12.690	16.444
Brazo m	0.913	2.467	2.132
Momento Tn-m	3.427	30.773	34.197

Verificación por volteo:

$$FS_v = \frac{M_{resistentes}}{M_{actuantes}} > 1.5$$

$$FS_v = 2.079 > 1.5$$

Verificación por asentamiento:

$$B/3 = 2.883 \text{ m}$$

$$X = (Mr - Mv) / W$$

$$X = 3.055 > 2.883 \text{ m}$$

$$e = (B/2) - X$$

$$e = 1.270 \text{ m}$$

Verificación por presión en el terreno:

$$q_{\text{máx.}} = w/B * (1 + (6 * e/B))$$

$$q_{\text{máx.}} = 0.636 \text{ kg/cm}^2 < 1.02 \text{ kg/cm}^2$$

$$q_{\text{mín.}} = w/B * (1 - (6 * e/B))$$

$$q_{\text{mín.}} = 0.205 \text{ kg/cm}^2 < 1.02 \text{ kg/cm}^2$$

4.2 Discusión de resultados

Como parte de la investigación realizada por Pampalco (2022), se desarrolló una toma con la intención de evitar el desbordamiento del río Ramis. Con base en el comportamiento hidrológico de la cuenca del río Ramis, la investigación llega a la conclusión de que el caudal de diseño, que se estimó utilizando la técnica de Gumbel para un tiempo de retorno de cien años, es de 588,66 m³ por segundo. Además, el caudal se calculó utilizando la técnica racional, que se basó en las precipitaciones ocurridas en la subcuenca del Ramis. El resultado fue un valor de 3,39 m³/s, que es el caudal que provocaría el desbordamiento del río. En un sentido similar, el examen del comportamiento sedimentológico del río Ramis, que se realizó mediante la técnica de momentos, constató que el tamaño medio de las partículas en las muestras correspondía a arena gruesa, con un valor de tamaño phi (ϕ) de 0,9. La escala Udden-Wentworth indica que esto corresponde a un diámetro de 0,5 milímetros y una velocidad de sedimentación de 0,05 metros por segundo. Estas son las cifras que se utilizaron en el diseño del desarenador. Tras la realización del estudio topográfico del río Ramis y del canal de derivación, se determinó que la toma debía situarse en las coordenadas (N: 8309967, E: 398059, Z: 3823). Se llegó a esta conclusión después de investigar las características obtenidas en la prospección. (N: 8306709, E: 406163, Z: 3812) es el sistema de coordenadas que representa la posición en la que el canal de desvío sale del cauce. Utilizando pendientes que van del 0,04% al 0,85% hasta una posición cercana al lago Titicaca, este diseño hace posible que el agua captada sea conducida a lo largo de una distancia de 11,07 kilómetros, siguiendo así el trazado de los caminos de carro ya existentes en la región. Además, el terreno general de la región considerada es bastante llano.

En el marco de la investigación realizada por Flores (2021), se llevó a cabo un análisis de mitigación de las crecidas máximas ocurridas en el río Crucero, más especialmente en el sector de Cangalli, en la región de Asillo. En este estudio se



determinaron las localidades que fueron impactadas por las inundaciones. Para los períodos de retorno de 10, 25, 50 y 100 años, se calculó la precipitación máxima en un período de 24 horas utilizando las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF). Esto se hizo con el fin de construir una tormenta que durase una media de seis horas. A efectos de modelización hidrológica, se calcularon los caudales máximos correspondientes a estos tiempos de retorno, y los resultados fueron 39,3, 65,6, 98,7 y 149,2 m³/s, respectivamente. Para imitar estos resultados se utilizó el programa conocido como HEC-HMS. Además, se realizó la modelación hidráulica del área de estudio del río Crucero, que se encuentra dentro de la subcuenca del Crucero, con el fin de identificar y establecer los lugares propensos a inundaciones. La conclusión a la que se llegó fue que las porciones del río más susceptibles a desbordamientos en el tramo 01 son las que se ubican en las posiciones kilométricas 8+178 kilómetros, 3+209 kilómetros y 0+820 kilómetros. Estas secciones tienen áreas inundables de 1210 kilómetros, 1523 kilómetros, 1455 kilómetros y 2071 kilómetros cuadrados, respectivamente, para periodos de retorno de 10, 25, 50 y 100 años.

La investigación realizada por Hurtado (2022) determinó las zonas de riesgo de inundación presentes en regiones agrícolas. Para realizar la caracterización física de la región se utilizó un levantamiento topográfico del área de estudio. Este levantamiento abarcó tanto las tierras agrícolas como el cauce mayor del río Azángaro en la parte de San Juan de Salinas. Con la ayuda de este estudio fue posible obtener curvas de nivel y el modelo digital de elevación (TIM), el cual comprendía un área de 8502,49 hectáreas y tenía un eje fluvial de 24,48 kilómetros de longitud y una pendiente de 0,15%. Las estaciones que se tuvieron en cuenta fueron Carretera Puente Azángaro, Crucero, Nuñoa y Progreso, todas ellas situadas dentro de la subcuenca del río Azángaro. Según los resultados, se registró una intensidad máxima de lluvia de 162,02 milímetros por hora en un breve periodo de treinta minutos. Se calcularon los siguientes caudales máximos para distintos periodos de retorno: 135,61 m³/s para un periodo de diez años, 184,35 m³/s para un periodo de



cincuenta años y 419,63 m³/s para un tiempo de cien años. A partir de estos caudales y duraciones de retorno, se llevó a cabo una modelización hidrológica que permitió identificar las regiones afectadas por las inundaciones: A partir de un tiempo de retorno de diez años, se calculó que un área total de 422,78 hectáreas fue inundada. Un tiempo de retorno de cincuenta años reveló que la superficie afectada por las inundaciones fue de 650,77 hectáreas. Por último, para un tiempo de retorno de cien años, 990,80 hectáreas de cultivos en ambas márgenes del río Azángaro fueron impactadas.

