



FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA

PROVEIDO 001154-2026-UNH/FCI

EXPEDIENTE : **2026-0015668**

FECHA

22/06/2026

ASUNTO: SE REMITE LA DESIGNACIÓN DE JURADOS PARA LA REVISIÓN Y APROBACIÓN DEL INFORME FINAL DE TESIS DE LOS BACHILLERES TORRES SOTO, DIRSE CARMELA Y TORRES SOTO, EBERTH NIJAEL

Atender en 0 días

REFERENCIA : OFICIO N° 000304-2026-EPICH DESIGNACIÓN DE JURADOS PARA LA REVISIÓN Y APROBACIÓN DEL INFORME FINAL DE TESIS DE LOS BACHILLERES TORRES SOTO, DIRSE CARMELA Y TORRES SOTO, EBERTH NIJAEL

DEPENDENCIA DESTINO	TRAMITE	PRIORIDAD	INDICACIONES
UNIDAD FUNCIONAL DE SECRETARÍA DOCENTE - FCI SÁEZ HUAMÁN WILFREDO	ATENDER	NORMAL	

SANCHEZ ARAUJO VICTOR GUILLERMO
DECANO(A)



"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"
"Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia"

Huancavelica, 20 de Junio del 2026

OFICIO N° 000304-2026-UNH/EPICH

Señor (a):

VICTOR GUILLERMO SANCHEZ ARAUJO
DECANO(A)

Presente.

Asunto: DESIGNACIÓN DE JURADOS PARA LA REVISIÓN Y APROBACIÓN DEL INFORME FINAL DE TESIS DE LOS BACHILLEROS TORRES SOTO, DIRSE CARMELA Y TORRES SOTO, EBERTH NIJAEL.

Referencia: MEMORANDO MULTIPLE 000067-2026-UNH/EPICH (20JUN2026)

De mi consideración:

Con las consideraciones del caso me dirijo a usted, para hacerle llegar un saludo cordial a nombre de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil Huancavelica y el mío propio; la presente tiene por finalidad de solicitarle la emisión de resolución de **DESIGNACIÓN DE JURADOS PARA REVISIÓN Y APROBACIÓN DEL INFORME FINAL DE TESIS**, de acuerdo al siguiente detalle:

PROYECTO	BACHILLER	ASESOR	PROPUESTA JURADOS
"MODELAMIENTO DE ZONAS INUNDABLES EN EL TRAMO ACRAQUIA – DANIEL HERNÁNDEZ DEL RÍO OPAMAYO EN TAYACAJA"	TORRES SOTO, DIRSE CARMELA TORRES SOTO, EBERTH NIJAEL	Doc. MARCO ANTONIO LOPEZ BARRANTES ASESOR	JURADO EVALUADOR PRESIDENTE M.SC. IVAN ARTURO AYALA BIZARRO JURADO EVALUADOR SECRETARIO M.SC. ROGER RIVERA CASAVILCA JURADO EVALUADOR VOCAL ING. JUDITH MARTINEZ QUISPE JURADO EVALUADOR ACCESITARIO 1 ING. OMAR CABALLERO SANCHEZ JURADO EVALUADOR ACCESITARIO 2 MG. CESAR JURADO MANCHA

Hago propicia la oportunidad para expresarle el testimonio de mi especial consideración y estima personal.

Atentamente,

Documento Firmado Digitalmente

IVAN ARTURO AYALA BIZARRO
DIRECTOR(A) DE ESCUELA PROFESIONAL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL HUANCAVELICA

IAB/cca
cc.:

N° Expediente: 2026-0015668



"Esta es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico archivado por la Universidad Nacional de Huancavelica, aplicando lo dispuesto por el Art. 25 de D.S. 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. 026-2016-PCM".
Su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través.
Dirección web: <https://sgd.unh.edu.pe:8181/verifica/inicio.do>
Código de Verificación: REA0YPF





"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"
"Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia"

Huancavelica, 20 de Junio del 2026

MEMORANDO MULTIPLE N° 000067-2026-UNH/EPICH

Señores:

M.SC. IVAN ARTURO AYALA BIZARRO
JURADO EVALUADOR PRESIDENTE

M.SC. ROGER RIVERA CASAVILCA
JURADO EVALUADOR SECRETARIO

ING. JUDITH MARTINEZ QUISPE
JURADO EVALUADOR VOCAL

ING. OMAR CABALLERO SANCHEZ
JURADO EVALUADOR ACCESITARIO 1

MG. CESAR JURADO MANCHA
JURADO EVALUADOR ACCESITARIO 2

ASUNTO: DESIGNACIÓN DE JURADOS PARA LA REVISIÓN Y APROBACIÓN DEL INFORME FINAL DE TESIS DE LOS BACHILLERES TORRES SOTO, DIRSE CARMELA Y TORRES SOTO, EBERTH NIJAEL.

Referencia: INFORME 000028-2026-UNH/UFGGT-EPICH (19JUN2026)

Fecha elaboración: Huancavelica, 19 de Junio de 2026

Es grato dirigirme a usted, para saludarlos cordialmente, y en atención al documento de la referencia, se **designa como jurados** del informe final de tesis titulado: **"MODELAMIENTO DE ZONAS INUNDABLES EN EL TRAMO ACRAQUIA – DANIEL HERNÁNDEZ DEL RÍO OPAMAYO EN TAYACAJA"**, de los bachilleres **TORRES SOTO, DIRSE CARMELA Y TORRES SOTO, EBERTH NIJAEL.**

Sin otro particular, es propicia la ocasión para renovarle las muestras de mi consideración y estima personal

Atentamente,

Documento Firmado Digitalmente

IVAN ARTURO AYALA BIZARRO
DIRECTOR(A) DE ESCUELA PROFESIONAL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL HUANCAVELICA

Al pie de la letra dice: *Cabe señalar que, de acuerdo con el **Reglamento de Grados y Títulos** de la Universidad Nacional de Huancavelica, **versión 001**, modificado mediante **Resolución N° 0163-2026-D-FCI-R-UNH** de fecha 06/04/2026, **CAPÍTULO I De la elaboración y sustentación de tesis**, Artículo 17°. 17.8. El director de la Escuela Profesional solicita al Coordinador de la Unidad Funcional de la Unidad de Grados y Títulos la propuesta de cinco (5) docentes en un plazo máximo de tres (3) días hábiles, de los cuales el director designa tres (3) jurados titulares y dos (2) jurados accesitarios. El asesor participa únicamente con voz y no conforma parte del jurado. El presidente es uno de los titulares de mayor categoría o que ostente el más alto grado académico. Los jurados evaluadores deben ser docentes ordinarios o contratados (categoría A1 o B1), designados en función de las líneas de investigación reconocidas por la escuela profesional y del perfil académico del docente. El Coordinador de la Unidad Funcional de la Unidad de Grados y Títulos de la escuela profesional verifica la pertinencia temática y la idoneidad profesional.

IAB/cca

N° Expediente: 2026-0015668



*Esta es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico archivado por la Universidad Nacional de Huancavelica, aplicando lo dispuesto por el Art. 25 de D.S. 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. 026-2016-PCM. Su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través. Dirección web: <https://sgd.unh.edu.pe:8181/verifica/inicio.do> Código de Verificación: **6GVIOVC**





UNH

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA

UNI. FUN. GESTIÓN DE GRADOS Y TÍTULOS - EPI CIVIL HVCA



Firmado digitalmente por GOMEZ TUNQUE Kennedy Richard FAU 20168014962 soft
Cargo: Coordinador De Gestion De Grados Y Titulos
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 19.06.2026 15:54:10 -05:00

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"
"Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia"

Huancavelica, 19 de Junio del 2026

INFORME N° 000028-2026-UNH/UFGGT-EPICH

A: **IVAN ARTURO AYALA BIZARRO**
DIRECTOR(A) DE ESCUELA PROFESIONAL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL HUANCAMELICA

ASUNTO: **REMITO PROPUESTA DE DESIGNACIÓN DE JURADOS PARA LA REVISIÓN Y APROBACIÓN DEL INFORME FINAL DE TESIS DE LOS BACHILLEROS TORRES SOTO, DIRSE CARMELA Y TORRES SOTO, EBERTH NIJAEL.**

Referencia: PROVEIDO 000611-2026-UNH/EPICH (16JUN2026)

Fecha elaboración: Huancavelica, 19 de Junio de 2026

Es grato dirigirme a usted, para saludarlos cordialmente, y en atención al documento de la referencia, se propone como miembros jurados para la revisión del informe de tesis: **"MODELAMIENTO DE ZONAS INUNDABLES EN EL TRAMO ACRAQUIA – DANIEL HERNÁNDEZ DEL RÍO OPAMAYO EN TAYACAJA"**, presentado por los tesisistas Bachilleres **TORRES SOTO, Dirse Carmela y TORRES SOTO, Eberth Nijael.**

Para la cual remito la propuesta de designación de jurados, tal como se detalla:

JURADOS PROPUESTOS	M Sc. IVAN ARTURO AYALA BIZARRO M Sc. ROGER RIVERA CASAVILCA Ing. JUDITH MARTINEZ QUISPE Ing. OMAR CABALLERO SANCHEZ Mg. CESAR JURADO MANCHA
---------------------------	--

De acuerdo al reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Huancavelica, Versión 1, con RESOLUCIÓN N° 0430-2026-CU-UNH del 06/04/2026. (Artículo 17°, inciso 17.8)

Atentamente,

Documento Firmado Digitalmente

KENNEDY RICHARD GOMEZ TUNQUE
COORDINADOR DE GESTION DE GRADOS Y TITULOS
UNI. FUN. GESTIÓN DE GRADOS Y TÍTULOS - EPI CIVIL HVCA

KG
cc.:

N° Expediente: 2026-0015668



"Esta es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico archivado por la Universidad Nacional de Huancavelica, aplicando lo dispuesto por el Art. 25 de D.S. 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. 026-2016-PCM". Su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través.
Dirección web: <https://sgd.unh.edu.pe:8181/verifica/inicio.do>
Código de Verificación: **XYNN1W**



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA

(Creada por Ley N°25265)

FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL – HUANCVELICA



TESIS

**“Modelamiento de zonas inundables en el tramo Acraquia –
Daniel Hernández del río Opamayo en Tayacaja”**

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Ingeniería hidráulica

PRESENTADO POR:

Bach. Dirse Carmela TORRES SOTO

Bach. Eberth Nijael TORRES SOTO

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

HUANCVELICA, PERÚ

2026

Título

“Modelamiento de zonas inundables en el tramo Acraquia –
Daniel Hernández del río Opamayo en Tayacaja”

Autores

Bach. Dirse Carmela TORRES SOTO

Bach. Eberth Nijael TORRES SOTO

Asesor

Dr.-Ing. Marco Antonio LÓPEZ BARRANTES

CÓDIGO ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7481-650X>

DNI: 21441702

Dedicatoria

A Dios, por ser mi guía en cada paso, por brindarme fortaleza en los momentos de dificultad y llenar de fe y esperanza cada día de este camino.

A mis padres Teófilo y Carmela, por su amor incondicional, sus sacrificios silenciosos y su ejemplo de perseverancia. Gracias por enseñarme a nunca rendirme.

A mis hermanos, por estar siempre presentes con palabras de aliento, paciencia y cariño. Su compañía ha sido un soporte invaluable en este proceso.

Dirse Carmela Torres Soto.

A mis padres, quienes me enseñaron que los sueños se alcanzan con trabajo, responsabilidad y perseverancia. Cada esfuerzo realizado durante este camino lleva el reflejo de los valores que sembraron en mí desde niño. Gracias por acompañarme en cada etapa de mi vida y por confiar siempre en mis capacidades, incluso en los momentos más difíciles.

A mi amado hijo, quien es la mayor inspiración de mi vida y la razón que me impulsa a seguir adelante cada día. Tu amor, alegría y confianza me dieron la fortaleza necesaria para culminar este importante logro.

Eberth Nijael Torres Soto.

Agradecimiento

Expresamos nuestro más sincero agradecimiento a los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Huancavelica, por habernos brindado conocimientos sólidos, formación académica rigurosa y un valioso ejemplo profesional durante nuestra etapa universitaria.

De manera especial, agradecemos al asesor de tesis Dr.-Ing. Marco Antonio López Barrantes por su acompañamiento constante, sus orientaciones precisas y el compromiso demostrado en cada etapa de esta investigación.

Al topógrafo, quien nos brindó un valioso apoyo técnico en el trabajo de campo, especialmente en el levantamiento topográfico mediante fotogrametría con dron. Su experiencia, disposición y compromiso fueron fundamentales para la obtención de datos precisos que enriquecieron el desarrollo de esta investigación.

A los pobladores de las zonas visitadas, les agradecemos por su disponibilidad y colaboración, compartiendo información valiosa desde su experiencia local.

Finalmente, a nuestros amigos y compañeros, gracias por su motivación, compañerismo y apoyo incondicional, que hicieron este camino académico más llevadero y enriquecedor.

Índice

RESUMEN.....	xvii
ABSTRACT.....	xviii
INTRODUCCIÓN	xix
CAPÍTULO I.....	21
EL PROBLEMA	21
1.1. Planteamiento del problema.....	21
1.2. Formulación del problema	24
1.2.1. Problema general.....	24
2.2.1. Problemas específicos	24
1.2. Objetivos	24
1.3.1. Objetivo general	24
1.3.2. Objetivos específicos	24
1.4. Justificación.....	24
1.5. Limitaciones.....	26
CAPÍTULO II	28
MARCO TEÓRICO	28
2.1. Antecedentes	28
2.1.1. Antecedentes internacionales	28
2.1.2. Antecedentes Nacionales	34
2.1.3. Antecedentes Locales.....	42
2.2. Bases teóricas	44
2.2.1. Hidrología	44
2.2.2. Ciclo hidrológico.....	44
2.2.3. Inundaciones	45
2.2.3.1. Tipos de inundación	46
2.2.3.2. Factores y efectos de las inundaciones.....	47
2.2.3.3. Criterios de intensidad o magnitud de las inundaciones	48
2.2.3.4. Criterios de recurrencia y períodos de retorno de inundaciones	49

2.2.4.	Estudio hidrológico	49
2.2.4.1.	Análisis de cuenca hidrográfica	49
2.2.4.2.	Comportamiento hidrometeorológico de la cuenca	61
2.2.4.3.	Obtención de datos hidrometeorológicos del SENAMHI.....	63
2.2.4.4.	Análisis de información pluviométrica	65
2.2.4.5.	Análisis estadístico de precipitaciones.....	70
2.2.4.6.	Tormenta de diseño	76
2.2.4.7.	Precipitación Efectiva	81
2.2.4.8.	Estimación de caudales	88
2.2.4.9.	Modelamiento hidrológico con HEC-HMS	91
2.2.5.	Levantamiento Topográfico con Dron - Fotogrametría.....	92
2.2.5.1.	Introducción al uso del dron en topografía	92
2.2.5.2.	Fotogrametría	93
2.2.5.3.	Productos generados a partir del levantamiento con dron	93
2.2.5.4.	Análisis del cauce: secciones y curvas de nivel.....	95
2.2.5.5.	Ventajas del uso de drones en topografía.....	95
2.2.6.	Hidráulica y morfología fluvial.....	95
2.2.6.1.	Hidráulica de Ríos.....	95
2.2.6.2.	Coeficiente de Rugosidad de Manning	101
2.2.7.	Modelamiento hidráulico con HEC-RAS	104
2.3.	Definición de términos	106
2.4.	Bases conceptuales.....	109
2.4.1.	Modelamiento de zonas inundables	109
2.4.1.1.	Zonas inundables.....	109
2.4.1.2.	Dimensiones de análisis	110
2.5.	Variables	111
2.6.	Operacionalización de variables	111
CAPÍTULO III.....		112
METODOLOGÍA		112
3.1.	Ámbito espacial y temporal	112

3.1.1. Ámbito Espacial	112
3.1.2. Ámbito Temporal	113
3.2. Métodos de investigación.....	114
3.2.1. Tipo de investigación	115
3.2.2. Nivel de investigación.....	116
3.2.3. Diseño de investigación	116
3.3. Población, muestra y muestreo	117
3.4. Técnicas, instrumentos y procedimientos para recolección de datos... 118	
3.4.1. Técnicas para recolección de datos	118
3.4.2. Instrumentos para recolección de datos	120
3.5. Técnicas de procesamiento y análisis de datos	121
CAPÍTULO IV	123
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	123
4.1. Presentación y análisis de resultados	123
4.1.1. ETAPA I: Recopilación de información	129
4.1.2. ETAPA II: Estudio Hidrológico	138
4.1.3. ETAPA III: Levantamiento topográfico – fotogrametría y procesamiento de datos	160
4.1.4. ETAPA IV: Análisis morfológico y determinación del coeficiente de Manning	172
4.1.5. ETAPA V: Modelamiento Hidráulico	179
4.2. Discusión de los resultados	182
CONCLUSIONES	184
RECOMENDACIONES	186
REFERENCIAS	188
ANEXOS	191

Índice de Tablas

Tabla 1: Rangos definidos para cada nivel de intensidad para inundaciones	48
Tabla 2: Niveles de intensidad y periodos de retorno establecidos por INDECI.....	49
Tabla 3: Clasificación de cuencas por superficie.....	50
Tabla 4: Rangos aproximados de la pendiente media.....	58
Tabla 5: Rangos aproximados de la densidad de drenaje.....	59
Tabla 6: Valores Kn para la prueba de datos dudosos	69
Tabla 7: Valores Críticos “d” para la Prueba Smirnov - Kolmogorov	72
Tabla 8: Periodo de retorno y vida útil de estructuras de drenaje T(años)	74
Tabla 9: Valores máximos recomendados de riesgo admisible de obras de drenaje .	74
Tabla 10: Condiciones antecedentes de humedad básicas empleadas en el método SCS.....	83
Tabla 11: Rangos para la clasificación de las condiciones antecedentes de humedad (AMC) para el método de abstracciones de lluvia del SCS.....	84
Tabla 12: Grupo de suelo hidrológico, para el cálculo del CN.....	85
Tabla 13: Números de curva de escorrentía para usos selectos de tierra agrícola, suburbana y urbana (condiciones antecedentes de humedad II, Ia = 0.2s).....	86
Tabla 14: Valores del coeficiente de rugosidad n para cauces naturales.....	102
Tabla 15: Definición operativa de variables	111
Tabla 16: Coordenadas de ubicación de zona de estudio.....	112
Tabla 17: Esquema general de Etapas, Instrumentos y metodologías.....	123
Tabla 18: Características morfométricas de la subcuenca del río Opamayo.....	140
Tabla 19: Datos Curva de Frecuencia Subcuenca río Opamayo.....	141
Tabla 20: Estación meteorológica.....	143
Tabla 21: Precipitación máxima en 24 horas	144
Tabla 22: Precipitación máxima en 24 horas (mm).....	145
Tabla 23: Relación Precipitación máxima verdadera y precipitación en intervalos fijos.....	145
Tabla 24: Precipitación máxima en 24 horas	146

Tabla 25: Prueba de datos dudosos	147
Tabla 26: Determinación de OUTLIERS.....	147
Tabla 27: Resumen del análisis de frecuencias de precipitaciones.....	152
Tabla 28: Resumen del análisis de frecuencias de precipitaciones.....	152
Tabla 29: Precipitaciones máximas estación Pampas (mm)	154
Tabla 30: Intensidades máximas estación Pampas.....	154
Tabla 31: Intensidades máximas (mm) - estación Pampas	155
Tabla 32: Intensidad mediante el método de bloque alterno.....	156
Tabla 33: Precipitaciones mediante el método de bloque alterno.....	156
Tabla 34: Características geométricas Subcuencas en estudio	157
Tabla 35: Resumen Tiempos de retardo Tlag (min)	158
Tabla 36: Resumen de Caudales máximos de diseño.	160
Tabla 37: Descripción de los 22 BMs.	164
Tabla 38: Coordenadas UTM, alturas y descripción de los 22 BMs.	168
Tabla 39: Parámetros obtenidos del levantamiento topográfico con Dron.	168
Tabla 40: Características del río Opamayo.	175
Tabla 41: Documentación de los tramos evaluados, margen derecho, lecho del río y margen izquierda, tramo 11+400.0 a 11+440.0.	178
Tabla 42: Valores del coeficiente de rugosidad de Manning (n) en el tramo Acraquia – Daniel Hernández.....	179
Tabla 43: Resumen de resultados obtenidos del modelamiento hidráulico.	181

Índice de Figuras

Figura 1: Ciclo Hidrológico	45
Figura 2: Sección transversal del río que muestra la zona inundable, donde el caudal excede el cauce principal y se expande hacia las planicies adyacentes.	46
Figura 3: Área y perímetro de la cuenca.	51
Figura 4: Longitud de la cuenca.	52
Figura 5: Influencia de la forma de la cuenca en el hidrograma (R_b = Relación de bifurcación).	55
Figura 6: Curva hipsométrica y polígono de frecuencia de altitudes.	56
Figura 7: Curvas de intensidad-duración-frecuencia para lluvias en diferentes periodos de retorno.	78
Figura 8: Hietograma de diseño que representa la distribución temporal de la precipitación durante un evento extremo, utilizado para estimar caudales máximos.	81
Figura 9: Variables en el método de abstracciones de SCS.	82
Figura 10: Componentes de un hidrograma de una tormenta	88
Figura 11: Hidrograma unitario	91
Figura 12: Drone Phantom 4 RTK y su control de remoto.	93
Figura 13: Diferencia entre un DSM y MDE/MDT.	95
Figura 14: Río recto	99
Figura 15: Río con meandros	100
Figura 16: Río trenzado.	101
Figura 17: Asignación del coeficiente de Rugosidad de Manning.	103
Figura 18: Diagrama de bases teóricas.	105
Figura 19: Esquema gráfico del ámbito temporal de estudio.	114
Figura 20: Evidencias del desbordamiento del río Opamayo en los distritos por donde fluye – zona agrícola (2011)	130
Figura 21: Evidencia del desbordamiento del río Opamayo en los distritos por donde fluye – zona agrícola (2011)	130

Figura 22: Evidencias del desbordamiento del río Opamayo en los distritos por donde fluye – zona urbana (2012).	131
Figura 23: Evidencia del desbordamiento del río Opamayo en los distritos por donde fluye – zona urbana (2015)	131
Figura 24: Áreas agrícolas y urbanas ubicadas en el tramo Acraquia – Daniel Hernández presentan una alta vulnerabilidad a inundaciones (2025).	138
Figura 25: Información ASTER GDEM	139
Figura 26: Delimitación de la cuenca hidrográfica del río Opamayo	140
Figura 27: Curva Hipsométrica e Histograma de frecuencias	142
Figura 28: Histograma de Precipitación máxima en 24 horas.	145
Figura 29: Histograma de Precipitación máxima corregida en 24 horas	146
Figura 30: Determinación de OUTLIERS	148
Figura 31: Ajuste de la precipitación máxima 24 horas a la distribución normal....	149
Figura 32: Ajuste de la precipitación máxima 24 horas a la distribución Log-normal 2P.	149
Figura 33: Ajuste de la precipitación máxima 24 horas a la distribución Gamma 2P	150
Figura 34: Ajuste de la precipitación máxima 24 horas a la distribución Gamma 3P	150
Figura 35: Ajuste de la precipitación máxima 24 horas a la distribución Gumbel ..	151
Figura 36: Ajuste de la precipitación máxima 24 horas a la distribución Log-Gumbel	151
Figura 37: La ecuación general para las curvas IDF	154
Figura 38: Curvas I-D-F - estación Pampas.	156
Figura 39: Curva número en condiciones normales en Subcuenca río Ichu	158
Figura 40: Hietograma de Precipitación para un Tr = 10 y Tr = 20 años	159
Figura 41: Hietograma de Precipitación para un Tr = 50 y Tr = 100 años	159
Figura 42: Hietograma de Precipitación para un Tr = 200 y Tr = 500 años	159
Figura 43: Selección de la ubicación de los BMs.	161

Figura 44: Ortofoto del tramo de estudio obtenida del levantamiento topográfico con Dron RTK.	170
Figura 45: MDE del tramo de estudio obtenida del levantamiento topográfico con Dron RTK.	170
Figura 46: Seccionamiento del Rio, cada 20.00 metros en los 15.040 km.	171
Figura 47: Seccionamiento del Rio, cada 20.00 metros.....	171
Figura 46: Sinuosidad del rio Opamayo en el tramo Acraquia - Daniel Hernández.	173

Índice de Fotografías

Fotografía 1: Niveles de agua alcanzados por el río Opamayo a causa de las lluvias - distrito Daniel Hernández.	22
Fotografía 2: Niveles de agua alcanzados por el río Opamayo a causa de las lluvias – distritos Acraquia, Ahuaycha, y Pampas.....	22
Fotografía 3: Ámbito espacial de estudio.....	113
Fotografía 4: Entrevista a residentes locales.....	132
Fotografía 5: Se observa la proximidad de las edificaciones al cauce del río Opamayo.	133
Fotografía 6: Se observa la proximidad de viviendas al cauce del río Opamayo. ...	133
Fotografía 7: Vivienda de adobe construida al borde del cauce del río Opamayo. .	134
Fotografía 8: Vivienda construida al borde del cauce del río Opamayo.....	134
Fotografía 9: Proximidad de terrenos agrícolas (cultivo de quinua) al cauce del río Opamayo.	135
Fotografía 10: Proximidad de terrenos agrícolas (cultivo de cebada) al cauce del río Opamayo.	135
Fotografía 11: Proximidad de terrenos agrícolas (cultivo de maíz y cultivo de papa) al cauce del río Opamayo.....	136
Fotografía 12: Proximidad de terrenos agrícolas (cultivo forrajero-alfalfa) al cauce del río Opamayo.....	136
Fotografía 13: Áreas de pastos cortos, empleados en la alimentación y pastoreo del ganado, ubicados en las riberas del río Opamayo	136
Fotografía 14: Puente de concreto ya deteriorado sobre el cauce del río Opamayo.	137
Fotografía 15: Puente construido con tablonces de maderas en deterioro sobre el cauce del río Opamayo. La mayoría de puentes que se encuentran en este tramo son de este material (puentes rústicos).	137
Fotografía 16: Vista de punto de interés y/o aforo.....	139
Fotografía 17: Excavación de 30 x 30 cm con profundidad de 50 cm para BMs....	162
Fotografía 18: Materialización de BMs en campo.....	162

Fotografía 19: Desencofrado de BMs.	163
Fotografía 20: Pintado y numeración de los BMs.....	163
Fotografía 21: Configurando los equipos para así obtener datos topográficos precisos en tiempo real (Receptor GNSS diferencial uno estacionado y uno móvil más tablet).	165
Fotografía 22: Captura de coordenadas UTM de cada BM, con receptor GNSS diferencial móvil conectada a una Tablet.....	165
Fotografía 23: Registro de coordenadas UTM (Este y Norte) y altura de cada BM.	166
Fotografía 24: Tesista remarcando los BMs desde 01 al 22 con yeso para su fácil identificación con el Dron.....	166
Fotografía 25: Vuelo del Dron Phantom 4 RTK sobre el área de estudio.	167
Fotografía 26: Transporte de agua durante todo el año, con menor caudal.	172
Fotografía 27: Se observa el aumento de caudal del río rápidamente tras un evento de precipitación.....	173
Fotografía 28: Sinuosidad del río Opamayo - tramo Acraquia - Daniel Hernández.	174
Fotografía 29: Relación del río con la planicie de inundación - alta conectividad lateral con su planicie de inundación.	174
Fotografía 30: Evaluación las secciones transversales del río Opamayo.....	177
Fotografía 31: Evaluación las secciones transversales del río Opamayo.....	177

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo modelar las zonas inundables en el tramo Acraquia – Daniel Hernández del río Opamayo, ubicado en la provincia de Tayacaja, región Huancavelica, con el fin de identificar áreas urbanas y agrícolas vulnerables ante eventos hidrometeorológicos extremos. Se desarrolló un estudio hidrológico e hidráulico basado en un enfoque cuantitativo, tipo aplicado, nivel descriptivo y diseño no experimental. La muestra corresponde a un tramo de 15,040 km del río. En la etapa hidrológica se analizaron precipitaciones máximas para determinar caudales de diseño; luego, se realizó un levantamiento topográfico con dron y GPS, generando un modelo digital del terreno. También se caracterizó la morfología del cauce y se determinó el coeficiente de Manning. Para el modelamiento hidráulico se utilizó el software HEC-RAS, vinculado a herramientas SIG (ArcGIS), lo cual permitió simular escenarios de caudal y generar mapas de inundación. Los resultados identificaron zonas afectadas por diferentes periodos de retorno, cuantificándose áreas inundables tanto urbanas como agrícolas, principalmente con cultivos de alfalfa. Se concluye que el modelamiento hidráulico es clave para la gestión del riesgo de desastres, y que sus resultados deben ser utilizados por autoridades locales en la planificación y prevención, especialmente en zonas rurales con infraestructura vulnerable.

Palabras clave: Inundaciones, morfología fluvial, impacto en comunidades, zonas vulnerables, modelamiento hidráulico.

ABSTRACT

This research aims to model flood-prone areas along the Acraquia – Daniel Hernández section of the Opamayo River, located in the province of Tayacaja, Huancavelica region, in order to identify urban and agricultural zones vulnerable to extreme hydrometeorological events. A hydrological and hydraulic study was conducted under a quantitative approach, with an applied type, descriptive level, and non-experimental design. The sample corresponds to a 15,040 km stretch of the river. In the hydrological phase, maximum rainfall data were analyzed to determine design flows; subsequently, a topographic survey using drone and GPS was carried out to generate a digital terrain model. The river morphology was characterized, and Manning's roughness coefficient was determined. Hydraulic modeling was performed using HEC-RAS software, integrated with GIS tools (ArcGIS), allowing flow simulations and flood map generation under different scenarios. The results identified areas affected by various return periods, quantifying flood-prone urban and agricultural areas, particularly those cultivated with alfalfa. It is concluded that hydraulic modeling is essential for disaster risk management, and its results should be used by local authorities for planning and prevention, especially in rural areas with vulnerable infrastructure.

Keywords: Floods, fluvial morphology, community impact, vulnerable areas, hydraulic modeling.

INTRODUCCIÓN

En los distritos de Acraquia, Ahuaycha, Pampas y Daniel Hernández, ubicados entre los tramos del puente Santa Rosa (Acraquia) y el puente Chaylluas (Daniel Hernández), en la provincia de Tayacaja, región Huancavelica, se han registrado inundaciones recurrentes en años anteriores, producto de avenidas máximas ocurridas durante la temporada de lluvias. Estas inundaciones han generado importantes pérdidas materiales, afectaciones a viviendas, cultivos agrícolas, ganado e infraestructura local, comprometiendo la seguridad de la población y el desarrollo económico de la zona.

A pesar de los impactos evidentes, la zona de estudio no cuenta con estudios técnicos actualizados que permitan comprender con precisión el comportamiento del río Opamayo ante eventos hidrometeorológicos extremos. Esta carencia de información limita la planificación territorial, dificulta la gestión del riesgo de desastres y retrasa la implementación de medidas preventivas y de mitigación por parte de las autoridades competentes.

En ese contexto, el objetivo general de esta investigación es determinar las zonas inundables en el tramo Acraquia – Daniel Hernández del río Opamayo, con el fin de brindar información técnica confiable que contribuya a la prevención y mitigación de los efectos de futuras inundaciones. De manera específica, se busca identificar y cuantificar las áreas urbanas y agrícolas que se verían afectadas ante distintos escenarios hidrológicos, expresados en periodos de retorno (25, 50, 100, 200 y 500 años).

La investigación se desarrollará mediante un análisis integral que combina el modelamiento hidrológico e hidráulico con la aplicación de herramientas SIG (Sistemas de Información Geográfica) y software especializado como HEC-RAS, ArcGIS y CIVIL 3D. Se incorporarán factores clave como la topografía del terreno (pendiente, elevación, etc.), las características de la cuenca hidrográfica (área, drenaje,

forma, etc.), los parámetros hidrológicos (precipitación, caudal, tiempo de concentración), la geometría del cauce (ancho, profundidad, rugosidad del lecho) y la configuración del uso del suelo, a fin de simular el comportamiento del flujo de agua en diferentes escenarios.

Como resultado, se generarán mapas georreferenciados de zonas inundables, diferenciando áreas urbanas y agrícolas afectadas, cuantificadas en hectáreas. Esta información será un insumo clave para la toma de decisiones por parte de los gobiernos locales, Defensa Civil y otras instituciones vinculadas a la gestión del riesgo, contribuyendo a la protección de vidas humanas, la reducción de daños materiales y la seguridad alimentaria de la población.

Para facilitar la comprensión y organización del presente estudio, la tesis se estructura en cuatro capítulos:

En el Capítulo I. EL PROBLEMA, se incluye el planteamiento del problema, la formulación del problema, los objetivos, la justificación y limitaciones de la investigación.

En el Capítulo II. MARCO TEÓRICO, que comprende los antecedentes internacionales, nacionales, locales, bases teóricas y conceptos fundamentales relacionados con el estudio.

En el Capítulo III. METODOLOGÍA, se describe la metodología empleada, detallando el tipo, nivel y diseño de investigación, así como los procedimientos e instrumentos utilizados para la recolección y análisis de datos.

En el Capítulo IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN, se exponen los resultados obtenidos y su respectiva discusión.

Finalmente, se presentan las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos correspondientes

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del problema

El río Opamayo, ubicado en la provincia de Tayacaja, región Huancavelica, recorre los distritos de Acraquia, Ahuaycha, Pampas y Daniel Hernández. Debido a sus características hidrológicas, morfológicas y topográficas, este río presenta una alta vulnerabilidad frente a eventos hidrometeorológicos extremos, especialmente durante la temporada de lluvias. En dichos periodos, el incremento del caudal provoca crecidas que exceden la capacidad del cauce, generando desbordes e inundaciones.

En periodos pasados y en los últimos años, se han registrado diversos eventos de inundación en el tramo Acraquia – Daniel Hernández, afectando viviendas, infraestructura vial, puentes, zonas agrícolas y pastizales. Estas inundaciones, provocadas por la crecida del río Opamayo, han ocasionado cuantiosas pérdidas económicas en los sectores agrícola y ganadero, principales fuentes de sustento de la población local. A ello se suma la limitada infraestructura de protección ribereña y la expansión urbana hacia zonas susceptibles de inundación, lo cual incrementa el riesgo.



Fotografía 1: Niveles de agua alcanzados por el río Opamayo a causa de las lluvias - distrito Daniel Hernández.

Fuente: Elaboración propia



Fotografía 2: Niveles de agua alcanzados por el río Opamayo a causa de las lluvias – distritos Acraquia, Ahuaycha, y Pampas.

Fuente: <https://www.facebook.com/watch/?v=1310895213528411>

A pesar de los antecedentes, no se cuenta con un estudio técnico actualizado y detallado que identifique con precisión las zonas más propensas a inundarse, ni con información hidráulica georreferenciada del comportamiento del río en este tramo. Esta carencia limita la planificación territorial, la formulación de estrategias de mitigación y la implementación de obras de protección por parte de las autoridades locales y regionales.

La ausencia de un modelamiento hidráulico específico impide anticipar los efectos de crecidas futuras y dificulta la gestión del riesgo de desastres. Las condiciones del terreno (la pendiente), el material del cauce, la cobertura vegetal y el uso del suelo requieren ser analizadas de manera integrada, aplicando herramientas hidrológicas e hidráulicas que permitan simular el comportamiento del río en diferentes escenarios de caudal.

En este contexto, se hace necesaria la elaboración de un estudio técnico que permita determinar las zonas urbanas y agrícolas susceptibles a inundación, expresadas en hectáreas, para distintos periodos de retorno (retorno 25, 50, 100, 200 y 500 años). Esta información servirá como base para la elaboración de planes de gestión del riesgo, la formulación de medidas preventivas, y la orientación del crecimiento urbano y rural en función del peligro identificado.

En resumen, la falta de un estudio detallado, georreferenciado y actualizado sobre las zonas inundables del tramo Acraquia – Daniel Hernández del río Opamayo representa una limitación significativa para la gestión integral del riesgo y la seguridad de la población. Esta investigación tiene como finalidad llenar ese vacío, aplicando herramientas especializadas para identificar y mapear las zonas más vulnerables, con el propósito de contribuir a la toma de decisiones informadas, la planificación del territorio y el fortalecimiento de la resiliencia local ante futuros eventos hidrometeorológicos extremos.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

- ¿Cuáles serán las zonas inundables en el tramo Acraquia – Daniel Hernández del río Opamayo en Tayacaja?

2.2.1. Problemas específicos

- ¿Cuáles serán las zonas urbanas inundables en el tramo Acraquia – Daniel Hernández del río Opamayo en Tayacaja?.
- ¿Cuáles serán las zonas agrícolas inundables en el tramo Acraquia – Daniel Hernández del río Opamayo en Tayacaja?.

1.2. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

- Determinar las zonas inundables en el tramo Acraquia – Daniel Hernández del río Opamayo en Tayacaja.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar las zonas urbanas inundables en el tramo Acraquia – Daniel Hernández del río Opamayo en Tayacaja.
- Determinar las zonas agrícolas inundables en el tramo Acraquia – Daniel Hernández del río Opamayo en Tayacaja.

1.4. Justificación

El presente estudio se justifica por la necesidad de identificar las zonas vulnerables a inundaciones provocada por la crecida del río Opamayo en el tramo comprendido entre Acraquia – Daniel Hernández, en la provincia de Tayacaja, región Huancavelica. Esta zona ha experimentado en los últimos años

eventos hidrometeorológicos extremos que han ocasionado el desborde del río, generando afectaciones significativas tanto en áreas urbanas como agrícolas, comprometiendo la seguridad de la población, sus medios de vida y la infraestructura local.

¿Por qué se realiza el estudio?

Este estudio se lleva a cabo ante la carencia de información técnica actualizada que permitan predecir y prevenir los efectos de las inundaciones en este tramo del río. Aparte las autoridades locales carecen de insumos cartográficos y analíticos confiables para planificar adecuadamente el uso del suelo, identificar zonas de riesgo, y diseñar estrategias de mitigación. Ante estas situaciones, la presente investigación busca llenar ese vacío mediante un enfoque técnico y científico fundamentado en modelos hidrológicos e hidráulicos, con el fin de anticipar escenarios futuros de inundación.

¿Para qué se realiza el estudio?

El propósito de esta investigación es generar información técnica confiable y georreferenciada sobre las zonas susceptibles a inundación, tanto urbanas como agrícolas, dentro del tramo Acraquia – Daniel Hernández, producto de la crecida del río Opamayo. Para ello, se determinarán las zonas que podrían verse afectadas en distintos escenarios de periodo de retorno (25, 50, 100, 200 y 500 años), con el fin de:

- Recomendar el diseño de medidas de prevención y mitigación, como obras de defensa ribereña, franjas de protección, reubicación de infraestructura vulnerable o establecimiento de zonas de amortiguamiento.
- Servir como herramienta técnica de apoyo para la toma de decisiones por parte de los gobiernos locales, regionales, Defensa Civil y otros organismos responsables de la gestión del riesgo de desastres.

- Contribuir a la planificación territorial, mediante la delimitación precisa de zonas de riesgo y la orientación del crecimiento urbano y rural fuera de áreas expuestas a inundación.
- Contribuir en la protección de la vida humana, los medios de vida y la seguridad alimentaria, al reducir la exposición de viviendas e infraestructuras, y preservar las tierras agrícolas vulnerables a la crecida del río.

Por lo tanto, los objetivos específicos de la investigación, centrados en la determinación de zonas urbanas y agrícolas inundables, se alinean directamente con las necesidades de la zona de estudio. Este estudio no solo permite conocer el comportamiento del río ante eventos extremos, sino también contribuye al desarrollo sostenible y resiliente de las comunidades ubicadas a lo largo del río Opamayo.

Viabilidad del estudio:

La presente investigación es viable debido a la disponibilidad de información topográfica, cartográfica y meteorológica necesaria para el desarrollo del estudio. Asimismo, se cuenta con herramientas tecnológicas y software especializado para el procesamiento de datos y el modelamiento hidrológico e hidráulico. Además, el acceso al área de estudio y los recursos disponibles permiten ejecutar adecuadamente la investigación.

1.5. Limitaciones

El presente proyecto de investigación tendrá limitaciones en cuanto a la recolección de datos meteorológicos e hidrológicos de la cuenca o del río, ya que puede haber falta de registros en las estaciones y los valores registrados pueden no ser precisos. Solo se cuenta con una estación meteorológica y no se cuenta con estaciones hidrológicas en el área de estudio así que se deberá hacer el análisis de las precipitaciones y la caracterización de la cuenca de estudio.

Otra limitación se presentará durante la recolección de datos en campo debido a la accesibilidad a las riberas del río en algunos tramos, debido a la vegetación del terreno. Por esta razón, se tomarán medidas adecuadas.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes internacionales

A nivel internacional en este trabajo de investigaciones se consideraron los siguientes antecedentes:

Alcántara y Castro (2021), publicaron el artículo científico titulado: “*Determinación de zonas inundables con HEC-RAS en zonas de la Cordillera Central de los Andes. Microcuenca del río Sarausmrío la Llanga. Celendín*”, el objetivo del presente estudio es determinar las zonas de inundación y su recorrido en ríos primarios en la Cordillera de los Andes, por efecto de altas precipitaciones y su proyección en n años a partir de la data obtenida. El área de estudio se realizó en la parte Central de la Cordillera de los Andes del Norte del Perú. La microcuenca Saraus, pertenece a la cuenca La Llanga, afluente al marañón por la margen izquierda. Geopolíticamente se encuentra en el distrito de La Libertad de Pallán, Provincia de Celendín, región de Cajamarca.