En nuestro estudio, se realizó un levantamiento topográfico utilizando una estación total y un dron, lo que permitió identificar un terreno ondulado de fácil accesibilidad. El área de inundación se localizó en las zonas cercanas al puente Concordia. Asimismo, se determinó un caudal de diseño de 261.84 m³/s para un período de retorno de 100 años, utilizando el método de Pearson III. Por otro lado, el diseño del muro de contención se planteó utilizando el software RIVER, tomando en cuenta el caudal de diseño obtenido. Las dimensiones propuestas para el muro de contención son las siguientes:

- Ancho de corona: 4.00 m
- Base del dique de tierra: 8.65 m
- Altura del dique: 2.40 m
- Altura del enrocado: 2.40 m
- Altura de enrocado de uña: 1.50 m
- Ancho de base del enrocado de uña: 1.50 m
- Altura total: 3.90 m
- Inclinación del talud: H = 1.20

Estas dimensiones permiten un diseño eficiente y seguro del muro de contención, adaptado a las condiciones hidráulicas y geométricas del sitio de estudio.

CONCLUSIONES

Primera, el afluente Azángaro, ubicado en el distrito de Santiago de Pupuja, ha mostrado un alto grado de inundación, especialmente durante los períodos de lluvia intensa. Esta situación se ve agravada por la topografía del área, caracterizada por un terreno ondulado que dificulta el flujo adecuado del agua. Además, los márgenes del río presentan condiciones desfavorables, con escasa vegetación de contención, lo que incrementa la vulnerabilidad a la erosión y al desbordamiento del afluente, afectando a las áreas circundantes y aumentando el riesgo de daños a las infraestructuras y cultivos locales.

Segunda, las zonas con mayor grado de inundación se ubicaron en las áreas cercanas al puente Concordia, donde el impacto de las crecidas fue más evidente. Para determinar el caudal de diseño en este sector, se emplearon varios métodos estadísticos. El método Log-Normal arrojó un caudal de 263.904 m³/s, mientras que el método de Gumbel estimó un caudal de 276.297 m³/s y el método Pearson III calculó un valor de 261.837 m³/s. Para un período de retorno de 100 años, el caudal de diseño fue establecido en 261.84 m³/s.

Tercera, el diseño del muro de contención se desarrolló utilizando el software RIVER, basado en el caudal de diseño obtenido. Las dimensiones propuestas incluyen un ancho de corona de 4.00 m, una base del dique de tierra de 8.65 m, y una altura del dique de 2.40 m. Además, el enrocado tiene una altura de 2.40 m y el enrocado de uña cuenta con una altura de 1.50 m y un ancho de base de 1.50 m. La altura total del muro es de 3.90 m, con una inclinación del talud de $H = 1.20$. La cara mojada y seca está recubierta con enrocado de 20 cm. Estas dimensiones están diseñadas para garantizar la eficiencia y seguridad del muro de contención, adaptándose a las condiciones hidráulicas y geométricas del sitio de estudio.



RECOMENDACIONES

Primero, realizar estudios hidrológicos, hidráulicos y sociales más detallados en las zonas críticas identificadas como susceptibles a inundaciones debido al incremento del caudal.

Segundo, basado en los hallazgos derivados del análisis realizado, se sugiere implementar medidas preventivas para mitigar el riesgo de inundaciones. Entre las recomendaciones se incluye la provisión de información y directrices para evitar la construcción de viviendas en áreas cercanas al río, reduciendo así la exposición a posibles daños. Además, se recomienda la construcción de estructuras de defensa ribereña, tales como diques y muros de contención, para proteger las zonas vulnerables y controlar el flujo del agua, minimizando así los impactos de futuras crecidas y garantizando la seguridad de las comunidades adyacentes.

Tercero, encarecidamente que se construyan sistemas defensivos ribereños, como escolleras y muros de contención, en las regiones reconocidas como susceptibles de sufrir inundaciones. Además, es de suma importancia poner en marcha medidas de gestión de las cuencas hidrográficas para abordar los factores fundamentales que contribuyen a la susceptibilidad, como los corrimientos de tierras y los cambios en el uso del suelo.