Llegando a las siguientes conclusiones:

- Los riesgos por inundación se identifican básicamente a inicios de la zona de estudio, ello debido a un alto incremento en los caudales de inicio, lo que conlleva a distintas zonas de inundación especialmente en zonas de poca pendiente, alcanzando alturas hasta 10 m de cota y anchos de 140m. esta dinámica de flujo también es el responsable de cambios de dirección y erosión de las riberas de los ríos.
- Los periodos de retorno de 30, 50 y 100 años en estudio, no muestran una marcada diferencia en el incremento de la cantidad de caudal en la cuenca del río Saraus, por lo que los efectos también no muestran un importante modelamiento de las características geomorfológicas de la zona de estudio, por ser un río primario.
- Uno de los eventos poco revelados en este tipo de estudios es la influencia de la pendiente y el tipo de material sedimentario que se va acumulando en los cauces de este río, por lo que, a ligeros incrementos del caudal, las posibilidades de erosión aumentan en función al tiempo y distancia, sin embargo, ello es disminuido por factores de infiltración que contrarresta el incremento de flujo a lo largo del cauce del río Saraus.

Díaz y Ibarra (2020), presentaron el trabajo de grado para obtener el título de Especialista en Recursos Hídricos denominado: *“Estudio de Amenaza de Inundación del Río Culagá, Sector Puente Pr2+500 en la Vía Toledo - Labateca, Departamento Norte de Santander”*, en la Universidad Católica de Colombia: Bogotá, cuyo objetivo general es delimitar las zonas de inundación de los caudales característicos para los períodos de retorno de 2.33, 10, 20, 50, 100 y 500 años, del río Culagá en el sector Puente (Abscisa PR2+500), en una longitud de 500m aguas arriba y aguas abajo por medio de herramientas SIG, con el fin de identificar visualmente las posibles áreas inundables; además evaluar la

sección hidráulica del puente existente para los caudales determinados utilizando el programa HEC-RAS. Se llegó a las siguientes conclusiones:

- La modelación hidrológica en la cuenca permitió estimar los caudales máximos en el sector puente PR2+500 para los períodos de retorno entre 2.33 y 500 años. Los valores obtenidos estuvieron entre los 144.40 m³/s y los 1112.40 m³/s, teniendo en cuenta que el caudal de diseño de 100 años fue de 662.50 m³/s. Estos caudales fueron calculados mediante la aplicación de un modelo lluvia-escorrentía en HEC-HMS, empleando tormentas de diseño para cada uno de los periodos de retorno a partir de información de curvas IDF representativas de la zona de estudio.
- Los niveles del Rio Culaga fueron estimados a partir de los caudales de diseño elaborando un modelo hidráulico en el programa HEC-RAS. Para este modelo se tomó un tramo de aproximadamente 1000m en el cual se definieron un total de 51 secciones transversales, para las cuales se estimaron las condiciones de rugosidad y de frontera.
- Al realizar el análisis de las áreas inundables del rio Culaga, se obtiene que, para el tiempo de retorno de 100 años, existe la probabilidad de se vean afectadas las viviendas del borde derecho y el camino de acceso que comunica cabeceras municipales, adicionalmente la sección hidráulica del puente no cumple con el gálibo mínimo exigido en la normativa del INVIAS para el periodo de diseño. Se evidencia que estas afectaciones podrían ocurrir por un represamiento que se presenta a la margen derecha generada por una reducción de la sección del rio Culaga aguas arriba en cercanías al puente.

Figueroa (2019), presento el proyecto de titulación para la obtención del título de Ingeniero Civil, titulado: “*Aplicación del Hec-RAS para la modelación hidráulica y determinación de zonas de inundación en las riberas del rio Jipijapa (UNESUM-BYPASS)*”, en la Universidad Estatal del Sur de Manabí:

Ecuador, con los objetivos de: Realizar la modelación hidráulica mediante la herramienta del Hec-RAS; determinar las zonas de inundación en las riberas del río Jipijapa del tramo (UNESUM – BYPASS); estudiar las características hidráulicas en las riberas del río Jipijapa del tramo (UNESUM-BYPASS) como información para el inicio de la modelación con Hec-RAS; establecer los posibles eventos de inundaciones para el área de estudio mediante la modelación hidráulica por medio del programa Hec-RAS para varios periodos de retorno y determinar mediante mapeo las zonas de vulnerabilidad a inundaciones en las riberas del río Jipijapa en el tramo (UNESUM-BYPASS).

Se llegaron a las siguientes conclusiones:

- Las características hidráulicas de la sub-cuenca del tramo del río de la ciudad de Jipijapa (UNESUM – BYPASS) es considerada una cuenca pequeña debido a que consta de tan solo 32.79 km² produciendo pequeños caudales en los diferentes periodos de retorno, pero debido al estrangulamiento de caudal y la existencia de obras hidráulicas deterioradas o a faltas de mantenimiento ocasionando problemas hidráulicos en el transporte del flujo por el cauce.
- La modelación hidráulica en el programa Hec-RAS nos permitió determinar los posibles desbordamientos que puede sufrir en el tramo de análisis mismos que se los ha estudiados para varios periodos de retorno (10, 25, 50, 100 años), dando como resultado que debido a que existe un estrangulamiento de caudal razón por lo cual las riberas del río Jipijapa (UNESUM-BYPASS) está expuesto a sufrir evento de riesgos de inundación.
- Las zonas de vulnerabilidad a inundación determinadas mediante el mapeo en las riberas del río Jipijapa (UNESUM-BYPASS), se obtuvo que tanto los predios y construcciones cerca de las mismas están propenso a sufrir afectaciones de esta índole empezando desde la abscisa 0+440, donde se fueron obteniendo las representaciones

graficas mediante la aplicación de Hec-GeoRAS, para las avenidas máximas en los diferentes periodos de retorno estudiado (10, 25, 50,100 años).

Acuña y Del Pilar (2018), presentaron el trabajo de grado como requisito parcial para optar el título de ingeniero civil, titulado: “*Evaluación de Amenaza y Vulnerabilidad por Desbordamiento del Río Cusiana en la Zona Urbana de Maní –Casanare*”, en la Universidad de la Salle: Bogotá, cuyos objetivos fueron: Evaluar la amenaza por inundaciones del rio Cusiana sobre el área urbana del municipio de Maní – Casanare, y el nivel de vulnerabilidad de la población e infraestructura expuesta a estos eventos; determinar los caudales del río Cusiana para distintos periodos de retorno; determinar la intensidad, extensión y frecuencia de la amenaza por desbordamiento del río Cusiana en el área urbana de Maní – Casanare; determinar el grado de vulnerabilidad de la población de Maní frente a las inundaciones presentadas por el rio Cusiana Zonificar mediante cartografía las áreas con amenaza por inundación y su respectiva vulnerabilidad. La investigación llegando a las siguientes conclusiones:

- El río Cusiana tiene un régimen monomodal, con caudales máximos entre mayo y agosto, que alcanzan los 2229 m³/s para un periodo de retorno de 10 años, 2909 m³/s para 50 años y 3482 m³/s para 200 años, condiciones para las cuales se determinó la amenaza en términos de frecuencia, intensidad y territorio afectado.
- Para los tres periodos de retorno considerados se obtuvieron velocidades de entre 0.5 m/s y 2.0 m/s, las cuales incrementan gradualmente con el caudal y con la proximidad al cauce principal del río Cusiana, así mismo, la profundidad del agua alcanza hasta 5.0 m en el lecho del río y disminuye progresivamente en la medida que se aproxima al área urbana, por tanto, se clasifico el nivel de amenaza con una categorización MEDIA y ALTA, justificada en la proximidad entre

el río y las viviendas afectadas por inundaciones y la similitud entre las áreas afectadas por las crecientes de 10, 50 y 200 años, puesta en evidencia en las encuestas, donde se identificó que las inundaciones han dejado pérdidas económicas y una amplia extensión de territorio afectado.

- Las viviendas cercanas del río Cusiana, no cumplen en su totalidad con la norma sísmo resistente NSR-10, en cuanto sus paredes, piso y techo no se encuentran actualmente en buen estado de conservación, aunado a ello, se posicionan muy cerca de la margen del río Cusiana, por tanto, la vulnerabilidad física es MEDIA y ALTA
- Los mapas de amenaza generados para 10, 50 y 200 años permiten identificar la afectación de viviendas próximas al río Cusiana, con amenaza ALTA para la creciente de 10 años y MEDIA para 200 años, aunque en este último caso, con un territorio más extenso que llega hasta la zona urbana, siendo importante formular en el Esquema de Ordenamiento Territorial medidas de mitigación tanto estructurales como no estructurales.
- La amenaza en la ribera opuesta al casco urbano, representada en los mapas de amenaza por inundación. Figura 36. Mapas de amenaza de inundación para un periodo de retorno de 10 años, Figura 37. Mapas de amenaza de inundación para un periodo de retorno de 50 años y Figura 38. Mapas de amenaza de inundación para un periodo de retorno de 200 años, debe ser considerada de igual importancia a la del casco urbano, debido a que en esta área hay un número importante de hectáreas explotadas por la agricultura, principal actividad económica del municipio, y por ello es fundamental que esta zona sea tenida en cuenta en el plan de ordenamiento territorial del mismo.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

En este trabajo de investigación a nivel nacional, se han considerado los antecedentes relevantes relacionados con el tema en cuestión:

Bernardo y Velázquez (2021), en la tesis de investigación para optar el título de ingeniero civil titulada: “*Análisis Integral de Riesgos para la Mitigación ante Inundaciones en Zonas Urbanas*”, en la Universidad Ricardo Palma: Lima – Perú, con los siguientes objetivos: Analizar el riesgo de inundación mediante herramientas geomáticas para prevenir desbordes del río Lurín en la 3 etapa del distrito de Cieneguilla; identificar las tipologías de las viviendas que son inundadas por el desborde el río Lurín mediante la inspección visual de imágenes RPA, Establecer los niveles de vulnerabilidad mediante modelos de elevación del terreno y el catastro en la localidad de Cieneguilla; evaluar las áreas críticas de inundación debido al aumento del caudal del río Lurín producido por las precipitaciones fluviales para diferentes escenarios; Proponer medidas no estructurales y rutas de evacuación en las zonas con mayor riesgo para mitigar los daños ocasionados por el desborde del río Lurín. Aplico la metodología deductiva, nivel descriptivo con diseño observacional. La población estuvo delimitada en la localidad de la 3 etapa de Cieneguilla-Lima, se localiza a 12°05’39” latitud sur; 76°46’28” latitud oeste, a una altura de 352 msnm y tomando como muestra de estudio 76 lotes en la zona delimitada por las Avenida Nueva Toledo, puente Panquilma hasta la avenida Huaca Grande en la etapa 3 de Cieneguilla. Llegando a las siguientes conclusiones:

- Empleando herramientas geomáticas se pudo ingresar información sobre planos catastrales del distrito, la tipología, el uso del terreno por lotes, topografía, ubicación del río, caudales en diferentes periodos de retorno, precipitaciones, entre otros para elaborar mapas temáticos, de inundación y vulnerabilidad; asimismo, se define las zonas por nivel de riesgo de desastre teniendo en cuenta aspectos sociales, económicos y ambientales de dicho lugar. Los resultados obtenidos permiten

identificar el grado de vulnerabilidad, peligro y riesgo de las viviendas afectadas. El nivel de riesgo fue analizado mediante el método simplificado para la determinación de riesgo: Matriz peligro – vulnerabilidad, determinando que existe un nivel de riesgo Alto.

- Se identificó la tipología actual y rápida de cada lote realizando un sistema fotogramétrico mediante “aeronaves pilotadas a distancia” (RPA) que abarca el 3 sector de Cieneguilla. A partir de estas imágenes se puede adquirir información del territorio exacto y georreferenciados mediante el cual se obtuvo el mapa de tipología de las viviendas. Así, ayudando en el desarrollo de un urbanismo sostenible en la planificación a la gestión de estos espacios, frente al aumento demográfico en la zona. Una herramienta muy útil para el trabajo de ingeniería y/o urbanismo.
- El nivel de vulnerabilidad fue analizado mediante el manual del CENEPRED, para lo cual se realizó un análisis en las tres dimensiones establecidas: Social, económica y ambiental, los cuales fueron analizados siguiendo los parámetros de exposición, fragilidad y resiliencia, y se determina que el nivel de vulnerabilidad del río Lurín es Alto, debido en su mayor parte al factor resiliencia social, el cual hace referencia al escaso conocimiento que tiene la población sobre gestión de riesgos ante inundaciones y a la fragilidad ambiental, la cual hace referencia a la ineducada ubicación de las viviendas y a la construcción de las mismas sobre suelo inestable: Relleno.
- Las medidas de control de riesgo están determinadas por medidas estructurales y no estructurales; teniendo en consideración el nivel de cultura y educación de la población ante desastres, estas medidas consisten en una correcta evacuación de la población a zonas de evacuación y refugios mediante una ruta de evacuación ya determinada; asimismo, se tiene que mejorar la cultura de prevención y reducción de riesgo mediante charlas, capacitaciones y talleres participativos a la

población de forma constante, indicándoles que zonas son vulnerables e inadecuadas para vivir o realizar prácticas agrícolas; por último, se plantea un sistema de alerta temprana en apoyo de otros poblados y las entidades competentes para prevenir y tomar las acciones correspondientes ante inundaciones y la descolmatación del cauce del río mediante labores de limpieza y mantenimiento constante a cargo de la municipalidad distrital de Cieneguilla.

Chalco y Cullanco (2020), tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil titulado: *“Determinación de Zonas Vulnerables a Inundaciones en el tramo Puente Huachipa - La Atarjea del Río Rímac, Distrito Lurigancho-Chosica para la Mitigación de Desastres”*, en la Universidad San Ignacio de Loyola: Lima – Perú, con el objetivo de determinar las zonas vulnerables a inundaciones, para distintos periodos de retorno a causa de avenidas máximas en el tramo Puente Huachipa km 27+450-La Atarjea km 20+950 del río Rímac, distrito de Lurigancho-Chosica, provincia y departamento de Lima con el fin de mitigar los daños. El tipo de investigación fue aplicada, con diseño no experimental. La población estuvo compuesta por la subcuenca Jicamarca-Santa Eulalia; el cual, consta de 37.35 km de tramo del río Rímac. (que abarca desde la confluencia del río Santa Eulalia y río Rímac km 58 + 300 hasta La Atarjea km 20 + 950). Se utilizó para la recolección de datos, las técnicas de: análisis documental y observación de campo. Llegando a las siguientes conclusiones:

- En toda planificación urbana, los ríos deben ser considerados y ordenados teniendo en cuenta sus parámetros (geomorfológicos, hidrológicos e hidráulicos) y permitiendo que el río mantenga su cauce original. En el desarrollo urbano y su planificación se debe delimitar adecuadamente la faja marginal del río Rímac y así mismo que la población respete dicho espacio como zona intangible, ya que algunas construcciones pueden obstaculizar el flujo del agua del río y con esto poner en riesgo muchas vidas humanas.

- Los resultados de las áreas de inundación confirman que las secciones 0 + 200 km, 0 + 460 km y 0 + 660 km, las cuales comprenden por el margen derecho del río el área correspondiente a la Asociación Puente Huachipa y por el margen izquierdo del río la Asociación Huáscar son los sectores más críticos, debido a que las áreas de inundación abarcan áreas urbanas y agrícolas que se encuentran muy próximos a la orilla del río Rímac. También es preocupante lo que ocurre en el 5 + 540 km de la autopista Ramiro Prialé, debido a que las zonas de inundación cubren parte de la autopista y viviendas en el margen derecho del río Rímac.

Loyola (2019), tesis para optar el grado académico de Maestro en ingeniería civil con Mención en Dirección de Empresa de la Construcción, titulado: *“Evaluación del riesgo por inundación en la quebrada del cauce del Río Grande, tramo desde el Puente Candopata hasta el Puente Cumbicus de la ciudad de Huamachuco, Provincia de Sánchez Carrión - La Libertad*, en la Universidad Cesar Vallejo: Perú. Con el objetivo principal de Evaluar el nivel de riesgo por inundación, generado por la quebrada del cauce del Río Grande en el tramo desde el Puente Candopata hasta el Puente Cumbicus en la ciudad de Huamachuco y los objetivos específicos son: Calificar el nivel de peligro de la quebrada del Cauce del Río Grande, Valorar la vulnerabilidad general de las familias que se encuentran dentro de la faja marginal del cauce del río Grande y Proponer medidas estructurales y no estructurales que reduzcan el riesgo de inundación existente en la quebrada del Río Grande en el tramo comprendido desde el Puente Candopata hasta el Puente Cumbicus. Se utilizó la metodología cualitativa debido a que se tabularan datos obtenidos en la investigación y obtener resultados cuantificados y porcentuales. Con tipo de investigación descriptivo ya que se describirán acciones, situaciones y eventos. La población estuvo compuesta por 55 viviendas que se encuentran dentro de la Faja Marginal del Cauce del Río Grande comprendidas en el tramo desde el Puente Candopata hasta el Puente Cumbicus. Obtuvo como resultado el Riesgo por Inundación de

la quebrada del cauce del Río Grande tramo desde el Puente Candopata hasta el Puente Cumbicus es Alto (51 a 75 %), el peligro que corre la población que se encuentra dentro de la faja marginal del cauce del río Grande tramo Puente Candopata –Puente Cumbicus es Alto, la vulnerabilidad general obtenida tiene una cuantificación de 3.45 puntos, por lo que se determina que es alta (51 a 75 %). Este dato se ha obtenido con el análisis de la vulnerabilidad física tiene una cuantificación de 3.30 puntos, la vulnerabilidad económica tiene una cuantificación de 3.13 puntos, la vulnerabilidad social tiene una cuantificación de 3.30 puntos, la vulnerabilidad política e institucional tiene una cuantificación de 3.40 puntos, la vulnerabilidad científica y tecnológica tiene una cuantificación de 3.60 puntos, la vulnerabilidad ideológica tiene una cuantificación de 3.30 puntos, la vulnerabilidad cultural tiene una cuantificación de 3.10 puntos, y la vulnerabilidad educativa tiene una cuantificación de 3.80 puntos y las propuestas estructurales y no estructurales están orientadas a la prevención, cumplimiento de la normativa vigente y sobre todo a la ejecución de un sistema de protección y estabilidad permanente del cauce del río, puede ser un enrocamiento lateral de las márgenes del río o una defensa ribereña establecida mediante un estudio definitivo. Cabe indicar que las medidas de mitigación estructural y no estructural se encuentran planteadas en el numeral 3.4 de este estudio de investigación.

Ramos (2019), sustento la tesis titulada: *“Áreas Inundables en Diferentes Periodos de Retorno Aplicando el Modelo de Simulación Hidráulica, Tramo Urbano del Río San Ramón, Pangoa - Satipo”*, en la Universidad Nacional del Centro del Perú: Perú, el presente estudio de investigación tiene por objetivo principal determinar las áreas inundables en diferentes periodos de retorno aplicando el modelo de Simulación Hidráulica, tramo urbano del río San Ramón, Pangoa – Satipo. Aplico el método de investigación descriptivo y comparativo, porque se ha realizado la descripción y comparación de los perfiles de la lámina de agua y las áreas inundables en los diferentes periodos de retorno. Con diseño de investigación no experimental. La población estuvo constituida por el Rio San

Ramón, es decir desde su nacimiento hasta su confluencia con el río Sonomoro, un aproximado de 32 km y la muestra designada una longitud de 6.760 km del río San Ramón, específicamente donde se encuentra la población urbana de San Martín de Pangoa. Llegando a las siguientes conclusiones:

- Las áreas inundables para diferentes periodos de retorno del tramo urbano del río San Ramón fueron de: T2 = 13.29 ha, T5 = 18.96 ha, T10 = 24.67 ha, T25 = 30.28 ha, T50 = 34.70 ha y T100 = 38.97 ha.
- Los hietogramas de precipitación máxima para diferentes periodos de retorno de la Estación de meteorológica de Satipo fueron de: T2 = 8.93 mm, T5 = 10.65 mm, T10 = 12.16 mm, T25 = 14.49 mm, T50 = 16.55 mm y T100 = 18.90 mm.
- Los caudales máximos o picos para diferentes periodos de retorno de la Subcuenca del río San Ramón fueron de: T2 = 226.30 m³ /s, T5 = 306.00 m³ /s, T10 = 383.00 m³ /s, T25 = 507.20 m³ /s, T50 = 620.6 m³ /s y T100 = 752.10 m³ /s.
- Los perfiles hidráulicos de la lámina de agua del tramo urbano del río San Ramón para diferentes periodos de retorno, los promedios fueron de: Pendiente Línea de Energía T2 = 0.0306, T5 = 0.0300, T10 = 0.0298, T25 = 0.0288, T50 = 0.0285 y T100 = 0.0279. Velocidad de agua T2 = 4.87 m/s, T5 = 5.35 m/s, T10 = 5.75 m/s, T25 = 6.26 m/s, T50 = 6.64 m/s y T100 = 6.99 m/s. Área hidráulica T2 = 58.09 m², T5 = 74.25 m², T10 = 89.18 m², T25 = 113.17 m², T50 = 135.18 m² y T100 = 161.12 m². Espejo de agua T2 = 49.47 m, T5 = 57.62 m, T10 = 64.53 m, T25 = 73.32 m, T50 = 80.64 m y T100 = 87.89 m. Número de Froude T2 = 1.20, T5 = 1.22, T10 = 1.23, T25 = 1.25, T50 = 1.26 y T100 = 1.27.

Gutiérrez (2018), presento su tesis para optar el título de ingeniero civil titulado: *“Determinación de las Áreas Vulnerables Frente a Riesgos de Inundación y Huaycos en la Zona Aledaña al Río Pachatusan y sus Propuestas*

de Mitigación”, en la Universidad Andina del Cusco: Perú. Con el objetivo general de Identificar cuáles son las características Geomorfológicas que influyen en la variación del caudal máximo en el río Pachatusan y los objetivos específicos: Identificar cuáles son las características Geomorfológicas que influyen en la variación del caudal máximo en el río Pachatusan; Determinar el factor de seguridad de estabilidad de taludes respecto a la resistencia de los suelos de las zonas con afloramiento de manantes, a lo largo de la cuenca del río Pachatusan; Analizar las precipitaciones máximas generadas dentro de la cuenca del río Pachatusan; Determinar los caudales máximos del río Pachatusan, para períodos de retorno de 50, 100 y 500 años. Así como el tipo de régimen de escorrentía del río; Identificar las áreas vulnerables y de riesgo que puedan ser afectadas por huaycos e inundaciones. En las zonas aledañas al río Pachatusan y Plantear propuestas (Obras Hidráulicas) de mitigación para hacer frente a los riesgos de inundaciones y huaycos. considero el tipo de investigación cuantitativa con nivel de investigación descriptivo. Cuya población fue delimitada por la cuenca del río Pachatusan cuyas aguas derivan al río Huatanay en la comunidad de Choquepata. Llegando a las siguientes conclusiones:

- Se logró comprobar la hipótesis general que dice: “En la zona baja de la cuenca del río Pachatusan hay Áreas vulnerables menores a un 40 % en riesgo de ser afectadas por huaycos e inundaciones. Asimismo, las propuestas (obras hidráulicas) de mitigación son insuficientes y son superadas por los eventos meteorológicos antes mencionados”. De acuerdo al capítulo IV resultados, se determinó un total 32.30 ha de áreas afectadas que representa un 36.05 %, dentro de las cuales hay 77 viviendas afectadas de un total de 116. Así mismo dentro de estas se encuentra la Institución educativa “50023” el cual tiene una población estudiantil de 113 alumnos distribuidos entre el nivel inicial y primario.
- Se logró comprobar la sub hipótesis N° 1 que dice: “La Geomorfología y pendientes superiores a 10% de la cuenca del río Pachatusan influyen

en la variación del caudal máximo y genera inundaciones en la zona baja y aledaña al río Pachatusan”. De acuerdo al capítulo IV resultados, la Geomorfología induce a que los caudales se incrementen y provoquen inundaciones en las zonas aledañas al río Pachatusan ya que la cuenca tiene una pendiente promedio de 11.02 % y el cauce tiene una pendiente de 16.04% y de acuerdo a esta característica la cuenca se cataloga como accidentada media y se indica además que a medida que aumenta la pendiente la escorrentía directa aumenta. Y se comprueba el marco teórico que dice a medida que aumenta la pendiente la escorrentía directa aumenta. (Villón Béjar, 2002).

- Se logró comprobar la sub hipótesis N° 2 que dice: “El factor de seguridad de estabilidad de taludes con respecto a la resistencia de suelos, de las zonas con presencia de afloramientos de manantes son menores a 1.5, esta característica influye en la generación de deslizamientos y posterior formación de huaycos”. De acuerdo al capítulo IV resultados, el factor de seguridad calculado para los taludes de las distintas zonas con presencia de 266 afloramiento de manantes son menores a 1.5 (talud N °1 = 0.81, talud N° 2 = 0.81, talud N° 3 = 0.99), de acuerdo a esta característica se indica que los taludes presentan una falla incipiente y si son susceptibles a deslizarse y provocar huaycos.
- Se logró comprobar la sub hipótesis N° 3 que dice: “Precipitaciones con intensidades superiores a 20 mm/hr, con períodos de retorno de 100 años y duraciones menores de 35 minutos generan inundaciones y huaycos, en la parte baja de la cuenca del río Pachatusan” De acuerdo al capítulo IV Resultados, se calculó que para intensidades de 48.8, 69.6 mm/hr y períodos de retorno 100 y 500 años y una duración de 27.90 min, genera caudales de 95.40, 147.00 m³/s. estos caudales generan inundaciones en la parte baja de la cuenca del río Pachatusa.

- Se logró comprobar la sub hipótesis N° 4 que dice: “Caudales superiores a 90 m³/s con períodos de retorno superiores a 100 años induce a la generación de huaycos e inundaciones en la parte baja de la cuenca del río Pachatusan “De acuerdo al capítulo IV Resultados, para un periodo de retorno de 100 años se calculó un caudal de 95.40 m³/s, este caudal tiende a desbordarse e inundar las zonas aledañas de la parte baja de la cuenca del río Pachatusan específicamente entre las progresivas (00+00 - 00+900).
- Se logró comprobar la hipótesis N° 5 que dice “En la parte baja de la cuenca del río Pachatusan hay áreas vulnerables (viviendas, Instituciones educativas) menores a 40 % que son afectadas por la generación de huaycos e inundaciones”. De acuerdo al capítulo IV resultados, hay un 36.05 %, de áreas afectadas dentro de estas hay 77 viviendas una Institución Educativa.
- Se logró comprobar la hipótesis N° 6 que dice “Las propuestas (obras hidráulicas) de mitigación existentes en la zona baja de la cuenca del río Pachatusan son insuficientes y son superados por caudales superiores a 58 m³/s, que se generan para períodos de retorno superiores a 20 años estos caudales generan riesgos de inundaciones y huaycos” de acuerdo al capítulo IV Resultados, se determinó que las secciones hidráulicas de las obras de mitigación existentes entre la progresiva 00+00 – 00+300 serán superados por los caudales máximos de 77.40, 95.4 y 147.50 m³/s que son para períodos de retorno de 50, 100, 500 años respectivamente, estos caudales se desbordaran e inundaran ambos márgenes del río Pachatusan y así como también hay el riesgo de que sea afectada por huaycos.

2.1.3. Antecedentes Locales

A nivel local en este trabajo de investigaciones se consideró el siguiente antecedente:

Misaico (2014), en su trabajo de investigación para optar título profesional de ingeniero civil titulado: “*Modelamiento Hidráulico del Rio Lircay en el Tramo de la Ciudad de Ocopa*”, de la Universidad Nacional de Huancavelica: Perú, con el objetivo principal de determinar el modelamiento hidráulico del río Lircay en la ciudad de Ocopa, determinando el comportamiento del río bajo condiciones extremas de lluvias y con los objetivos específicos: Identificar el tramo del río Lircay que comprende la ciudad de Ocopa; Medir en campo los parámetros hidráulicos que se requieren para llevar a cabo el modelamiento del río; Modelar el tramo encauzado del río Lircay dentro de la ciudad de Ocopa bajo condiciones extremas de lluvias e identificar la problemática y situación actual de la ciudad de Ocopa, indicando la importancia de los proyectos de defensa ribereña. Aplico el tipo de investigación aplicada, nivel de investigación descriptivo. Llegando a las siguientes conclusiones:

- Se tomaron secciones transversales cada 50.00 mt, partiendo del Puente colgante camino a Huayllay Grande, tomando una distancia total de 1,000 mt, hasta el Puente del cruce del puente con la trocha carrozable al Distrito de Anchonga.
- Las descargas de diseño para la importancia del Modelamiento se han calculado para 25, 50, 100 y 200 años de período de retorno y han sido analizados según el modelo GUMBEL VALOR EXTREMO TIPO 1, porque es la función que mejor se ajusta a los datos, en consecuencia, los caudales de diseño serán iguales a 213.79, 234.24, 257.11 y 282.82 m³/seg., respectivamente.
- Se ha obtenido mediante el método de Cowan, el coeficiente de Manning estimado, el cual es de 0.08 para la margen derecha, 0.045 para el cauce y 0.06 para la margen izquierda. Así mismo, estos resultados se han comparado con los valores presentados por Chow (Hidráulica de Canales Abiertos) que establece para las características del cauce un rango de valores para n que van de 0.050 a 0.080, por lo cual queda verificado el cálculo inicial.

2.2. Bases teóricas

En esta sección se presentan los fundamentos teóricos que respaldan la investigación, abarcando conceptos clave relacionados con el comportamiento hidrológico e hidráulico de la cuenca del río, la morfología del río y el modelamiento de zonas inundables. Además, se incluyen definiciones y teorías vinculadas a las variables y dimensiones analizadas, con el propósito de sustentar técnicamente el estudio desarrollado.

2.2.1. Hidrología

Según Villon (2002): “La hidrología es la ciencia natural que estudia el agua, su ocurrencia, circulación y distribución en la superficie terrestre, sus propiedades químicas, físicas y su relación con el medio ambiente, incluyendo a los seres vivos” (p.15).

La hidrología cubre todas las fases del agua en la Tierra, es una materia de gran importancia para el ser humano y su ambiente. Aplicaciones prácticas de la hidrología se encuentran en labores tales como diseño y operación de estructuras hidráulicas, obras de abastecimiento de agua, tratamiento y disposición de aguas residuales, riego, drenaje, generación hidroeléctrica, control de inundaciones, navegación, erosión y control de sedimentos, control de salinidad, disminución de la contaminación, uso recreacional del agua, y protección de la vida terrestre y acuática. El papel de la hidrología es ayudar a analizar los problemas relacionados con estas labores y proveer una guía para el planeamiento y el manejo de los recursos hidráulicos. (Villon,2002, p.11)

2.2.2. Ciclo hidrológico

Cahuana y Yugar, (2009, p.5), definen el ciclo hidrológico como “un fenómeno global de circulación del agua entre la superficie terrestre y la atmósfera, provocado fundamentalmente por la energía solar y la energía gravitacional”.

Cahuana y Yugar, (2009, p.5), definen el ciclo hidrológico como “el conjunto de cambios que experimenta el agua en la naturaleza, tanto en su estado (sólido, líquido y gaseoso), como en su forma (agua superficial, agua subterránea, etc.)”.

El ciclo hidrológico (Figura 1) no es nada regular. Una muestra de ello son los periodos de sequías y de inundaciones, que ocurren.

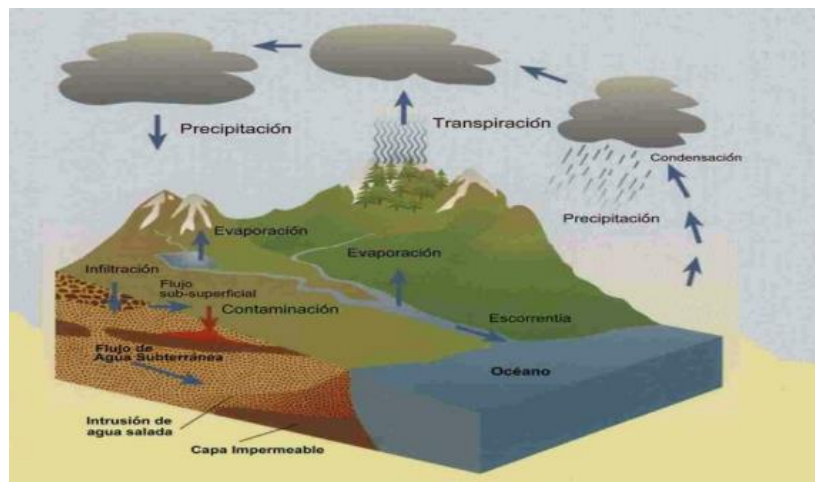


Figura 1: Ciclo Hidrológico

Fuente: Adaptado por Cahuana y Yugar, (2009). Material de Apoyo Didáctico para la Enseñanza y Aprendizaje de la Asignatura de Hidrología CIV-233, p.5.

2.2.3. Inundaciones

Según CENEPRED (2014) citado por Diaz, (2019) las inundaciones se producen cuando las lluvias intensas o continuas sobrepasan la capacidad de campo de suelo, el volumen máximo de transporte del río es superado y el cauce principal se desborda e inunda los terrenos circundantes. Generando así daños en la población, agricultura, ganadería e infraestructura.

“Las inundaciones se producen cuando las lluvias intensas o continuas sobrepasan la capacidad de campo del suelo, el volumen máximo de transporte del río es superado y el cauce principal se desborda e inunda los terrenos circundantes” INDECI, 2011, p.11).

Las planicies o llanuras de inundación son áreas amplias y planas adyacentes al cauce, que se inundan cuando el río supera su capacidad y el agua se desborda; en ellas suelen encontrarse zonas agrícolas (como cultivos de alfalfa) y zonas urbanas (pueblos o viviendas cercanas), lo que incrementa la vulnerabilidad ante crecidas. Dentro de esta, se distinguen las fajas de inundación, que son áreas lineales más próximas al cauce y de mayor riesgo inmediato. La delimitación de estas zonas, basada en caudales máximos y modelos hidráulicos, es fundamental para identificar los sectores que deben priorizarse en la gestión del riesgo.”

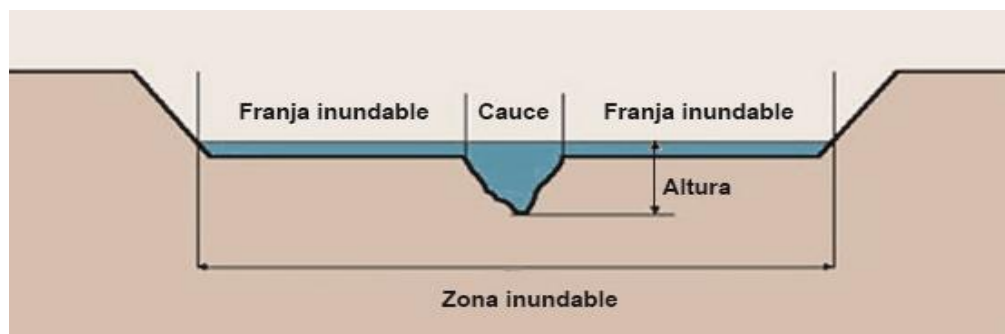


Figura 2: Sección transversal del río que muestra la zona inundable, donde el caudal excede el cauce principal y se expande hacia las planicies adyacentes.

Fuente: Adaptado desde <https://cerebralia.com/peligros/inundaciones>.

2.2.3.1. Tipos de inundación

Según INDECI las inundaciones se clasifican:

Según su duración:

- **Inundaciones dinámicas o rápidas:** Se producen en ríos cuyas cuencas presentan fuertes pendientes, por efecto de las lluvias intensas. Las crecidas de los ríos son repentinas y de corta duración. Son las que producen los mayores daños en la población e infraestructura, debido a que el tiempo de reacción es casi nulo. Por ejemplo: Los ríos de la Cuenca del Océano Pacífico (La Leche, Tumbes, etc.)

- **Inundaciones estáticas o lentas:** Generalmente se producen cuando las lluvias son persistentes y generalizadas, producen un aumento paulatino del caudal y del río hasta superar su capacidad máxima de transporte, por lo que el río se desborda, inundando áreas planas cercanas al mismo, a estas áreas se les denomina llanuras de Inundación

Según origen:

- **Inundaciones fluviales:** Causadas por el desbordamiento de los ríos y los arroyos. Es atribuida al aumento brusco del volumen de agua más allá de lo que un lecho o cauce es capaz de transportar sin desbordarse, durante lo que se denomina crecida. (Consecuencia del exceso de lluvias).
- **Inundaciones pluviales:** Se produce por la acumulación de agua de lluvia en un determinado lugar o área geográfica sin que este fenómeno coincida necesariamente con el desbordamiento de un cauce fluvial. Este tipo de inundación se genera tras un régimen de lluvias intensas o persistentes, es decir, por la concentración de un elevado volumen de lluvia en un intervalo de tiempo muy breve o por la incidencia de una precipitación moderada y persistente durante un amplio período de tiempo sobre un suelo poco permeable.

2.2.3.2. Factores y efectos de las inundaciones

La ocurrencia de inundaciones está relacionada con múltiples factores no sólo de aspectos meteorológicos (intensidad y persistencia de las precipitaciones), sino también de las características propias del terreno, como son los tipos y usos del suelo, el tipo y la distribución de la vegetación, la litología, las características de la red de drenaje, magnitud de las pendientes de la cuenca, obras realizadas en los cauces, entre otros. Otros aspectos importantes a considerar son los meandros y las zonas en los que los ríos se estrechan o pierden profundidad por falta de dragado (limpieza de los sedimentos en

cursos de agua), especialmente en las desembocaduras donde se acumula el limo y la tierra arrastrada por la corriente (INDECI, 2011).

Los efectos de las inundaciones son variados: desde daños a viviendas e infraestructura vial, hasta pérdidas en las actividades agrícolas y afectación a la población. Este apartado es clave porque permite relacionar la dinámica natural del río con los impactos esperados en la modelación que se desarrollará en la investigación.

2.2.3.3. Criterios de intensidad o magnitud de las inundaciones

La intensidad de una inundación se evalúa en función de la peligrosidad que representa el agua acumulada para la vida humana, la infraestructura y las actividades productivas. INDECI (2011) propone criterios diferenciados según el tipo de inundación: para inundaciones estáticas se considera la profundidad alcanzada por el flujo, mientras que en las inundaciones dinámicas se recomienda el uso del producto de la velocidad por la profundidad.

Tabla 1: Rangos definidos para cada nivel de intensidad para inundaciones

Niveles de intensidad	Profundidad del flujo (H) (m) (inundaciones estáticas)	Profundidad x velocidad del flujo (m ² /s) (inundaciones dinámicas)
Muy alta	$H > 1.5$ m	$H*V > 1.5$ m
Alta	$0.5 \text{ m} < H < 1.5$ m	$0.5 \text{ m} < H*V < 1.5$ m
Media	$0.25 < H < 0.50$ m	$0.25 < H*V < 0.50$ m
Baja	< 0.25 m	$H*V < 0.25$ m

Fuente: Adaptado de (INDECI, 2011)

Este criterio se incorpora a la investigación porque complementa los resultados del modelamiento hidráulico, no solo identificando las áreas inundadas, sino también evaluando la severidad de los efectos en las zonas agrícolas y urbanas expuestas.

2.2.3.4. Criterios de recurrencia y períodos de retorno de inundaciones

La recurrencia o frecuencia con la que una zona puede inundarse está estrechamente vinculada a la probabilidad de ocurrencia de precipitaciones extremas. Para ello se emplea el concepto de período de retorno, que indica cada cuántos años, en promedio, se espera un evento de determinada magnitud. Según el Manual de Estimación del Riesgo ante Inundaciones Fluviales (INDECI, 2011), se pueden establecer diferentes categorías de períodos de retorno que permiten estimar la probabilidad de que un evento ocurra y evaluar el nivel de riesgo en una determinada zona.

Tabla 2: Niveles de intensidad y periodos de retorno establecidos por INDECI

Niveles de intensidad	Periodo de retorno en años (Tr)
Muy alta	$1 < T < 5$ años
Alta	$5 < T < 15$ años
Media	$15 < T < 50$ años
Baja	$50 < T < 200$ años o más

Fuente: Adaptado de (INDECI, 2011)

En el presente estudio, estos períodos de retorno serán aplicados para estimar la extensión de áreas urbanas y agrícolas inundables en el tramo del río, permitiendo cuantificar las hectáreas afectadas en cada escenario de análisis

2.2.4. Estudio hidrológico

2.2.4.1. Análisis de cuenca hidrográfica

El análisis de la cuenca hidrográfica constituye un paso fundamental para comprender cómo la topografía, geomorfología y el uso del suelo influyen en la generación de escorrentía y la magnitud de los caudales en los ríos.

Cuenca hidrográfica

Para Villon (2002): “la cuenca de drenaje de una corriente, es el área de terreno donde todas las aguas caídas por precipitación, se unen para formar

un solo curso de agua. Cada curso de agua tiene una cuenca bien definida, para cada punto de su recorrido” (p.21).

Una cuenca hidrográfica es una zona de terreno en la que el agua, los sedimentos y los materiales disueltos drenan hacia un río o corriente natural, en general. La cuenca siempre se refiere al territorio abarcado desde el nacimiento hasta la desembocadura final de la corriente. Sin embargo, una cuenca se puede referir al espacio ubicado aguas arriba de cualquier sección de la corriente, en cuyo caso es preferible mencionarla como subcuenca. (USGS).