REFERENCIAS

- Aguila, S. del, & Espinoza-Montes, F. (2024). Impacto del cambio climático en las descargas futuras de una cuenca altoandina de Perú al 2100. *Tecnología y ciencias del agua*, 15(1), Article 1. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-15-01-03>
- Aju, C. D., Achu, A. L., Prakash, P., Raicy, M. C., & Reghunath, R. (2024). An integrated statistical-geospatial approach for the delineation of flood-vulnerable sub-basins and identification of suitable areas for flood shelters in a tropical river basin, Kerala. *Geosystems and Geoenvironment*, 3(2), 100251. <https://doi.org/10.1016/j.geogeo.2024.100251>
- Alberca, J., Mejía, J., & Guevara-Pérez, E. (2023). Estimación del efecto del cambio climático sobre los caudales en la cuenca del río Piura usando GCM del CMIP6. *Revista Ingeniería UC*, 29, 136-144. <https://doi.org/10.54139/revinguc.v29i3.290>
- Alvarado García, V. (2020). *Modelación hidrológica del río Torres, San José, Costa Rica su variación con respecto al cambio climático*. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/9734>
- Alvarez Montero, G. F., & Moreno Cueva, C. A. (2021). Modelamiento hidráulico para el control y prevención de inundaciones mediante el uso de Hec-Ras 2d en la zona urbana del río Piura. *Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)*.
- Baena, G. M. E. B. (2017). *Metodología de la Investigación*. Grupo Editorial Patria.
- Baptista Tellez, M. M., & Pillco Zola, R. [Tutor. (2017). *Predicción de caudales bajo el impacto de cambio climático en condiciones de información limitada en la microcuenca del río Azanaque, Oruro* [Thesis]. <http://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/20689>
- Gaona Velázquez, M. S. (2020). *Análisis del impacto del cambio climático sobre el caudal del río Tebicuary*. [Master thesis, FCT-UCA]. <http://repositorio.conacyt.gov.py/handle/20.500.14066/3525>



- Haque, S., Ikeuchi, K., Shrestha, B. B., Kawasaki, A., & Minamide, M. (2023). Relationship between residential house damage and flood characteristics: A case study in the Teesta River Basin, Bangladesh. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 96, 103901. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2023.103901>
- Huisa Valdivia, M. J., & Huanca Zela, C. (2024). *Hidrodinámica y morfodinámica de un tramo urbano del río Coata y su influencia en la proyección de obras civiles*. <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio//handle/20.500.12404/27855>
- Issakhov, A., Abylkassymova, A., & Issakhov, A. (2023). Numerical study of the dam-break flood over natural rivers with macroscopic rocks on movable beds. *Computers and Geotechnics*, 164, 105793. <https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2023.105793>
- Krapesch, M., Hauer, C., Gmeiner, P., Haimann, M., Zauner, G., & Habersack, H. (2023). Evaluation of re-depositing hydropower trapped sediments at large rivers to improve flood protection and aquatic habitats – Case study Danube/Austria. *Science of The Total Environment*, 883, 163603. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163603>
- Laura Santos, J. W. (2019). Efecto del cambio climático en la oferta hídrica superficial de la cuenca del río Ilave—Puno. *Universidad Nacional del Altiplano*. <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/3577706>
- Lipa Ortiz, J. D., & Vilca Jara, N. I. (2021). Evaluación de terrenos agrícolas para determinar la vulnerabilidad ante inundaciones del río Huancané de la parcialidad Luriata, Provincia Huancané—Puno. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/68268>
- Mallqui Carrillo, J. L. (2021). Nivel de riesgo por inundación en la cuenca del río Huallaga sector San Rafael – Huánuco 2019. *Universidad Nacional Hermilio Valdizán*. <http://repositorio.unheval.edu.pe/handle/20.500.13080/6651>
- Martín Utrillas, M., Benítez Navío, A., Martínez León, J., Curiel Esparza, J., & Cantó Perelló, J. (2020). *Evolución en un escenario de cambio climático de los recursos hídricos de los embalses de la cuenca alta del Guadiana*. <http://dspace.aepro.com/xmlui/handle/123456789/2489>



- Mayta Rojas, C. A., & Mamani Maquera, E. R. (2018). Modelación Hidráulica de la Defensa de Calana con el Fin de Determinar la Vulnerabilidad ante Máximas Avenidas. *Universidad Privada de Tacna*.
<http://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/549>
- Mendoza Cariño, M., Bautista Olivas, A. L., Quevedo Nolasco, A., & Mendoza Cariño, D. (2018). Análisis hidrológico de largo plazo en la cuenca del río Metztlán Hidalgo, México, y su relación con el cambio climático. *Hidrobiológica*, 28(1), 17-30.
- Moreno Villafuerte, E. J. (2022). *Respuesta hidrológica con cambio climático en flujos de agua azul y verde, cuenca del río Cachi, Ayacucho 2021*.
<http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/4989>
- Nina Criollo, J. S. (2024). *Determinación de zonas de riesgo por inundación mediante modelación hidráulica e hidrológica en el Río Yaguachi* [bachelorThesis, Guayaquil: ULVR, 2024.]. <http://repositorio.ulvr.edu.ec/handle/44000/7255>
- Orozco, I., Ramírez, A. I., & Francés, F. (2018). Modelación de los impactos del Cambio Climático sobre los flujos y almacenamientos en una cuenca de alta montaña. *Ingeniería del agua*, 22(3), 125-139. <https://doi.org/10.4995/ia.2018.8931>
- Pang, J., Chen, S., Men, B., & Wang, H. (2024). Causal networks and spatiotemporal patterns of different droughts from the perspective of hydrological cycle—A case study of the Nenjiang River Basin, China. *Ecological Indicators*, 166, 112326. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.112326>
- Quispe Pacompia, F. (2018). *Generación de intensidad máxima de precipitación pluvial con fines de diseño de infraestructura hidráulica en la localidad de Capachica—Puno*. <https://repositorio.uap.edu.pe/xmlui/handle/20.500.12990/2149>
- Ramos Flores, B. E. (2016). *Proyecto de encauzamiento y defensas ribereñas en el Río Yarabamba sector Villa Yarabamba -Arequipa 2016*.
<https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/5884>



- Robertson, D. M., Perlman, H. A., & Narisimhan, T. N. (2022). Hydrological Cycle and Water Budgets. En T. Mehner & K. Tockner (Eds.), *Encyclopedia of Inland Waters (Second Edition)* (pp. 19-27). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819166-8.00008-6>
- Roggenkamp, T., Herget, J., & Roggenkamp, T. (2024). Flood reconstruction – The unexpected rather frequent event at River Ahr in July 2021. *Global and Planetary Change*, 240, 104541. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2024.104541>
- Sacaca Gemio, G. J. (2023). Análisis hidrológico e hidráulico con fines de proponer la construcción defensa ribereña en el río Sandia Puno 2023.
- Sanabria Morera, A. C. (2019). *Implementación de modelos de balance hídrico a nivel mensual para la evaluación del efecto del cambio climático sobre la disponibilidad del recurso hídrico en la cuenca del río Coello*. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/77184>
- Sánchez-Tapiero, D. I., Bonilla-Granados, C. A., & Ramón-Valencia, J. D. (2024). Modelo hidráulico unidimensional para determinar zonas de inundación en ríos de montaña. *Respuestas*, 29(1), Article 1. <https://doi.org/10.22463/0122820X.4349>
- Solla, D., Acuña-Alonso, C., Peco-Costas, C., & Álvarez, X. (2024). Flooding study of the Loira River (Galicia, Spain): Importance of pre-evaluation in land management. *Cleaner Engineering and Technology*, 21, 100769. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2024.100769>
- ul Hasson, S., & Böhner, J. (2019). Chapter 11 - Hydrological Cycle Over the Indus Basin at Monsoon Margins: Present and Future. En S. I. Khan & T. E. Adams (Eds.), *Indus River Basin* (pp. 245-264). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812782-7.00012-6>
- Valdez Jaen, J. J. (2021). "Evaluación Hidráulica para estimar Áreas de Inundación del Río Molla Afluente del Río Ilave".