Características morfométricas y geomorfológicas de la cuenca

Cuando hablamos de características Geomorfológicas y morfométricas de la cuenca nos referimos a los parámetros cualitativos, cuantitativos y geométricos que describen la forma y dimensiones de la cuenca.

En un estudio hidrológico normalmente se incluyen:

- **Área de la cuenca**

Es la extensión superficial total que drena hacia un punto común. Este es uno de los parámetros más importantes, ya que influye en la cantidad de agua que puede acumularse y fluir.

La clasificación de las cuencas hidrográficas, según su área, se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 3: Clasificación de cuencas por superficie.

TAMAÑO DE LA CUENCA (km²)	DESCRIPCIÓN
Menos de 25	Muy pequeña
25 a 250	Pequeña
250 a 500	Intermedia pequeña
500 a 2500	Intermedia grande
2500 a 5000	Grande
5000 a mas	Muy grande

Fuente: Adaptado de Campos (1992) en Chalco y Cullanco, (2020).

- **Perímetro de la cuenca**

Es la longitud total del contorno o borde exterior de la cuenca hidrográfica, es decir, la línea que delimita el área de la cuenca. Este perímetro se forma por la unión de los puntos más altos del terreno (divisoria de aguas), desde donde el agua fluye hacia el interior de la cuenca.



Figura 3: Área y perímetro de la cuenca.

Fuente: Adaptado de Cahuana y Yugar, (2009). Material de Apoyo Didáctico para la Enseñanza y Aprendizaje de la Asignatura de Hidrología CIV-233, p.18.

- **Longitud del cauce principal**

La distancia desde el punto más alto de la cuenca hasta el punto de salida. Este parámetro afecta el tiempo que tarda el agua en llegar al punto de drenaje.

Corresponde a la longitud más larga y es un criterio muy representativo de la longitud de una cuenca. Puede medirse considerando toda la sinuosidad del cauce o la longitud del eje del mismo.

- **Longitud de la cuenca (Lc)**

Es la distancia más larga medida a lo largo del eje principal del drenaje de la cuenca, desde el punto más alejado del área de captación hasta la desembocadura del río o punto de salida de la cuenca. En otras palabras, es la distancia entre el punto más alto de la cuenca (divisoria de aguas) y la salida del río o arroyo principal que drena la cuenca.

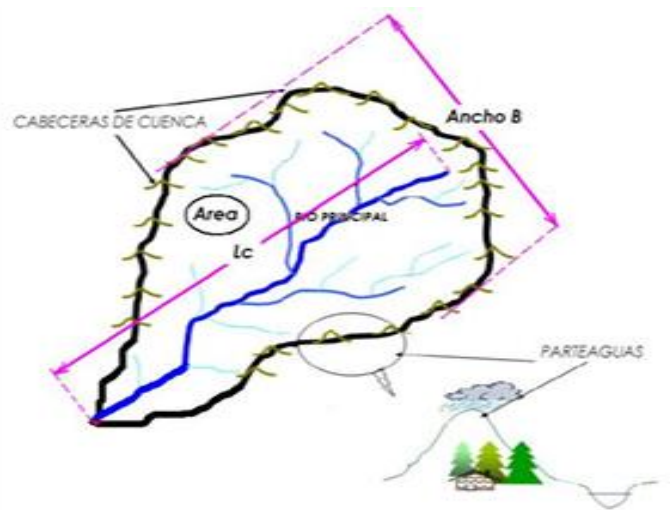


Figura 4: Longitud de la cuenca.

Fuente: Adaptado de Cahuana y Yugar, (2009). Material de Apoyo Didáctico para la Enseñanza y Aprendizaje de la Asignatura de Hidrología CIV-233, p.20.

- **Ancho promedio de la cuenca**

Se refiere a la medida media de la distancia perpendicular entre los límites de la cuenca. Este ancho se utiliza para describir la forma y la extensión de la cuenca, y puede influir en el comportamiento hidrológico de la misma.

El ancho promedio se puede calcular utilizando la siguiente fórmula:

$$A_{promedio} = \frac{A}{L}$$

Donde:

A: Área de la cuenca en km²

L: Longitud de cauce principal en km

Importancia del Ancho Promedio:

Análisis Hidrológico: Un ancho promedio más amplio puede significar un mayor potencial para la acumulación de agua, mientras que cuencas más estrechas pueden responder más rápidamente a eventos de precipitación.

Modelos de Escorrentía: El ancho promedio ayuda a estimar la escorrentía superficial y el comportamiento del flujo en la cuenca.

- **Coefficiente de compacidad o índice de Gravelius**

Establece la relación entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de una circunferencia de área equivalente a la superficie de área equivalente a la superficie de la cuenca correspondiente, este índice representa la forma de la superficie de la cuenca.

$$K_c = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Donde:

K_c: Coeficiente de compacidad

P: Perímetro de la cuenca en km

A: Área de la cuenca en km²

Una cuenca con un coeficiente de compacidad K_c cercano a 1 (forma circular) tiene una respuesta hidrológica rápida, ya que el agua proveniente de las precipitaciones tiende a llegar al cauce principal de manera simultánea. Esto hace que la cuenca sea más vulnerable a inundaciones rápidas, ya que se pueden generar picos de caudal

elevados en un corto periodo de tiempo. Por otro lado, cuando K_c es mayor a 2 (cuenca alargada), la respuesta a los eventos de lluvia es más lenta. Esto significa que el agua de las distintas partes de la cuenca llega al cauce principal de forma gradual, lo que ayuda a mitigar los picos de escorrentía y disminuye el riesgo de inundaciones rápidas. Sin embargo, en caso de lluvias sostenidas o de larga duración, se puede producir una acumulación gradual de agua que, con el tiempo, podría generar un aumento del caudal, aunque de manera menos abrupta que en cuencas circulares.

- **Factor de forma**

Según Cahuana y Yugar (2009), la forma de la cuenca afecta en las características de descarga de la corriente, principalmente en los eventos de flujo máximo. En general, los escurrimientos de una cuenca de forma casi circular serán diferentes a los de otra, estrecha y alargada, aunque tengan la misma área. Corresponde a la elongación de una cuenca, la cual se expresa como la relación entre el área de la cuenca y la longitud de la misma.

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

Donde:

K_f : Factor de forma

L : Longitud de la cuenca en km

A : Área de la cuenca en km^2 , considerado también la longitud del cauce principal.

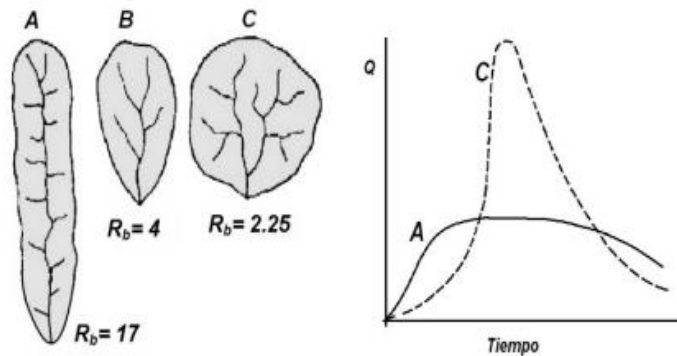


Figura 5: Influencia de la forma de la cuenca en el hidrograma (R_b = Relación de bifurcación).

Fuente: Adaptado de Cahuana y Yugar, (2009). Material de Apoyo Didáctico para la Enseñanza y Aprendizaje de la Asignatura de Hidrología CIV-233, p.19.

▪ **Rectángulo equivalente**

Es la transformación geométrica de la cuenca en un rectángulo ideal que tiene la misma área y perímetro. En este rectángulo, las curvas de nivel se convierten en rectas paralelas al lado menor, siendo estas la primera y la última curva de nivel, respectivamente, este representa la siguiente relación:

$$L = \frac{P}{4} + \sqrt{\frac{P^2}{16} - A} \quad ; \text{ Longitud del lado mayor}$$

$$l = \frac{P}{4} - \sqrt{\frac{P^2}{16} - A} \quad ; \text{ Longitud del lado menor}$$

Donde:

L, l: Longitud de lado mayor y menor del rectángulo en km.

P: Perímetro de la cuenca en km.

A: Área de la cuenca en km².

- **Curva hipsométrica**

Cahuana y Yugar (2009), definen la curva hipsométrica como la representación gráfica del relieve de una cuenca; es decir, la curva hipsométrica indica el porcentaje de área de la cuenca o superficie de la cuenca en km² que existe por encima de una cota determinada, representado en coordenadas rectangulares.

Se representa a través de una curva característica de una cuenca en estudio, donde el eje de las ordenadas muestra las elevaciones en metros sobre el nivel del mar (msnm) y el eje de las abscisas, el porcentaje del área de la cuenca que queda por encima de la elevación indicada, lo cual caracteriza de algún modo el relieve. Adaptado de Ayala (2018).

- **Polígono de frecuencia de altitudes**

El diagrama de polígono de frecuencia de altitudes representa en el eje de las ordenadas, el porcentaje parcial del área d una cuenca en estudio y en el eje de las abscisas, las altitudes en metros sobre el nivel del mar (msnm) comprendidas dentro de ese porcentaje. Adaptado de Ayala (2028).

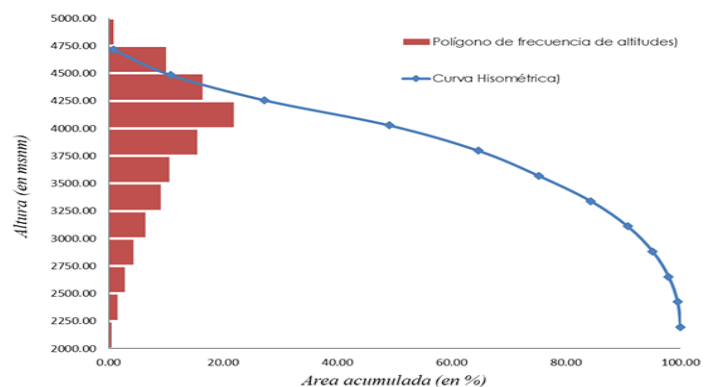


Figura 6: Curva hipsométrica y polígono de frecuencia de altitudes.

Fuente: Adaptado de Cahuana y Yugar (2009)

Las curvas hipsométricas y de frecuencia de altitudes permiten determinar varias altitudes características importantes para el análisis de una cuenca hidrográfica. A continuación, algunas de las altitudes que se pueden obtener:

Altitud media: Es la ordenada media de la curva hipsométrica, en ella, el 50% del área de la cuenca, está situado por encima de esa altitud y el 50% está situado por debajo de ella. Villón, (2002, p.37).

Altitud más frecuente: Es el máximo valor en porcentaje de la curva de frecuencia de altitudes. Villón, (2002, p.37).

Altitud de frecuencia ½: Es la altitud correspondiente al punto de abscisa ½ de la curva de frecuencia de altitudes. Villón, (2002, p.38).

▪ **Pendiente media de la cuenca**

Chalco y Cullanco (2020), es la media ponderada de las pendientes de todas las superficies elementales de la cuenca en las que la línea de máxima pendiente se mantiene constante; influye en el tiempo de concentración a través de la velocidad media de la escorrentía. Si la pendiente es muy fuerte hay peligro de inundación. La fórmula para el cálculo de la pendiente media es:

$$S = 100 * \left(\sum \frac{L_i * E}{A} \right)$$

Donde:

S: Pendiente media de la cuenca

Li: Longitud de cada una de las curvas de nivel en km

E: Equidistancia de las curvas de nivel en km

A: Área de la cuenca en km²

La pendiente media de la cuenca representa un valor medio de todas las pendientes que conforman las diversas zonas topográficas de la cuenca.

Tabla 4: Rangos aproximados de la pendiente media.

PENDIENTE MEDIA (%)	TERRENOS
0 a 2	Llano
2 a 5	Suave
5 a 10	Accidentado medio
10 a 15	Accidentado
15 a 25	Fuertemente accidentado
25 a 50	Escarpado
> 50	Muy escarpado

Fuente: Adaptado de Ayala (2018).

- **Coefficiente de masividad (CM)**

Representa la relación entre la elevación media de la cuenca y su superficie.

Este índice toma valores altos en cuencas montañosas y bajos en cuencas llanas.

$$C_m = \frac{H_m}{A}$$

Donde:

Cm: Coeficiente de masividad en m/km

Hm: Altitud media de la cuenca en m.s.n.m.

A: Área de la cuenca en km².

- **Densidad de drenaje**

De acuerdo con López (1998), la densidad de drenaje indica la relación entre la longitud total de los cursos de agua irregulares y

regulares de la cuenca y la superficie total de la misma, expresa la capacidad de desalojar un volumen de agua.

$$D_d = \frac{L_i}{A}$$

Donde:

Dd: Densidad de drenaje

Li: Largo total de los cursos de agua en km

A: Superficie de la cuenca en km².

Tabla 5: Rangos aproximados de la densidad de drenaje.

DENSIDAD DE DRENAJE (km/km ²)	DESCRIPCIÓN
< 1	Baja (acuíferos de altos rendimientos)
1 - 2	Moderada
2 - 3	Alta
> 3	Muy alta (superficies impermeables)

Fuente: Adaptado de Delgadillo y Moreno (2011)

Además de la definición proporcionada por López (1998), la densidad de drenaje es un parámetro importante para evaluar la eficiencia de la cuenca en términos de escorrentía. Cuanto mayor sea la densidad de drenaje, mayor será la capacidad de la cuenca para evacuar el agua de lluvia. Este valor puede estar influenciado por varios factores, como la topografía, el tipo de suelo, la vegetación y la geología de la región.

- **Tiempo de concentración**

También denominado tiempo de respuesta o de equilibrio, Llamas (1993) lo define como el tiempo requerido para que, durante un aguacero uniforme, se alcance el estado estacionario; es decir, el

tiempo necesario para que todo el sistema (toda la cuenca) contribuya eficazmente a la generación de flujo en el desagüe.

Se atribuye muy comúnmente el tiempo de concentración, al tiempo que tarda una partícula de agua caída en el punto de la cuenca más alejado (según el recorrido de drenaje) del desagüe en llegar a éste. Esto no se corresponde con el fenómeno real, pues puede haber puntos de la cuenca en los que el agua caída tarde más en llegar al desagüe que el más alejado. Además, debe tenerse claro que el tiempo de concentración de una cuenca no es constante; depende de la intensidad del chubasco, aunque muy ligeramente.

Por tener el concepto de tiempo de concentración en una cierta base física, han sido numerosos los autores que han obtenido formulaciones del mismo, a partir de características morfológicas y geométricas de la cuenca.

Formula de Kirpich:

$$T_c = 0.000325 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

Formula de U.S. Corps of Engineers:

$$T_c = 0.3 \frac{L^{0.76}}{S^{0.19}}$$

Fórmula Californiana (U.S.B.R.):

$$T_c = 0.066 \frac{L^{0.77}}{S^{0.50}}$$

Fórmula de Bransby-Williams:

$$T_c = 0.2433 \frac{L_c}{A^{0.1} S^{0.2}}$$

Donde:

Tc: Tiempo de concentración en h.

A: Área de la cuenca en km².

Lc: Longitud del cauce en km

S: Pendiente de la cuenca en (m/m).

2.2.4.2. Comportamiento hidrometeorológico de la cuenca

El comportamiento hidrometeorológico de una cuenca está determinado por la interacción de los fenómenos atmosféricos con el ciclo hidrológico, los cuales influyen directamente en la generación de escorrentía y caudales en los ríos. Entre estos fenómenos, la precipitación constituye el componente más importante, ya que representa el principal aporte de agua a los ríos y lagos de una región (Chow, Maidment y Mays, 1994).

a. Precipitación

Según Cahuana y Yugar, (2009, p.41), la precipitación, “es toda forma de humedad que, originándose en las nubes, llega hasta la superficie terrestre. La precipitación incluye la lluvia, la nieve y otros procesos mediante los cuales el agua cae a la superficie terrestre, tales como el granizo y nevisca”.

b. Formas de precipitación

Para Cahuana y Yugar, (2009, p.43) de acuerdo a sus características físicas y producto de la condensación del vapor de agua atmosférico, formado en el aire libre o en la superficie de la tierra, y de las condiciones locales, la precipitación puede adquirir diversas formas, siendo las más comunes: llovizna, lluvia, escarcha, nieve y granizo.

Llovizna: Más conocida como garúas, consiste en diminutas gotitas de agua líquida cuyo diámetro fluctúa entre 0.1 y 0,5 mm; debido a su

pequeño tamaño tienen un asentamiento lento y en ocasiones parecen que flotarían en el aire. Por lo general la llovizna cae de estratos bajos y muy rara vez sobrepasa un valor de 1mm/h.

Lluvia: Consiste de gotas de agua líquida en su mayoría con un diámetro mayor a los 5 mm. En muchos países como en Estados Unidos por ejemplo suelen clasificarla como ligera, moderada o fuerte según su intensidad:

- Ligera: Para tasas de caída hasta de 2.5 mm/h.
- Moderada: Desde 2.5 hasta 7.6 mm/h.
- Fuerte: Por encima de 7.6 mm/h.

Por lo tanto, las lluvias intensas constituyen el tipo de precipitación más relevante, por ser la principal causante del aumento de caudal y generación de crecidas en ríos.

c. **Medición de la precipitación**

Según (Villón, 2011) citado por (Bautista, 2022, p.26), “La precipitación se mide en términos de la altura de lámina de agua (hp), y se expresa comúnmente en milímetros. Esta altura de lámina de agua, indica la altura del agua que se acumulara en una superficie horizontal, si la precipitación permanecería donde cayó”.

Pluviómetros:

De acuerdo con (Mejía, 2012) como se citó en (Bautista, 2022), el pluviómetro es un instrumento diseñado para recolectar y almacenar la lluvia en un depósito interno, la cual ingresa a través de una boca horizontal de área estandarizada (200 cm² o 400 cm²) según los lineamientos establecidos por la Organización Meteorológica Mundial (OMM). Su uso es fundamental para obtener mediciones

precisas de la precipitación y contar con registros confiables que permitan realizar estudios hidrológicos.

Pluviógrafos:

Por su parte (Villón, 2011) citado por (Bautista, 2022) explica que el pluviógrafo no solo mide la cantidad de lluvia, sino que además registra su variación en el tiempo. Esta característica lo convierte en un instrumento indispensable, ya que permite calcular la intensidad de la precipitación, un dato clave en el diseño de estructuras hidráulicas y en la evaluación de fenómenos hidrológicos extremos.

d. Precipitaciones máximas en 24 horas

El registro de la precipitación máxima en 24 horas es el más comúnmente empleado en hidrología debido a que sintetiza la intensidad de la lluvia en un periodo estándar y comparable. Este dato, obtenido de estaciones meteorológicas, sirve como base para análisis de frecuencias, curvas de intensidad-duración-frecuencia (IDF) y estudios de periodos de retorno.

Por ello el análisis de estas precipitaciones permite entender cómo la intensidad, duración y distribución espacial de la lluvia se transforma en escorrentía y caudales en los ríos, lo que constituye la base para el cálculo de caudales máximos, la planificación de obras hidráulicas y la delimitación de zonas urbanas y agrícolas susceptibles a inundaciones.

2.2.4.3. Obtención de datos hidrometeorológicos del SENAMHI

SENAMHI

El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) es la institución oficial encargada de registrar, procesar y difundir información

hidrometeorológica en el país. Sus datos constituyen la principal referencia para estudios hidrológicos, hidráulicos y de gestión de riesgos.

Importancia de datos confiables (SENAMHI)

La precisión de los estudios hidrológicos depende directamente de la calidad de las series de precipitación y caudales. Estas permiten estimar caudales máximos, definir periodos de retorno y realizar modelamientos de inundación con menor incertidumbre. En este sentido, el SENAMHI aporta registros continuos y validados que fortalecen la confiabilidad de los resultados (SENAMHI, 2021).

Procedimiento de recabación de datos hidrometeorológicos del SENAMHI

El SENAMHI dispone de dos modalidades de acceso a la información:

- **Acceso público en línea:** A través de la plataforma digital <http://www.senamhi.gob.pe/?p=descarga-datos-hidrometeorologicos> el cual una vez ingresado seleccionas el departamento que se desea obtener sus datos climáticos, posteriormente se crea una cuenta en la misma página para descargar. Se aclara que cuando se descarga se tiene que hacer un ordenamiento de los datos para su adecuado análisis (Bautista, 2022)
- **Solicitud mediante mesa de partes virtual:** A través del portal institucional http://sgd.senamhi.gob.pe/sis/sgd/mant_atencion_ciudadano, el investigador presenta una solicitud formal indicando estación, variable y periodo de estudio. Posteriormente, SENAMHI remite la información solicitada en formato digital, validada y con registro oficial.

En el presente estudio se empleó la segunda modalidad, mediante mesa de partes virtual, lo cual garantizó la obtención de datos oficiales y completos para el área de estudio.

Series de precipitación

Dentro de los datos hidrometeorológicos se encuentran diversas variables como la precipitación, temperatura, evaporación y caudales, las cuales permiten comprender el comportamiento de una cuenca hidrográfica (Chow, Maidment y Mays, 1994). Entre ellas, destacan las series de precipitaciones, que corresponden al registro sistemático de lluvias medido en intervalos de tiempo específicos, ya sean diarios, mensuales o anuales. Estas series pueden ser completas o incompletas, así como en homogéneas o heterogéneas, según la disponibilidad y consistencia de los datos. El análisis estadístico de las series de precipitaciones permite identificar tendencias, variaciones estacionales y eventos extremos, aspectos fundamentales para el diseño de obras hidráulicas y la planificación de medidas preventivas frente a inundaciones

En la presente investigación, debido a la ausencia de estaciones hidrométricas con registros de caudales en la cuenca, el análisis se fundamentó exclusivamente en las series de precipitaciones. Para ello, se solicitaron al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú – SENAMHI los datos de precipitaciones máximas en 24 horas de las estaciones meteorológicas más cercanas a la cuenca y con continuidad de registros. Estos datos constituyen la base para el análisis hidrológico aplicado en este estudio.

2.2.4.4. Análisis de información pluviométrica

El análisis de información pluviométrica constituye una etapa fundamental en los estudios hidrológicos, ya que permite garantizar la calidad, continuidad y representatividad de las series de precipitación. Antes de analizar su comportamiento, la información pluviométrica debe ser revisada y evaluada

en tres aspectos esenciales: si los datos de la estación son completos, si presentan consistencia y si cuentan con una extensión suficiente para el análisis (Chow, Maidment y Mays, 1994).

a. Estimación de datos faltantes:

Cahuana y Yugar (2009), mencionan que muchas veces las estaciones meteorológicas pueden dejar de registrar información en algunos periodos de tiempo, debido a fallas en los instrumentos o por ausencia del observador. Esta información dejada de registrar puede ser indispensable para el análisis de fenómenos que involucre la precipitación. Por tanto, se han desarrollado algunos métodos sencillos para la estimación de la información pluviométrica faltante. Para subsanar estos vacíos se aplican diversos métodos de estimación, entre los cuales destacan el método promedio aritmético, método de regresión normalizada, método del U.S. Weather Bureau y el método racional deductivo, que permiten reconstruir la información perdida en función de registros de estaciones vecinas o de las características estadísticas de la propia serie. Estos procedimientos aseguran la continuidad y homogeneidad de los datos, lo que es esencial para estudios de modelamiento hidrológico y planificación de recursos hídricos.

En casos donde solo se dispone de una estación, es posible utilizar modelos estadísticos ajustados a la propia serie, como distribuciones de Gumbel, Log-Pearson III o Normal, para proyectar o completar valores faltantes, especialmente en precipitaciones máximas.

b. Análisis de consistencia de datos y depuración de datos

Análisis de consistencia de datos:

El análisis de consistencia de datos es el proceso de verificación de la coherencia, homogeneidad y calidad de los registros hidrológicos o meteorológicos con el fin de garantizar que sean representativos y comparables en el tiempo y en el espacio (Chow, Maidment y Mays, 1994).

En otras palabras, asegura que la información de lluvias o caudales no contenga errores sistemáticos ni incoherencias antes de usarse en estudios hidrológicos.

Métodos principales de análisis de consistencia

- Método de la doble masa, compara la serie acumulada de la estación en estudio con la acumulada de estaciones vecinas, donde cambios abruptos en la pendiente indican posibles inconsistencias.
- Pruebas estadísticas de homogeneidad, permiten identificar rupturas o cambios significativos en la serie mediante análisis de la media o la varianza.
- Comparación de parámetros estadísticos, analizando medias, desviaciones estándar y coeficientes de variación frente a estaciones cercanas.

Depuración de datos:

Incluye la identificación y corrección de datos dudosos.

- **Análisis de datos dudosos**

Los datos dudosos (outliers) consisten en los datos que se alejan significativamente de la información y que afectan de una manera considerable la magnitud de los parámetros

estadísticos de la serie, especialmente en muestras de registros cortos.

Para detectar los datos dudosos, se calcularon umbrales superiores e inferiores para cada serie de datos de las precipitaciones máximas de la estación meteorológica.

Las siguientes ecuaciones de frecuencia puede utilizarse para detectar datos dudosos altos y bajos respectivamente:

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

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

Donde:

yH: Umbral superior para los datos dudosos en unidades logarítmicas.

yL: Umbral inferior para datos dudosos en unidades logarítmicas.

\bar{y} : Promedio de los logaritmos de las precipitaciones.

Sy: Desviación estándar de los logaritmos de las precipitaciones.

Kn: Valor tabulado para una muestra de tamaño n.

Tabla 6: Valores Kn para la prueba de datos dudosos

Tamaño de la muestra n	Kn	Tamaño de la muestra n	Kn	Tamaño de la muestra n	Kn	Tamaño de la muestra n	Kn
10	2.036	24	2.467	38	2.661	60	2.837
11	2.088	25	2.486	39	2.671	65	2.866
12	2.134	26	2.502	40	2.682	70	2.893
13	2.175	27	2.519	41	2.692	75	2.917
14	2.213	28	2.534	42	2.700	80	2.940
15	2.247	29	2.549	43	2.701	85	2.961
16	2.279	30	2.563	44	2.719	90	2.981
17	2.309	31	2.577	45	2.727	95	3.000
18	2.335	32	2.591	46	2.736	100	3.017
19	2.361	33	2.604	47	2.744	110	3.049
20	2.385	34	2.616	48	2.753	120	3.078
21	2.408	35	2.628	49	2.760	130	3.104
22	2.429	36	2.639	50	2.768	140	3.129
23	2.448	37	2.650	55	2.804		

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

c. Extensión del registro

La extensión de registro se refiere al período temporal que abarca una serie de datos hidrológicos o meteorológicos y es fundamental para garantizar que los análisis sean representativos y confiables.

Según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (MTC, 2018). Los datos utilizados en estudios hidrológicos deben ser completos, consistentes y de extensión suficiente, recomendándose un mínimo de 25 años de registro para asegurar la fiabilidad de los resultados. Contar con series más largas permite capturar adecuadamente la variabilidad climática de la zona, identificar eventos extremos y realizar estimaciones precisas de caudales de diseño y periodos de retorno.

2.2.4.5. Análisis estadístico de precipitaciones

Una vez que los datos pluviométricos han sido completados, depurados y verificados en su extensión, se procede al análisis estadístico de precipitaciones extremas, el cual permite estimar la probabilidad de ocurrencia de eventos de lluvia extremos y constituye la base para el cálculo de caudales máximos y diseño de obras hidráulicas.

2.2.4.5.1. Análisis de frecuencia

El análisis de frecuencias tiene la finalidad de estimar precipitaciones, intensidades o caudales máximos, según sea el caso, para diferentes períodos de retorno, mediante la aplicación de modelos probabilísticos, los cuales pueden ser discretos o continuos.

El análisis de frecuencia de las precipitaciones máximas de 24 horas de una muestra de precipitación P_i , con $i = 1, 2, \dots, n$, se emplea para proveer la magnitud de un evento Q_T , de cierto período de retorno T , por medio del ajuste de una distribución de probabilidad, el mismo que se selecciona como la mejor distribución de un grupo presentado.

En la estadística existen diversas funciones de distribución de probabilidad teóricas; recomendándose utilizar las siguientes:

Distribución Normal o Gaussiana: La distribución Normal presenta las funciones de probabilidad y de probabilidad acumulada, siguientes:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-u}{\sigma}\right)^2}$$
$$F(x) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-u}{\sigma}\right)^2} dx$$

Distribución Log Normal de 2 Parámetros

$$f(x) = \frac{1}{x\sigma_y\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln(x)-u_y}{\sigma_y}\right)^2}$$

Distribución Log Normal de 3 Parámetros

$$f(x) = \frac{1}{x-x_0\sigma_y\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln(x-x_0)-u_y}{\sigma_y}\right)^2}$$

Distribución Gamma de 2 Parámetros: La distribución Gamma de dos parámetros presenta las funciones de probabilidad y probabilidad acumulada.

$$f(x) = \frac{x^{\beta-1}e^{-x/\alpha}}{\alpha^\beta \Gamma(\beta)}$$

$$F(x) = \int_0^x \frac{x^{\beta-1}e^{-x/\alpha}}{\alpha^\beta \Gamma(\beta)} dx$$

Los parámetros de ajuste de esta distribución pueden obtenerse por el método de Momentos o Máxima Verosimilitud.

Distribución Gamma de 3 Parámetros

$$f(x) = \frac{1}{d\Gamma(\beta)} \left(\frac{x-x_0}{\alpha}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{x-x_0}{\alpha}\right)}$$

Distribución Gumbel: La distribución Gumbel presenta las funciones de probabilidad y probabilidad acumulada siguientes:

$$f(x) = \frac{1}{\alpha} e^{-\left(\frac{x-u}{\alpha}\right)} e^{-e^{-\left(\frac{x-u}{\alpha}\right)}}$$

$$F(x) = e^{-e^{-\left(\frac{x-u}{\alpha}\right)}}$$

2.2.4.5.2. Pruebas de bondad de ajuste

La prueba de bondad de ajuste consiste en evaluar qué tan adecuada es la representación de una muestra de datos mediante una distribución de probabilidad teórica. Para ello, se aplican pruebas estadísticas que comparan los valores observados con los valores esperados según la distribución seleccionada, verificando si las diferencias entre ambos son estadísticamente significativas. Es importante señalar que, aunque estas pruebas son herramientas estadísticas, no debe descuidarse el criterio hidrológico y físico al interpretar los resultados, ya que un buen ajuste matemático no siempre implica una representación realista del fenómeno analizado (Chow, Maidment, y Mays, 1994).

Existen diferentes pruebas, como:

Prueba Smirnov Kolmogorov: Consiste en la desviación de la función de distribución de probabilidades de la muestra $F(x)$ de la función de probabilidades teoría, escogida $P(x)$ tal que:

$$\Delta = \max |F(x) - P(x)|$$

La prueba requiere que el valor Δ calculado con la ecuación sea menor que el valor tabulado Δ_0 para un nivel de probabilidad requerido.

Tabla 7: Valores Críticos “d” para la Prueba Smirnov - Kolmogorov

Tamaño de la muestra	$\alpha=0.10$	$\alpha=0.05$	$\alpha=0.01$
05	0.509	0.563	0.669
10	0.369	0.404	0.486
15	0.304	0.338	0.404
20	0.265	0.294	0.352
25	0.238	0.264	0.317
30	0.218	0.242	0.290
35	0.202	0.224	0.269
40	0.189	0.210	0.252

Fuente: Adaptado de Aparicio.

2.2.4.5.3. Período de retorno

El período de retorno (también conocido como período de recurrencia) se define como el tiempo promedio que transcurre entre dos eventos hidrológicos de magnitud igual o superior a un valor de referencia. Matemáticamente, se expresa como el inverso de la probabilidad de excedencia:

$$T_r = \frac{1}{P(X \geq x)}$$

Donde:

T_r : Período de retorno en años.

$P(X \geq x)$: Probabilidad de que ocurra un evento de magnitud mayor o igual a x .

Período de retorno y vida útil de estructuras de drenaje

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones de Perú (2018) indica que, para adoptar el período de retorno a utilizar en el diseño de una obra, es necesario considerar la relación existente entre la probabilidad de excedencia de un evento, la vida útil de la estructura y el riesgo de falla admisible, dependiendo este último, de factores económicos, sociales, técnicos y otros.

El riesgo de falla admisible en función del período de retorno y vida útil de la obra está dado por:

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

Donde:

T : Período de retorno en años

n : Vida útil de la obra en años

R : Riesgo de falla admisible durante la vida útil

La fórmula permite determinar un período de retorno (T) requerido en función del riesgo tolerable (R) y la vida útil de la estructura (n).

Tabla 8: Periodo de retorno y vida útil de estructuras de drenaje T(años)

PERIDO DE RETORNO													
Riesgo Admisible	VITA ÚTIL DE LAS OBRAS (n años)												
R	1	2	3	5	10	15	20	25	40	50	100	200	500
0.01	100	199	299	498	995	1493	1990	2488	3980	4975	9950	19900	49750
0.02	50	99	149	248	495	743	990	1238	1980	2475	4950	9900	24750
0.05	20	39	59	98	195	293	390	488	780	975	1950	3900	9748
0.10	10	19	29	48	95	143	190	238	380	475	950	1899	4746
0.15	7	13	19	31	62	93	124	154	247	308	616	1231	3077
0.20	5	9	14	23	45	68	90	113	180	225	449	897	2241
0.25	4	7	11	18	35	53	70	87	140	174	348	696	1739
0.30	3	6	9	15	29	43	57	71	113	141	281	561	1402
0.35	3	5	7	12	24	35	47	59	93	117	233	465	1161
0.40	3	4	6	10	20	30	40	49	79	98	196	392	979
0.50	2	3	5	8	15	22	29	37	58	73	145	289	722
0.75	1	2	3	4	8	11	15	19	29	37	73	145	361
0.99	1	1	1	2	3	4	5	6	9	11	22	44	109

Fuente: Adaptado del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2018)

Tabla 9: Valores máximos recomendados de riesgo admisible de obras de drenaje

Tipo de obra	Riesgo admisible (**) %	Vida útil (n) (Recomendado Manual de Hidrología – MTC)	Periodo de retorno T_r
Puente y pontón (*)	25%	40 años	150 años
Alcantarillas (Pase de quebradas importantes y badenes)	30%	25 años	70 años
Alcantarillas (Alivio y pase de quebradas menores)	35%	15 años	35 años
Drenaje de plataforma (a nivel longitudinal)	40%	15 años	30 años
Subdrenes	40%	15 años	30 años
Defensas Ribereñas	25%	40 años	140 años

(*) - Para obtención de la luz y nivel de aguas máximas extraordinarias.

- Se recomienda un período de retorno T de 500 años para el cálculo de socavación.

Fuente: Adaptado del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2018)

Para determinar el valor del periodo de retorno se considera los valores de riesgo admisible (R) y vida útil (n) establecidos para cada tipo de obra. La estimación se ejecuta mediante la fórmula previamente descrita, corroborando los resultados obtenidos con los valores referenciales presentados en el Cuadro 8 y finalmente, los periodos de retorno se redondean hacia valores superiores, como medida de seguridad y de acuerdo con los criterios de diseño hidráulico.

Período de retorno y zonas de inundación

En el análisis de zonas inundables resulta fundamental trabajar con diferentes períodos de retorno, ya que cada uno representa la probabilidad de que un evento extremo (precipitación, caudal máximo o inundación) ocurra en un año determinado. El período de retorno T_r se relaciona con la probabilidad anual de excedencia mediante la expresión:

$$T_r = \frac{1}{P(X \geq x)}$$

Donde:

T_r : Período de retorno en años

$P(X \geq x)$: Probabilidad de que ocurra un evento de magnitud mayor o igual a x.

Según Chow, Maidment y Mays (1994), “el periodo de retorno constituye un parámetro clave para el diseño de obras hidráulicas y la gestión del riesgo de inundaciones, ya que permite cuantificar la recurrencia de eventos extremos.”

En la presente investigación, orientada a determinar las áreas urbanas y agrícolas afectadas por inundaciones en un tramo río, no basta con emplear un único período de retorno, pues ello limitaría la capacidad de análisis del

riesgo. Por ello, se trabajó con una gama de períodos (25, 50, 100, 200 y 500 años), lo cual permitió:

- Visualizar la evolución de la mancha de inundación en función de la magnitud del evento.
- Identificar niveles de riesgo diferenciados, ya que eventos de baja recurrencia afectan con mayor gravedad a la infraestructura crítica y a las poblaciones vulnerables.
- Proporcionar insumos técnicos para la gestión del riesgo de desastres, la planificación territorial y el diseño de medidas de protección.

2.2.4.5.4. Programa Hydrognomon

El software Hydrognomon es una herramienta utilizada en hidrología para el análisis y procesamiento de series hidrometeorológicas, tales como precipitaciones y caudales. Este programa permite realizar cálculos estadísticos, generar distribuciones de probabilidad y evaluar su ajuste a los datos observados.

En la presente investigación, Hydrognomon se emplea para ajustar probabilísticamente las precipitaciones máximas de 24 horas y aplicar pruebas de bondad de ajuste, considerando distintos periodos de retorno, con el fin de garantizar resultados confiables para el análisis hidrológico del río.

2.2.4.6. Tormenta de diseño

La tormenta de diseño constituye la representación temporal de un evento de lluvia extremo y es la base para el cálculo de escorrentía y caudales máximos en la cuenca. Esta tormenta se construye a partir de los valores de

precipitación máxima asociados a un periodo de retorno específico, integrando la intensidad, duración y distribución temporal de la lluvia.

Para la determinación de la tormenta de diseño se consideran tres variables principales:

- Intensidad: cantidad de lluvia por unidad de tiempo (mm/h).
- Duración: tiempo durante el cual ocurre la lluvia (horas).
- Frecuencia: relacionada con el periodo de retorno (años), que indica la probabilidad de ocurrencia de lluvias extremas.

2.2.4.6.1. Curvas Intensidad - Duración – Frecuencia (IDF)

La intensidad es la tasa temporal de precipitación, es decir, la profundidad por unidad de tiempo (mm/h). Puede ser la intensidad instantánea o la intensidad promedio sobre la duración de la lluvia. Comúnmente se utiliza la intensidad promedio, que puede expresarse como:

$$i = \frac{P}{Td}$$

Donde P es la profundidad de lluvia (mm) y Td es la duración, dada usualmente en horas. La frecuencia se expresa en función del período de retorno, T, que es el intervalo de tiempo promedio entre eventos de precipitación que igualan o exceden la magnitud de diseño. Las curvas intensidad - duración - frecuencia son un elemento de diseño que relacionan la intensidad de la lluvia, la duración de la misma y la frecuencia con la que se puede presentar, es decir su probabilidad de ocurrencia o el periodo de retorno (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2018).

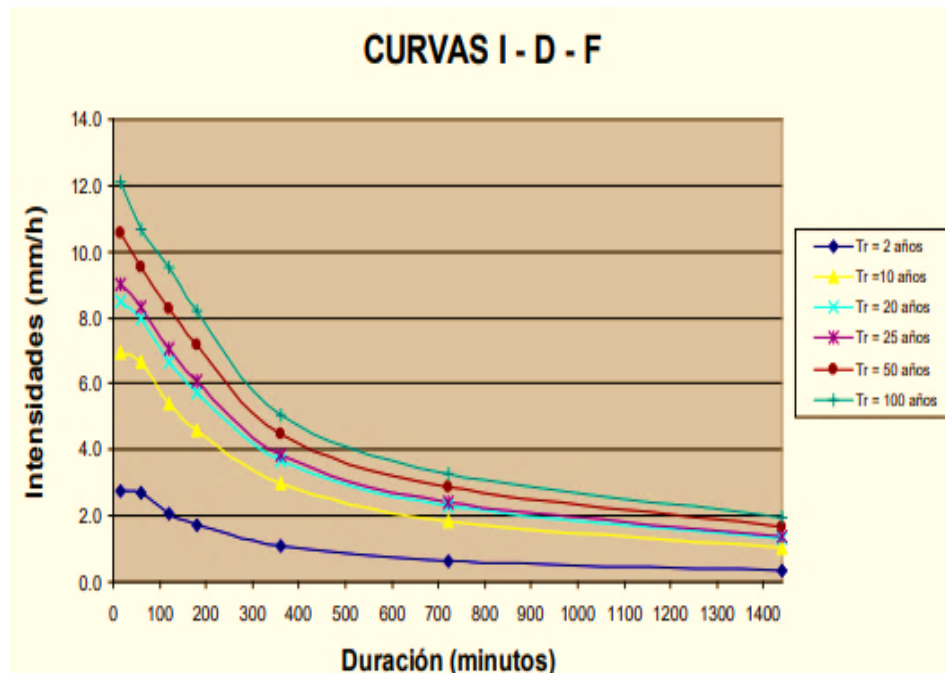


Figura 7: Curvas de intensidad-duración-frecuencia para lluvias en diferentes periodos de retorno.

Fuente: Adaptado del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2018).

Existen diferentes métodos para construir curvas IDF: uno es el análisis de frecuencia aplicando distribuciones de probabilidad (Gumbel, Log-Pearson III, etc.); otro es el Modelo de Frederick Bell, que se emplea cuando solo se dispone de precipitaciones máximas en 24 horas. En este último caso, las precipitaciones se someten a un tratamiento que permite conocer su distribución temporal, es decir, transformar los datos globales diarios en incrementos más cortos de tiempo para generar un hietograma de diseño representativo del evento extremo.

Modelo de Frederick Bell para intensidad-duración-frecuencia (IDF)

El modelo de Frederick Bell (1969), conocido como Generalized Rainfall Duration-Frequency Relationships, establece una ecuación generalizada de intensidad-duración-periodo de retorno. Este modelo involucra,

además, la precipitación caída en 60 minutos con un periodo de retorno de 10 años, valor obtenido con el Modelo de Yance - Tueros.

Bell (1969) encontró una ecuación generalizada de intensidad-duración-período de retorno, combinando las razones; lamina de lluvia-frecuencia, con la lámina de lluvia-duración.

$$P_t^T = \alpha \ln T + b$$

Donde P_t^T es la lámina de lluvia en el tiempo t (en minutos) para un período de retorno T (en años), P_t^{10} es la lámina de lluvia para el tiempo t (minutos) y período de retorno de 10 años.

$$P_t^T = \alpha T b + c$$

Y P_{60}^T es la lámina de lluvia para la duración de 60 minutos y período de retorno T (años). Resolviendo las ecuaciones y combinándolas obtuvo la ecuación generalizada para la lámina de lluvia-duración-frecuencia se tiene:

$$P_t^T = (0.21 \ln T + 0.52)(0.5t^{0.25} - 0.50)P_{60}^{10}$$

Entre las ecuaciones que relacionan la intensidad de la lluvia de una tormenta con la duración y frecuencia de ocurrencia de esta, se encuentra el modelo propuesto por Bernard, M.M (Formula forrainfallintensities of longduration).

Este modelo relaciona simultáneamente la intensidad, duración y el periodo de retorno de la lluvia de una familia de curvas del tipo

$$I = \frac{kT^m}{t^n}$$

Donde I es la intensidad máxima de precipitación en mm/h, T es el periodo de retorno, t es la duración de la lluvia equivalente al tiempo de concentración, K , m y n son constantes de regresión lineal múltiple.

2.2.4.6.2. Construcción del hietograma de diseño

El hietograma de diseño es un patrón temporal que representa la distribución de la precipitación durante un evento extremo en una cuenca. Su objetivo es mostrar cómo varía la intensidad de la lluvia a lo largo del tiempo, constituyéndose en un insumo fundamental para el cálculo de caudales máximos y el modelamiento hidráulico de ríos y zonas inundables (Chow, Maidment y Mays, 1994).

Se obtiene el hietograma de diseño a partir de las precipitaciones máximas diarias para determinados periodos de retorno por métodos estadísticos, se calcula las precipitaciones máximas recogidas en un intervalo de tiempo mediante la curva IDF.

Método del Bloque Alterno

El método de bloque alterno es una técnica utilizada en hidrología para determinar la intensidad de lluvias en un intervalo de tiempo específico a partir de registros históricos de precipitación. Consiste en dividir la serie de lluvia en bloques de tiempo iguales, identificar los máximos de cada bloque y luego reorganizar estos bloques de manera alterna para obtener la curva de intensidad máxima acumulada durante la duración deseada (Chow, Maidment y Mays, 1994).

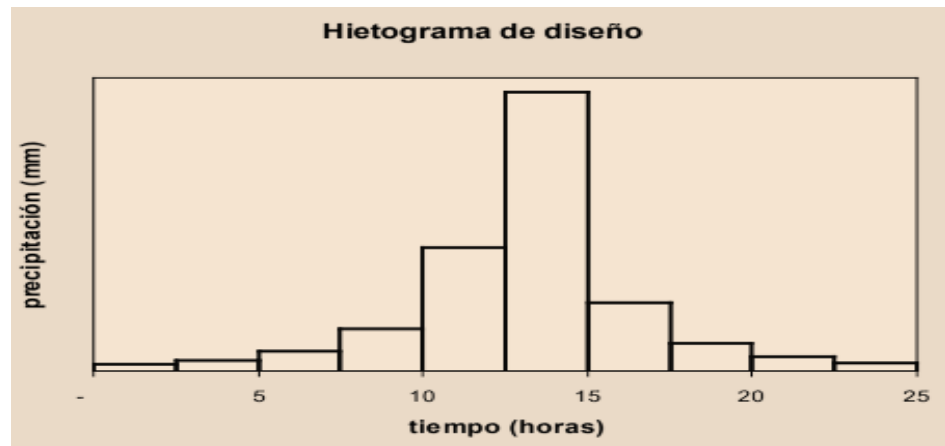


Figura 8: Hietograma de diseño que representa la distribución temporal de la precipitación durante un evento extremo, utilizado para estimar caudales máximos.

Fuente: Adaptado del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2018).

2.2.4.7. Precipitación Efectiva

Para el (MTC, 2018) citado por Chalco y Cullanco, (2020, p.22), la precipitación o precipitación efectiva es la precipitación que no se retiene ni se filtra en la superficie terrestre sino fluye sobre ella hasta la salida de la cuenca donde se convierte en escorrentía directa. El hietograma de exceso de precipitación es clave para el estudio de lluvia-escorrentía. La diferencia entre el hietograma de precipitaciones totales y el hietograma de exceso de precipitación resulta las abstracciones o pérdidas (infiltración, intercepción, almacenamiento superficial).

El hietograma de exceso de precipitación puede calcularse a partir del hietograma de precipitación en una o dos formas, dependiendo de si existe o no información de caudales disponibles para la tormenta.

2.2.4.7.1. Método para abstracciones SCS o método del número curva CN

El método SCS-CN (Curve Number), desarrollado por el Soil Conservation Service (SCS) de Estados Unidos, es ampliamente utilizado en hidrología para estimar la precipitación efectiva que genera escorrentía

superficial. Este método considera características del suelo, cobertura del terreno, uso del suelo y condiciones de humedad antecedente, permitiendo calcular las pérdidas por infiltración y almacenamiento superficial antes de que la lluvia se transforme en escorrentía.

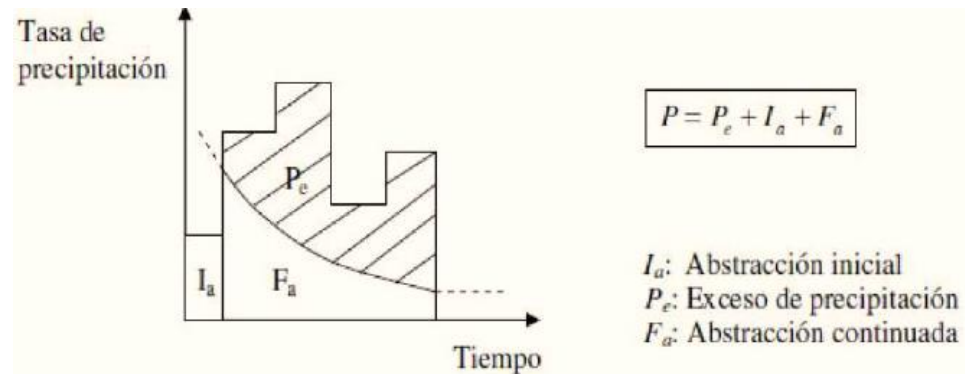


Figura 9: Variables en el método de abstracciones de SCS.

Fuente: Adoptado desde (Cahuana y Yugar, 2009).

Cahuana y Yugar, (2009, p.169), mencionan que:

Existe una cierta cantidad de precipitación Ia (Abstracción inicial antes del encharcamiento) para la cual no ocurrirá escorrentía, luego de eso, la escorrentía potencial es la diferencia entre P e Ia.

Se muestra la ecuación básica para el cálculo de la profundidad de exceso de precipitación o escorrentía directa de una tormenta utilizando el método SCS:

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S}$$

Se puede adoptar la relación empírica: $I_a = 0.2 * S$, con base en esto, se tiene:

$$P_e = Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S}$$

Donde:

Q: Escorrentía directa (mm)

P: Precipitación total (mm)

Ia: Pérdidas iniciales o abstracciones iniciales (mm), normalmente

$$Ia = 0.2 * S$$

S: Retención máxima potencial (mm).

La determinación experimental del valor de S resulta poco práctica; por ello, el SCS optó por expresarlo como un porcentaje de la capacidad de infiltración máxima y mínima. De esta manera, se formuló la variable denominada Número de Curva (CN), la cual facilita el cálculo. Cuando el terreno se encuentra saturado o presenta baja permeabilidad, el valor de CN es 100, lo que implica que toda la precipitación se transforma en escorrentía. En contraste, un CN igual a 0 refleja que la totalidad de la lluvia se infiltra en el suelo. La relación entre CN y S (en pulgadas) se establece mediante la expresión:

$$S = \frac{1000}{CN} - 10$$

Un factor importante a tener en cuenta en estas curvas son las condiciones antecedentes de humedad (AMC, Antecedent Moisture Conditions), las cuales se agrupan en tres secciones básicas.

Tabla 10: Condiciones antecedentes de humedad básicas empleadas en el método SCS.

I	Condiciones secas
II	Condiciones normales
III	Condiciones húmedas

Fuente: Adaptado desde (Cahuana y Yugar, 2009)

Se propone fórmulas específicas para ajustar estos parámetros según las condiciones antecedentes de humedad (AMC I, II y III). Ya que los números de curva se aplican para condiciones antecedentes de humedad normales, y se establece las siguientes relaciones para las otras dos condiciones:

$$CN(I) = \frac{4.2CN(II)}{10 - 0.058CN(II)}$$

$$CN(III) = \frac{23CN(II)}{10 - 0.13CN(II)}$$

En el cuadro 8 se muestra el rango para las condiciones antecedentes de humedad para cada clase. Los números de curva serán tabulados por el NRCS con base en el tipo de suelo y uso de la tierra.

Tabla 11: Rangos para la clasificación de las condiciones antecedentes de humedad (AMC) para el método de abstracciones de lluvia del SCS.

Grupo AMC	Lluvia antecedente total de 5 días (pulg)	
	Estación inactiva (seca)	Estación activa (de crecimiento)
I	< 0.5	< 1.4
II	0.5 a 1.1	1.4 a 2.1
III	Sobre 1.1	Sobre 2.1

Fuente: Adaptado desde Soil Conservation Service.

Cahuana y Yugar, (2009, p.171) El método del CN, presentada en el cuadro 9 para estimar condiciones de humedad antecedente (AMC), considerando el antecedente de 5 días de lluvia, el cual es simplemente la suma de la lluvia, de los 5 días anteriores al día considerado.

- **Condición I:** Suelo seco; No aplicable a crecida de proyecto: caudales chicos.

Los suelos en la cuenca están secos, pero no hasta el punto de marchitamiento, cuando se haran o se cultivan bien.

- **Condición II:** Suelo medio; asociado a crecidas anuales o promedios.

Suelos en la cuenca, se encuentran en estado de humedad normal.

- **Condición III:** Suelo húmedo; crecidas máximas; caudales grandes.

Los suelos en la cuenca se encuentran en estado muy húmedo, esto se presenta cuando ha llovido mucho o poco y han ocurrido bajas temperaturas durante los cinco días anteriores a la tormenta, y el suelo está casi saturado.

Los números de curva CN han sido tabulados por el Soil Conservation Service con base en el tipo de suelo y el uso de la tierra. Se definen cuatro grupos de suelos:

Tabla 12: Grupo de suelo hidrológico, para el cálculo del CN

GRUPOS	DESCRIPCIÓN
Grupo A:	Bajo potencial de escurrimiento. Suelos que tienen altas velocidades de infiltración cuando están mojados y consisten principalmente de arena y gravas profundas con bueno a exceso drenaje. Estos suelos tienen altas velocidades de transmisión del agua.
Grupo B:	Suelos con moderada velocidad de infiltración cuando están mojados y consisten principalmente de suelos con cantidades moderadas de texturas finas y gruesas, con drenaje medio y algo profundo. Son básicamente suelos arenosos.
Grupo C:	Suelos que tienen bajas velocidades de infiltración cuando están mojados, consisten principalmente de suelos que tienen un estrato que impide el flujo del agua. Son suelos con texturas finas (margas arcillosas, margas arenosas poco profundas). Estos suelos tienen bajas velocidades de transmisión.
Grupo D:	Alto potencial de escurrimiento. Suelos que tienen muy bajas velocidades de infiltración cuando están mojados y consisten principalmente de suelos arcillosos con alto potencial de hinchamiento, suelos con nivel freático y permanente, suelos con estratos arcillosos cerca de su superficie, o bien, suelos someros sobre horizontes impermeables.

Fuente: adaptado desde Soil Conservation Service.

Los valores de CN para varios tipos de uso de la tierra en estos tipos de suelos se muestran en el cuadro 07. Para una cuenca hecha de varios tipos de suelos y con diferentes usos de la tierra, se puede calcular un CN compuesto mediante el promedio ponderado.

Tabla 13: Números de curva de escorrentía para usos selectos de tierra agrícola, suburbana y urbana (condiciones antecedentes de humedad II, Ia = 0.2s).

Descripción del uso de la tierra	Grupo hidrológico del suelo			
	A	B	C	D
Tierra cultivada1 (1):				
sin tratamiento de conservación	72	81	88	91
con tratamiento de conservación	62	71	78	81
Pastizales:				
- Condiciones pobres	68	79	86	89
- Condiciones optimas	39	61	74	80
Vegas de ríos: Condiciones optimas	30	58	71	78
Bosques:				
- Troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas.	45	66	77	83
- Cubierta buena (2)	25	55	70	77
Áreas abiertas, césped, parques, campos de golf, cementerios, etc.				
- Óptimas condiciones: cubiertas de pastos en el 75% o mas	39	61	74	80
- Condiciones aceptables cubierta de pasto en el 50 al 75%	49	69	79	84
Áreas comerciales de negocios (85% impermeables)	89	92	94	95
Distritos Industriales (72% impermeables)	81	88	91	93
Residencial (3)				
Tamaño promedio del lote Porcentaje promedio impermeable (4)				
1/8 acre o menos 65	77	85	90	92
1/4 acre 38	61	75	83	87
1/3 acre 30	57	72	81	86
1/2acre 25	54	70	80	85
1 acre 20	51	68	79	84
Parqueadores pavimentados, techos, accesos, etc (5).	98	98	98	98
Calles y carreteras:				
- Pavimentados con cunetas y alcantarillados (5)	98	98	98	98
- Grava	76	85	89	91
- Tierra	72	82	87	89

Fuente: adaptado del (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2014).

2.2.4.7.2. Tiempo de retraso (*Tlag*)

El tiempo de retraso (*Tlag*) se define como el intervalo de tiempo comprendido entre el centroide de la precipitación efectiva y el centroide del hidrograma de escorrentía directa generado en la cuenca (Chow,

Maidment & Mays, 1994). En otras palabras, representa el desfase temporal con el cual la lluvia transformada en escorrentía alcanza su máxima contribución en el caudal.

Relación con el tiempo de concentración

El T_{lag} guarda una relación directa con el tiempo de concentración (T_c), dado que ambos son parámetros hidrológicos que describen la respuesta de la cuenca frente a un evento de precipitación. Mientras el T_c se refiere al tiempo que tarda una gota de agua en recorrer desde el punto más alejado de la cuenca hasta la salida, el T_{lag} representa el desfase temporal entre la precipitación efectiva y la generación de caudal. Diversos autores proponen que el T_{lag} corresponde aproximadamente al 60% del tiempo de concentración, es decir:

$$T_{lag} = 0.6T_c$$

Este valor es fundamental en la generación del hidrograma unitario y permite definir con mayor precisión el momento de ocurrencia del caudal máximo.

Importancia en el cálculo del hidrograma

El T_{lag} es un parámetro esencial para la construcción del hidrograma unitario, ya que permite caracterizar el retardo natural del sistema hidrológico. Su estimación precisa es crucial para la simulación de caudales de diseño, la evaluación de avenidas máximas y el modelamiento hidrológico de inundaciones. Una incorrecta determinación del T_{lag} puede generar subestimaciones o sobrestimaciones en los caudales pico, afectando la confiabilidad de los resultados en proyectos de ingeniería hidráulica.

2.2.4.8. Estimación de caudales

Cuando una cuenca no cuenta con estaciones hidrológicas que registren caudales de manera directa, es necesario recurrir a métodos indirectos de estimación. En estos casos, la información de precipitaciones máximas registradas en estaciones meteorológicas cercanas constituye la principal fuente de datos.

A partir de estos registros pluviométricos, se aplica un proceso de transformación lluvia–escorrentía, mediante métodos hidrológicos y estadísticos, que permiten obtener los caudales máximos de diseño.

Hidrograma

El hidrograma es la representación gráfica que muestra la variación del caudal en función del tiempo en una sección determinada de un río o quebrada. Constituye una herramienta fundamental en hidrología, ya que permite analizar el comportamiento de la escorrentía superficial generada por un evento de precipitación.

En términos generales, un hidrograma refleja los siguientes componentes:

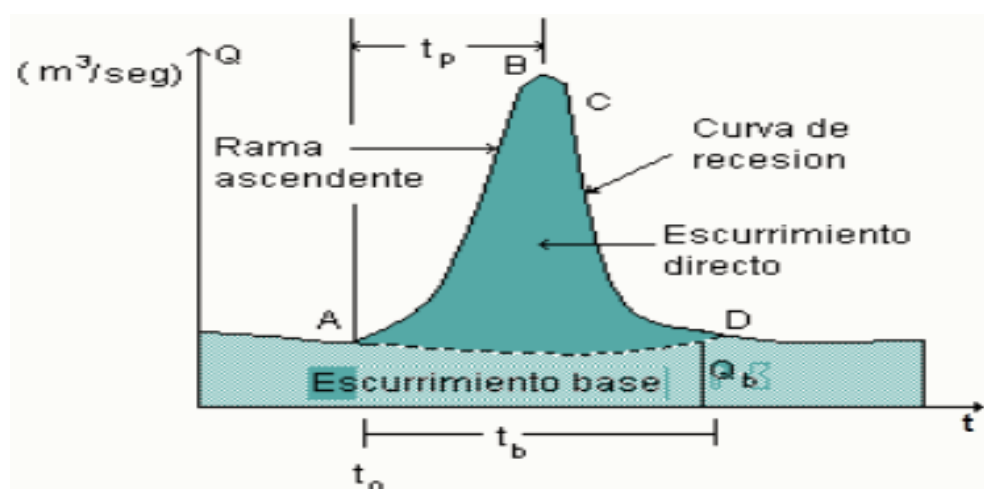


Figura 10: Componentes de un hidrograma de una tormenta

Fuente: Adaptado desde (Aparicio, 2007).

- **Rama ascendente (A):** Es la parte inicial del hidrograma donde el caudal empieza a incrementarse debido a la tormenta. Representa la respuesta rápida de la cuenca a la tormenta.
- **Tiempo de inicio t_0 :** Es el tiempo que transcurre entre el inicio de la lluvia y el momento en que comienza a observarse el incremento del caudal en la sección de control.
- **Tiempo al pico t_p :** Es el intervalo entre el inicio del escurrimiento y el momento en que se alcanza el caudal máximo o pico (B).
- **Cresta o caudal pico (B):** Punto más alto del hidrograma, donde se registra el máximo caudal producido por la tormenta (punto importante para fine de diseño).
- **Punto de inflexión (C):** Aproximadamente termina el flujo sobre el terreno, y persiste el flujo subsuperficial y subterráneo.
- **Escurrimiento directo (área sombreada superior):** Parte del caudal que proviene directamente de la precipitación efectiva, después de descontar las pérdidas (infiltración, evaporación, etc.).
- **Escurrimiento base (área sombreada inferior):** Flujo subterráneo o de base que ya existía en el río antes del evento de lluvia, y que continúa incluso después de la tormenta.
- **Curva de recesión:** Es la parte descendente del hidrograma, que muestra cómo el caudal disminuye gradualmente hasta volver al nivel de base.
- **Tiempo base t_b :** Duración total del hidrograma, desde el inicio de la respuesta de la cuenca hasta que el caudal regresa a condiciones normales.

- **Final del escurrimiento directo (D):** El escurrimiento es sólo de origen subterráneo. Normalmente se toma como el punto de mayor curvatura de la curva de recesión.

2.2.4.8.1. Hidrograma Unitario

El concepto de hidrograma unitario fue introducido por Sherman en 1932 y constituye uno de los fundamentos de la hidrología moderna. Se define como la respuesta hidrológica de una cuenca, es decir, el hidrograma de esorrentía directa generada por una lluvia efectiva unitaria de 1 mm, 1 cm o 1 pulgada, distribuida de manera uniforme en espacio y tiempo sobre toda el área de la cuenca y con una duración igual al tiempo de concentración (Chow, Maidment & Mays, 1994).

Este método se apoya en dos principios básicos:

- **Proporcionalidad:** El hidrograma de esorrentía generado por una lluvia efectiva será directamente proporcional al hidrograma unitario. Por ejemplo, si el hidrograma unitario corresponde a 1 mm de lluvia efectiva y se presenta una tormenta de 10 mm, el hidrograma resultante se obtiene multiplicando las ordenadas del hidrograma unitario por 10.
- **Superposición:** Cuando ocurren varios eventos de lluvia en diferentes intervalos de tiempo, el hidrograma total puede construirse sumando los hidrogramas unitarios desplazados según el inicio de cada evento. Este principio permite simular tormentas complejas a partir de eventos más simples.

El método del hidrograma unitario es especialmente útil para transformar la precipitación efectiva en esorrentía directa y se aplica principalmente en cuencas pequeñas y medianas (generalmente de menos de 5000 km²), donde la hipótesis de uniformidad espacial y temporal de la lluvia resulta

más aceptable (Chow, Maidment & Mays, 1994) citado por (Tucci, 1998). A través de este enfoque es posible obtener hidrogramas reales para cualquier tormenta registrada en la cuenca, lo que lo convierte en una herramienta clave en el análisis hidrológico aplicado y en la estimación de caudales de diseño cuando no se cuenta con registros de aforos.

En síntesis, el hidrograma unitario representa un puente metodológico entre la precipitación y el caudal de salida de la cuenca, ofreciendo un marco matemático sencillo pero robusto para el análisis hidrológico aplicado

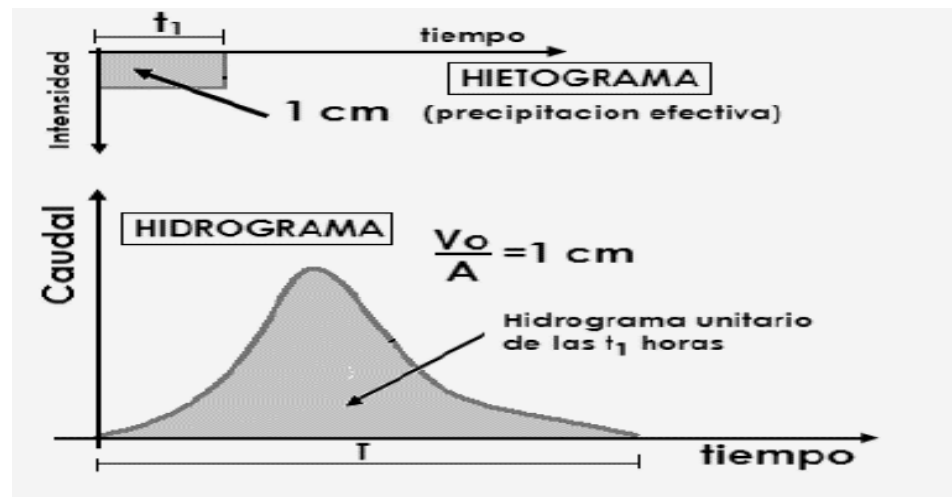


Figura 11: Hidrograma unitario

Fuente: Adaptado desde (Cahuana y Yugar, 2009).

2.2.4.9. Modelamiento hidrológico con HEC-HMS

2.2.4.9.1. Software HEC-HMS (Hydrologic Modeling System)

Es un software de simulación hidrológica tipo evento, lineal y semidistribuido, desarrollado para estimar los hidrogramas de salida en una cuenca o varias subcuencas (caudales máximos y tiempos al pico) a partir de condiciones extremas de lluvias, aplicando para ello algunos de

los métodos de cálculo de hietogramas de diseño, pérdidas por infiltración, flujo base y conversión en escorrentía directa.

El programa se deriva directamente del HEC-1, y conserva en esencia la misma filosofía de introducción de datos y secuencia de cálculos.

2.2.4.9.2. Datos de entrada en HEC-HMS

Para realizar la simulación se requieren como datos de entrada la tormenta de diseño, definida por su intensidad, duración y periodo de retorno; las características de la cuenca, incluyendo área, pendiente, longitud de los cauces, uso del suelo y tipo de cobertura; los parámetros de pérdida, que se calculan mediante métodos como SCS-CN o Horton; la transformación de hidrograma, considerando el tiempo de concentración, el tiempo de retardo y los coeficientes de escorrentía; y, de ser necesario, información de canales y ríos, como secciones transversales, longitudes y pendientes.

2.2.4.9.3. Salidas del modelamiento HEC-HMS

Las principales salidas del modelamiento en HEC-HMS incluyen los hidrogramas de escorrentía de la cuenca a lo largo del tiempo, el volumen total de escorrentía, las series temporales de caudales y el caudal máximo de la cuenca para cada tormenta de diseño o periodo de retorno. Estos hidrogramas y caudales máximos se utilizan como datos de entrada en HEC-RAS, donde se simula el flujo en el cauce, determinando niveles de agua, extensión de la avenida y zonas potencialmente inundables para diferentes escenarios de precipitación.

2.2.5. Levantamiento Topográfico con Dron - Fotogrametría

2.2.5.1. Introducción al uso del dron en topografía

Los drones permiten realizar levantamientos topográficos en áreas de difícil acceso, capturando datos geoespaciales precisos para generar modelos

digitales de elevación (MDE/MDT), ortofotografías, ortomosaicos y curvas de nivel de alta resolución. Gracias a sus sensores y sistemas de navegación avanzados, se han convertido en herramientas fundamentales en ingeniería y planificación territorial.



Figura 12: Drone Phantom 4 RTK y su control de remoto.

Fuente: Elaboración propia

2.2.5.2. Fotogrametría

La fotogrametría es la técnica que permite medir objetos y superficies a partir de fotografías, utilizando la geometría de proyección y el traslape de imágenes para obtener coordenadas tridimensionales. Estas imágenes se procesan mediante software especializado, como Pix4D o Agisoft Metashape, generando nubes de puntos, ortofotos y modelos digitales del terreno (MDE) de alta resolución.

2.2.5.3. Productos generados a partir del levantamiento con dron

- **Ortofotografías**

Una ortofotografía es una imagen aérea corregida geoméricamente para representar la superficie terrestre en una proyección ortogonal. Esto significa que ha sido ajustada para eliminar los efectos de la

perspectiva y las deformaciones provocadas por la topografía, asegurando que todas las distancias en la imagen sean uniformes y precisas. Las ortofotografías son una herramienta esencial en topografía, cartografía y planificación territorial, ya que permiten la visualización de grandes áreas con alta precisión, ofreciendo una representación fiel del terreno y de las infraestructuras visibles en la superficie.

- **Modelo digital de superficie (DSM)**

El Modelo Digital de Superficie (DSM) representa la superficie real del terreno incluyendo todos los objetos sobre ella, como edificios, árboles, infraestructura y vegetación. Cada punto del DSM indica la elevación de la superficie visible en ese lugar. Se obtiene mediante fotogrametría aérea, LIDAR u otras técnicas de teledetección. El DSM es útil para análisis urbanos, planificación territorial, radiación solar, cobertura vegetal y estudios donde se requiere conocer la superficie real y no solo el terreno desnudo.

- **Modelo Digital del Terreno (MDT / MDE)**

El Modelo Digital del Terreno (MDT), también llamado Modelo Digital de Elevación (MDE), es una representación tridimensional del terreno desnudo, es decir, de la superficie terrestre sin incluir edificaciones, vegetación u otras estructuras. Cada punto del modelo tiene una coordenada de elevación específica, lo que permite analizar pendientes, relieve y áreas de escorrentía. Los MDT/MDE se obtienen mediante técnicas de teledetección como fotogrametría aérea o escaneo LIDAR con procesamiento para filtrar los elementos superficiales. Son fundamentales en hidrología, modelamiento hidráulico y estudios de inundaciones, ya que representan con precisión el terreno sobre el que fluye el agua.



Figura 13: Diferencia entre un DSM y MDE/MDT.

Fuente: <https://www.idstopografia.com/diferencias-entre-los-modelos-digitales-de-terreno/>

2.2.5.4. Análisis del cauce: secciones y curvas de nivel

A partir del MDE se extraen secciones transversales, perfiles longitudinales y curvas de nivel, que permiten analizar la geometría del cauce, su profundidad, ancho, variaciones morfológicas, pendientes y relieve. Estas secciones y curvas son fundamentales para el ingreso de datos en el modelamiento hidráulico y la simulación de crecidas y niveles de inundación.

2.2.5.5. Ventajas del uso de drones en topografía

El uso de drones en levantamientos topográficos ofrece rapidez, precisión, accesibilidad y costo-efectividad en la obtención de datos geoespaciales. Permiten cubrir grandes áreas en poco tiempo, acceder a zonas difíciles, y generar información confiable con menor esfuerzo y recursos que los métodos tradicionales.

2.2.6. Hidráulica y morfología fluvial

2.2.6.1. Hidráulica de Ríos

Pérez, Rodríguez y Molina (2009), explican que la hidráulica de ríos, también conocida como hidráulica fluvial, estudia el comportamiento de los cauces naturales a cielo abierto y los procesos que en ellos ocurren, tales como la

erosión, sedimentación, transporte de sedimentos, formación de meandros y posibles desbordamientos. Estos cauces, al ser parte del sistema de drenaje de una cuenca, están expuestos a fenómenos dinámicos que modifican su geometría y estabilidad, lo que exige un análisis detallado para prever daños y diseñar medidas de protección frente a inundaciones.

2.2.6.1.1. Ríos

Los ríos constituyen canales naturales de sección irregular y longitud variable, que transportan agua y sedimentos, drenan las partes más bajas del relieve terrestre y finalmente conducen el flujo hacia el mar, lagos o corrientes mayores. Además de su función hidrológica, representan ecosistemas con interacción de agua, vegetación y fauna. Su pendiente varía a lo largo del curso: suele ser más fuerte en los tramos iniciales de montaña y más suave en las llanuras o desembocaduras (Ochoa, 2012).

2.2.6.1.2. Clasificación morfológica de los ríos

La morfología de los ríos puede clasificarse en función de diversos factores que influyen en su forma, estructura y evolución a lo largo del tiempo. Estos factores determinan cómo el agua fluye y cómo interactúa con su entorno.

Para Pérez, Rodríguez y Molina (2009), las principales clasificaciones utilizadas para el estudio de los ríos son:

- **Según su edad geomorfológica:**

El comportamiento de los ríos se puede asemejar al del ser humano y conforme a ello por su edad se les clasifica en:

Ríos Jóvenes: Se encuentran en áreas de alta pendiente, con alta capacidad de erosión vertical y poca sedimentación. Forman valles profundos y en forma de "V", con cascadas y rápidos.

Río maduro: Se presenta en valles amplios y tiene pendiente relativamente baja, la erosión de las márgenes ha remplazado a la erosión del fondo, tienden a ser estables ya que su sección transversal en cada tramo, es capaz de transportar la carga de sedimentos en todo su recorrido, su flujo es moderadamente rápido.

Río viejo: Se encuentran en valles amplios y planicies cuyo ancho es de 15 a 20 veces mayor que el ancho de los meandros, carecen de rápidas o caídas, con pendientes muy bajas, que dan origen a la frecuente formación de pantanos en las zonas vecinas a las márgenes del río, con forma de cuerno o herradura, que son restos de meandros abandonados y que se cortaron en forma natural.

▪ **Según el material del fondo y las márgenes:**

Caracterización granulométrica del lecho y de las riberas del río:

Cohesivo: Los suelos cohesivos suelen estar compuestos por partículas finas como arcillas y limos.

Granular o friccionante: En esta clasificación se encuentra la siguiente subclasificación según el predominio del material grueso: Boleo y canto rodado si $D_m > 64 \text{ mm}$; grava y arena si $64 \text{ mm} > D_m > 2 \text{ mm}$; y arenoso si $2 \text{ mm} > D_m > 0.062 \text{ mm}$.

Acorazados: Los lechos acorazados son aquellos en los que la capa superficial del lecho del río está compuesta por partículas gruesas y compactas, lo que forma una especie de "coraza" protectora.

Bien graduados o con granulometría extendida: Son aquellos en que la desviación estándar de los diámetros es mayor que 3 ($\sigma_g > 3$). Entran en esta clasificación los sedimentos del fondo compuestos por una gran variedad de tamaños.

Mal graduados o de granulometría uniforme: A diferencia de los materiales bien graduados, los materiales mal graduados se componen de partículas de tamaño uniforme. En este caso, la desviación estándar de los diámetros es baja ($\sigma_g < 3$), lo que indica que no hay mucha variación en el tamaño de las partículas.

Estos aspectos influyen directamente en el coeficiente de rugosidad de Manning, en la erosión de márgenes y en la capacidad de transporte del río.

- **Según el grado de libertad del cauce:**

Un grado de libertad: Se dice que un cauce tiene un grado de libertad cuando al hacer pasar un determinado líquido lo único que puede variar es el tirante. En este caso no existe transporte de sedimentos.

Dos grados de libertad: Se dice que un cauce tiene 2 grados de libertad cuando transporta en forma constante un determinado gasto sólido, por lo que pueden variar tanto el tirante como la pendiente hasta que el gasto líquido sea capaz de transportar todo el gasto sólido.

Tres grados de libertad: Cuando se alimenta un canal con un determinado gasto tanto líquido como sólido en terreno aluvial, se ajustarán la pendiente, el tirante y el ancho de la sección hasta que el líquido sea capaz de transportar en forma uniforme y continua al gasto sólido, por lo que se puede decir que se tiene 3 grados de libertad.

- **Clasificación por geometría.**

Se refiere al tipo de trayectoria que presenta en planta. La sinuosidad, que se estima como el cociente entre la longitud del río y la longitud del valle en un tramo, permite diferenciar los siguientes tipos:

Recto: Normalmente se presenta en pequeños tramos y son transitorios, ya que con cualquier irregularidad se propicia la formación de meandros. Un criterio para identificarlos es el cociente de sinuosidad que no debe ser mayor a 1.2, no se aprecian líneas en el cauce, pero la línea del Thalweg (voz procedente del alemán que significa "camino del valle"), se desplaza alternativamente de una orilla a la otra, haciéndose más visible en aguas bajas.

$$P = \frac{\text{Long. Thalweg}}{\text{Long. Valle}}$$

Donde:

Long.Thalweg: es la longitud de la línea que se encuentra en medio de la parte más profunda del río y donde la corriente es más rápida.

Long.Valle: es la longitud en línea recta del valle donde se encuentra el río, desde el punto inicial al final del tramo en estudio.

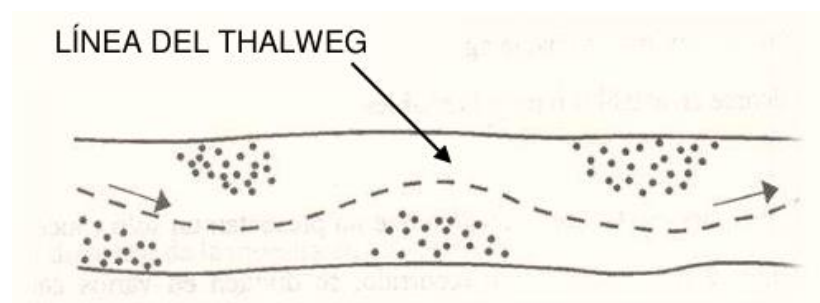


Figura 14: Río recto

Fuente: Pérez, Rodríguez y Molina, Ingeniería de ríos, 2009.

Sinuoso: Es aquel cuya sinuosidad “P”, es mayor de 1.2, pero menor de 1.5.

Con meandros: Cuando el coeficiente de sinuosidad es superior a 1.5, debido a las curvas que desarrolla el cauce desplazándose en sentido transversal del valle hacia un lado y otro. El tipo de curvas o meandros puede ser muy diferente de unos ríos a otros, pudiéndose diferenciar entre ellos una sub-clasificación que es:

- Con curvas superficiales
- Con curvas en trinchera, siendo su principal diferencia que los primeros cambian su curso en el tiempo y los segundos no, ya que generalmente se encuentran formados en material resistente.

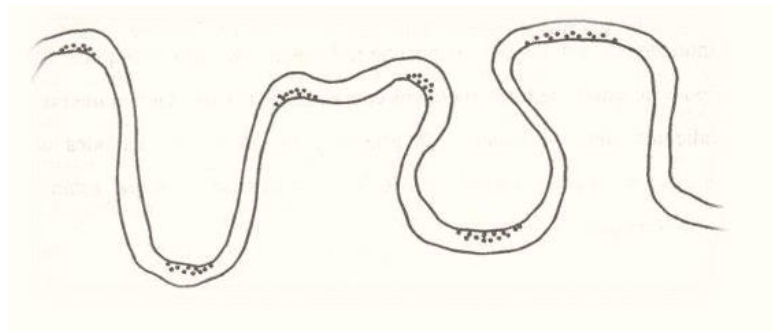


Figura 15: Río con meandros

Fuente: Pérez, Rodríguez y Molina, Ingeniería de ríos, 2009.

Trenzado: Son los que se desarrollan en tramos de mayor pendiente o cuando la carga sólida es elevada, y se caracterizan por la formación de un curso de agua ancho y poco profundo, que se divide en varios brazos dejando cauces secundarios, uniéndose hacia aguas abajo y volviéndose a separar, a modo de trenzas. La principal característica de estos ríos es que se encuentran en un proceso natural de sedimentación. (pp.103-108)

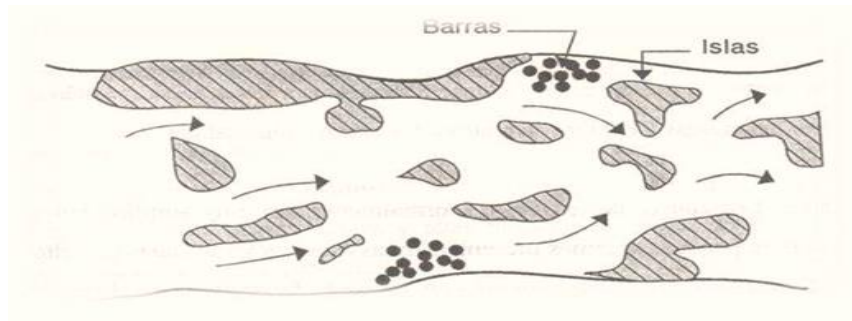


Figura 16: Río trenzado

Fuente: Pérez, Rodríguez y Molina, Ingeniería de ríos, 2009.

2.2.6.2. Coeficiente de Rugosidad de Manning

El coeficiente de rugosidad de Manning, conocido como n de Manning, es un parámetro empírico utilizado en hidráulica para cuantificar la resistencia que un cauce, canal o conducto a cielo abierto ofrece al flujo de agua. Dicho coeficiente depende de las características físicas del cauce, tales como la granulometría del lecho, la vegetación presente en las márgenes, la forma del canal y las irregularidades del fondo (Chow, 1959; French, 1985).

2.2.6.2.1. Factores que influyen en n

De acuerdo con Barnes (1967) y Chow (1959), los principales factores que afectan el valor de n son:

- Granulometría del lecho: arena, grava, cantos rodados o material cohesivo.
- Vegetación: hierbas, arbustos o árboles en márgenes y cauce.
- Forma de la sección transversal: regular o irregular.
- Obstrucciones: estructuras, troncos, rocas u otros elementos.
- Meandrosidad: grado de sinuosidad del cauce.

2.2.6.2.2. Asignación del coeficiente de Rugosidad de Manning en cauces naturales

Tablas para seleccionar el coeficiente de rugosidad

Los valores recomendados para cauces naturales, que además son los que el propio HEC-RAS recomienda también en sus tablas de ayuda, y cuyos valores se recogen en la siguiente tabla:

Tabla 14: Valores del coeficiente de rugosidad n para cauces naturales.

Descripción de la corriente	Mínimo	Normal	Máximo
A. CAUCES NATURALES			
A.1. Cursos secundarios (ancho de la superficie libre en crecidas < 30 m			
A.1.1. Cursos en planicies			
• Limpios, rectos, sin fallas ni pozos	0.025	0.030	0.033
• Rectos con algunas piedras y pastos	0.030	0.035	0.040
• Limpios con meandros, con algunos pozos y bancos	0.033	0.040	0.045
• Meandros con algunas piedras y pastos	0.035	0.045	0.050
• Meandros con muchas piedras	0.045	0.050	0.060
• Tramos sucios, con pastos y pozos profundos	0.050	0.070	0.080
• Tramo con mucho pasto, pozos profundos y cauce en crecida con muchos arbustos y matorral	0.075	0.100	0.150
A.1.2. Cursos montañosos, carentes de vegetación en el fondo, laderas con pendientes pronunciadas y árboles y arbustos en las laderas que se sumergen en niveles de crecida.			
• Cauce de grava, cantos rodados y algunas rocas	0.030	0.040	0.050
• Cauce de cantos rodados, con grades rocas	0.040	0.050	0.070
A.2. Cursos en planicies inundadas			
A.2.1. Zonas de pastos, sin arbustos			
• Pasto corto	0.025	0.030	0.035
• Pasto alto	0.030	0.035	0.050
A.2.2. Zonas cultivadas			
• Sin cultivo	0.020	0.030	0.030
• Cultivos sembrados en línea en fase de madurez fisiológica	0.025	0.035	0.045
• Cultivos sembrados a voleo en fase de madurez fisiológica	0.030	0.040	0.050
A.2.3. Zonas arbustivas			
• Escasos arbustos y pasto abundante	0.035	0.050	0.070
• Pequeños árboles y arbustos sin follaje (perada invernal)	0.035	0.050	0.060
• Pequeños árboles y arbustos con follaje (fase vegetación)	0.040	0.060	0.080
• Arbustos medianos a densos durante la parada invernal	0.045	0.070	0.110
• Arbustos medianos a densos durante la fase vegetativa	0.070	0.100	0.160
A.2.3. Zonas arbóreas			
• Sauces densos, temporada invernal	0.110	0.150	0.200
• Terreno claro con ramas sin brotes	0.030	0.040	0.050

• Terreno claro con ramas con gran crecimiento de brotes	0.050	0.060	0.080
• Zonas de explotación maderera con árboles caídos, poco crecimiento en la zonas bajas y nivel de inundación por debajo de las ramas.	0.080	0.100	0.120
• Zonas de explotación maderera con árboles caídos, pero crecimiento en las zonas bajas y nivel de inundación que alcanza a las ramas.	0.100	0.120	0.160

A.3. Cursos importantes (ancho de la superficie libre en crecida >30 m)

En este caso, los valores del coeficiente n son inferiores a los correspondientes de cauces secundarios análogos, ya que los bancos ofrecen una resistencia efectiva menor.