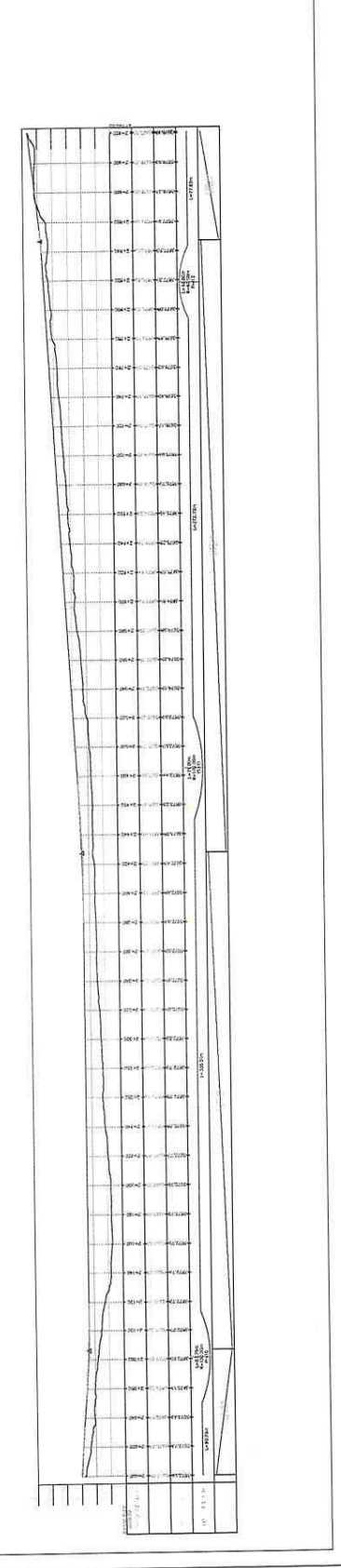
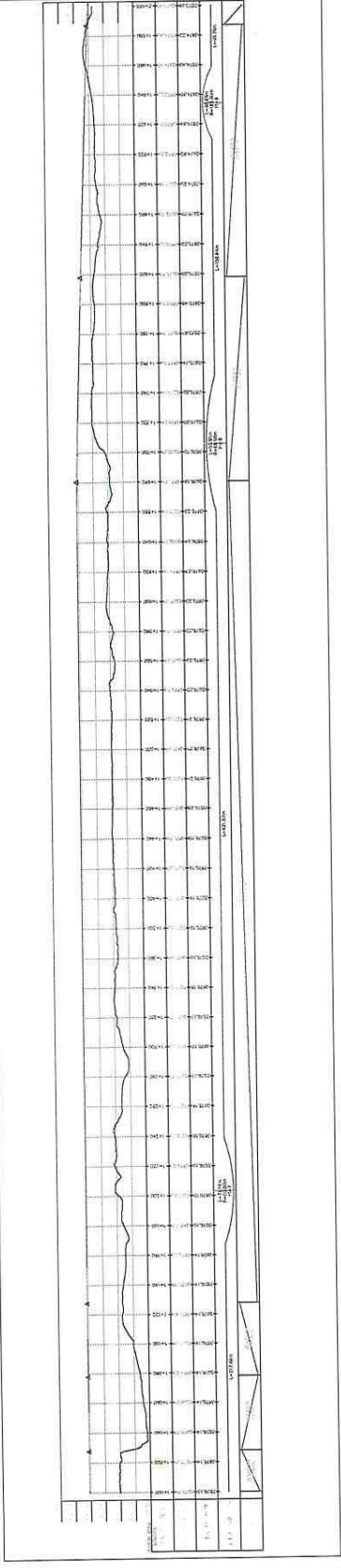
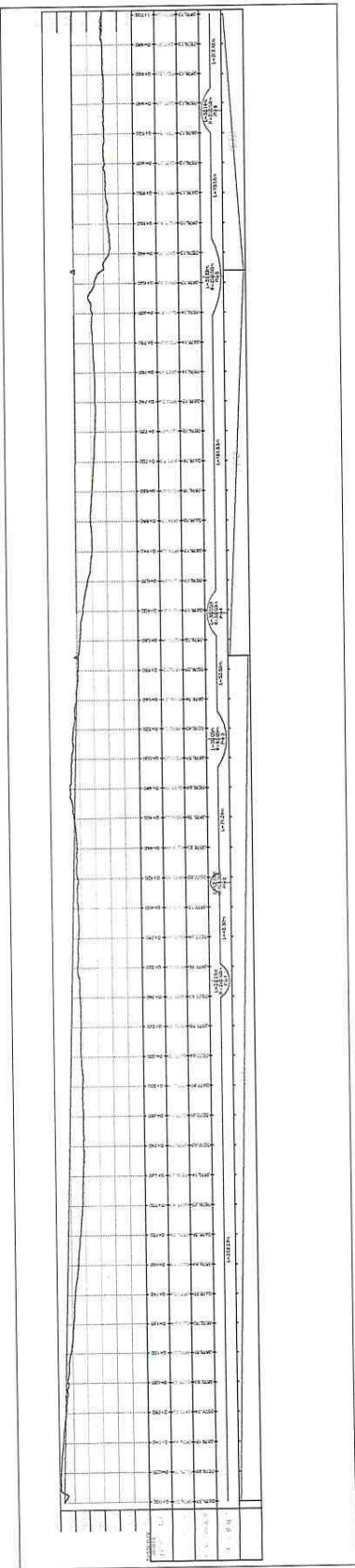
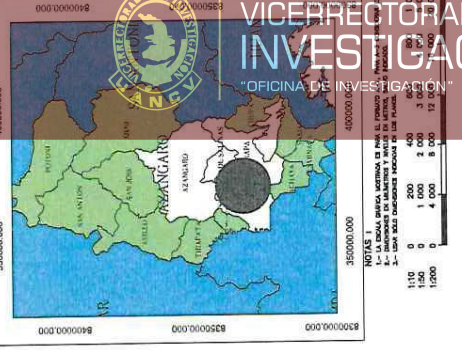
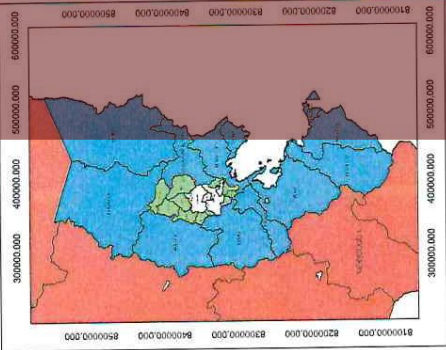
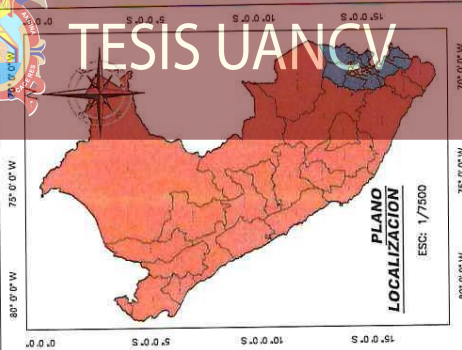


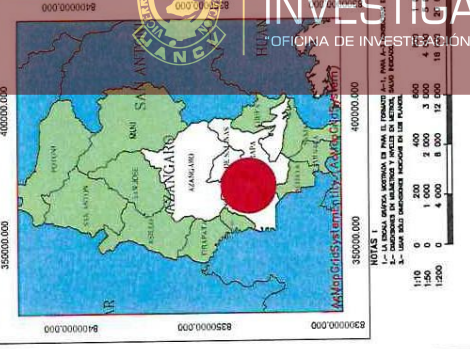
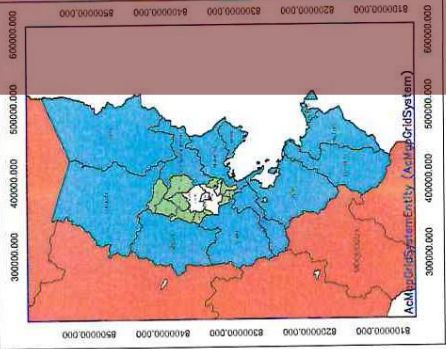
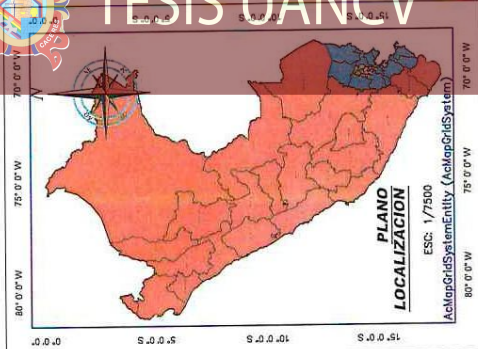
ANEXOS



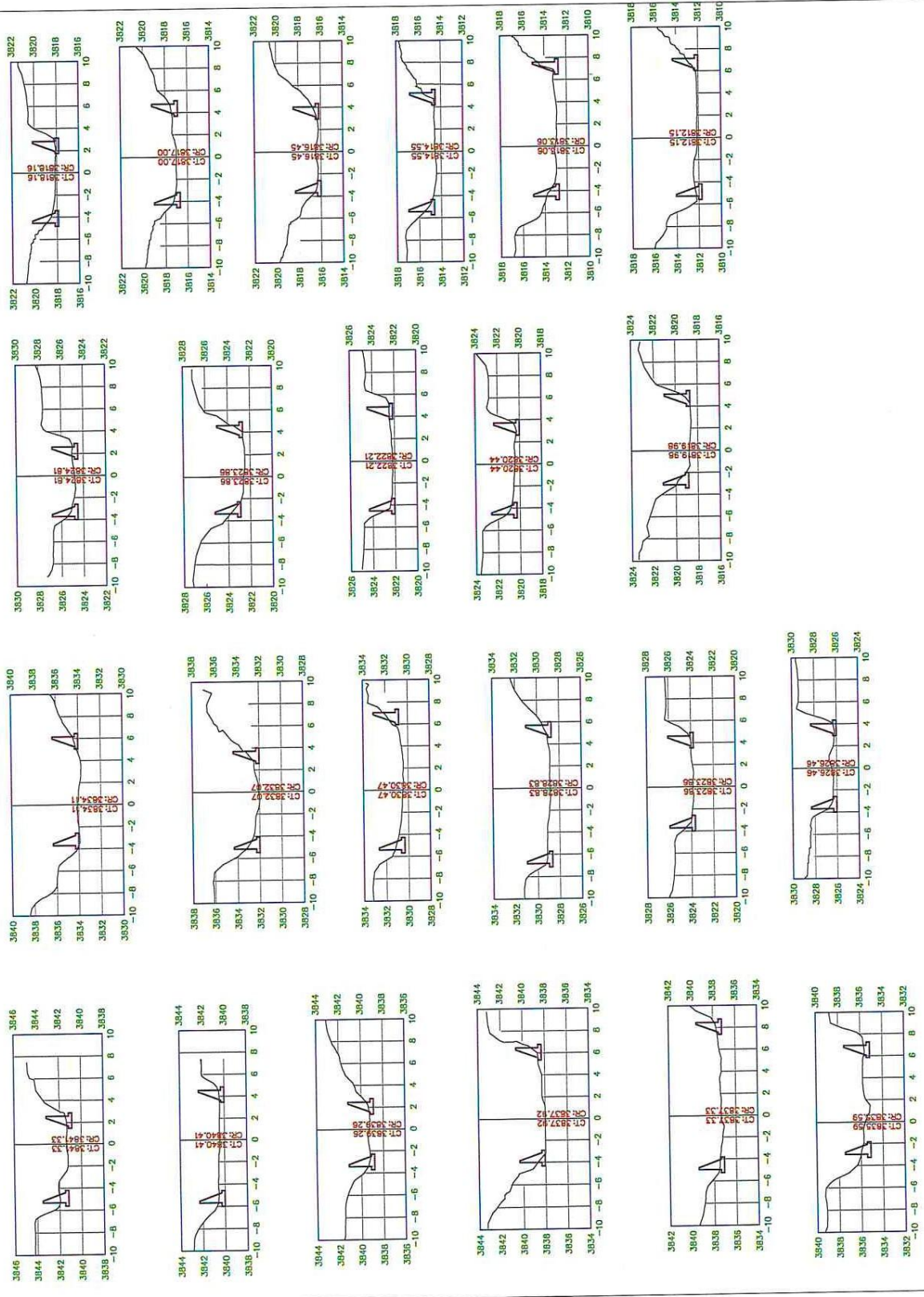
Anexo 1. Matriz de Consistencia

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL AFLUENTE AZÁNGARO PARA LA IDENTIFICACIÓN DE ZONAS INUNDABLES Y ALTERNATIVA DE DISEÑO DE MUROS DE CONTENCIÓN EN EL DISTRITO DE SANTIAGO DE PUPUJA – AZÁNGARO 2024				
Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables	Inst. de Medición
Problema General: ¿Cuál es el comportamiento del afluente Azángaro para la identificación de zonas inundables y alternativa de diseño de muros de contención en el distrito de Santiago de Pupuja - Azángaro 2024?	Objetivo General: Evaluar el comportamiento del afluente Azángaro para la identificación de zonas inundables y alternativa de diseño de muros de contención en el distrito de Santiago de Pupuja - Azángaro 2024.	Hipótesis General: El comportamiento del afluente Azángaro para la identificación de zonas inundables y alternativa de diseño de muros de contención en el distrito de Santiago de Pupuja - Azángaro 2024, contará con caudales de alto riesgo de desborde.	<p>Variable Independiente:</p> <p>Topografía, Caudales máximos y Aspectos relevantes del río</p>	<p>- Hidrómetro, registros históricos e instrumentos para el levantamiento</p> <p>- Observación directa, drones, fotografías aéreas</p>
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicas		
¿Cuál es el estado actual y la topografía de los márgenes del afluente Azángaro en el distrito de Santiago de Pupuja - Azángaro 2024?	Determinar el estado actual y la topografía de los márgenes del afluente en el distrito de Santiago de Pupuja - Azángaro 2024.	El estado actual y la topografía de los márgenes del afluente Azángaro en el distrito de Santiago de Pupuja - Azángaro 2024, contará con un alto grado de inundación teniendo topografías desfavorables para los márgenes del afluente en estudio.	<p>Variable dependiente:</p> <p>Mapa de calor de riesgo de inundación y Especificaciones técnicas</p>	
¿Cuáles son las zonas inundables según la topografía y el caudal del afluente Azángaro en el distrito de Santiago de Pupuja - Azángaro 2024?	Determinar las zonas inundables según la topografía y el caudal del afluente Azángaro en el distrito de Santiago de Pupuja - Azángaro 2024.	Las zonas inundables según la topografía y el caudal del afluente Azángaro en el distrito de Santiago de Pupuja - Azángaro 2024, estará delimitado por las zonas aledañas al puente Concordia.		
¿Cuáles son las especificaciones del diseño de muros de contención en los márgenes del afluente Azángaro en el distrito de Santiago de Pupuja - Azángaro 2024?	Definir las especificaciones del diseño de muros de contención en los márgenes del afluente Azángaro en el distrito de Santiago de Pupuja - Azángaro 2024.	Las especificaciones del diseño de muros de contención en los márgenes del afluente Azángaro en el distrito de Santiago de Pupuja - Azángaro 2024, estará de acuerdo a los lineamientos mínimos de diseño y protección de los márgenes.		