• Sección regular sin rocas ni arbustos	0.025	0.060
• Sección irregular y rugosa	0.035	0.100

Fuente: Adaptado de Ven Te Chow, Hidráulica de canales abiertos (1994).

Estas tablas sirven como referencia inicial, aunque la inspección de campo es fundamental para ajustar los valores a cada tramo.

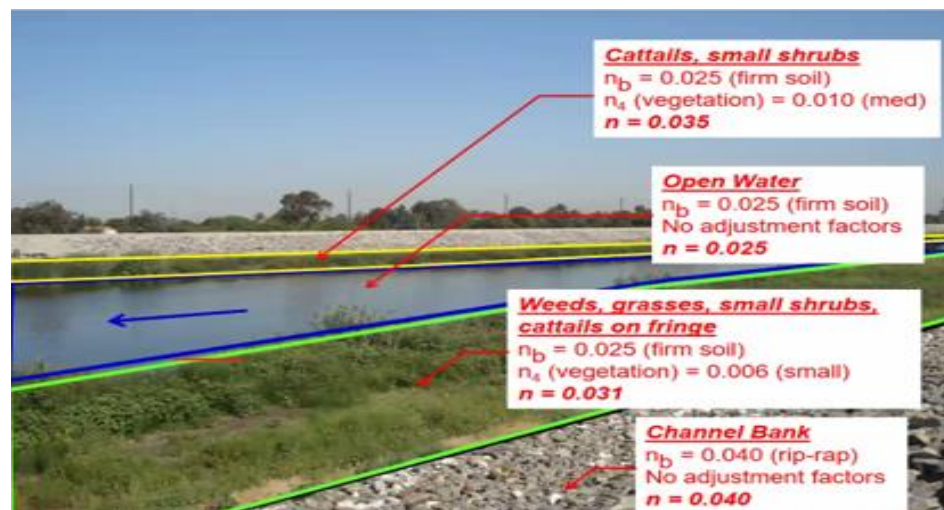


Figura 17: Asignación del coeficiente de Rugosidad de Manning.

Fuente: <https://www.hidrojing.com/como-seleccionar-el-coeficiente-de-rugosidad-de-manning-en-cauces-naturales/>

2.2.6.2.3. Aplicación en HEC-RAS

En el modelamiento hidráulico con HEC-RAS, el coeficiente de Manning es un dato de entrada esencial. Se asigna un valor de n para el lecho del río y para las márgenes, diferenciando las condiciones hidráulicas y de

cobertura vegetal. De esta manera, se representa la variabilidad de rugosidad a lo largo de cada sección transversal (USACE, 2016).

2.2.7. Modelamiento hidráulico con HEC-RAS

De acuerdo a (Brunner & CEIWR-HEC., 2016) citado por (Córdova, Barrios, Zuzunaga, Pardo y Zuzunaga, 2022) HEC-RAS es un software del Centro de Ingeniería Hidrológica Analysis System (HEC) Río (HEC-RAS) el cual permite realizar en una sola dimensión constante y cálculos hidráulicos de los ríos de flujo no estacionario 1D y 2D. Es, además, un sistema integrado de software diseñado para el uso interactivo de un entorno de red multiusuario multitarea. El sistema se compone de una interfaz gráfica de usuario (GUI), componentes de análisis hidráulicos separados, almacenamiento de datos y capacidades de gestión, gráficos e instalaciones de informes.

HEC-RAS es un software que permite simular el comportamiento del flujo de agua en ríos, tanto en condiciones de flujo constante como variable, considerando la interacción del agua con el lecho y las márgenes del cauce. Esta herramienta resulta esencial para identificar las áreas con riesgo de inundación, estimar los niveles de agua y planificar estrategias de mitigación. En el contexto de esta investigación, su aplicación es particularmente relevante para determinar la extensión de las inundaciones sobre las zonas urbanas y agrícolas.

a. Aplicación del programa:

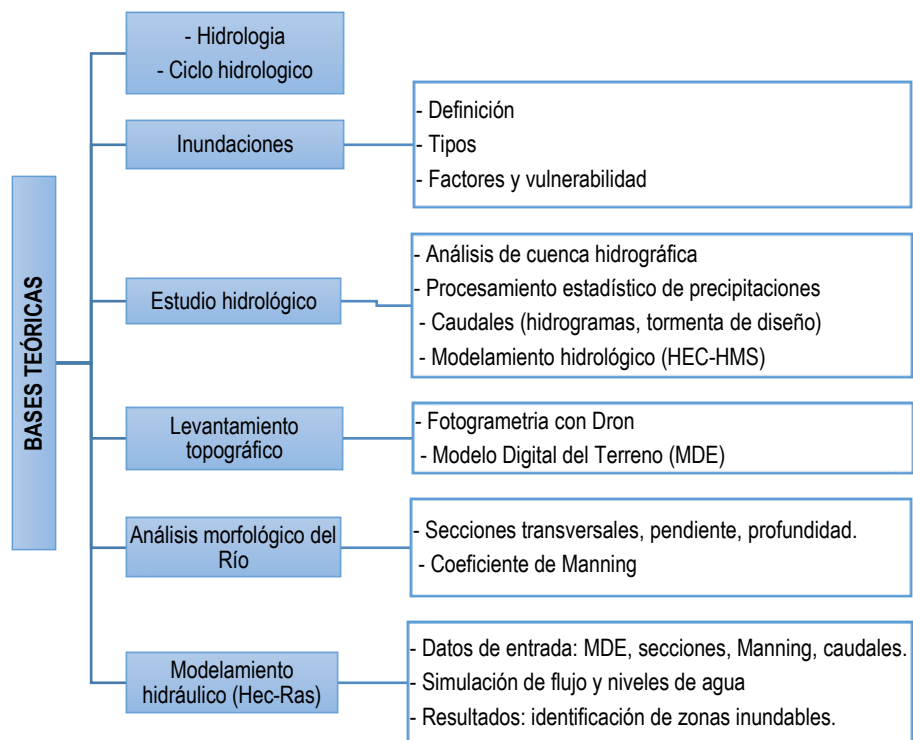
De acuerdo con Villón (2014) citado por Córdova, Barrios, Zuzunaga, Pardo y Zuzunaga (2022), HEC-RAS permite las siguientes acciones: pronosticar eventos hidrometeorológicos de inundación, demarcar fajas marginales de los cauces, simular flujos en régimen permanente y no permanente, analizar zonas inundables y simular flujos en condiciones de aguas poco profundas. Estas aplicaciones facilitan la planificación

urbana, la gestión del uso del suelo y la protección de la población e infraestructura frente a crecidas o inundaciones.

b. Datos de entrada al software HEC-RAS

Para realizar el modelamiento hidráulico, HEC-RAS utiliza un modelo digital del terreno MDE que refleja la topografía del cauce y sus áreas adyacentes, así como secciones transversales que determinan la forma y capacidad del río. También se incorpora el coeficiente de rugosidad de Manning, que representa la resistencia al flujo según las características del lecho y las márgenes, y los caudales máximos para diferentes periodos de retorno.

Figura 18: Diagrama de bases teóricas.



Fuente: Hidráulica de Tuberías y Canales, Arturo Rocha.

2.3. Definición de términos

A continuación, se presentan los conceptos más relevantes utilizados en esta investigación, cuya definición facilita la comprensión del análisis hidrológico, el modelamiento hidráulico y la evaluación de zonas inundables:

- **Avenida:** Evento hidrológico caracterizado por un aumento rápido y temporal del caudal de un río, generalmente causado por precipitaciones intensas o deshielos, que puede provocar desbordes e inundaciones (INEI, 2018).
- **Batimetría manual:** Método de medición de profundidades en cuerpos de agua mediante equipos simples como varas graduadas o ecosondas portátiles, usado para obtener la geometría del cauce del río.
- **Caudal máximo:** Es la cantidad máxima de agua que fluye a través de una sección de un río en un determinado tiempo, expresada generalmente en metros cúbicos por segundo (m^3/s). Este parámetro es fundamental para el diseño de obras hidráulicas y la evaluación del riesgo de inundaciones (Chow, 1994).
- **Coefficiente de rugosidad de Manning:** Parámetro utilizado para representar la resistencia al flujo en un canal o cauce natural, influenciado por las características del lecho y las márgenes. Su valor afecta directamente la velocidad y profundidad del agua (Manning, 1891).
- **Cuenca hidrográfica:** Área geográfica delimitada por divisorias topográficas que drena sus aguas hacia un cauce común. Su análisis es básico en estudios hidrológicos (Ariza, 2013).
- **Escorrentía superficial:** Agua que fluye sobre la superficie del terreno cuando el suelo está saturado o no puede absorber más lluvia. Es un factor clave en la generación de caudales.

- **HEC-RAS:** Software desarrollado por el Hydrologic Engineering Center del USACE, utilizado para simular flujos de agua en ríos y canales. Permite análisis unidimensional (1D) y bidimensional (2D) de eventos hidráulicos (Brunner, 2016).
- **Inundación:** Proceso mediante el cual el agua cubre temporalmente áreas que normalmente no están sumergidas, debido a desbordes, lluvias intensas o colapsos en sistemas de drenaje (CENEPRED, 2014).
- **Margen izquierda / margen derecha:** Lados del cauce de un río, determinados en sentido del flujo del agua: la margen izquierda queda a la izquierda y la margen derecha a la derecha.
- **Medidas de mitigación:** Son acciones o estrategias que se implementan con el fin de reducir el riesgo de un peligro o amenaza. La mitigación implica la prevención o reducción de los efectos adversos de un evento potencialmente dañino para las personas, la propiedad o el medio ambiente.
- **Medidas de mitigación estructurales:** Las medidas estructurales implican la construcción de infraestructuras físicas (como diques, gaviones, defensas rivereñas, edificaciones resistentes, sistemas de drenaje, etc.) que reducen la vulnerabilidad de una comunidad o región ante un evento extremo.
- **Medidas de mitigación no estructurales:** Se refieren a acciones que no implican la construcción de infraestructuras físicas, como la educación y capacitación de la población, los planes de emergencia, la sensibilización y concientización, entre otras para reducir el riesgo de un peligro o amenaza.
- **Modelamiento de zonas inundables:** Proceso de representación y simulación del comportamiento de un río durante eventos de crecida, con el fin de identificar las áreas susceptibles de ser cubiertas por agua.

Integra procesos hidrológicos e hidráulicos para delimitar las áreas de riesgo y cuantificar la extensión y profundidad de la inundación.

- **Modelo Digital del Terreno (MDT):** Representación tridimensional del terreno que incluye solo la superficie del suelo, sin vegetación ni construcciones. Se utiliza para análisis hidrológicos e hidráulicos (IDRISI, 2012).
- **Periodo de retorno:** Intervalo de tiempo estadístico en el cual se espera que ocurra un evento hidrológico de determinada magnitud (como una precipitación máxima o un caudal extremo). No implica regularidad, sino probabilidad (Gumbel, 1958).
- **Precipitación máxima:** Cantidad más alta de lluvia registrada en un periodo de tiempo específico (por ejemplo, 24 horas), utilizada para el cálculo de caudales máximos y simulación de inundaciones (SENAMHI, 2020).
- **Profundidad de inundación:** Altura del agua sobre el terreno durante una inundación, medida en metros.
- **Sección transversal:** Corte vertical del cauce de un río en un punto específico, que permite analizar la forma y dimensiones del canal, útil para el modelamiento hidráulico (Chow, 1994).
- **Uso de suelo:** Clasificación de la superficie terrestre según su función o actividad principal, como agrícola, urbana, ganadera o forestal.
- **Zonas agrícolas:** Terrenos destinados a la producción agropecuaria que pueden ser afectados por el desborde del río. Su análisis es relevante por la pérdida de cultivos, la afectación económica a los agricultores y la alteración de la seguridad alimentaria.

- **Zona inundable:** Área susceptible a ser cubierta por agua durante un evento hidrometeorológico extremo, determinada mediante estudios hidrológicos, hidráulicos y topográficos (CENEPRED, 2014).
- **Zonas urbanas:** Áreas habitadas, con infraestructura y equipamiento urbano, que resultan expuestas a la inundación. Su vulnerabilidad radica en la afectación directa a la población, viviendas, servicios básicos y vías de comunicación.

2.4. Bases conceptuales

Se darán a conocer los conceptos de la variable y dimensiones sobre las cuales se desarrolla la investigación:

2.4.1. Modelamiento de zonas inundables

El modelamiento de zonas inundables es una herramienta fundamental en la gestión de riesgos hídricos, ya que permite identificar las áreas expuestas a eventos extremos de crecidas fluviales. A través de la aplicación de modelos hidrológicos e hidráulicos se simula el comportamiento del caudal en diferentes periodos de retorno, determinando la magnitud y extensión de las inundaciones. Según Chow, Maidment y Mays (1994), estos modelos permiten evaluar el impacto de la escorrentía sobre el cauce y las zonas adyacentes, siendo una base sólida para la planificación territorial y la reducción de la vulnerabilidad.

2.4.1.1. Zonas inundables

Las zonas inundables son áreas geográficas que, debido a su proximidad a cuerpos de agua como ríos, arroyos, lagos o mares, son susceptibles de ser cubiertas por agua durante eventos de crecidas, lluvias intensas, desbordamientos o tsunamis. Estas áreas son determinadas mediante estudios geomorfológicos, hidrológicos e hidráulicos, con base en la probabilidad de ocurrencia de inundaciones en un período de retorno específico.

2.4.1.2. Dimensiones de análisis

En la presente investigación se tomará como dimensiones las zonas agrícolas y zonas urbanas de inundación para caracterizar la extensión de la inundación en esas áreas y evaluar su impacto. Ya que cada zona tiene diferentes características que pueden influir en la forma en que la inundación afecte a la población y al medio ambiente.

- **Zonas Urbanas**

Se entiende como aquellas áreas habitadas, con infraestructura y equipamiento urbano, que resultan expuestas a la inundación. La vulnerabilidad de estas zonas radica en la afectación directa a la población, viviendas, servicios básicos y vías de comunicación (Arias, 2006).

- **Zonas Agrícolas**

Son los terrenos destinados a la producción agropecuaria que pueden ser afectados por el desborde del río. La importancia de su análisis radica en la pérdida de cultivos, la afectación económica a los agricultores y la alteración de la seguridad alimentaria (FAO, 2017), las zonas agrícolas pueden variar en tamaño desde pequeñas parcelas familiares hasta grandes plantaciones. Las inundaciones pueden causar daños significativos a los cultivos y al suelo.

La diferenciación entre zonas urbanas y zonas agrícolas permitirá analizar de manera específica cómo la inundación afecta a cada tipo de zona. Este enfoque es clave para diseñar estrategias de mitigación ajustadas a las características particulares de cada entorno. Por ejemplo, en zonas urbanas, se priorizarían sistemas de drenaje y protección de infraestructuras, mientras que en zonas agrícolas se enfocarían en la protección del suelo y la reducción de la erosión.

Estas dimensiones se determinan en función del estudio hidrológico, el levantamiento topográfico, la caracterización morfológica del río y el modelamiento hidráulico, los cuales permiten delimitar con precisión las áreas en riesgo.

2.5. Variables

- **Variable**

Modelamiento de zonas inundables

2.6. Operacionalización de variables

La tabla siguiente, muestra la operacionalización de variables de la investigación.

Tabla 15: Definición operativa de variables

Variable	Dimensiones	Indicadores	Factores a medir	Unidad de medida
Modelamiento de zonas inundables	Zonas Urbanas	Área urbana inundada	Superficie afectada	ha
	Zonas Agrícolas	Área agrícola inundada	Superficie afectada	ha

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Ámbito espacial y temporal

3.1.1. Ámbito Espacial

La investigación se desarrolla en un tramo de 15,040.00 km del río Opamayo, comprendido entre el puente Pumuri (localidad de Santa Rosa - Acraquia) y el puente Challhuas (localidad de Challhuas – Daniel Hernández). Este sector del río está ubicado en los distritos de Acraquia, Ahuaycha, Pampas y Daniel Hernández, provincia de Tayacaja, departamento de Huancavelica, este tramo se caracteriza por la presencia de zonas urbanas y zonas agrícolas con alta susceptibilidad a inundaciones.

Tabla 16: Coordenadas de ubicación de zona de estudio.

CORDENADAS UTM					
N°	Progresiva	N	E	Z (m.s.n.m.)	Descripción
1	Km 0+000.0	8628679.03	509866.34	3259.48	Puente Pumuri (Localidad Santa Rosa - Distrito de Acraquia)
2	Km 15+040.0	8634421.77	517786.4293	3183.57	puente Challhuas (Localidad Challhuas - Distrito de Daniel Hernández)

Fuente: Elaboración propia.



Fotografía 3: Ámbito espacial de estudio

Fuente: Elaboración propia.

3.1.2. Ámbito Temporal

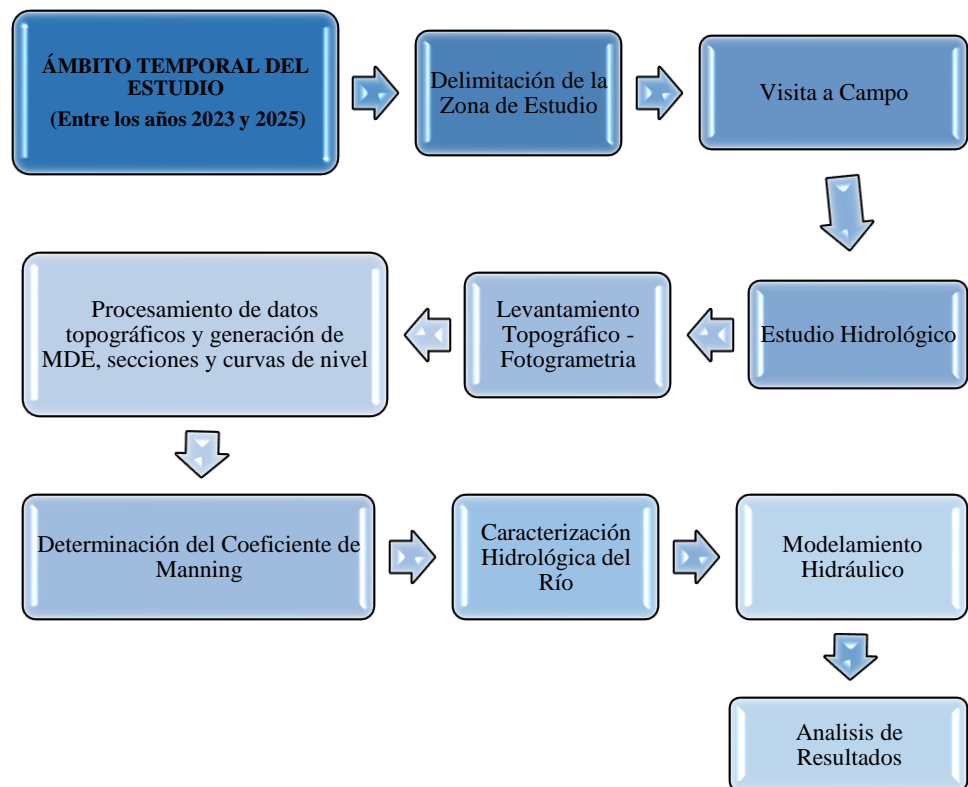
La investigación se desarrolló entre los años 2023 y 2025, abarcando las etapas de:

- Análisis hidrológico (Análisis de cuenca hidrográfica, recolección de datos de precipitaciones, procesamiento estadístico de la información y determinación de caudales para distintos periodos de retorno).
- Recopilación de información en campo (visitas técnicas, inspecciones visuales, entrevistas y registros fotográficos) en temporada de estiaje y de lluvias.
- Levantamiento topográfico en campo mediante dron con fotogrametría, GPS y estación total. Posteriormente, en gabinete se procesó la

información obtenida para la generación del Modelo Digital de Elevación (MDE), secciones transversales y curvas de nivel del área de estudio.

- Determinación del coeficiente de rugosidad (Batimetría y tablas de valores de rugosidad de Manning).
- Modelamiento hidráulico para periodos de retorno de 25, 50, 100, 200 y 500 años.
- Elaboración e interpretación de resultados.

Figura 19: Esquema gráfico del ámbito temporal de estudio.



Fuente: Elaboración propia.

3.2. Métodos de investigación

La presente investigación es no experimental:

- Según Hernández, Fernández y Baptista (2010), “La investigación no experimental son estudios que se realizan sin la manipulación deliberada

de variables y en los que sólo se observan los fenómenos en su ambiente natural para analizarlos” (p.152).

Por lo tanto, el método de investigación es no experimental, ya que se enfocará en la recopilación y análisis de datos existentes, registros de precipitación (SENAMHI), datos hidrológicos e información topográfica, para identificar, describir y analizar las zonas inundables en el tramo Acraquia – Daniel Hernández del río Opamayo. No se realizarán intervenciones o manipulaciones intencionales en el entorno o en las condiciones del estudio. En cambio, se utilizarán técnicas de modelamiento hidráulico y análisis de datos para comprender el comportamiento del flujo de agua en diferentes escenarios de periodos de retorno, sin alterar las variables físicas del sistema.

3.2.1. Tipo de investigación

Para Borja (citado por Chalco y Cullanco, 2020, p.73), de acuerdo al fin que persigue la presente tesis, corresponde a una investigación aplicada, porque busca conocer, actuar, construir y modificar una realidad problemática orientados a la solución de esta.

Además, la investigación aplicada tiene como finalidad resolver problemas específicos mediante la utilización de conocimientos teóricos y científicos en contextos reales. En este caso, el estudio se orienta al modelamiento hidráulico de zonas inundables en un tramo específico del río, con el propósito de identificar y cuantificar las zonas urbanas y agrícolas vulnerables a inundaciones. Este enfoque busca comprender y predecir el comportamiento del flujo de agua en dichas zonas, proporcionando información útil para la gestión del riesgo y la planificación territorial.

En base a lo mencionado, la investigación tiene un propósito práctico y se espera que genere resultados y conclusiones que sean aplicables en el ámbito de la gestión de riesgos y la planificación urbana en los distritos mencionados. Los hallazgos obtenidos a través del modelamiento hidráulico podrían ayudar

a tomar decisiones informadas para mitigar los riesgos de inundación, desarrollar medidas de prevención y establecer directrices para la gestión adecuada de las zonas inundable

3.2.2. Nivel de investigación

El nivel de investigación es descriptivo:

- Según Hernández, Fernández y Baptista (2010), “El nivel de investigación descriptivo, busca especificar propiedades, características y rasgos importantes de cualquier fenómeno que se analice. Describe tendencias de un grupo o población” (p. 80).
- El nivel de investigación descriptivo se enfoca en describir y analizar características o fenómenos en particular.

En base a lo mencionado, la investigación se centrará en identificar, describir y analizar las zonas inundables en el tramo del río Opamayo, que se extiende desde el distrito de Acraquia hasta el distrito de Daniel Hernández. Se utilizará un modelamiento hidráulico para comprender el comportamiento del flujo de agua y su impacto en las áreas propensas a inundaciones. Se recopilará información a través de diversas técnicas, para obtener una descripción detallada y precisa de las áreas urbanas y agrícolas que podrían verse afectadas por las inundaciones en diferentes periodos de retorno generando mapas que apoyen en la planificación y respuesta ante inundaciones.

3.2.3. Diseño de investigación

La presente investigación adopta un diseño descriptivo simple, cuyo objetivo principal es describir las características de la muestra a partir de la observación directa.

M → O

Donde:

M: Muestra (corresponde al tramo del río Opamayo comprendido entre Acraquia y Daniel Hernández.)

O: Observación de la muestra.

3.3. Población, muestra y muestreo

Población

La población se refiere a la totalidad de elementos que constituyen el objeto de estudio en una investigación. En otras palabras, la población se define como el conjunto completo de individuos, objetos, eventos o medidas que comparten una característica común y que son de interés para el estudio (Castro, 2016).

Por lo tanto, la población de estudio está constituida por el río Opamayo que recorre por Acraquia, ahuaycha, Pampas y Daniel Hernández, en la provincia de Tayacaja, región Huancavelica.

Muestra

La muestra se define como un subconjunto de la población que se selecciona mediante diversas técnicas para representar y estudiar la población completa. La muestra se selecciona con el objetivo de obtener resultados precisos y confiables sobre la población, ya que es difícil y a menudo impracticable estudiar todos los elementos de la población completa (Castro, 2016).

La muestra seleccionada para la investigación comprende un tramo de 15,040.00 km del río Opamayo, comprendido desde el puente de Pamuri (Acraquia) hasta el puente Challhuas (Daniel Hernández). Este sector fue delimitado para el presente estudio por su historial de eventos de inundación, así como por la presencia de zonas urbanas y zonas agrícolas vulnerables. En este tramo se realizaron el levantamiento topográfico, la recopilación de datos hidrológicos y el análisis hidráulico mediante modelamiento.

Muestreo

Hernández, Fernández y Baptista, (2014) definen: El muestreo determinístico es un procedimiento no probabilístico en el que la selección de las unidades de estudio no se realiza al azar, sino que se basa en criterios específicos definidos por el investigador, con el fin de garantizar que la muestra represente de manera intencional las características de interés de la población.

En este caso, aunque la población está conformada por todo el río Opamayo, se seleccionó como muestra de manera intencional el tramo de 15.040 km comprendido entre Acraquia y Daniel Hernández, por ser la zona donde se han registrado antecedentes de inundaciones y donde se concentra la mayor afectación potencial a zonas agrícolas y urbanas. Por lo tanto, la selección no es aleatoria, sino basada en criterios técnicos y de relevancia para el análisis hidrológico e hidráulico, lo que corresponde a un muestreo determinístico o intencional.

3.4. Técnicas, instrumentos y procedimientos para recolección de datos

3.4.1. Técnicas para recolección de datos

En esta investigación para la recolección de datos, se emplearán las siguientes técnicas:

Revisión documental:

Para (Carrasco, 2005) citado por (Matamoros, 2019, p.74) define al análisis documental como todo objeto o elemento material que contiene información procesada de hechos, sucesos o acontecimientos naturales o sociales que se han dado en el pasado y que poseen referencias valiosas (datos, cifras, fichas, índices, indicadores, etc.) para un trabajo de investigación.

En el contexto de este proyecto, se recurrirá al análisis de documentos que incluyen datos históricos y meteorológicos, como los registros de precipitaciones máximas suministrados por el SENAMHI, que son fundamentales para el modelamiento de zonas inundables y la proyección de futuros escenarios de riesgo. También eventos de inundación, así como información topográfica y antecedentes de estudios previos.

Observación directa:

Para (Carrasco, 2005) citado por (Matamoras, 2019, p.74) “Es un proceso sistemático de obtención, recopilación y registro de datos empíricos de un objeto, un suceso, un acontecimiento o conducta humana con el propósito de procesarlo y convertirlo en información”.

En este caso, la observación será directa en campo el cual permitirá recopilar datos sobre el entorno, las características del área de estudio, el uso del suelo y condiciones físicas del cauce en el tramo de análisis.

Entrevistas:

Según Hernández, Sampieri, Fernández y Baptista (2014), la entrevista es una técnica de recolección de datos que permite obtener información a través de una comunicación directa entre el investigador y el sujeto de estudio, siguiendo una guía de preguntas previamente establecidas. Esta puede ser estructurada y no estructurada.

La entrevista no estructurada se caracteriza por su flexibilidad, ya que no sigue un cuestionario rígido, lo que permite al investigador adaptar las preguntas de acuerdo con la interacción con el entrevistado.

La medición:

Según Nunnally y Bernstein (1994), "la medición es el proceso mediante el cual se atribuyen valores numéricos a las propiedades de los objetos o eventos, reflejando la cantidad en que una característica está presente".

Obtención de datos como cotas, distancias, anchos de cauce, niveles de agua y caudales, para alimentar el modelamiento hidráulico.

La descripción:

Según Arias (2006), la descripción "permite registrar y comunicar de manera sistemática las propiedades y características observables de un fenómeno, facilitando su comprensión y análisis".

Además, se basa en la recolección y presentación ordenada de los datos obtenidos mediante el análisis documental, observación y medición. Esta técnica permitirá detallar de manera sistemática las características del cauce, las zonas urbanas y agrícolas vulnerables a inundación, así como los niveles máximos de caudal alcanzados en eventos de inundación, con el fin de sustentar el modelamiento hidráulico y la delimitación de áreas inundables.

3.4.2. Instrumentos para recolección de datos

Para la recolección de datos en esta investigación sobre el modelamiento de zonas inundables, los instrumentos que se utilizarán son los siguientes:

Instrumentos de la revisión documental:

- **Estaciones meteorológicas (SENAMHI):** Proporcionan datos históricos de precipitaciones máximas en 24 horas, fundamentales para el análisis hidrológico y la estimación de caudales en diferentes periodos de retorno.
- **Revisión de documentos:** Búsqueda, selección y análisis de información proveniente de fuentes secundarias como libros especializados, artículos científicos, revistas técnicas, informes institucionales, páginas web oficiales y bases de datos.

Instrumentos de la observación directa:

- **Cámara fotográfica y cámara filmadora:** Captura de imágenes de las zonas de estudio para documentar las condiciones del cauce, uso de suelo, las áreas inundables, las estructuras existentes y otros elementos de interés.
- **Cuaderno de campo:** Se consignan datos de la visita, tales como la fecha, hora y ubicación; las condiciones climáticas observadas; las características del río (ancho, profundidad y estado de las márgenes); la situación de las infraestructuras cercanas; los testimonios de pobladores sobre inundaciones pasadas; así como las evidencias directas de desbordes o zonas anegadas.

Instrumentos de la entrevista (No estructurada):

- Se realizaron preguntas directas a residentes, autoridades locales que viven cerca del río para obtener testimonios sobre eventos de inundación pasados, complementando los datos históricos y observaciones de campo. Además, se entrevistó a algunos profesionales especializados en hidrología e hidráulica, para complementar el estudio

Instrumentos de la medición:

- **Instrumentos:** Para la recolección de datos se emplearán equipos de alta tecnología, como dron PHANTOM 4 RTK, GPS, receptor GPS RTK, estación total, Tablet, mira topográfica, cinta métrica y demás que facilitarán el levantamiento topográfico y demás estudios. Estos instrumentos proporcionarán información precisa sobre las elevaciones del terreno, necesaria para generar modelos detallados de la zona de estudio.

3.5. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Para el procesamiento y análisis de datos se emplearán las siguientes técnicas:

- **Cuantitativas:** Se utilizarán softwares especializados de ingeniería para el procesamiento, modelamiento y análisis de datos hidrológicos e hidráulicos, incluyendo:
 - QGIS: Para delimitación de la cuenca del río Opamayo y determinación de sus parámetros.
 - Hydrognomon: Para procesar y analizar los datos hidrometeorológicos (precipitaciones).
 - HEC-HMS: Para el modelamiento hidrológico, estimación de caudales en distintos periodos de retorno.
 - Google Earth: Para la visualización de imágenes satelitales y georreferenciación preliminar del área de estudio.
 - Microsoft Excel: Para el procesamiento de series de datos hidrometeorológicos y cálculos estadísticos.
 - Lenguaje Python: Para la automatización de cálculos y análisis estadístico de datos hidrológicos.
 - AutoCAD Civil 3D (versión 2022): Para la edición y procesamiento de levantamientos topográficos.
 - HEC-RAS: Para el modelamiento hidráulico del río y simulación de escenarios de inundación para diferentes periodos de retorno, identificando zonas vulnerables y afectaciones potenciales.

- **Cualitativas:** Se realizó la descripción y análisis de los datos obtenidos, basados en la información recopilada durante las visitas de campo. Esto incluyó el uso de fotografías y videos para documentar las características del terreno, las condiciones del río y las estructuras presentes en la zona de estudio, lo que permitió contextualizar y complementar los resultados obtenidos en los análisis cuantitativos.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Presentación y análisis de resultados

Análisis de información

En esta investigación, ofreceremos un esquema que describe las etapas, los instrumentos y las metodologías utilizadas para calcular los parámetros establecidos y lograr los objetivos planteados. Para ello, la investigación se llevó a cabo en cinco etapas:

Tabla 17: Esquema general de Etapas, Instrumentos y metodologías.



<p style="text-align: center;">ANTECEDENTES DE INUNDACIÓN Y VISITA A CAMPO</p>	<p>INSTRUMENTOS:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Artículos, noticias, reportes de defensa civil. ▪ Entrevistas a pobladores y algunas autoridades locales. ▪ Imágenes satelitales ▪ Google Earth ▪ Cámara fotográfica ▪ Cuaderno de campo ▪ GPS <p>METODOLOGIA:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Revisión de eventos históricos: Recopilación de noticias de periódicos locales sobre eventos de inundaciones ocurridos en años anteriores en este tramo del río a estudiar. ▪ Entrevista a residentes y autoridades locales: Recopilación de testimonios sobre antecedentes de inundaciones y medidas de mitigación que se aplicaron. ▪ Inspección directa e identificación del uso de suelo: Recorrido de la zona de estudio, análisis de imágenes satelitales y fotografías, para la clasificación del uso de suelo en áreas agrícolas y urbanas. ▪ Identificación de zonas propensas a inundaciones: Se analiza las imágenes satelitales para identificar áreas críticas que han sufrido o pueden sufrir inundaciones, enfocándose en las zonas urbanas y agrícolas de los distritos que se encuentran en el tramo del río. <p>RESULTADOS:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Inventario visual de antecedente históricos de inundación (daños sufridos en las zonas urbanas y agrícolas y registros del incremento de caudal y desbordes del río). ▪ Fotografías de campo y entrevistas documentadas. ▪ Inventario visual de usos de suelo, estructuras vulnerables.
ETAPA II	
ESTUDIO HIDROLÓGICO	
<p style="text-align: center;">ANÁLISIS DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA</p>	<p>INSTRUMENTOS:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ ASTER GDEM de 30 m por 30 m de resolución espacial del Ministerio del Ambiente. ▪ Otros datos satelitales. ▪ Software QGIS, GRASS y SAGA ▪ Google Earth <p>METODOLOGÍA:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Delimitación de cuenca. ▪ Cálculo de las características morfométricas y geomorfológicas de la cuenca <p>RESULTADOS:</p>

	Características morfométricas y geomorfológicas de la cuenca (área, perímetro, pendiente, longitud de cauce, etc.)
<p>PROCESAMIENTO ESTADÍSTICO DE LA INFORMACIÓN</p>	<p>INSTRUMENTOS:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Datos Pluviométricos del SENAMHI (Precipitaciones máximas en 24 horas) de la estación meteorológica de Pampas (Código 11201). ▪ Microsoft Excel ▪ Software Hydrognomon ▪ Otras herramientas de estadística hidrológica. <p>METODOLOGÍA:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Recolección de datos de precipitaciones máximas en 24 horas con 35 años de registro (1989 - 2023) proporcionado por la estación meteorológica Pampas, ubicada dentro del área de estudio del SENAMHI. ▪ Análisis de información pluviométrica: Relleno de datos faltantes, consistencia de datos y extensión del registro. ▪ Análisis estadístico de precipitaciones: Análisis de frecuencia, pruebas de bondad de ajuste y periodo de retorno. ▪ Conversión de precipitaciones a intensidades y determinación de curvas IDF. <p>RESULTADOS:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Precipitaciones máximas asociados a cada periodo de retorno. ▪ Curvas IDF generadas como insumo para el modelamiento hidrológico. ▪ Patrones hidrológicos identificados.
<p>MODELAMIENTO HIDROLOGICO (Caudales máximos)</p>	<p>INSTRUMENTOS:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Software HEC-HMS Versión 4.1 ▪ Lenguaje Python ▪ Microsoft Excel <p>METODOLOGÍA:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Simulación de caudales basados en precipitaciones máximas aplicando algunos de los métodos de cálculo de hietogramas de diseño, perdidas por infiltración, flujo base y conversión en escorrentía directa. <p>RESULTADOS:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Caudales asociados a cada periodo de retorno (25, 50, 100, 200 y 500), listos para el análisis hidráulico posterior e hidrogramas.
ETAPA III	
LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO – FOTOGRAMETRÍA Y PROCESAMIENTO DE DATOS	
	<p>INSTRUMENTOS:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Cámara fotográfica ▪ Cuaderno de campo

<p style="text-align: center;">SELECCIÓN DE LA UBICACIÓN DE LOS BMs</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ GPS <p>METODOLOGIA:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Visita al área de estudio para identificar los puntos óptimos para ubicar los (BMs). ▪ Seleccionar la ubicación de los BMs a intervalos de 500 m a 1 km, asegurando la estabilidad del terreno y buena visibilidad. ▪ Marcado de los BMs, verificando que estén en una superficie plana y estable, alejada de posibles elementos que alteren su visibilidad o estabilidad (árboles, edificaciones en construcción, áreas inundables). <p>RESULTADOS:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Ubicación y marcación precisa donde se colocarán los 22 BMs.
<p style="text-align: center;">MONUMENTADO DE LOS BMs</p>	<p>INSTRUMENTOS:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Cámara fotográfica ▪ Cuaderno de campo ▪ GPS <p>MATERIALES</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Hormigón, piedra mediana, cemento portland tipo II, acero corrugado de 3/8", pintura (blanco y rojo) y agua. <p>HERRAMIENTAS MANUALES:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Bastidor de madera para encofrado, lampas, carretilla, barreta, pico y brochas. <p>METODOLOGIA:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Excavación de 30 x 30 cm con profundidad de 50 cm. ▪ Materialización de BMs en campo (concreto con acero) ▪ Pintado y numeración de los BMs para asegurar su correcta identificación en el campo. ▪ Fotografía de cada BM para documentar su ubicación y características. <p>RESULTADOS:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 22 BMs monumentados, pintados y enumerados a lo largo del tramo de estudio.
<p style="text-align: center;">LEVANTAMIENTO CON DRONE</p>	<p>INSTRUMENTOS:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Drone Phantom 4 RTK y control remoto. ▪ Base GPS de Estacionamiento para Drone. ▪ GPS diferencial (Geodésico) y Tablet. ▪ Estación Total, prisma ▪ Radios boquitoquis ▪ Wincha y Flexómetros ▪ Cámara fotográfica digital ▪ Yeso ▪ Cuaderno de campo y otros. <p>METODOLOGIA:</p>

	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Obtención de coordenadas de los BMs en tiempo real con alta exactitud en el terreno con GPS diferencial, lo cual es esencial para la precisión del modelo topográfico. ▪ Remarcado de los BMs con yeso para facilitar su identificación durante el levantamiento topográfico. ▪ Programación y ejecución de vuelos por tramos con el dron y captura de imágenes aéreas y levantamiento de puntos topográficos clave. <p>RESULTADOS:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Coordenadas y altura de los BMs en tiempo real con alta exactitud en el terreno. ▪ Imágenes aéreas de alta resolución capturadas con dron del tramo de río.
<p style="text-align: center;">PROCESAMIENTO DE DATOS</p>	<p>INSTRUMENTOS:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Software fotogramétrico: Pix4D ▪ Procesamiento de datos con AutoCAD Civil 3D <p>METODOLOGIA:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Importación de imágenes capturadas con el dron. ▪ Alineación y ajuste de las imágenes y generación de la ortofoto georreferenciada de alta resolución. ▪ Creación del Modelo Digital de Elevación (MDE). ▪ Derivación de curvas de nivel con intervalos definidos y elaboración de secciones transversales y perfiles del cauce. <p>RESULTADOS:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Ortofoto de alta resolución del tramo del río. ▪ Modelo Digital de Elevación (MDE). ▪ Curvas de nivel, secciones transversales y perfiles del cauce.
ETAPA IV	
ANÁLISIS MORFOLÓGICO Y DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE MANNING	
<p style="text-align: center;">ANÁLISIS MORFOLÓGICO DEL RÍO</p>	<p>INSTRUMENTOS:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Observación e inspección directa en campo ▪ Imágenes aéreas obtenidas con dron (fotogrametría) ▪ Cámara fotográfica <p>METODOLOGÍA:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Recorrido a lo largo del tramo del río con el fin de registrar visualmente la continuidad del cauce, conectividad lateral y la relación con las llanuras de inundación, ▪ Identificación del tipo de cauce y evaluación del grado de libertad del cauce. ▪ Detección de rasgos morfológicos como meandros activos, bancos de arena, islas, erosión en márgenes, vegetación, etc. <p>RESULTADOS:</p>

	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Perfil descriptivo del cauce a lo largo del tramo del río (incluyendo grado de libertad, forma predominante y estado evolutivo) y registro fotográfico.
<p style="text-align: center;">DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE MANNING</p>	<p>INSTRUMENTOS:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Cámara fotográfica ▪ Mira topográfica ▪ Cinta métrica ▪ Tablas de rugosidad de Manning <p>METODOLOGÍA:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Se evaluaron las secciones transversales del río cada 20 m, obtenidas a partir de los planos topográficos y de la batimetría manual, con el fin de identificar variaciones en la anchura, profundidad y pendiente del cauce. ▪ La inspección visual directa, complementada con imágenes aéreas captadas mediante dron y la batimetría manual permitió identificar el material presente en la margen izquierda, margen derecha y lecho del río. ▪ Con los datos topográficos, la observación directa y la batimetría manual, se procedió a asignar los valores de rugosidad utilizando las tablas de Manning, considerando el tipo de material presente en la margen izquierda, margen derecha y lecho del río, así como las condiciones particulares de cada sección transversal. <p>RESULTADOS:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Determinación del valor específico del coeficiente de Manning para cada sección de 20 m en todo el tramo del río, en función al tipo de material de las márgenes y el lecho del río acompañada de fotografías.