NOTAS:
1.- Escala gráfica, muestra el 10% de la distancia real.
2.- El contenido de humedad y el peso de la arena, solo se refieren a los 100 gramos de muestra en el punto.
3.- Los 100 gramos de muestra en el punto.





ESCUELA DE POSGRADO MAESTRÍA EN HIDRÁULICA

Validación de instrumento

FICHA DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN:

JUICIO DE EXPERTOS

I. REFERENCIAS

- a. EXPERTO/NOMBRES : Franz Joseph Barahona Perales
- b. CARGO ACTUAL : Docente
- c. GRADO ACADÉMICO : Docente Universitario / Magister

II: FICHA DE PLUVIOMETRÍA "EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL AFLUENTE AZÁNGARO PARA LA IDENTIFICACIÓN DE ZONAS INUNDABLES Y ALTERNATIVA DE DISEÑO DE MUROS DE CONTENCIÓN EN EL DISTRITO DE SANTIAGO DE PUPUJA – AZÁNGARO 2024"

III. AUTOR DEL INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN:

Bach: OSCAR BELIZARIO HUANCA

IV: ASPECTOS DE VALIDACIÓN

(1=Deficiente; 2= Regular; 3=Buena; 4=Muy Buena; 5= Excelente)

INDICADORES	CRITERIOS	DEFICIENTE	REGULAR	BUENA	MUY BUENA	EXCELENTE
1. CLARIDAD	Está redactado con lenguaje apropiado				///	
2. OBJETIVIDAD	Está expresado en capacidades observables				///	
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado al avance de la ciencia				///	
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica de los ítems y las variables				///	
5. SUFICIENCIA	Valora las dimensiones en cantidad y calidad suficientes				///	
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para cumplir los objetivos de la investigación				///	
7. CONSISTENCIA	Está basado en aspectos teóricos y científicos					///
8. COHERENCIA	Entre las dimensiones, indicadores e ítems					///
9. METODOLOGÍA	Responde al propósito de la investigación					///
10. PERTINENCIA	Es útil y adecuado para la investigación					///

Coefficiente de valorización porcentual, $C = \text{Total} / 50 =$

V. OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES

VI. RESOLUCIÓN DEL EXPERTO

Aprobado ($C > 75\% = 0.75$)

Desaprobado ($C < 75\% = 0.75$)

N° DNI	FIRMA DEL EXPERTO	LUGAR Y FECHA
07442876		12 de setiembre del 2024



ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN HIDRÁULICA

Validación de instrumento

FICHA DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN:

JUICIO DE EXPERTOS

I. REFERENCIAS

- a. EXPERTO/NOMBRES : EFADIN PARILLO SOSA
- b. CARGO ACTUAL : DOCENTE
- c. GRADO ACADÉMICO : DOCTOR EN INGENIERIA CIVIL

II: FICHA DE PLUVIOMETRÍA "EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL AFLUENTE AZÁNGARO PARA LA IDENTIFICACIÓN DE ZONAS INUNDABLES Y ALTERNATIVA DE DISEÑO DE MUROS DE CONTENCIÓN EN EL DISTRITO DE SANTIAGO DE PUPUJA - AZÁNGARO 2024"

III. AUTOR DEL INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN:

Bach: OSCAR BELIZARIO HUANCA

IV: ASPECTOS DE VALIDACIÓN

(1=Deficiente; 2= Regular; 3=Buena; 4=Muy Buena; 5= Excelente)

INDICADORES	CRITERIOS	DEFICIENTE	REGULAR	BUENA	MUY BUENA	EXCELENTE
1. CLARIDAD	Está redactado con lenguaje apropiado				X	
2. OBJETIVIDAD	Esta expresado en capacidades observables				X	
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado al avance de la ciencia				X	
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica de los ítems y las variables				X	
5. SUFICIENCIA	Valora las dimensiones en cantidad y calidad suficientes					X
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para cumplir los objetivos de la investigación					X
7. CONSISTENCIA	Está basado en aspectos teóricos y científicos				X	
8. COHERENCIA	Entre las dimensiones, indicadores e ítems					X
9. METODOLOGÍA	Responde al propósito de la investigación				X	
10. PERTINENCIA	Es útil y adecuado para la investigación					X