ETAPA V

MODELAMIENTO HIDRÁULICO

<p style="text-align: center;">MODELAMIENTO HIDRÁULICO</p>	<p>INSTRUMENTOS:</p> <ul style="list-style-type: none"> • HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center’s River Analysis System) • ArcGIS <p>METODOLOGÍA:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Datos de entrada: Resultados del estudio hidrológico (caudales máximos para periodos de retorno de 25, 50, 100, 200 y 500 años), levantamiento topográfico procesado (curvas de nivel, modelo digital del terreno), parámetros de rugosidad (coeficiente de Manning) y condiciones de contorno. ▪ Configuración de las condiciones hidráulicas ▪ Simulación de escenarios para diferentes escenarios (eventos de 25, 50,100, 200 y 500 años) y evaluar el comportamiento del flujo y las zonas de mayor riesgo de inundación. ▪ Procesamiento y visualización de resultados <p>RESULTADOS:</p>
---	---

	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mapas de inundación para los periodos de retorno de 25, 50,100, 200 y 500 años, mostrando la extensión, profundidad y velocidad del flujo. ▪ Identificación de zonas agrícolas y urbanas inundables, con especial énfasis en terrenos de cultivo y áreas pobladas. ▪ Determinación de los puntos críticos con mayor riesgo de desbordamiento. ▪ Insumos técnicos para la planificación de medidas de mitigación, prevención y gestión del riesgo de desastres en la cuenca del río.
RESUMEN DE RESULTADOS	

Fuente: Elaboración propia.

Una vez definido el esquema general de trabajo, se procedió al desarrollo de cada etapa de manera secuencial, describiendo la metodología, instrumentos y técnicas empleadas para garantizar la obtención de información precisa y representativa del tramo de estudio.

4.1.1. ETAPA I: Recopilación de información

En esta etapa se reunieron antecedentes históricos y datos actuales que permiten comprender el comportamiento del río Opamayo y su influencia en las áreas aledañas, cuyo objetivo fue obtener una visión integral de la magnitud, recurrencia y efectos de las inundaciones, así como del uso actual del suelo y la localización de estructuras vulnerables.

- **Revisión de eventos históricos:**

Se recopilaron antecedentes relevantes para comprender la magnitud y recurrencia de las inundaciones en el tramo del río Opamayo. La revisión incluyó fotografías de noticias que evidencian el incremento del caudal durante la temporada de lluvias, generando desbordes que afectaron tanto áreas agrícolas como urbanas.



Figura 20: Evidencias del desbordamiento del río Opamayo en los distritos por donde fluye – zona agrícola (2011)

Fuente:<https://diariocorreo.pe/peru/desborde-de-rio-afecta-pastizales-en-pampas-tayacaja-444518/?ref=dcr>



Figura 21: Evidencia del desbordamiento del río Opamayo en los distritos por donde fluye – zona agrícola (2011)

Fuente:<https://diariocorreo.pe/peru/desborde-de-rio-afecta-pastizales-en-pampas-tayacaja-444518/?ref=dcr>



Figura 22: Evidencias del desbordamiento del río Opamayo en los distritos por donde fluye – zona urbana (2012).

Fuente: <https://diariocorreo.pe/peru/huancavelica-desborde-de-rio-arrasa-con-casas-de-cinco-distritos-de-tayacaja-476923/?ref=dc>



Figura 23: Evidencia del desbordamiento del río Opamayo en los distritos por donde fluye – zona urbana (2015)

Fuente: <https://diariocorreo.pe/peru/rio-desborda-e-inunda-cuatro-casas-rusticas-570265/?ref=dc>

- **Entrevistas a residentes y autoridades locales:**

Se entrevistó a residentes y autoridades locales para recopilar testimonios sobre antecedentes de inundaciones en la zona y las medidas de mitigación que se habían implementado.



Fotografía 4: Entrevista a residentes locales.

Fuente: Elaboración propia.

- **Inspección del área de estudio:**

Comprendió la observación directa del tramo delimitado, con captura de imágenes del uso del suelo y estructuras vulnerables como puentes y otras construcciones ubicadas cerca de las riberas del río Opamayo.

- **Identificación del uso del suelo:**

A partir las imágenes satelitales, fotografías, visitas de campo y los conceptos mencionados en el marco teórico, se pudo identificar y clasificar los diferentes usos de suelo en el tramo que comprende Acraquia – Daniel Hernández del río Opamayo, los cuales están representados por:

Zonas urbanas:

- **Viviendas:** Áreas con edificaciones de material rústico y material noble en los distritos de Acraquia, Ahuaycha, Pampas y Daniel Hernández.
- **Pavimento:** Corresponde vías pavimentadas ubicadas en los distritos de Ahuaycha y Pampas, que representan la menor cobertura en la zona de estudio



Fotografía 5: Se observa la proximidad de las edificaciones al cauce del río Opamayo.

Fuente: Elaboración propia.



Fotografía 6: Se observa la proximidad de viviendas al cauce del río Opamayo.

Fuente: Elaboración propio.



Fotografía 7: Vivienda de adobe construida al borde del cauce del río Opamayo.

Fuente: Elaboración propia.



Fotografía 8: Vivienda construida al borde del cauce del río Opamayo.

Fuente: Elaboración propia.

Zonas agrícolas:

Los predominantes en el tramo Acraquia - Daniel Hernández son:

- **Cultivos:** Los principales cultivos en la zona son papa, maíz, alverjas, habas, cebada, quinua y trigo, los cuales contribuyen a la economía local y la seguridad alimentaria.

- **Pastos altos:** Predominan especies como alfalfa, trébol, raigrás, avena forrajera, que se emplean principalmente como alimento para el ganado.
- **Pastos cortos:** Estas áreas están cubiertas principalmente por especies como grama y Ray Grass, utilizadas como alimento y para el pastoreo de ganado.



Fotografía 9: Proximidad de terrenos agrícolas (cultivo de quinua) al cauce del río Opamayo.

Fuente: Elaboración propia.



Fotografía 10: Proximidad de terrenos agrícolas (cultivo de cebada) al cauce del río Opamayo.

Fuente: Elaboración propia.



Fotografía 11: Proximidad de terrenos agrícolas (cultivo de maíz y cultivo de papa) al cauce del río Opamayo.

Fuente: Elaboración propia.



Fotografía 12: Proximidad de terrenos agrícolas (cultivo forrajero-alfalfa) al cauce del río Opamayo.

Fuente: Elaboración propia.



Fotografía 13: Áreas de pastos cortos, empleados en la alimentación y pastoreo del ganado, ubicados en las riberas del río Opamayo

Fuente: Elaboración propia.

- **Identificación de otras estructuras vulnerables como puentes y otras construcciones ubicadas cerca de las riberas del río Opamayo.**



Fotografía 14: Puente de concreto ya deteriorado sobre el cauce del río Opamayo.

Fuente: Elaboración propia.



Fotografía 15: Puente construido con tablones de maderas en deterioro sobre el cauce del río Opamayo. La mayoría de puentes que se encuentran en este tramo son de este material (puentes rústicos).

Fuente: Elaboración propia.

A partir de la observación en campo, el análisis de imágenes satelitales y la revisión de antecedentes históricos de inundaciones, se determinó que las áreas agrícolas y urbanas ubicadas en el tramo Acraquia – Daniel Hernández son los más propensos a sufrir daños durante eventos de crecidas, especialmente en la temporada de lluvias. Esta condición se debe, principalmente, a la ocupación del cauce natural del río, de las llanuras de inundación y a la presencia de infraestructura en zonas de flujo potencial.



Figura 24: Áreas agrícolas y urbanas ubicadas en el tramo Acraquia – Daniel Hernández presentan una alta vulnerabilidad a inundaciones (2025).

Fuente: <https://www.facebook.com/watch/?v=1310895213528411>

4.1.2. ETAPA II: Estudio Hidrológico

El estudio hidrológico se realizó en tres subprocesos que permitieron un análisis integral del comportamiento de la cuenca y las precipitaciones:

4.1.2.1. Análisis de la Cuenca Hidrográfica

Delimitación de la cuenca del río Opamayo

Para la delimitación de la cuenca del río Opamayo se utilizó información cartográfica proveniente del GEOSERVIDOR del SIGMINAM: ASTER GDEM con resolución espacial de 30 m x 30 m. Se trabajó con los cuadrantes

S13W75 y S13W76, correspondientes al área de estudio y fue procesado en software QGIS, permitiendo la definición precisa de los límites de la cuenca y sirviendo como base para el cálculo de parámetros geomorfológicos

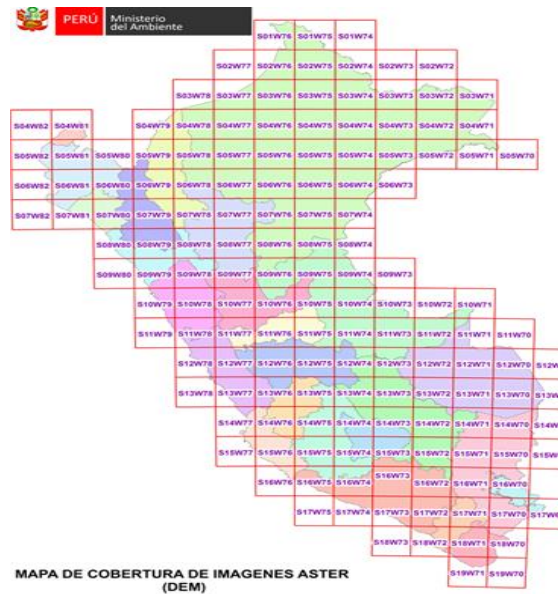


Figura 25: Información ASTER GDEM

Fuente: Ministerio del Ambiente

Ubicación geográfica punto de aforo: El punto de aforo seleccionado en el río Opamayo, se encuentra ubicado en las coordenadas UTM: E: 517680.07 m y N: 8634376.30 m, a una altitud de 3186 m.s.n.m.



Fotografía 16: Vista de punto de interés y/o aforo.

Fuente: Elaboración propia

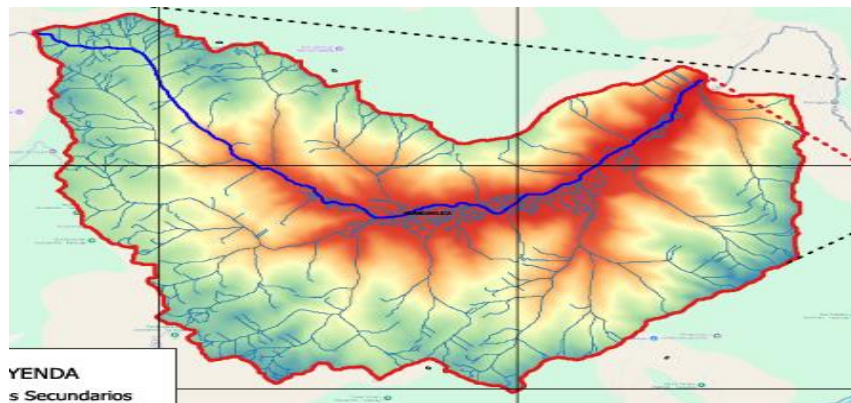


Figura 26: Delimitación de la cuenca hidrográfica del río Opamayo

Fuente: Elaboración propia

Características morfométricas y geomorfológicas de la cuenca

Las características morfométricas y geomorfológicas de la cuenca constituyen indicadores clave para analizar la dinámica y el comportamiento hidrológico de una cuenca, especialmente frente a eventos extremos como crecidas e inundaciones. En el presente estudio, una vez delimitada la cuenca del río Opamayo, se procedió a calcular las principales características empleando el software QGIS y las fórmulas descritas en el marco teórico.

Tabla 18: Características morfométricas de la subcuenca del río Opamayo.

CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS		
Descripción de la subcuenca Opamayo	Valor	Unidad
Área (A)	188.49	Km ²
Perímetro (P)	73.00	Km
Índice de compacidad - Gravelius (Kc)	1.490	Adimensional
Longitud del cauce principal (Lc)	25.135	Km
Factor de forma (F)	0.66	Adimensional
Rectángulo equivalente	$\frac{L}{30.31} \quad \frac{l}{6.22}$	m
Pendiente media del cauce principal (S)	0.042	m/m
Cota máxima	4480.000	m.s.n.m
Cota mínima	3183.000	m.s.n.m
Radio de elongación	0.616	%
Radio de circularidad	0.444	

Índice de pendiente de la cuenca (Ip)	0.1606	
Coefficiente de masividad (CM)	20.320	m/Km
Coefficiente de orografía (Co)	0.07788	
Densidad de drenaje (Dd)	2.220	Km/Km2
Coefficiente de estabilidad de río (C)	0.448	km
Tiempo de concentración (Tc)	96.928	Min

Fuente: Elaboración propia.

Curva hipsométrica:

La curva hipsométrica representa la relación entre la altitud y la superficie de la cuenca ubicada por encima de dicha altitud. Para su construcción se consideraron los intervalos de altura y las áreas correspondientes definidas por las curvas de nivel. Posteriormente, se determinó el área acumulada situada sobre cada altitud del contorno y se graficó la relación entre altitudes y áreas acumuladas. Asimismo, se elaboró la curva de frecuencia, que muestra en porcentajes la distribución de las superficies en los diferentes rangos altitudinales.

Tabla 19: Datos Curva de Frecuencia Subcuenca río Opamayo

Altitud (m.s.n.m.)	Áreas parciales km2	Áreas acumuladas Km2	Áreas que quedan Km2	% Total
3285.00	17.18	17.18	171.31	9.12
3385.00	11.18	28.37	160.13	5.93
3485.00	11.08	39.44	149.05	5.88
3585.00	12.50	51.94	136.55	6.63
3685.00	14.19	66.14	122.36	7.53
3785.00	15.85	81.99	106.51	8.41
3885.00	16.60	98.59	89.90	8.81
3985.00	17.13	115.72	72.78	9.09
4085.00	20.94	136.66	51.83	11.11
4185.00	26.87	163.53	24.97	14.25
4285.00	20.75	184.28	4.21	11.01
4385.00	3.81	188.09	0.40	2.02
4485.00	0.4	188.49	0.00	0.21
4585.00	0	188.49	0.00	0.00
Total	188.49			100.00

Fuente: Elaboración propia.

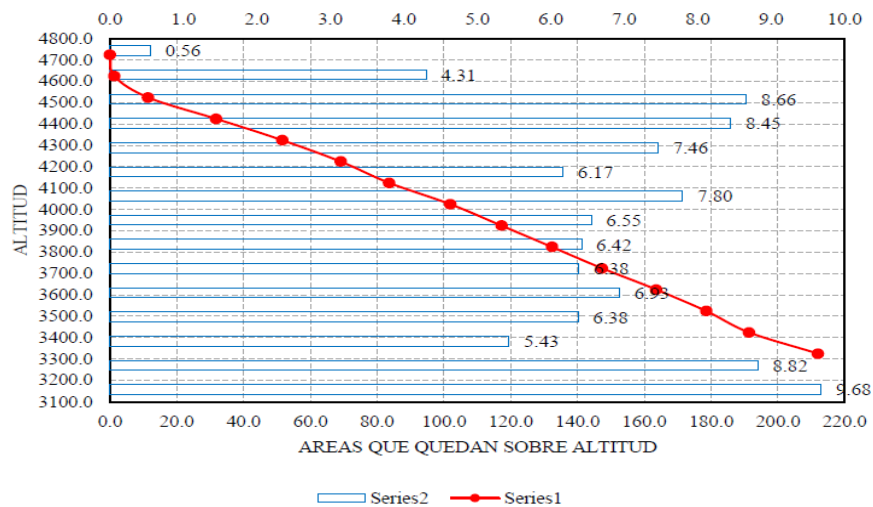


Figura 27: Curva Hipsométrica e Histograma de frecuencias

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a las características morfométricas calculadas:

- La cuenca del río Opamayo presenta un área total de 188,49 km², lo que la clasifica como una subcuenca pequeña de acuerdo al cuadro 3. En este tipo de cuencas existe riesgo de inundaciones súbitas, especialmente cuando se presentan lluvias intensas en cortos períodos de tiempo.
- La cuenca del río Opamayo presenta un índice de compacidad de Gravelius $K_c = 1.49$ y un factor de forma $F_f = 0.30$, lo que indica que posee una forma alargada. Esta morfología favorece que el escurrimiento se concentre de manera progresiva hacia el cauce principal, pudiendo prolongar la duración de crecidas y pero mantener altos niveles de caudal por más tiempo.
- La longitud del cauce principal es de 25.135 km que abarca desde la nacimiento del río principal hasta el punto de aforo de la subcuenca. Una longitud relativamente extensa permite la acumulación de aportes de

agua desde diferentes sectores, aumentando el volumen de caudal durante eventos extremos.

- La pendiente media del cauce principal es de 4.20 % un cauce con inclinación suave. Esta condición reduce la velocidad de evacuación del agua y puede favorecer la acumulación en ciertas zonas, incrementando la posibilidad de desbordes durante lluvias prolongadas.
- Densidad de drenaje 2.22 km/km² esto refleja que la cuenca cuenta con numerosos cauces secundarios que concentran rápidamente el agua hacia el río principal, lo que aumenta la probabilidad de crecidas repentinas durante lluvias intensas.
- El tiempo de concentración es de 96,93 minutos, lo que significa que el caudal máximo puede alcanzarse en menos de dos horas después de iniciada una lluvia intensa, aumentando la vulnerabilidad de las zonas bajas.

4.1.2.2. Procesamiento estadístico de la información

- Recolección de datos históricos de precipitaciones máximas en 24 horas, registrados por la estación meteorológica Pampas, operada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). El registro abarca 35 años (1989 - 2023), lo que permitió realizar una evaluación hidrológica representativa y analizar la influencia de las condiciones climáticas sobre la subcuenca del río Opamayo.

Tabla 20: Estación meteorológica.

N°	Código	Estación	Latitud	Longitud	Altitud (m.s.n.m.)	Tipo 1
1	112012	Pampas	12°24'7.3"	74°53'2.9"	3250	Meteorológico

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 21: Precipitación máxima en 24 horas

PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HORAS (mm)												
ESTACIÓN: PAMPAS/000508/DZ12				ALT: 3250 MSNM				LONG: 74° 53' 2.9"				
PT202 PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HORAS (mm)				LAT: 12° 24' 7.3"				DPTO: HUANCAMELICA				
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1989		20.5						2	4	8.5	8	
1990			12	4	9.9		4			7.2	11	11.6
1991			9.8	8.2	7.2	7.8	6.6	0	14.1	8.2	6.8	6.2
1992	8.7	9.8	9.1	8.7	0	8.2	3.4	19.1	10.5	12.1	9.4	11.4
1993		16.8	11.4	21		5.9	3.9	9.4		8.6	14.9	18.5
1994		8.3			1.5	0.9	0	8	5.9	14.9	7	
1995	32.8	25.1		8.3	6.3	6.6	10.3	7.5	10.8	7.1	12.7	18.7
1996	10.1	33.7	28.2	11.5	4.3	3.1	2.9	3.4	12.5	8.8	16.9	6.4
1997	24.6	15.8	18.9	8.4	13.2	2	4.3	12.3	16.5	5.7	12.6	25.3
1998	23.2	21.5	10.1	3.1	3.4	6.1	0	13.1	1.6	27.1	5.7	15.7
1999	12.9	23.8	22.8	10.4	2.3	0	11.7	0	9.5	10.4	8.1	15.8
2000	30.3	27.2	10	16.4	28.2	6.3	7.9	4.3	4.2	5.6	20.3	16.4
2001	14	7.8	6.8	2.8	13	0	17.7	4.6	2.2	14.5	27.2	22.1
2002		13	9.9	8.9	9.7	1.5	8.6	6.6	17.6	10.6		20.5
2003	11.6	14.7	17.2	15.3	6.2	0	0	16.6	8.4	6.3	10.9	13.6
2004	9	25.9	19.6	7.5	6.3	9.5	14	5.6	13.5		14.2	22.4
2005	12.3	12.1	22.1	9.4	1.1	0	6.4	4.4	10.1	13.4	9.6	18.9
2006	32.6	11.3	18.3	9.8	6.7	4.8	0	6	7.1		8.6	9.5
2007	16.5	16.7	22.1	12.8		0	8.6	1.4	4.8		8.1	
2008	19.8	18	8.5	4.7	7	10.5	0	4.4	6.7	17	12.2	11.6
2009	16	19	11.1	12.6	6.3	2.4	12.6	11.2	13.7	6.8	14	13.6
2010	24.4	18		14.4	2.2		1	8.2	10.4	12.8	3.1	21
2011	29.2	20	24	21	6.8	4.6	4.4	10.1	10.6	15	19.8	17.6
2012	19.8	47.4	12.6	13.6	5.8	18.2	6.4	5.2	8	28.5	15.2	12.4
2013	21	16.7	13	4.9	8.9	5.4	5.4	21.4	4.3	11.2	10.4	19.6
2014	8.8	23.7	19.1	12.8	4	1.8	9.8	6.2	15.2	16.4	15.7	21.6
2015	31.6	18.6	17	12.2	8.6	10.5	8.6					
2016	9.6	24.6	11.2	9.7		1.6	12.2	4.6	2.6	11.7	6.8	15.2
2017	18.6		21.5	7.3	6.8	0	5.1	7	11.2	11	12.9	9.2
2018	22.4	19.5	22.5	7.4	4.5	4.6	11.5	19	6.6	8.1	15	11.7
2019	15.4	18.3	19.1	11	9.8	2.8	11.1	0.2	6.9	13.5	16	17.2
2020		20.8	19.5	7.1	5.6	5.5	7.6	0	14.1	7.6	4.8	23.5
2021	14.4	20.7	17.9	21.5	13.9	2	2.6	3.2	8.7	12.5	21.8	13.1
2022	22.5	20.8	13.4	11.8	9.5	3.4	1.1	7.6			8.9	18.5
2023	20	18	12.7	8.7	17.4	0	0.7					

Fuente: SENAMHI

- **Análisis de información pluviométrica:** Se aplicó el método de datos dudosos para verificar la consistencia de la información, complementado con la estimación de datos faltantes y la revisión de la extensión del registro.

Análisis de datos dudosos

La información de precipitaciones máximos registrados en la estación pluviométrica mencionada de la subcuenca del río Opamayo, fue analizada para evaluar su confiabilidad. Esta evaluación se llevó a cabo a través del análisis de datos dudosos (outliers).

Para detectar los datos dudosos, se calcularon umbrales superiores e inferiores para cada serie de datos de las precipitaciones máximas de la estación Pampas.

Tabla 22: Precipitación máxima en 24 horas (mm).

PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HORAS (mm)												
ESTACION: PAMPAS/000506/DZ12												
ALT: 2250 MSNMM												
LONG: 74° 23' 23"												
EPTO: HUANCAYELICA												
LAT: 12° 24' 7.37"												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DI
PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HORAS (mm)												
1989	14.3	201.5	15.2	19.3	6.1	8.1	0.2	2.0	4.0	8.5	8.0	20.8
1990	24.28	201.8	12.0	4.0	9.9	4.8	4.0	5.2	7.2	11.0	10.1	11.6
1991	11.9	15.7	9.8	8.2	7.2	7.8	6.6	0.0	14.1	8.2	6.8	6.2
1992	8.7	9.8	9.1	8.7	0.0	8.2	3.4	19.1	10.5	12.1	9.4	11.4
1993	24.5	16.8	11.4	21.0	23.7	5.9	3.9	9.4	5.7	8.6	14.9	18.5
1994	17.6	8.3	14.2	5.7	3.5	0.9	0.0	8.0	5.9	14.9	7.0	14.7
1995	32.8	25.1	12.5	8.3	6.3	6.6	10.3	7.5	10.8	7.1	12.7	18.7
1996	10.1	33.7	28.2	11.5	4.3	3.1	2.9	3.4	12.5	8.8	16.9	6.4
1997	24.0	15.8	18.9	8.4	18.2	0.0	4.3	12.3	16.5	5.7	12.6	20.3
1998	23.2	21.5	10.1	3.1	3.4	6.1	0.0	13.1	1.6	27.1	5.7	15.7
1999	12.8	23.8	22.8	10.4	2.3	0.0	11.7	0.0	9.5	10.4	8.1	15.8
2000	30.3	27.2	10.0	16.4	26.2	6.3	7.9	4.3	4.2	5.6	20.3	16.4
2001	14.0	7.8	6.8	2.8	13.0	0.0	17.7	4.6	2.2	14.5	27.2	22.1
2002	13.8	13.0	9.9	8.9	9.7	1.5	8.6	6.6	17.6	10.6	8.4	20.5
2003	13.6	14.7	17.2	15.3	6.2	0.0	0.0	16.6	8.4	6.3	10.9	13.6
2004	9.0	25.0	19.0	7.5	6.3	9.5	14.0	5.6	13.5	20.8	14.2	22.4
2005	12.3	12.1	22.1	9.4	1.1	0.0	6.4	4.4	10.1	13.4	9.6	18.9
2006	32.0	11.3	18.3	9.8	6.7	4.8	0.0	6.0	7.1	8.6	8.6	9.5
2007	16.5	16.7	22.1	12.8	5.7	0.0	8.6	1.4	4.8	12.7	8.1	12.7
2008	19.8	18.0	8.5	4.7	7.0	10.5	0.0	4.4	6.7	17.0	12.2	11.6
2009	16.0	19.0	11.1	12.6	6.3	2.4	12.6	11.2	13.7	6.8	14.0	13.6
2010	24.4	18.0	13.3	14.4	2.2	10.9	1.0	8.2	10.4	12.8	3.1	23.0
2011	29.2	20.0	24.0	21.0	6.8	4.6	4.4	10.1	10.6	15.0	19.8	17.6
2012	19.8	37.4	12.6	13.6	5.8	18.2	6.4	5.2	8.0	28.5	15.2	12.4
2013	21.0	16.7	13.0	4.9	8.9	6.4	5.4	21.4	4.3	11.2	10.4	19.6
2014	8.8	23.7	19.1	12.8	4.0	1.8	9.8	6.2	15.2	16.4	15.7	21.6
2015	31.6	18.6	17.0	12.2	8.6	10.5	8.6	5.4	1.8	13.7	4.0	18.2
2016	9.6	24.6	11.2	9.7	7.2	1.6	12.2	4.6	2.6	11.7	6.8	15.2
2017	16.6	18.9	21.5	7.3	6.8	0.0	5.1	7.0	11.2	11.0	12.9	9.2
2018	22.4	19.5	22.5	7.4	4.5	4.0	11.5	19.0	6.6	8.1	15.0	11.7
2019	15.4	18.2	19.1	11.0	8.5	2.8	11.1	10.2	6.9	13.5	14.0	17.2
2020	12.8	20.8	10.5	7.1	8.6	5.5	0.0	0.0	14.1	7.6	4.8	26.5
2021	14.4	20.7	17.9	21.5	13.9	2.0	2.6	3.2	8.7	12.5	21.8	13.1
2022	22.5	20.8	13.4	11.8	8.5	3.4	1.1	7.6	8.5	28.1	8.9	18.5
2023	20.0	18.0	12.7	8.7	17.4	0.0	0.7	6.0	8.7	10.2	5.3	11.1
	18.6	18.2	15.0	10.6	8.0	6.6	6.0	7.3	8.7	13.7	11.8	16.2

Fuente: Elaboración propia.

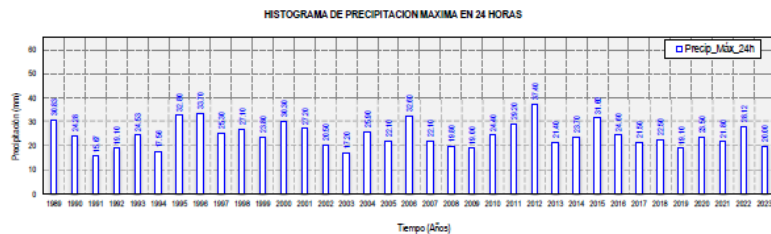


Figura 28: Histograma de Precipitación máxima en 24 horas.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 23: Relación Precipitación máxima verdadera y precipitación en intervalos fijos.

Numero de Intervalos de Observación	Relación
1	1.13
2	1.04
3-4	1.03
5-8	1.02
9-24	1.01

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 24: Precipitación máxima en 24 horas

PRECIPITACION MAXIMA DIARIA (mm)			
CO PAMPAS			
Nº	Año	Ppmáx(mm)	Ppmáx(mm) corregida
01	1989	30.83	32.06
02	1990	24.28	25.25
03	1991	15.67	16.29
04	1992	19.10	19.86
05	1993	24.53	25.51
06	1994	17.56	18.26
07	1995	32.80	34.11
08	1996	33.70	35.05
09	1997	25.30	26.31
10	1998	27.10	28.18
11	1999	23.80	24.75
12	2000	30.30	31.51
13	2001	27.20	28.29
14	2002	20.50	21.32
15	2003	17.20	17.89
16	2004	25.90	26.94
17	2005	22.10	22.98
18	2006	32.60	33.90
19	2007	22.10	22.98
20	2008	19.80	20.59
21	2009	19.00	19.76
22	2010	24.40	25.38
23	2011	29.20	30.37
24	2012	37.40	38.90
25	2013	21.40	22.26
26	2014	23.70	24.65
27	2015	31.60	32.86
28	2016	24.60	25.58
29	2017	21.50	22.36
30	2018	22.50	23.40
31	2019	19.10	19.86
32	2020	23.50	24.44
33	2021	21.80	22.67
34	2022	28.12	29.24
35	2023	20.00	20.80
Media		24.58	25.660
Desv. Estándar		5.233	5.443
Coef. Asimetría		0.5540	0.5540

Fuente: Elaboración propia.

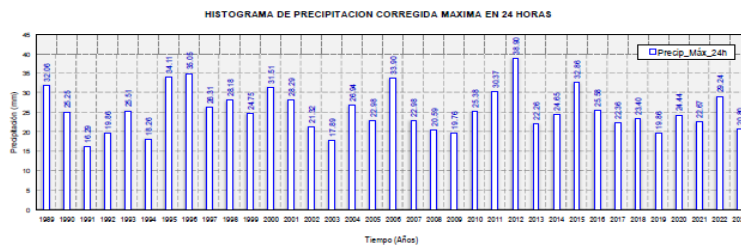


Figura 29: Histograma de Precipitación máxima corregida en 24 horas

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 25: Prueba de datos dudosos

N°	Estación Pampas			Log (P _{pmáx})
	Año	P _{pmáx} (mm)	P _{pmáx} (mm) corregida	
01	1989	30.83	32.06	1.51
02	1990	24.28	25.25	1.40
03	1991	15.67	16.29	1.21
04	1992	19.10	19.86	1.30
05	1993	24.53	25.51	1.41
06	1994	17.56	18.26	1.26
07	1995	32.80	34.11	1.53
08	1996	33.70	35.05	1.54
09	1997	25.30	26.31	1.42
10	1998	27.10	28.18	1.45
11	1999	23.80	24.75	1.39
12	2000	30.30	31.51	1.50
13	2001	27.20	28.29	1.45
14	2002	20.50	21.32	1.33
15	2003	17.20	17.89	1.25
16	2004	25.90	26.94	1.43
17	2005	22.10	22.98	1.36
18	2006	32.60	33.90	1.53
19	2007	22.10	22.98	1.36
20	2008	19.80	20.59	1.31
21	2009	19.00	19.76	1.30
22	2010	24.40	25.38	1.40
23	2011	29.20	30.37	1.48
24	2012	37.40	38.90	1.59
25	2013	21.40	22.26	1.35
26	2014	23.70	24.65	1.39
27	2015	31.60	32.86	1.52
28	2016	24.60	25.58	1.41
29	2017	21.50	22.36	1.35
30	2018	22.50	23.40	1.37
31	2019	19.10	19.86	1.30
32	2020	23.50	24.44	1.39
33	2021	21.80	22.67	1.36
34	2022	28.12	29.24	1.47
35	2023	20.00	20.80	1.32
Media	24.58	25.60	1.398	
Desv. Estándar	5.233	5.443	0.091	
Coef. Asimetría	0.5540	0.5540	0.1243	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 26: Determinación de OUTLIERS

Método del WATER RESOURCES COUNCIL		
Determinación de OUTLIERS		
Media	25.560	mm
Desviación Estándar	5.443	
Coef. Asimetría (Cs)	0.554	
P1 (Media de Logaritmos)	1.3982114	
SL (Desviación Estándar de los Logaritmos)	0.0911380	
Coeficiente de Asimetría (Cs)	0.12433986	
n (Número de Datos)	35	
Kn	2.639	
Cs > +0.4	Dato dudoso alto	
Cs < -0.4	Dato dudoso bajo	
-0.4 < Cs = 0.124 < 0.4		
PL1 (Límite Superior)	1.589905	
PL2 (Límite Inferior)	1.212053	
P1 (Límite Superior)	38.896	mm
P2 (Límite Inferior)	16.295	mm
Yh	1.63872473	
Qh	43.5235916	mm
El mayor valor registrado	38.896 < 43.524	No Existe Dato Dudoso
Yh	1.15769611	
Qh	14.3779677	mm
El mínimo valor registrado	16.2949483114804 > 14.378	No Existe Dato Dudoso

Fuente: Elaboración propia.



Figura 30: Determinación de OUTLIERS

Fuente: Elaboración propia.

- **Análisis estadístico de precipitaciones:** Análisis de frecuencia, pruebas de bondad de ajuste y periodo de retorno.

Análisis de frecuencia

El análisis de frecuencia se aplica a la serie de precipitaciones máximas diarias de 24 horas, registradas anualmente en la estación meteorológica Pampas, con el objetivo de estimar la magnitud de un evento correspondiente a un período de retorno T (25, 50, 100, 200 y 500 años).

Para ello, la serie anual de máximos se ajustó a cinco distribuciones teóricas de uso extendido en hidrología de extremos: Normal, Gumbel, Log-Normal, Pearson III y Log-Pearson III.

Pruebas de Ajuste

Para determinar que tan adecuado es el ajuste de los datos a una distribución de probabilidades se han propuesto una serie de pruebas estadísticas que determinan si es adecuado el ajuste. Donde se aplicó la Prueba de Kolmogorov-Smirnov.

Salida del Programa Hydrognomon

Para la realización del ajuste de prueba probabilista de las precipitaciones máximas en 24 horas, así como para las pruebas de

bondad de ajuste se utilizó el software Hydrognomon en diferentes periodos de retorno. Cuyos resultados se presentan en las siguientes graficas:

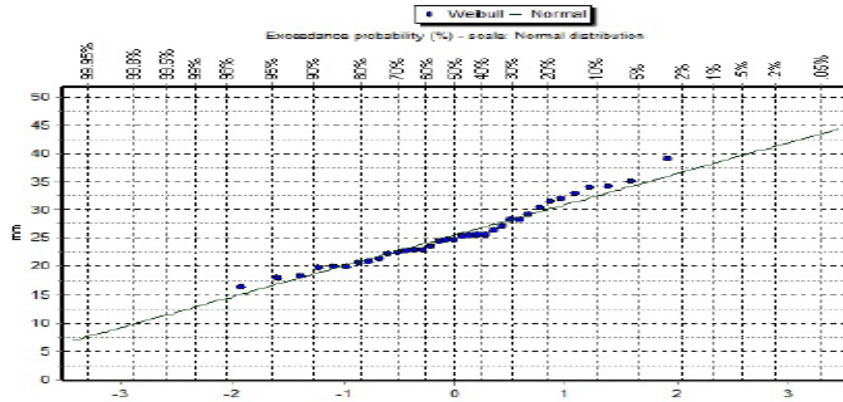


Figura 31: Ajuste de la precipitación máxima 24 horas a la distribución normal

Fuente: Elaboración propia

Siendo la precipitación de diseño de 38.22, para un periodo de retorno $T=100$ años, con un delta teórico de 0.1093, para un delta crítico de 0.0654 y un nivel de significancia de 0.05.

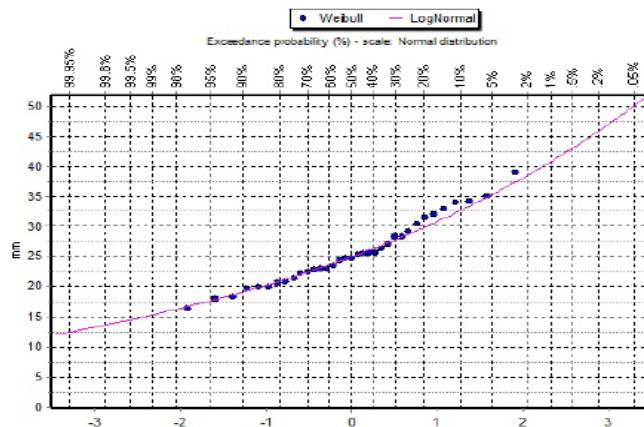


Figura 32: Ajuste de la precipitación máxima 24 horas a la distribución Log-normal 2P.

Fuente: Elaboración propia

Siendo la precipitación de diseño de 39.86, para un periodo de retorno $T= 100$ años, con un delta teórico de 0.0673, para un delta crítico de 0.0654 y un nivel de significancia de 0.05.

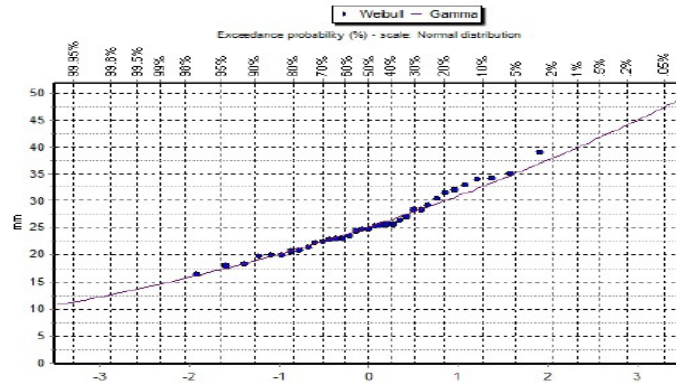


Figura 33: Ajuste de la precipitación máxima 24 horas a la distribución Gamma 2P

Fuente: Elaboración propia

Siendo la precipitación de diseño de 39.09, para un periodo de retorno $T= 100$ años, con un delta teórico de 0.0810, para un delta crítico de 0.0654 y un nivel de significancia de 0.05.

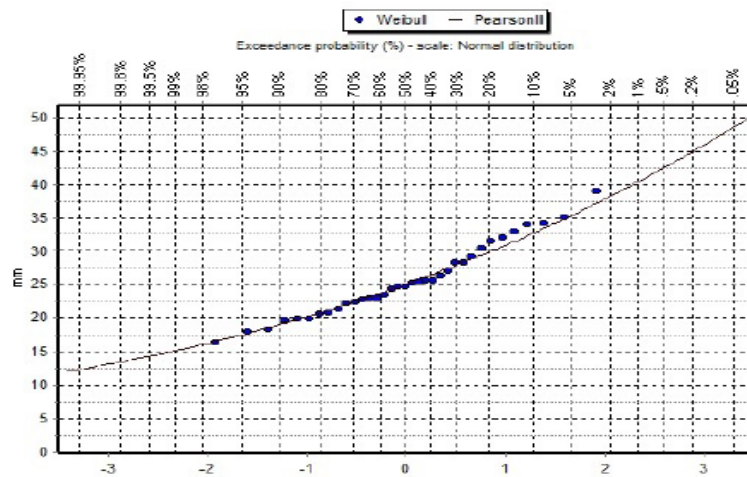


Figura 34: Ajuste de la precipitación máxima 24 horas a la distribución Gamma 3P

Fuente: Elaboración propia

Siendo la precipitación de diseño de 39.524, para un periodo de retorno $T=100$ años, con un delta teórico de 0.0724, para un delta crítico de 0.0654 y un nivel de significancia de 0.05.

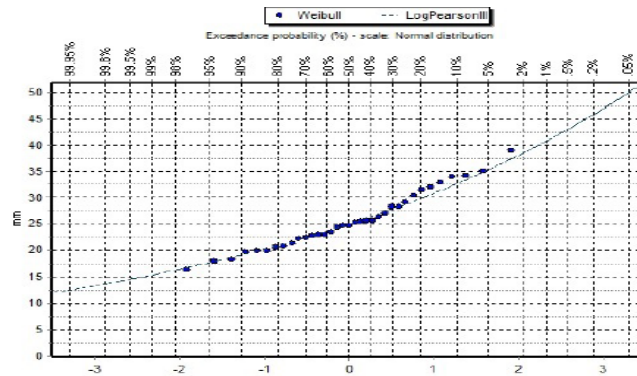


Figura 35: Ajuste de la precipitación máxima 24 horas a la distribución Gumbel

Fuente: Elaboración propia

Siendo la precipitación de diseño de 39.82, para un periodo de retorno $T=100$ años, con un delta teórico de 0.0684, para un delta crítico de 0.0654 y un nivel de significancia de 0.05.

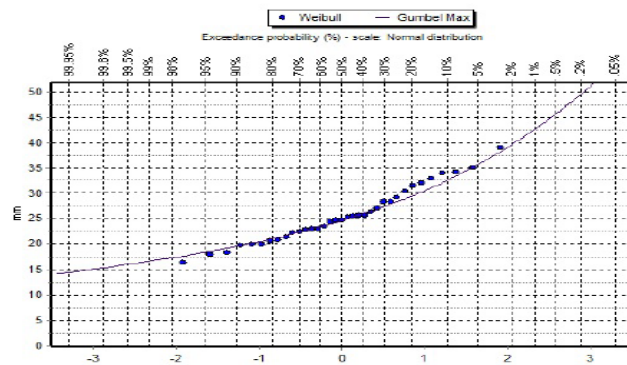


Figura 36: Ajuste de la precipitación máxima 24 horas a la distribución Log-Gumbel

Fuente: Elaboración propia

Siendo la precipitación de diseño de 41.4101, para un periodo de retorno $T=100$ años, con un delta teórico de 0.0654, para un delta crítico de 0.0654 y un nivel de significancia de 0.05.

En el siguiente cuadro se muestra el resumen del análisis de frecuencia de las precipitaciones máximas de 24 horas evaluados para diferentes periodos de retorno:

Tabla 27: Resumen del análisis de frecuencias de precipitaciones

Precipitaciones Máximas en 24 Horas para Diferentes Periodos de Retorno						
Tr Años	Pmax 24 Hr (mm)	Pmax 24 Hr (mm)	Pmax 24 Hr (mm)	Pmax 24 Hr (mm)	Pmax 24 Hr (mm)	Pmax 24 Hr (mm)
	D. Normal	D. Log Normal 2P	D. Gamma	D. Pearson III	D. log Pearson III	D. Gumbel
500	41.22	45.83	44.05	44.90	45.76	49.49
200	39.58	43.00	41.74	42.38	42.95	45.59
150	39.03	42.10	40.99	41.56	42.05	44.37
100	38.22	40.80	39.89	40.38	40.76	42.64
70	37.62	39.87	39.10	39.52	39.83	41.41
50	36.74	38.53	37.94	38.28	38.49	39.67
20	34.51	35.35	35.12	35.28	35.33	35.72
10	32.53	32.74	32.74	32.78	32.73	32.66
Δ Teórico	0.10933	0.06739	0.08101	0.07249	0.06848	0.0654

Fuente: Elaboración propia.

En conclusión, para la formulación del presente estudio, se ha elegido los valores de los resultados de la distribución Gamma 3 parámetros, dado que según la prueba de bondad de ajuste Kolmogorov - Smirnov dicha distribución de probabilidades es la que más se ajusta (Δ máx. = 0.10589) siendo el Δ crítico= 0.2267.

Tabla 28: Resumen del análisis de frecuencias de precipitaciones

Tr Años	Pmax 24 Hr (mm) D. Pearson III
500	45.76
200	42.95
150	42.05
100	40.76
70	39.83
50	38.49
20	35.33
10	32.73

Fuente: Elaboración propia.

Período de retorno y vida útil de estructuras

Para determinar el valor del periodo de retorno y con los datos de R (riesgo admisible) y n (vida útil), se utilizó la fórmula descrita en las bases teóricas, además que se corroboró los valores obtenidos con el cuadro 8. Dichos valores se redondearon a valores superiores por un tema de redondeo y seguridad para los valores del periodo de retorno. Para el cual se determinó que el tiempo de retorno para el diseño de defensas ribereñas serán de $T = 100$ años.

- **Conversión de precipitaciones a intensidades y determinación de curvas IDF.**

Intensidades de lluvias

En el presente estudio se ha utilizado el modelo de Frederick Bell (Generalized Rainfall Duration Frequency Relationships, Bell, F. 1969), que plantea una ecuación generalizada de intensidad-duración-periodo de retorno. Este modelo involucra, además, la precipitación caída en 60 minutos con un periodo de retorno de 10 años, valor obtenido con el Modelo de Yance - Tueros.

Para el cálculo de las curvas intensidad-duración-frecuencia (IDF), se determinó primero la precipitación de diseño para un periodo de retorno de 10 años, identificándose que la distribución Normal fue la que mejor se ajustó a los datos. Con el valor obtenido de la precipitación de diseño ($P = 41,82$ mm) se aplicó la fórmula de Bell para obtener la ecuación general de las curvas IDF.

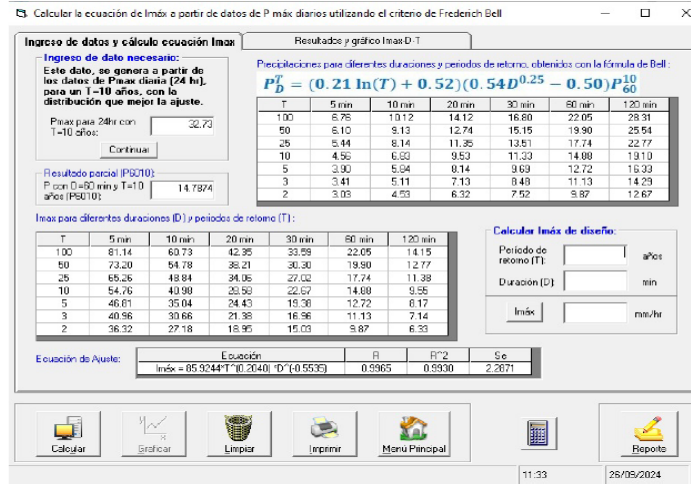


Figura 37: La ecuación general para las curvas IDF

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 29: Precipitaciones máximas estación Pampas (mm)

Lluvias máximas (mm) - Estación Pampas							
T	P.Max	Duración en minutos					
		10	20	30	40	50	60
500	45.76	12.42	17.32	20.60	23.14	25.25	27.05
200	42.95	11.11	15.49	18.43	20.70	22.58	24.20
150	42.05	10.70	14.92	17.75	19.94	21.75	23.31
100	40.76	10.12	14.11	16.79	18.86	20.57	22.04
70	39.83	9.61	13.40	15.94	17.91	19.54	20.93
50	38.49	9.13	12.73	15.14	17.01	18.56	19.89
20	35.33	7.82	10.90	12.97	14.57	15.90	17.03
10	32.73	6.83	9.52	11.33	12.73	13.88	14.88

Fuente: Elaboración propia

Tabla 30: Intensidades máximas estación Pampas.

Intensidades máximas (mm/hora) - Estación Pampas							
T	P.Max	Duración en minutos					
		10	20	30	40	50	60
500	45.7636	74.5	51.9	41.2	34.7	30.3	27.05
200	42.9503	66.6	46.5	36.9	31.1	27.1	24.20
150	42.0487	64.2	44.8	35.5	29.9	26.1	23.31
100	40.7595	60.7	42.3	33.6	28.3	24.7	22.04
70	39.8295	57.6	40.2	31.9	26.9	23.4	20.93
50	38.4933	54.8	38.2	30.3	25.5	22.3	19.89
20	35.328	46.9	32.7	25.9	21.9	19.1	17.03
10	32.7347	41.0	28.6	22.7	19.1	16.7	14.88

Fuente: Elaboración propia

Del análisis de regresión la ecuación general para las curvas IDF estaría dada por la siguiente ecuación:

$$I = \frac{109.7882T^{0.204}}{t^{0.5535}}$$

Por lo tanto, reemplazando en la ecuación general se tiene el siguiente cuadro:

Tabla 31: Intensidades máximas (mm) - estación Pampas

Intensidades máximas- Pampas (mm/h)								
$I = \frac{K \cdot T^m}{t^n}$			$K = 85.92$ $m = 0.204$ $n = 0.554$					
Duración (t) (minutos)	Periodo de Retorno (T) en años							
	10	25	50	70	100	150	200	500
10	38.43	46.32	53.36	57.15	61.46	66.76	70.80	85.35
20	26.18	31.56	36.36	38.94	41.88	45.49	48.24	58.15
30	20.92	25.22	29.05	31.11	33.46	36.35	38.54	46.46
40	17.84	21.51	24.77	26.53	28.53	31.00	32.87	39.62
50	15.77	19.01	21.89	23.45	25.22	27.39	29.05	35.02
60	14.25	17.18	19.79	21.20	22.80	24.76	26.26	31.66
70	13.09	15.78	18.17	19.47	20.93	22.74	24.11	29.07
80	12.16	14.65	16.88	18.08	19.44	21.12	22.40	27.00
90	11.39	13.73	15.81	16.94	18.22	19.79	20.98	25.29
100	10.74	12.95	14.92	15.98	17.18	18.67	19.79	23.86
110	10.19	12.29	14.15	15.16	16.30	17.71	18.78	22.64
120	9.71	11.71	13.49	14.44	15.53	16.87	17.89	21.57
130	9.29	11.20	12.90	13.82	14.86	16.14	17.12	20.64
140	8.92	10.75	12.38	13.26	14.26	15.49	16.43	19.81
150	8.58	10.35	11.92	12.77	13.73	14.91	15.81	19.07
160	8.28	9.98	11.50	12.32	13.25	14.39	15.26	18.40
170	8.01	9.65	11.12	11.91	12.81	13.92	14.76	17.79
180	7.76	9.35	10.77	11.54	12.41	13.48	14.30	17.24

Fuente: Elaboración propia

Curvas Intensidad - Duración – Frecuencia

En la siguiente figura se presentan las curvas IDF obtenidas para la estación Pampas, las cuales permiten identificar la relación entre la intensidad de la precipitación, su duración y los diferentes periodos de retorno considerados en el estudio.

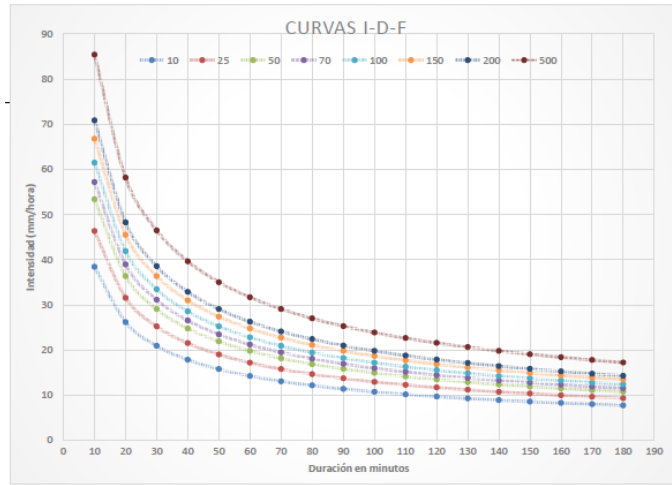


Figura 38: Curvas I-D-F - estación Pampas.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 32: Intensidad mediante el método de bloque alterno

Intervalo (min)	Intensidad Hietograma - Metodo del bloque Alterno (mm)															
	Tr. 10 años		Tr. 25 años		Tr. 50 años		Tr. 70 años		Tr. 100 años		Tr. 150 años		Tr. 200 años		Tr. 500 años	
	I Increment.	I (mm/hr)	I Increment.	I (mm/hr)	I Increment.	I (mm/hr)	I Increment.	I (mm/hr)	I Increment.	I (mm/hr)	I Increment.	I (mm/hr)	I Increment.	I (mm/hr)	I Increment.	I (mm/hr)
0-10	38.43	8.01	46.32	9.65	53.36	11.12	57.15	11.91	61.46	12.81	66.76	13.92	70.80	14.76	85.35	17.79
10-20	26.18	8.58	31.58	10.35	36.36	11.92	38.94	12.77	41.68	13.73	45.49	14.91	48.24	15.81	58.15	19.07
20-30	20.92	9.29	25.22	11.20	29.05	12.90	31.11	13.82	33.46	14.66	36.35	16.14	38.54	17.12	46.46	20.64
30-40	17.84	10.19	21.51	12.29	24.77	14.15	26.53	15.16	28.53	16.30	31.00	17.71	32.87	18.76	39.62	22.64
40-50	15.77	11.39	19.01	13.73	21.89	15.81	23.45	16.84	25.22	18.22	27.39	19.79	29.05	20.98	35.02	25.29
50-60	14.25	13.09	17.18	15.78	19.79	18.17	21.20	19.47	22.80	20.93	24.76	22.74	26.26	24.11	31.66	29.07
60-70	13.09	15.77	15.78	19.01	18.17	21.89	19.47	23.45	20.93	25.22	22.74	27.39	24.11	29.05	29.07	35.02
70-80	12.16	20.92	14.65	25.22	16.88	29.05	18.08	31.11	19.44	33.46	21.12	36.35	22.40	38.54	27.00	46.46
80-90	11.39	38.43	13.73	46.32	15.81	53.36	16.84	57.15	18.22	61.46	19.79	66.76	20.98	70.80	25.29	85.35
90-100	10.74	26.18	12.95	31.56	14.92	36.36	15.98	38.94	17.18	41.88	18.67	45.49	19.79	48.24	23.86	58.15
100-110	10.19	17.84	12.29	21.51	14.15	24.77	15.16	26.53	16.30	28.53	17.71	31.00	18.78	32.87	22.64	39.62
110-120	9.71	14.25	11.71	17.18	13.49	19.79	14.44	21.20	15.53	22.80	16.87	24.76	17.89	26.26	21.57	31.66
120-130	9.29	12.16	11.20	14.65	12.90	16.88	13.82	18.08	14.66	19.44	16.14	21.12	17.12	22.40	20.64	27.00
130-140	8.92	10.74	10.75	12.95	12.38	14.92	13.26	15.98	14.26	17.18	15.49	18.67	16.43	19.79	19.81	23.86
140-150	8.58	9.71	10.35	11.71	11.92	13.49	12.77	14.44	13.73	15.53	14.91	16.87	15.81	17.89	19.07	21.57
150-160	8.28	8.92	9.98	10.75	11.50	12.38	12.32	13.26	13.25	14.26	14.39	15.49	15.26	16.43	18.40	19.81
160-170	8.01	8.28	9.65	9.98	11.12	11.50	11.91	12.32	12.81	13.25	13.92	14.39	14.76	15.26	17.79	18.40
170-180	7.76	7.76	9.35	9.35	10.77	10.77	11.54	11.54	12.41	12.41	13.48	13.48	14.30	14.30	17.24	17.24

Fuente: Elaboración propia

Tabla 33: Precipitaciones mediante el método de bloque alterno

Intervalo (min)	Precipitaciones Hietograma - Metodo del bloque Alterno (mm)															
	Tr. 10 años		Tr. 25 años		Tr. 50 años		Tr. 70 años		Tr. 100 años		Tr. 150 años		Tr. 200 años		Tr. 500 años	
	P Increment.	P (mm)	P Increment.	P (mm)	P Increment.	P (mm)	P Increment.	P (mm)	P Increment.	P (mm)	P Increment.	P (mm)	P Increment.	P (mm)	P Increment.	P (mm)
0-10	6.41	0.62	7.72	0.73	8.98	0.84	9.53	0.89	10.24	0.962	11.13	1.067	11.80	1.13	14.23	1.34
10-20	2.32	0.64	2.80	0.79	3.23	0.913	3.46	0.99	3.72	1.052	4.04	1.132	4.28	1.19	5.16	1.45
20-30	1.73	0.71	2.09	0.85	2.41	0.970	2.58	1.06	2.77	1.137	3.01	1.230	3.19	1.31	3.85	1.58
30-40	1.43	0.78	1.73	0.95	1.99	1.075	2.13	1.16	2.29	1.250	2.49	1.352	2.64	1.45	3.18	1.74
40-50	1.25	0.87	1.50	1.06	1.73	1.208	1.86	1.30	2.00	1.410	2.16	1.525	2.30	1.60	2.77	1.94
50-60	1.11	1.02	1.34	1.23	1.55	1.408	1.66	1.52	1.78	1.618	1.94	1.770	2.05	1.87	2.48	2.26
60-70	1.02	1.25	1.23	1.50	1.41	1.728	1.52	1.86	1.62	1.997	1.77	2.158	1.87	2.30	2.26	2.77
70-80	0.94	1.73	1.12	2.09	1.31	2.405	1.39	2.58	1.50	2.770	1.63	3.012	1.74	3.19	2.09	3.85
80-90	0.87	6.41	1.06	7.72	1.21	8.983	1.30	9.53	1.41	10.243	1.53	11.127	1.60	11.80	1.94	14.23
90-100	0.81	2.32	0.99	2.80	1.15	3.227	1.22	3.46	1.30	3.717	1.43	4.037	1.51	4.28	1.83	5.16
100-110	0.78	1.43	0.95	1.73	1.08	1.988	1.16	2.13	1.25	2.290	1.35	2.492	1.45	2.64	1.74	3.18
110-120	0.74	1.11	0.89	1.34	1.04	1.548	1.09	1.66	1.18	1.783	1.27	1.935	1.35	2.05	1.63	2.48
120-130	0.71	0.94	0.85	1.12	0.97	1.308	1.06	1.39	1.14	1.502	1.23	1.630	1.31	1.74	1.58	2.09
130-140	0.69	0.81	0.82	0.99	0.94	1.152	1.00	1.22	1.08	1.303	1.17	1.432	1.24	1.51	1.50	1.83
140-150	0.64	0.74	0.79	0.89	0.91	1.038	0.99	1.09	1.05	1.177	1.13	1.272	1.19	1.35	1.45	1.63
150-160	0.63	0.69	0.74	0.82	0.87	0.937	0.93	1.00	1.01	1.077	1.10	1.173	1.17	1.24	1.39	1.50
160-170	0.62	0.63	0.73	0.74	0.84	0.867	0.89	0.93	0.96	1.008	1.07	1.098	1.13	1.17	1.34	1.39
170-180	0.58	0.58	0.71	0.71	0.80	0.803	0.88	0.88	0.94	0.935	1.00	1.000	1.08	1.08	1.32	1.32

Fuente: Elaboración propia

4.1.2.3. Modelamiento hidrológico (caudales máximos)

La simulación hidrológica se realizó mediante el software Hec-Hms (Hydrologic Engineering Center's Hydrologic Modeling System) el cual es un programa de simulación hidrológica tipo evento, lineal y semidistribuido, desarrollado para estimar los hidrogramas de salida en una cuenca o varias subcuencas (caudales máximos y tiempos al pico) a partir de condiciones extremas de lluvias, aplicando para ello algunos de los métodos de cálculo de hietogramas de diseño, perdidas por infiltración, flujo base y conversión en escorrentía directa.

El programa se deriva directamente del HEC-1, y conserva en esencia la misma filosofía de introducción de datos y secuencia de cálculos. Para realizar la simulación hidrológica se requiere información previa:

Características hidrológicas de la cuenca

Analizando la cuenca del río Opamayo, se estableció las características morfométricas más importantes, percibiendo el criterio de la localización de las estaciones pluviométrica - Huancavelica, Variación geomorfológica, entre otros.

Tabla 34: Características geométricas Subcuencas en estudio

Cuenca	Área (Km ²)	Perímetro (Km)	Longitud de cauce (Km)	Pendiente de cauce (m/m)
Rio Opamayo	845.388	209.818	62.233	0.020

Fuente: Elaboración propia

Cálculo del tiempo de Retraso

Es el tiempo de retardo o también denominado lag time. El NRCS sugiere que el tiempo de retardo del hidrograma unitario está relacionado con el tiempo de concentración T_c calculado en un 60%.

Tabla 35: Resumen Tiempos de retardo Tlag (min)

Subcuenca	Tc	Tlag
Rio 6	7.871	96.928

Fuente: Elaboración propia

Número de Curva y Cálculo de abstracciones Ia

A partir de los cuadros de Condiciones de antecedentes de humedad básicas empleadas en el método SCS, Rangos para la clasificación de las condiciones antecedentes de humedad (AMC) para el método de abstracciones de lluvia del SCS y Grupo de suelo hidrológico, para el cálculo del CN descritas en las bases teóricas.

Y así mismo se utilizó del ANA información de mapas temáticos de cobertura y uso, mapa temático de suelo y Modelo Digital de Elevación, y en base a valores para cada grupo hidrológico de suelos teóricos, se generó el mapa de Numero de Curva, a escala nacional, que es un insumo importante en modelos hidrológicos de Precipitación - escorrentía.

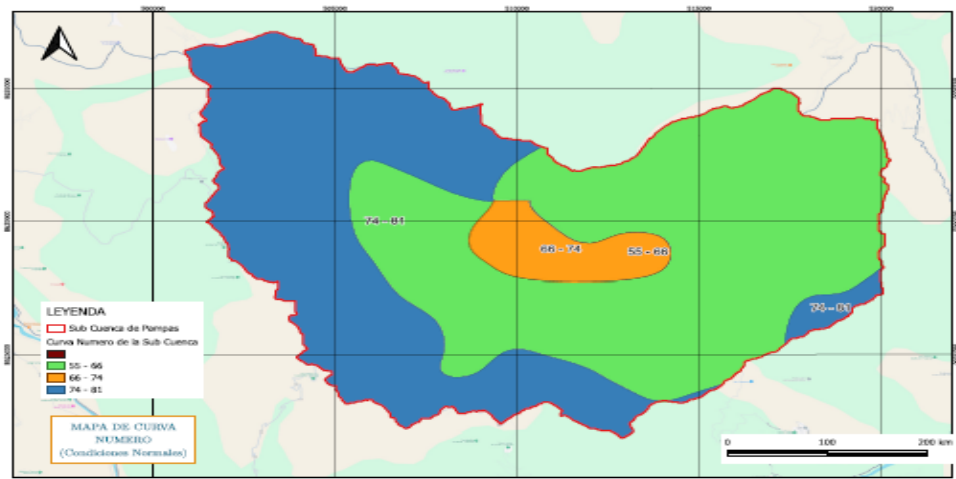


Figura 39: Curva número en condiciones normales en Subcuenca río Ichu

Fuente: Elaboración propia

Hietograma de diseño

Resultados de hietograma de diseño para diferentes periodos de retorno, derivado del método del bloqueo Alterno (mm).

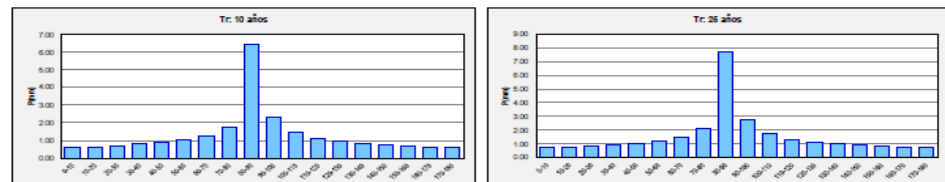


Figura 40: Hietograma de Precipitación para un Tr = 10 y Tr = 20 años

Fuente: Elaboración propia

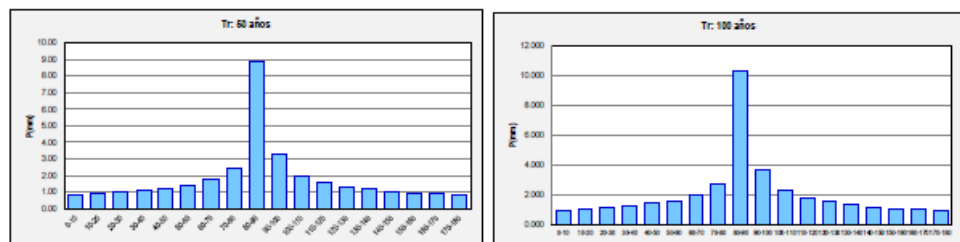


Figura 41: Hietograma de Precipitación para un Tr = 50 y Tr = 100 años

Fuente: Elaboración propia



Figura 42: Hietograma de Precipitación para un Tr = 200 y Tr = 500 años

Fuente: Elaboración propia

Simulación de la cuenca

La simulación hidrológica se realizó mediante el modelo HEC-1, con los datos obtenidos anteriormente se procede a la estimación de los caudales máximos o escorrentías netas para diferentes periodos de retorno.

Resultados: Caudales asociados a cada periodo de retorno (25, 50, 100, 200 y 500), listos para el análisis hidráulico posterior e hidrogramas.

Tabla 36: Resumen de Caudales máximos de diseño.

Subcuenca	Área (Km ²)	$Q_m(m^3/s)$ Tr = 25	$Q_m(m^3/s)$ Tr = 50	$Q_m(m^3/s)$ Tr = 100	$Q_m(m^3/s)$ Tr = 200	$Q_m(m^3/s)$ Tr = 500
Opamayo	188.4	21.0	41.9	69.6	102.3	171.9
Aforo	188.4	21.0	41.9	69.6	102.3	171.9

Fuente: Elaboración propia

4.1.3. ETAPA III: Levantamiento topográfico – fotogrametría y procesamiento de datos

Se llevó a cabo el levantamiento topográfico mediante fotogrametría con dron y el procesamiento de datos con el software Pix4Denterprise versión 4.4.12 y el software AutoCAD Civil 3D.

4.1.3.1. Levantamiento topográfico - fotogrametría

El levantamiento topográfico se realizó en 3 sub procesos:

Selección de la ubicación de los BMs

El día 16 de setiembre del 2023 se realizó una visita al área de estudio para determinar los puntos óptimos donde se ubicarían los puntos de referencia (BMs), eligiendo su ubicación a intervalos de entre 500 m y 1 km, garantizando la estabilidad del terreno y una buena visibilidad. Posteriormente, se marcaron los BMs a lo largo del tramo de estudio, asegurando que estuvieran en superficies planas y estables, alejadas de elementos que pudieran afectar su visibilidad o estabilidad, como árboles, edificaciones en construcción o áreas propensas a inundaciones.

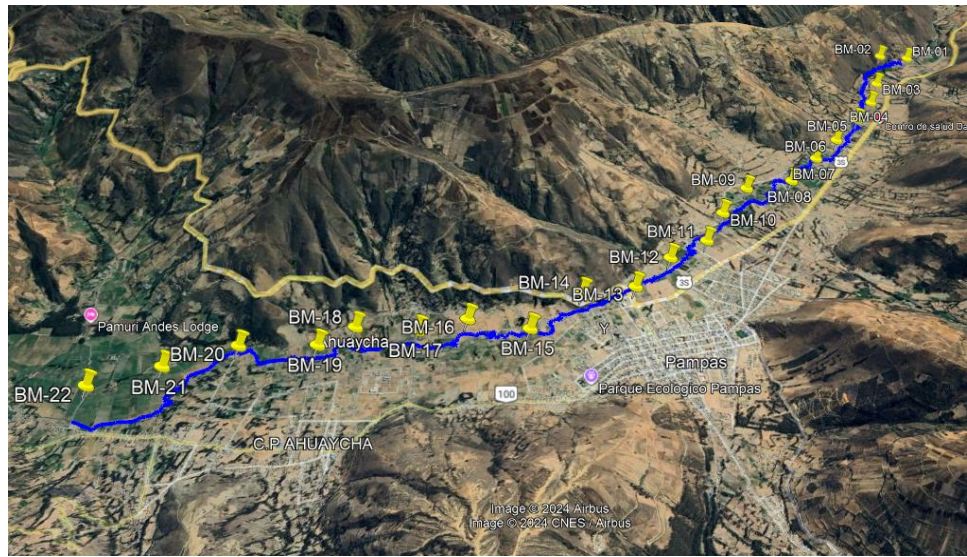


Figura 43: Selección de la ubicación de los BMs.

Fuente: Elaboración propia.

Monumentado de los BMs

El día 28 de setiembre del 2023, se iniciaron con los trabajos de monumentado de los BMs de concreto, los cuales fueron instalados en puntos estratégicamente seleccionados con anterioridad. Estos hitos servirán como referencias permanentes y estables para garantizar la precisión y confiabilidad en los trabajos de levantamiento topográfico.

a. Metodología de trabajo:

- Después de seleccionar los puntos para la ubicación de los BMs, se llevó a cabo la excavación con dimensiones de 30 x 30 cm y una profundidad de 50 cm.



Fotografía 17: Excavación de 30 x 30 cm con profundidad de 50 cm para BMs.

Fuente: Elaboración propia.

- Materialización de BMs en campo, se realizó el encofrado y el vaciado del concreto, así como la colocación del acero corrugado.



Fotografía 18: Materialización de BMs en campo.

Fuente: Elaboración propia.

- Una vez alcanzado el fraguado del concreto, se efectuó el desencofrado de los BMs. Seguidamente, se procedió al pintado y numeración de cada uno, asegurando su correcta identificación en campo. Como parte del registro técnico, se

realizó la toma fotográfica de cada BM, documentando su descripción.



Fotografía 19: Desencofrado de BMs.

Fuente: Elaboración propia.



Fotografía 20: Pintado y numeración de los BMs.

Fuente: Elaboración propia.

b. Resultados obtenidos:

- Como resultado se obtuvo un total de 22 (BMs) a lo largo del tramo Acraquia – Daniel Hernández del río Opamayo, los cuales

fueron correctamente monumentados, pintados, numerados y documentados en cuanto a su ubicación y descripción, quedando disponibles para el desarrollo del levantamiento topográfico

Tabla 37: Descripción de los 22 BMs.

N°	Código	Altura m.s.n.m.	Descripción
1	BM-01	3195.946	Monumentado
2	BM-02	3221.553	Monumentado
3	BM-03	3208.252	Monumentado
4	BM-04	3198.008	Monumentado
5	BM-05	3200.525	Monumentado
6	BM-06	3204.593	Monumentado
7	BM-07	3210.065	Monumentado
8	BM-08	3213.284	Vereda de puente
9	BM-09	3219.323	Monumentado
10	BM-10	3225.699	Monumentado
11	BM-11	3231.116	Monumentado
12	BM-12	3241.666	Monumentado
13	BM-13	3238.13	Vereda de calle
14	BM-14	3270.148	Monumentado
15	BM-15	3241.278	Monumentado
16	BM-16	3242.176	Monumentado
17	BM-17	3246.123	Vereda puente
18	BM-18	3248.343	Monumentado
19	BM-19	3250.078	Vereda de puente
20	BM-20	3252.268	Vereda de calle
21	BM-21	3256.977	Monumentado
22	BM-22	3264.853	Monumentado

Fuente: Elaboración propia.

Levantamiento con Drone

Una vez que se monumentaron los 22 BMs, el 14 de octubre de 2023 se iniciaron los trabajos de levantamiento topográfico detallado, utilizando un dron RTK y otros equipos topográficos complementarios. Con objetivo de obtener planos topográficos que representaran con precisión las características planimétricas y altimétricas del área de estudio, comprendida entre el puente Pamuri y el puente Challhuas, en un tramo que abarca los distritos de Acraquia, Ahuaycha, Pampas y Daniel Hernández, a lo largo de un recorrido de 15.40 kilómetros.

a. Metodología de trabajo

- Obtención de alturas y coordenadas de los BMs en tiempo real con alta exactitud en el terreno con GPS diferencial, lo cual es esencial para la precisión del modelo topográfico.



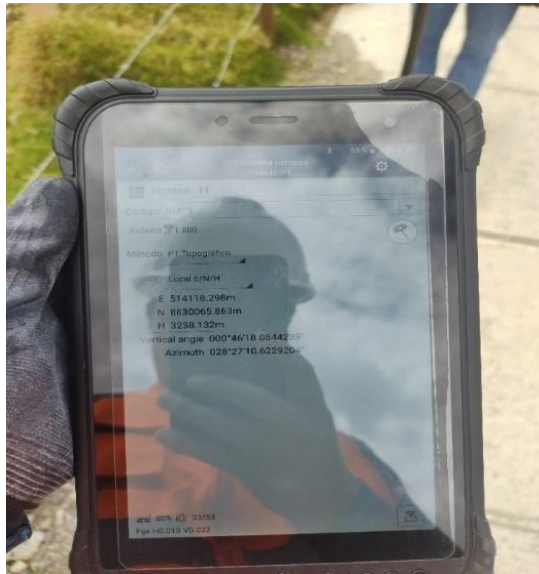
Fotografía 21: Configurando los equipos para así obtener datos topográficos precisos en tiempo real (Receptor GNSS diferencial uno estacionado y uno móvil más tablet).

Fuente: Elaboración propia.



Fotografía 22: Captura de coordenadas UTM de cada BM, con receptor GNSS diferencial móvil conectada a una Tablet.

Fuente: Elaboración propia.



Fotografía 23: Registro de coordenadas UTM (Este y Norte) y altura de cada BM.

Fuente: Elaboración propia.

- Remarcar los 23 BMs con yeso para facilitar su identificación durante el levantamiento topográfico.



Fotografía 24: Tesista remarcando los BMs desde 01 al 22 con yeso para su fácil identificación con el Dron.

Fuente: Elaboración propia.

- Se programó y ejecutó el levantamiento topográfico con dron, dividiendo el área de estudio en tramos de vuelo. Para garantizar la seguridad y evitar colisiones con obstáculos como árboles, cables y postes, los vuelos se realizaron a una altura de 60 m. La planificación de las actividades contempló un periodo de tres días, durante los cuales se llevaron a cabo un total de diez vuelos. Este procedimiento permitió la captura de imágenes aéreas de alta resolución y el levantamiento de puntos topográficos clave, abarcando de manera completa la superficie de interés.



Fotografía 25: Vuelo del Dron Phantom 4 RTK sobre el área de estudio.

Fuente: Elaboración propia.

b. Resultados obtenidos:

- Se obtuvo las coordenadas UTM, las alturas y descripción de los 22 BMs en tiempo real con alta exactitud en el terreno con GPS diferencial.

Tabla 38: Coordenadas UTM, alturas y descripción de los 22 BMs.

N°	BM	Coordenadas UTM		Altura	Descripción
		Este	Norte		
1	BM-01	517684.988	8634287.84	3195.946	Monumentado
2	BM-02	517356.232	8634285.46	3221.553	Monumentado
3	BM-03	517157.728	8633652.61	3208.252	Monumentado
4	BM-04	516968.579	8633241.46	3198.008	Monumentado
5	BM-05	516723.954	8632863.49	3200.525	Monumentado
6	BM-06	516401.582	8632457.23	3204.593	Monumentado
7	BM-07	516105.403	8632092.72	3210.065	Monumentado
8	BM-08	515736.980	8631863.65	3213.284	Vereda de puente
9	BM-09	515306.457	8631553.55	3219.323	Monumentado
10	BM-10	515021.127	8631130.26	3225.699	Monumentado
11	BM-11	514823.437	8630696.95	3231.116	Monumentado
12	BM-12	514451.133	8630454.58	3241.666	Monumentado
13	BM-13	514118.297	8630065.86	3238.130	Vereda de calle
14	BM-14	513661.932	8629964.49	3270.148	Monumentado
15	BM-15	513222.643	8629543.92	3241.278	Monumentado
16	BM-16	512708.312	8629664.05	3242.176	Monumentado
17	BM-17	512313.925	8629517.30	3246.123	Vereda puente
18	BM-18	511798.389	8629560.98	3248.343	Monumentado
19	BM-19	511540.283	8629360.35	3250.078	Vereda de puente
20	BM-20	510909.520	8629331.88	3252.268	Vereda de calle
21	BM-21	510372.585	8629110.71	3256.977	Monumentado
22	BM-22	509862.932	8628894.98	3264.853	Monumentado

Fuente: Elaboración propia.

- Parámetros obtenidos del levantamiento topográfico a detalle con equipo de Dron Phantom 4 RTK.

Tabla 39: Parámetros obtenidos del levantamiento topográfico con Dron.

Vuelo	Altura de Vuelo (m)	Tiempo de Vuelo (min)	Área Cubierta (ha)	Número de Fotos	Observaciones
V-1	60.00	30	61.153	260	Ligera nubosidad
V-2	60.00	28	58.330	248	Ligera nubosidad
V-3	60.00	29	58.565	249	Viento moderado
V-4	60.00	33	65.622	279	Buen clima
V-5	60.00	24	49.158	209	Ligera nubosidad
V-6	60.00	22	47.041	200	Ligera nubosidad
V-7	60.00	20	42.572	181	Buen clima
V-8	60.00	21	46.335	197	Viento moderado
V-9	60.00	19	37.868	161	Condiciones óptimas
V-10	60.00	18	36.928	157	Viento moderado

Fuente: Elaboración propia.

Se realizaron 10 vuelos con dron, durante los cuales se capturó un total de 2,141 fotografías aéreas en alta resolución. El área total cubierta fue de 503.572 hectáreas (5.036 km^2 / 1.95 sq. mi.) bajo condiciones de vuelo óptimas y sin registrarse contratiempos durante la adquisición de datos.

4.1.3.2. Procesamiento de datos del levantamiento topográfico

Una vez que se terminó con el levantamiento topográfico en campo, se procedió al procesamiento de la información obtenida.

a. Metodología de trabajo

- Las imágenes capturadas en alta resolución mediante el dron fueron importadas al software Pix4Denterprise versión 4.4.12, donde se llevó a cabo el proceso de alineación y ajuste para garantizar la precisión espacial. En total se integraron 2,141.00 imágenes, a partir de las cuales se generó una ortofoto georreferenciada de alta resolución (ver Figura 45).
- Creación del Modelo Digital de Elevación (MDE).
- Derivación de curvas de nivel con intervalos definidos y elaboración de secciones transversales cada 20 metros y perfiles del cauce.

b. Resultados obtenidos:

- Ortofoto de alta resolución (4.1 cm/pixel) del tramo del río, la cual se generó con el software Pix4Denterprise versión 4.4.12:



Figura 44: Ortofoto del tramo de estudio obtenida del levantamiento topográfico con Dron RTK.

Fuente: Elaboración propia.

- Obtención un DEM del terreno en intervención con resolución de 4.1 cm/pixel.



Figura 45: MDE del tramo de estudio obtenida del levantamiento topográfico con Dron RTK.

Fuente: Elaboración propia.

- También se generaron curvas de nivel y un total de 753 secciones transversales, tomadas cada 20 metros a lo largo de los 15,040.00 km software Autodesk Civil 3D del tramo de estudio, constituyendo un insumo fundamental para el análisis hidráulico.

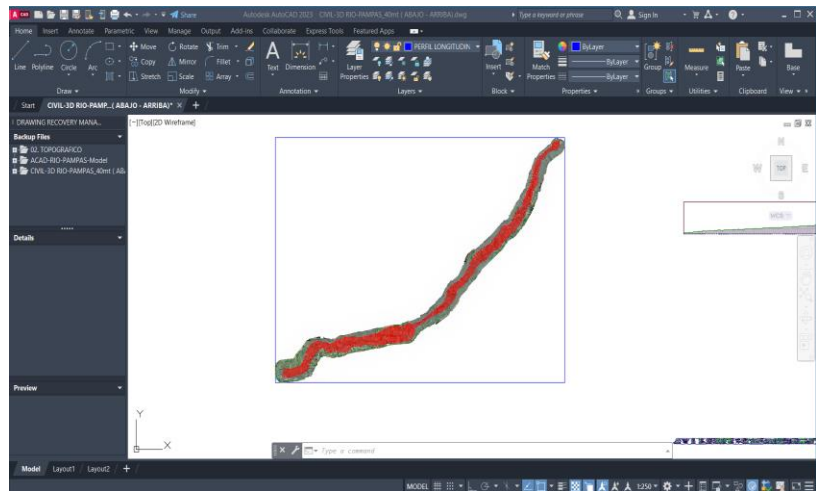


Figura 46: Seccionamiento del Rio, cada 20.00 metros en los 15.040 km.

Fuente: Elaboración propia

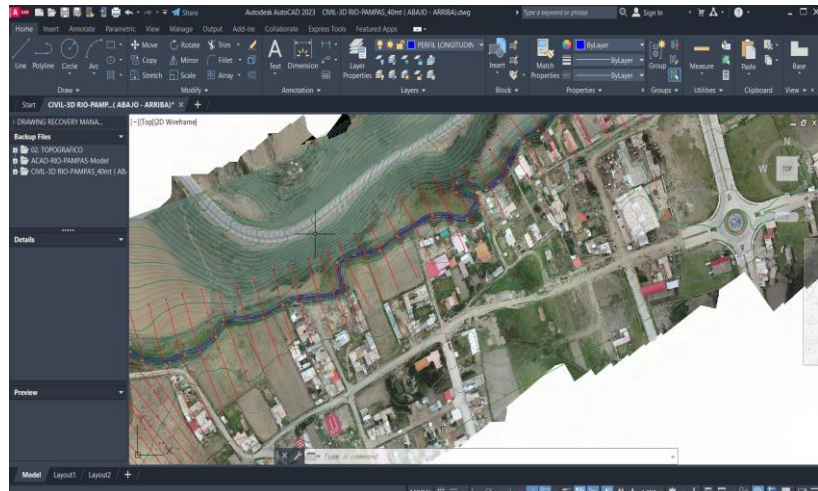


Figura 47: Seccionamiento del Rio, cada 20.00 metros

Fuente: Elaboración propia

4.1.4. ETAPA IV: Análisis morfológico y determinación del coeficiente de Manning

4.1.4.1. Análisis morfológico del río

Los trabajos de campo correspondientes a la caracterización del río se desarrollaron entre el mes de noviembre de 2023 y mayo de 2024, periodo que abarcó tanto la temporada de lluvias como la de estiaje.

a. Metodología de trabajo

- Observación Directa: Se realizó un recorrido a lo largo del tramo del río con el fin de registrar visualmente su continuidad del cauce, conectividad lateral y relación con las llanuras de inundación, identificando el tipo de cauce y evaluando su grado de libertad. Asimismo, la detección de rasgos morfológicos como meandros activos, bancos de arena, islas, erosión en márgenes, vegetación, etc., complementando con un registro fotográfico.