Coefficiente de valorización porcentual, C=Total/50=

V. OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES

VI. RESOLUCIÓN DEL EXPERTO

Aprobado (C>75%=0.75)

Desaprobado (C<75%=0.75)

N° DNI	FIRMA DEL EXPERTO	LUGAR Y FECHA
02416 058		03- 09- 2024



ANEXO 1
FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN

AUTORIZACIÓN PARA LA INCORPORACIÓN DE LOS
TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN
EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UANCV

Formato digital

Fecha de entrega: 11-03-2025

1. Datos del autor (es):

Nombres y Apellidos: OSCAR BELIZARIO HUANCA

Dirección: Urb. GUADALUPE Mz. K LOTE 2

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: 46292106

Teléfono: 951 802 021 email: obh9052@gmail.com

Nombres y Apellidos: _____

Dirección: _____

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: _____

Teléfono: _____ email: _____

Facultad y/o Escuela de Posgrado: ESCUELA DE POSGRADO

Escuela Profesional o Mención: HIDRAÚLICA

Título o Grado Académico a optar: MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL

Asesor: Dr. ARNALDO YANA TORRES

Esta obra se encuentra dentro de las siguientes denominaciones:

Trabajo de Investigación Tesis Trabajo de Suficiencia Profesional Trabajo Académico

Título: EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL AFLUENTE AZÁNGARO PARA LA IDENTIFICACIÓN DE ZONAS INUNDABLES Y ALTERNATIVAS DE DISEÑO DE MUROS DE CONTENCIÓN EN EL DISTRITO DE SANTIAGO DE PUPUJA - AZÁNGARO 2024

Palabras claves, (3 a 5 términos): AFLUENTE AZÁNGARO, ZONAS INUNDABLES, DISEÑO DE MUROS DE CONTENCIÓN, EVALUACIÓN HIDROLÓGICA Y CAUDAL

¿Esta obra se desarrolló en la UANCV ^{1, 2}?

1

¹ Indicar si su producción intelectual ha empleado recursos tales como, instalaciones, laboratorios, insumos, equipos, bases de datos, asesoría técnica por parte del personal de la UANCV, financiamiento, entre otros relacionados.

² Si su producción intelectual se desarrolló en la UANCV totalmente o parcialmente, deberá autorizar el depósito en el Repositorio de manera obligatoria.



2. Referencia de tesis:

Bachiller Titulo 2da Especialidad Maestría Doctorado

3. Licencias:

a) Licencia estándar:

Bajo los siguientes términos, autorizo el depósito de mi tesis en el Repositorio Digital de la UANCV.

Con la autorización de depósito de mi producción Intelectual, otorgo a la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" una licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar al público, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público mi producción intelectual (incluido el resumen), en formato físico o digital, en cualquier medio, conocido o por conocerse, a través de los diversos servicios por la Universidad, creados o por crearse, tales como el Repositorio Digital de tesis UANCV, colección de producción intelectual, entre otros, en el Perú y en el extranjero por el tiempo y veces que considere necesarias, y libres de remuneraciones.

En virtud de dicha licencia, la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" podrá reproducir mi producción intelectual en cualquier tipo de soporte y en más de un ejemplar, sin modificar su contenido, solo con propósitos de seguridad, respaldo y preservación.

Declaro que la producción intelectual es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, coautoría con titularidad compartida, y me encuentro facultado a conceder la presente licencia y, asimismo, garantizo que dicha producción intelectual no infringe derechos de autor de terceras personas.

La Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" consignará el nombre del y/o los autor(es) de la producción intelectual, y no le hará ninguna modificación más que la permitida en la licencia.

Autorizo su publicación (marque con una X)

Sí, autorizo que se deposite inmediatamente.
 Sí, autorizo que se deposite a partir de la fecha (d/m/a): _____
 No autorizo.

b) Licencia CREATIVE COMMONS 4.0 INTERNACIONAL:

Si usted concede una licencia CREATIVE COMMONS sobre su producción intelectual, mantiene la titularidad de los derechos de autor de esta y, a la vez, permite que otras personas puedan reproducirla, comunicarla al público y distribuir ejemplares de esta, bajo las condiciones siguientes:

¿Quiere permitir usos comerciales de su producción intelectual?

Sí: significa que usted permite la reproducción, distribución y comunicación pública de la producción intelectual incluso con fines comerciales.

No: significa que usted permite la reproducción, y comunicación pública de la producción intelectual, pero sin fines comerciales.

Sí autorizo
 No autorizo



Jurisdicción de su Licencia

Todas las licencias CREATIVE COMMONS son de ámbito mundial, sin embargo, usted puede elegir entre la opción "internacional" o una adaptada a su jurisdicción, como para el caso peruano.

La opción "internacional" emplea el lenguaje y la terminología de los tratados internacionales; en cambio, la adaptada a su jurisdicción, recoge las particularidades de la legislación peruana.

En consecuencia, **la opción "internacional" goza de una mayor eficacia a nivel mundial, gracias a que tiene jurisdicción neutral.** Mientras que la opción adaptada a la jurisdicción del Perú goza de una mayor eficacia ante los tribunales peruanos.

Internacional

Nacional

Línea de investigación: TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN - P51

Firma de Autor



huella digital

11-03-2025

Fecha