Fotografía 26: Transporte de agua durante todo el año, con menor caudal.

Fuente: Elaboración propia.



Fotografía 27: Se observa el aumento de caudal del río rápidamente tras un evento de precipitación.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 46: Sinuosidad del río Opamayo en el tramo Acraquia - Daniel Hernández.

Fuente: Google Earth.



Fotografía 28: Sinuosidad del río Opamayo - tramo Acraquia - Daniel Hernández.

Fuente: Elaboración propia.



Fotografía 29: Relación del río con la planicie de inundación - alta conectividad lateral con su planicie de inundación.

Fuente: Elaboración propia.

b. Resultado obtenido

De acuerdo con la observación en campo, el levantamiento topográfico y el sustento en bases teóricas, el tramo del río Opamayo (Acraquia – Daniel Hernández) corresponde a un cauce con:

- **Grado de libertad:** Presenta tres grados de libertad, ya que, además de que pueden variar el tirante y la pendiente, las

márgenes también pueden modificarse y el ancho puede ajustarse. Esto se debe a que el río no es un canal revestido y sus márgenes no son lo suficientemente resistentes, ya que es un cauce natural que fluye sobre material aluvial.

- **Según su edad:** Es un río maduro, debido a su pendiente relativamente baja de $S=0.499\%$. Además, se extiende a lo largo de un valle amplio.

Tabla 40: Características del río Opamayo.

CARACTERISTICAS DEL RIO OPAMAYO	
COTA DE ENTRADA (m.s.n.m.)	3259.50
COTA DE SALIDA (m.s.n.m.)	3184.50
ALTURA (m)	75.00
LONGITUD DE RIO (m)	15040.00
PENDIENTE (%)	0.499

Fuente: Elaboración propia.

- **Según el material de las márgenes y el fondo:** No Cohesivo o granular, ya que presenta partículas más grandes y sueltas, como arena, grava, arcillas, limos y demás, que no se adhieren entre sí de la misma forma que los suelos cohesivos.
- **Clasificación por geometría:** Es Sinuoso debido a que su sinuosidad se encuentra entre 1.2 y 1.5, indicando un grado moderado de curvatura. Esto implica que el río presenta meandros y curvas en su recorrido, característicos de áreas con pendientes suaves y amplios valles o llanuras de inundación.
- **Según el tiempo que transporta agua:** Río perennes, ya que mantiene un flujo constante de agua durante casi todo el año. Su caudal varía en función de la disponibilidad de precipitaciones, siendo mayor en épocas de lluvias y disminuyendo en períodos

de estiaje. Además, el río Opamayo se alimenta de aguas subterráneas, lo que le permite conservar un caudal base incluso en temporadas de menor precipitación, manteniendo así un flujo continuo.

- **Relación con la planicie de inundación:** El cauce presenta alta conectividad lateral con su planicie de inundación, lo que se evidencia en la facilidad con la que las aguas se desbordan hacia las zonas agrícolas y urbanas cercanas durante los periodos de crecida (época de lluvias intensas o avenidas). Esto demuestra que el agua del río puede salirse con facilidad del cauce principal y ocupar las áreas bajas adyacentes, conformando las llanuras de inundación

4.1.4.2. Determinación del coeficiente de rugosidad de Manning

Los trabajos de campo se desarrollaron entre los meses de junio y julio del 2024, aprovechando el descenso del caudal para observar con mayor precisión el lecho del río y las márgenes.

a. Metodología de trabajo

Evaluación de secciones transversales mediante la observación directa y batimetría manual:

El tramo de estudio, con una longitud de 15.040 km, fue dividido en sectores hidráulicamente homogéneos considerando variaciones en pendiente, material del lecho y cobertura vegetal. Para cada sector se asignaron valores diferenciados del coeficiente de Manning en la margen izquierda, el cauce principal y la margen derecha, con base en inspecciones de campo y criterios establecidos en literatura técnica especializada para corrientes naturales.

- Se evaluaron secciones transversales cada 20 m a lo largo del río, utilizando información topográfica y batimetría manual. Durante la inspección se registraron características como cobertura vegetal, irregularidad del lecho, presencia de gravas, cantos rodados, arena y limo, así como variaciones geométricas de las secciones.



Fotografía 30: Evaluación las secciones transversales del río Opamayo.

Fuente: Elaboración propia.

- La identificación de los materiales presentes en las márgenes y el cauce se realizó mediante inspección visual directa, complementada con imágenes aéreas obtenidas con dron, lo que permitió caracterizar las condiciones hidráulicas de cada sector.



Fotografía 31: Evaluación las secciones transversales del río Opamayo.

Fuente: Elaboración propia.

b. Resultado obtenido

- **Documentación de los tramos evaluados:** Se elaboró un cuadro descriptivo para cada sección evaluada cada 20 m, registrando las características observadas en la margen derecha, cauce principal y margen izquierda, acompañadas de evidencia fotográfica obtenida durante el trabajo de campo.

Tabla 41: Documentación de los tramos evaluados, margen derecho, lecho del río y margen izquierda, tramo 11+400.0 a 11+440.0.

TRAMO 11+400.0 a 11+440.0		
		
MARGEN DERECHO	CAUCE DEL RIO	MARGEN IZQUIERDO
Existe matorrales dispersos y pastos altos (alfalfa. (n=0.50).	El cauce sinuoso con vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo. (n=0.45).	Existe matorrales dispersos, pastos cortos y áreas cultivadas (sin cultivo) en surcos. (n=0.40).

Fuente: Elaboración propia.

Cabe resaltar que se realizó este tipo de documentación para todas las secciones a lo largo del tramo de estudio.

- **Coefficiente de Manning:** Con base en las características identificadas en cada sección transversal y utilizando las tablas de referencia de Manning, se determinaron los valores de rugosidad para la margen izquierda, el cauce principal y la margen derecha a lo largo del tramo Acraquia – Daniel Hernández.

Tabla 42: Valores del coeficiente de rugosidad de Manning (n) en el tramo Acraquia – Daniel Hernández.

CARACTERÍSTICAS DE RIO OPAMAYO (TRAMO DE INTERVENCIÓN)					
COEFICIENTE DE RUGOSIDAD O MANNING “n”					
Nota: Para el cálculo de coeficiente Manning se utilizó el libro Ven Te Chow, basándonos en los datos obtenidos del trabajo en campo.					
N° DE SECCIÓN	PROGRESIVA	MARGEN DERECHO (n)	ZONA CENTRAL O LECHO DEL RIO (n)	MARGEN IZQUIERDO (n)	DESCRIPCIÓN DE MATERIAL DE LECHO DE RIO Y MARGENES DERECHO E IZQUIERDO

Debido al volumen de información generado durante la caracterización hidráulica, el detalle completo de las 753 secciones transversales y los coeficientes de rugosidad asignados a cada una de ellas se presenta en el Anexo 05.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.5. ETAPA V: Modelamiento Hidráulico

Una vez obtenido los caudales máximos de diseño, topografía procesada del tramo de estudio, el coeficiente de rugosidad de Manning, condiciones de contorno, se procedió a la construcción del modelo hidráulico en el software HEC-RAS, con el fin de simular el comportamiento del flujo del río Opamayo en diferentes escenarios de avenida.

a. Metodología de trabajo

El modelamiento hidráulico se desarrolló siguiendo los pasos que se detallan a continuación:

- **Datos de entrada:** Resultados del estudio hidrológico (caudales máximos para periodos de retorno de 25, 50, 100, 200 y 500 años), levantamiento topográfico procesado (curvas de nivel, modelo digital del terreno), coeficiente de Manning y condiciones de contorno.
 - **Resultados del estudio hidrológico (caudales máximos para periodos de retorno de 25, 50, 100, 200 y 500 años)**
 - **Levantamiento topográfico procesado (MDE)**
 - **Coeficiente de rugosidad de Manning,** Ingresar los coeficientes n, de los márgenes y del cauce.
 - **Condiciones de contorno.**
- **Preparación de la geometría en HEC-RAS:** Se generó el modelo geométrico del cauce a partir del MDT, incorporando secciones transversales, márgenes y estructuras hidráulicas presentes en el tramo.
- **Configuración de las condiciones hidráulicas:** Se asignaron los caudales de entrada según los periodos de retorno definidos, así como los niveles de agua en la salida, considerando la pendiente y condiciones naturales del río.
- **Simulación de escenarios:** Se realizaron simulaciones hidráulicas para diferentes periodos de retorno (25, 50, 100, 200 y 500 años) con el fin de evaluar el comportamiento del flujo y las zonas de mayor riesgo de inundación.

- **Procesamiento y visualización de resultados:** Se generaron mapas de extensión de inundación, los cuales permitieron un análisis integral de las áreas más vulnerables del tramo de estudio.

a. Resultado obtenido

- Mapas de inundación para los periodos de retorno de 25, 50, 100, 200, 500 años, mostrando la extensión, profundidad y velocidad del flujo.
- Identificación de zonas agrícolas y urbanas inundables, con especial énfasis en terrenos de cultivo y áreas pobladas.
- Determinación de los puntos críticos con mayor riesgo de desbordamiento.
- Insumos técnicos para la planificación de medidas de mitigación y prevención de riesgo de desastres en la cuenca del río.

Resumen de resultados

A continuación, se presenta un cuadro de resumen de resultados obtenidos del modelamiento hidráulico.

Tabla 43: Resumen de resultados obtenidos del modelamiento hidráulico.

Periodo de retorno (años)	Zona inundada (ha)	Profundidad máxima (m)	Zona urbana afectada (ha)	Zona agrícola afectada (ha)
25 años	145.2	1.2	12.4	85.3
50 años	182.7	1.8	18.9	110.5
100 años	210.4	2.3	25.1	130.8
200 años	245.9	2.6	32.7	160.2
500 años	250.8	2.9	39.2	180.3

Fuente: Elaboración propia.

4.2. Discusión de los resultados

Para el análisis de una posible inundación debido a una avenida extraordinaria se realizó el modelamiento hidráulico con el software HEC RAS y para discutir los resultados se clasificó a la inundación según su magnitud, peligro, vulnerabilidad y riesgo de inundación.

Periodo de Retorno de 25 años

En el escenario de 25 años se observa un incremento notable tanto en la extensión como en la profundidad de la inundación. Las zonas agrícolas se ven más comprometidas, mientras que algunas áreas urbanas comienzan a mostrar afectaciones puntuales, especialmente en las márgenes bajas de Acraquia y Daniel Hernández. Este escenario representa un umbral crítico, pues marca la transición de un riesgo predominantemente agrícola hacia un riesgo mixto, con impactos también en la infraestructura urbana.

Periodo de Retorno de 50 años

El análisis para 50 años evidencia un escenario de inundación más severo. La extensión inundada se incrementa significativamente y las profundidades alcanzan valores que pueden comprometer tanto viviendas como infraestructuras viales. Las zonas urbanas presentan mayor exposición, en especial aquellas edificaciones localizadas en las márgenes inmediatas del río. Este resultado pone en evidencia la vulnerabilidad de los centros poblados frente a eventos de menor frecuencia, pero mayor magnitud.

Periodo de Retorno de 100 años a más

El escenario de 100 años representa el evento extremo con mayor impacto en la zona de estudio. La superficie total inundada alcanza su máxima extensión, afectando de manera considerable tanto las áreas agrícolas como urbanas. Las profundidades máximas registradas implican un alto riesgo de daños estructurales en viviendas, así como la pérdida total de cultivos. Este resultado

resalta la necesidad de planificar medidas estructurales (muros de contención, encauzamientos) y no estructurales (ordenamiento territorial, sistemas de alerta temprana) para mitigar los impactos de inundaciones extremas.

CONCLUSIONES

- En relación con el objetivo general: Se determinó la extensión de las zonas inundables en el tramo Acraquia – Daniel Hernández del río Opamayo, identificando cuántas hectáreas de áreas agrícolas (principalmente de cultivo de alfalfa) y zonas urbanas se ven afectadas en diferentes periodos de retorno (25, 50, 100, 200 y 500 años). Los resultados del modelamiento hidrológico e hidráulico evidencian un incremento progresivo de la superficie inundada y de las profundidades máximas a medida que el periodo de retorno es mayor, lo que confirma la vulnerabilidad de la población y de las actividades productivas frente a eventos hidrometeorológicos extremos.
- En relación con el primer objetivo específico (Zonas urbanas inundables): Se identificó que las zonas urbanas aledañas al río presentan afectaciones directas en cada escenario de inundación. Para un TR de 25 años, los daños se concentran en calles colindantes y viviendas cercanas al cauce, mientras que, en los TR de 50, 100, 200 y 500 años la inundación alcanza sectores más interiores, afectando mayor cantidad de viviendas y espacios públicos. Esto demuestra la necesidad de implementar medidas de mitigación y obras de protección en las zonas urbanas más expuestas.
- En relación con el segundo objetivo específico (Zonas agrícolas inundables): Las áreas agrícolas destinadas al cultivo (papa, maíz, alverjas, habas, cebada, quinua y trigo) y pastos altos (alfalfa, trébol, raigrás y avena forrajera), resultan severamente impactadas en todos los escenarios de inundación. La extensión de terrenos afectados aumenta significativamente en periodos de retorno altos, comprometiendo la producción agrícola y, con ello, la economía de los pobladores que dependen de esta actividad.
- En síntesis: El estudio confirma que tanto las zonas agrícolas como las urbanas, junto con la infraestructura vial (puentes), se encuentran expuestas a distintos grados de inundación según el periodo de retorno. Esta información es esencial para la gestión del riesgo de desastres en la cuenca del río Opamayo, y constituye

un insumo clave para la toma de decisiones de las autoridades locales y regionales en la planificación territorial y la protección de las comunidades.

RECOMENDACIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos en el presente estudio, se proponen las siguientes recomendaciones, diferenciadas en medidas estructurales y no estructurales de mitigación, con el fin de reducir el riesgo de inundaciones en el tramo Acraquia – Daniel Hernández del río Opamayo.

Medidas estructurales de mitigación:

- Realizar mantenimiento y descolmatación periódica del cauce del río Opamayo, especialmente en los sectores críticos identificados en la modelación, con el fin de mejorar la capacidad hidráulica del cauce y reducir el riesgo de desbordes.
- Implementación de defensas ribereñas. Se recomienda evaluar técnicamente la construcción de (enrocados, muros de contención, gaviones, etc.) en los tramos identificados como críticos, donde la modelación evidenció amenaza directa a zonas urbanas y agrícolas.
- Sustituir los puentes de tabloncillos vulnerables por puentes de concreto diseñados con criterios hidráulicos adecuados, de modo que resistan eventos de creciente y garanticen la conectividad segura de la población durante inundaciones.

Medidas no estructurales de mitigación:

- Promover una adecuada planificación territorial y uso del suelo, en la que las autoridades locales de los distritos de Acraquia, Ahuaycha, Pampas y Daniel Hernández consideren los resultados del presente estudio en los planes de ordenamiento territorial, limitando el crecimiento urbano en áreas identificadas como inundables y promoviendo actividades agrícolas adaptadas en estas zonas.
- Recuperación y protección de la franja marginal, se recomienda delimitar y respetar la franja marginal del río, evitando nuevas construcciones en zonas identificadas como inundables, conforme a la normativa vigente sobre recursos hídricos.

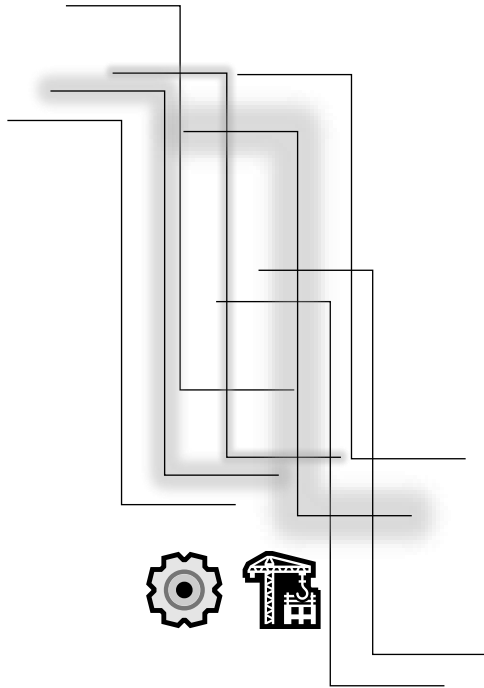
- Instalar más estaciones meteorológicas en la sub cuenca del río Opamayo y, al menos, una estación hidrométrica en el cauce principal que mida directamente el caudal, ya que actualmente no se cuenta con este registro. Estas estaciones deben mantenerse operativas y en buen estado para garantizar la disponibilidad de datos confiables, lo que permitirá mejorar la estimación de caudales y la simulación de los modelos hidrológicos e hidráulicos, así como actualizar periódicamente los escenarios de inundación.
- Desarrollar programas de capacitación y sensibilización comunitaria, dirigidos a autoridades locales, agricultores y pobladores, sobre gestión de riesgos de inundación, medidas de autoprotección y planes de emergencia.
- Fortalecer la gestión de riesgo en coordinación con las autoridades locales y entidades competentes (municipios, Defensa Civil, entre otros), integrando los resultados del presente estudio en la planificación de proyectos de infraestructura y medidas de prevención.

REFERENCIAS

- Arboleda, J., Felipe, O., & Yerrén, J. (2018). *Manual de hidrometría*. Lima, Perú: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú.
- Cahuana, A., & Yugar, W. (2009). *Material de apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje de la asignatura de hidrología CIV-233*. Cochabamba - Bolivia: Universidad Mayor de San Simón.
- Castro, E. (2016). *Teoría y práctica de la investigación científica*. Huancayo, Perú: PERUGRAPH SRL.
- Chereque, W. (1989). *Hidrología para estudiantes de ingeniería civil*. Lima - Perú: CONCYTEC PUCP.
- Chow, V., Maidment, D., & Mays, L. (1994). *Hidrología aplicada*. Santafé de Bogotá - Colombia: McGraw-Hill.
- Comunidad Planeta Azul – Banco de Occidente. (01 de Junio de 2017). *Planeta azul*. Recuperado el 15 de Julio de 2020, de <https://comunidadplanetaazul.com/el-caudal-de-los-rios/>
- Fatorelli, S., & Fernández, P. (2011). *Diseño hidrológico*. Zaragoza, España: WASA - GN.
- García, U. (14 de Junio de 2019). *METEORED*. Obtenido de METEORED: Inundaciones, uno de los desastres naturales más mortíferos: <https://www.tiempo.com/noticias/actualidad/inundacion-problema-en-todo-el-mundo.html>
- Gobierno Regional de Arequipa. (2015). Recuperado el 24 de Mayo de 2021, de <https://www.regionarequipa.gob.pe/Obras/ObrasDetalle/ObraMantenimiento/?TipoObra=U3329FDYYFST645M>

- Hernández, R., y Mendoza, C. (2018). Metodología investigación científica. (M. G. Hill, Ed.). Mc Graw Hill Interamericana editores, S.A. de C.V.
- Infoinundaciones. (31 de Enero de 2019). *Infoinundaciones*. Obtenido de Infoinundaciones: Gestión de inundaciones en Perú: infoinundaciones.com/noticias/la-gestion-de-inundaciones-en-el-peru/
- Maza, J., & Franco, V. (1993). *Obras de protección para control de inundaciones*. México: UNAM.
- MEF: Ministerio de Economía y Finanzas. (2013). *Protección frente a inundaciones - Guía simplificada para PIP de servicios de protección frente a inundaciones*. Lima, Perú: MEF: Ministerio de Economía y Finanzas.
- Metodologías para la estimación de caudales máximos*. (03 de marzo del 2023). Consultado el 10 de mayo de 2011, de <https://www.cidhma.edu.pe/metodologias-para-la-estimacion-de-caudales-maximos/?fbclid=IwAR31g3zcQ6-Bw424oRj3N4-Gp4Gea0BDh9MjJSq2O9jTFOG05uPXYkQmDFw>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2011). Manual de hidrología, hidráulica y drenaje. *Manual de hidrología, hidráulica y drenaje*. Lima: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2018). Manual de hidrología, hidráulica y drenaje. *Manual de hidrología, hidráulica y drenaje*. Lima, Perú: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- NASA - ARSET. (2019). *Earth observationsfor water resources*. Obtenido de Earth observationsfor water resources: <https://arset.gsfc.nasa.gov/webinars/fundamentals-remote>
- Ochoa, T. (2012). *Hidráulica de ríos y procesos morfológicos*. Bogotá - Colombia: Ecoe.

- Ramírez, R. (2010). *Proyecto de investigación. Cómo se hace una tesis*. Lima - Perú: Fondo Editorial AMADP.
- Rentschler, J., & Salhab, M. (Octubre de 2020). People in harm's way: Flood exposure and poverty in 189 countries. (9447). Obtenido de <http://hdl.handle.net/10986/34655>
- Solis H., Murillo, W. & Oreamuno, R. (1991). *Estudio hidrológico e hidráulico para el control de inundaciones en la cuenca del río Purires - Valle del Guarco*.
- Suárez, J. (2001). *Control de erosión en zonas tropicales*. Bucaramanga, Colombia: Instituto de Investigaciones sobre la Erosión y Deslizamientos - Ingeniería de suelos Ltda.
- Te, V. (2004). *Hidráulica de canales abierto*. Colombia: Martha Edna Suarez R.
- Terán, I. (1998). *Diseño y construcción de defensas ribereñas*. Lima, Perú: Escuela Superior de Administración de Aguas CHARLES SUTTON.
- USGS . (7 de Octubre de 2019). *El ciclo del agua*. Obtenido de El ciclo del agua: https://www.usgs.gov/special-topic/water-science-school/science/el-ciclo-del-agua-water-cycle-spanish?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects
- Valderrama, S. (2002). *Pasos para elaborar proyectos y tesis de investigación científica*. Cerro de Pasco, Perú: San Marcos.
- Villón, M. (2002). *Hidrología*. Cartago, Costa Rica.




ANEXOS

ANEXO 01: Matriz de consistencia


ANEXO 02: Panel Fotográfico del área de estudio

ANEXO 03: Estudio hidrológico

 Información hidrológica

 Simulación hidrológica para periodos de retorno

ANEXO 04: Levantamiento topográfico (fotogrametría)


 Panel fotográfico del estudio topográfico

 Informe de procesamiento Pix4Denterprise versión 4.4.12


 Fichas técnicas de los equipos utilizados

ANEXO 05: Panel fotográfico del análisis morfológico

ANEXO 06: Determinación del coeficiente de rugosidad de Manning

 Panel fotográfico coeficiente de Manning

ANEXO 07: Modelamiento hidráulico

 Mapas de inundación por periodos de retorno

ANEXO 08: Planos

- Plano de ubicación y localización
- Plano de ubicación de estación meteorológica Pampas.
- Plano de ubicación del área de influencia de la cuenca
- Ubicación general, departamental, provincial y distrital de la subcuenca río Opamayo.
- Ubicación geográfica de la subcuenca río Opamayo
- Ubicación hidrográfica de la subcuenca río Opamayo
- Plano en planta del río Opamayo
- Plano de secciones del río Opamayo

ANEXO 01:
Matriz de Consistencia



ANEXO 02:

Panel Fotográfico del Área de Estudio



PANEL FOTOGRÁFICO DEL ÁREA DE ESTUDIO

Fotografías panorámicas del tramo Acraquia – Daniel Hernández



Vista panorámica del río Opamayo distrito Daniel Hernández.



Vista panorámica del río Opamayo distrito Daniel Hernández.



Vista panorámica del río Opamayo distrito Pampas y Ahuaycha.



Vista panorámica del río Opamayo distrito Ahuaycha y Acraquia.

Imágenes en época de crecidas del río Opamayo



Aumento del caudal del río Opamayo en la progresiva 2+920.0, provocado por constantes lluvias.



Aumento del caudal del río Opamayo en la progresiva 2+140.0, provocado por constantes lluvias.



Aumento del caudal del rio Opamayo en la progresiva 15+040.0, provocado por constantes lluvias.



Aumento del caudal del rio Opamayo en la progresiva 2+620.0, provocado por constantes lluvias.



Aumento del caudal del rio Opamayo en la progresiva 13+300.0, provocado por constantes lluvias.



Aumento del caudal del rio Opamayo en la progresiva 13+400.0, provocado por constantes lluvias.



Aumento del caudal del rio Opamayo en la progresiva 2+420.0, provocado por constantes lluvias.



Aumento del caudal del rio Opamayo en la progresiva 2+980.00, provocado por constantes lluvias.

Fotografías de zonas urbanas y agrícolas vulnerables a inundación



Se observa la cercanía de las edificaciones al cauce del río Opamayo en el tramo Acaquia – Ahuaycha.



Se observa la cercanía de las edificaciones al cauce del río Opamayo en el tramo Ahuaycha – Pampas.



Se observa la cercanía de las edificaciones al cauce del río Opamayo en distrito Pampas.



Se observa la cercanía de las edificaciones al cauce del río Opamayo en el distrito Pampas.



Se observa la cercanía de las edificaciones al cauce del río Opamayo en el tramo Pampas – Daniel Hernández.



Se observa la cercanía de las edificaciones al cauce del río Opamayo en el distrito Daniel Hernández.



Proximidad de terrenos agrícolas (cultivo de quinua) al cauce del río Opamayo.



Proximidad de terrenos agrícolas (cultivo de maíz) al cauce del río Opamayo.



Proximidad de terrenos agrícolas (cultivo de papa y maíz) al cauce del río Opamayo.



Proximidad de terrenos agrícolas (cultivo de pastos forrajeros-raigrás) al cauce del río Opamayo.



Proximidad de terrenos agrícolas (cultivo de pastos forrajeros-alfalfa) al cauce del río Opamayo.



Áreas con presencia de pastos cortos que sirven de alimento y pastoreo para el ganado, localizadas en su mayoría a lo largo del borde del río Opamayo.

Fotografías de otras infraestructuras vulnerables a inundación



Vista de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito Acraquia.



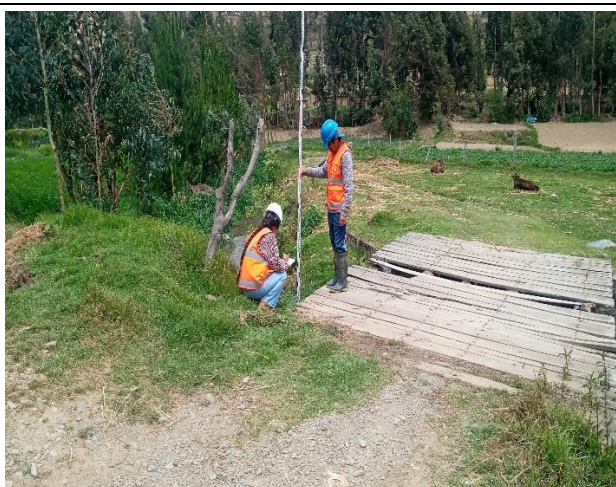
Vista de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito Ahuaycha.



Vista de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito Pampas.



Vista de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito Daniel Hernández.



La mayoría de puentes que comunican los anexos en estos distritos están construidas principalmente con tabloncillos de madera.



Otras infraestructuras vulnerables a inundación (pistas, losas deportivas, etc.)

ANEXO 03:
Estudio Hidrológico



 **Información Hidrológica**

Precipitaciones máximas en 24 horas (mm).

UNIDAD DE ATENCION AL CIUDADANO Y GESTION DOCUMENTAL															
ESTACIÓN: PAMPAS/000508/DZ12					ALT: 3250 MSNM					LONG: 74° 53' 2.9"					
					LAT: 12° 24' 7.3"					DPTO: HUANCAMELICA					
PT202 PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HORAS (mm)															
T Traza (precipitación menor a 0.1 mm)															
S/D SIN DATO															
CODIGO	PLANILLA	VARIABLE	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
508	52	PT202	1989		20.5						2	4	8.5	8	
508	52	PT202	1990			12	4	9.9		4		7.2	11		11.6
508	52	PT202	1991			9.8	8.2	7.2	7.8	6.6	0	14.1	8.2	6.8	6.2
508	52	PT202	1992	8.7	9.8	9.1	8.7	0	8.2	3.4	19.1	10.5	12.1	9.4	11.4
508	52	PT202	1993		16.8	11.4	21		5.9	3.9	9.4		8.6	14.9	18.5
508	52	PT202	1994		8.3			1.5	0.9	0	8	5.9	14.9	7	
508	52	PT202	1995	32.8	25.1		8.3	6.3	6.6	10.3	7.5	10.8	7.1	12.7	18.7
508	52	PT202	1996	10.1	33.7	28.2	11.5	4.3	3.1	2.9	3.4	12.5	8.8	16.9	6.4
508	52	PT202	1997	24.6	15.8	18.9	8.4	13.2	2	4.3	12.3	16.5	5.7	12.6	25.3
508	52	PT202	1998	23.2	21.5	10.1	3.1	3.4	6.1	0	13.1	1.6	27.1	5.7	15.7
508	52	PT202	1999	12.9	23.8	22.8	10.4	2.3	0	11.7	0	9.5	10.4	8.1	15.8
508	52	PT202	2000	30.3	27.2	10	16.4	28.2	6.3	7.9	4.3	4.2	5.6	20.3	16.4
508	52	PT202	2001	14	7.8	6.8	2.8	13	0	17.7	4.6	2.2	14.5	27.2	22.1
508	52	PT202	2002		13	9.9	8.9	9.7	1.5	8.6	6.6	17.6	10.6		20.5
508	52	PT202	2003	11.6	14.7	17.2	15.3	6.2	0	0	16.6	8.4	6.3	10.9	13.6
508	52	PT202	2004	9	25.9	19.6	7.5	6.3	9.5	14	5.6	13.5		14.2	22.4
508	52	PT202	2005	12.3	12.1	22.1	9.4	1.1	0	6.4	4.4	10.1	13.4	9.6	18.9
508	52	PT202	2006	32.6	11.3	18.3	9.8	6.7	4.8	0	6	7.1		8.6	9.5
508	52	PT202	2007	16.5	16.7	22.1	12.8		0	8.6	1.4	4.8		8.1	
508	52	PT202	2008	19.8	18	8.5	4.7	7	10.5	0	4.4	6.7	17	12.2	11.6
508	52	PT202	2009	16	19	11.1	12.6	6.3	2.4	12.6	11.2	13.7	6.8	14	13.6
508	52	PT202	2010	24.4	18		14.4	2.2		1	8.2	10.4	12.8	3.1	21
508	52	PT202	2011	29.2	20	24	21	6.8	4.6	4.4	10.1	10.6	15	19.8	17.6
508	52	PT202	2012	19.8	47.4	12.6	13.6	5.8	18.2	6.4	5.2	8	28.5	15.2	12.4
508	52	PT202	2013	21	16.7	13	4.9	8.9	5.4	5.4	21.4	4.3	11.2	10.4	19.6
508	52	PT202	2014	8.8	23.7	19.1	12.8	4	1.8	9.8	6.2	15.2	16.4	15.7	21.6
508	52	PT202	2015	31.6	18.6	17	12.2	8.6	10.5	8.6					
508	52	PT202	2016	9.6	24.6	11.2	9.7		1.6	12.2	4.6	2.6	11.7	6.8	15.2
508	52	PT202	2017	18.6		21.5	7.3	6.8	0	5.1	7	11.2	11	12.9	9.2
508	52	PT202	2018	22.4	19.5	22.5	7.4	4.5	4.6	11.5	19	6.6	8.1	15	11.7
508	52	PT202	2019	15.4	18.3	19.1	11	9.8	2.8	11.1	0.2	6.9	13.5	16	17.2
508	52	PT202	2020		20.8	19.5	7.1	5.6	5.5	7.6	0	14.1	7.6	4.8	23.5
508	52	PT202	2021	14.4	20.7	17.9	21.5	13.9	2	2.6	3.2	8.7	12.5	21.8	13.1
508	52	PT202	2022	22.5	20.8	13.4	11.8	9.5	3.4	1.1	7.6			8.9	18.5
508	52	PT202	2023	20	18	12.7	8.7	17.4	0	0.7					

Fuente: SENAMHI



"Año de la unidad, la paz y el desarrollo"

Huancavelica, 25 de Julio de 2023.

CARTA DE PRESENTACIÓN

SEÑOR:

JUAN CARLOS REQUEJO ALEMÁN
Gerente general del SENAMHI

HUANCVELICA. -

De mi distinguida consideración:

Es un honor dirigirme a su respetable Despacho, con el propósito de hacerle llegar un saludo cordial a nombre de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil - Huancavelica; Facultad de Ciencias de Ingeniería de la Universidad Nacional de Huancavelica.

El motivo de la presente le presento a los egresados **TORRES SOTO DIRSE CARMELA** con **CÓDIGO DE MATRÍCULA N° 2012151089** y **TORRES SOTO EBERTH NIJAEL** con **CÓDIGO DE MATRÍCULA N° 2006151050** de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil - Huancavelica, con la finalidad que le brinde las facilidades necesarias para su buena formación académica; para el desarrollo de su proyecto de tesis "MODELAMIENTO DE ZONAS INUNDABLES EN EL TRAMO ACRAQUIA – DANIEL HERNANDEZ DEL RIO OPAMAYO EN TAYACAJA". Por lo cual solicitamos se le brinde las facilidades correspondientes.

Agradeciendo por anticipado, a la atención que le brinde al presente documento, me suscribo de usted, sin antes expresarle las muestras de mi consideración y deferencia institucional.

Cordialmente,


UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA
FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERIA
DR. ABDON DANTE OLIVERA CUENTANILLO
DIRECTOR DE LA ESCUELA PROFESIONAL
DE INGENIERIA CIVIL - HVCA

N° 043-2023

C. c.
Archivo
ADDD/CAS

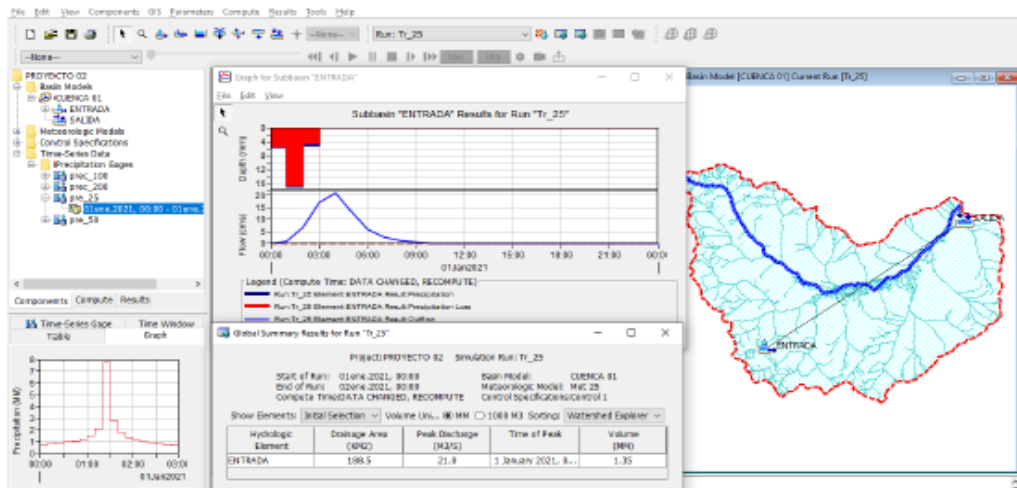


RUMBO A LA ACREDITACIÓN.....

Simulación hidrológica para periodos de retorno en HEC-HMS

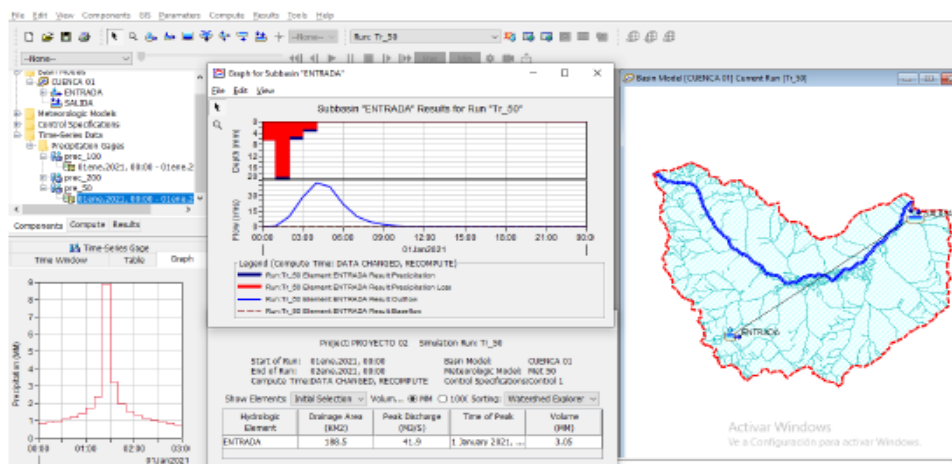
- Hidrogramas

Hidrograma para $Tr = 25$ años



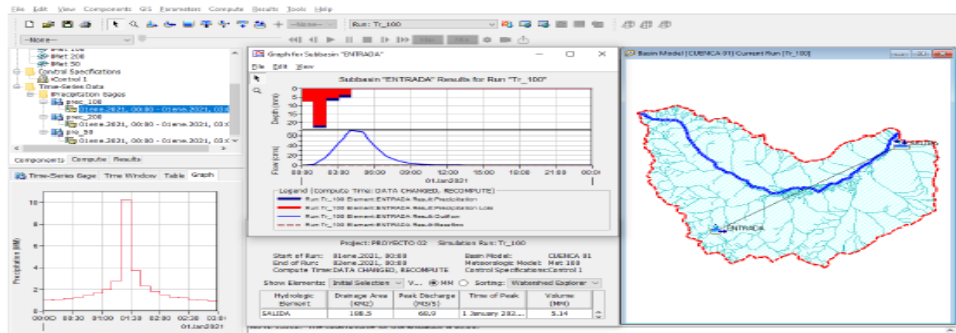
Fuente: Elaboración propia (2025).

Hidrograma para $Tr = 50$ años



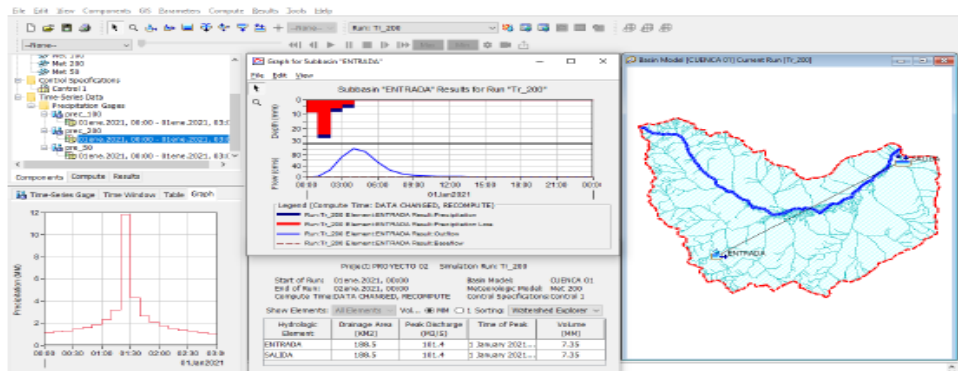
Fuente: Elaboración propia (2025)

Hidrograma Tr = 100 años



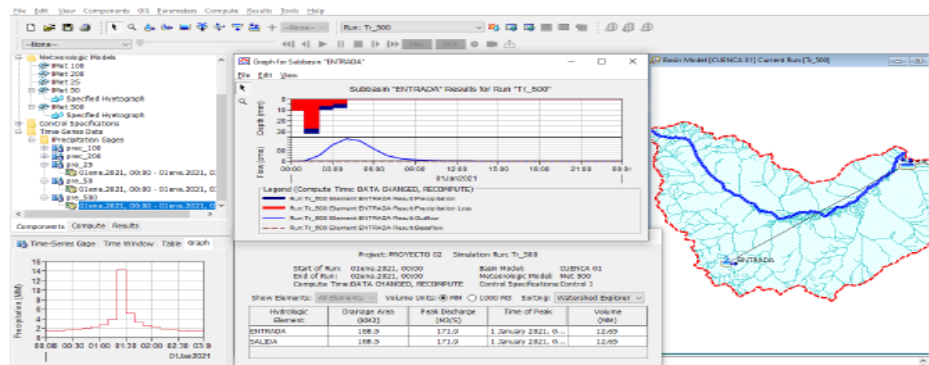
Fuente: Elaboración propia (2025)

Hidrograma Tr = 200 años



Fuente: Elaboración propia (2025)

Hidrograma para Tr = 500 años



Fuente: Elaboración propia (2025)

- **Resultados series de tiempo y Caudal**

Resultados series de tiempo y Caudal, Tr = 25 años

Fecha	Tiempo	Flujo Directo (m^3/s)	Flujo Total (m^3/s)
01ene.2021	00:00	0	0
01ene.2021	01:00	1.1	1.1
01ene.2021	02:00	6.7	6.7
01ene.2021	03:00	17.1	17.1
01ene.2021	04:00	21	21
01ene.2021	05:00	13.4	13.4
01ene.2021	06:00	6	6
01ene.2021	07:00	2.8	2.8
01ene.2021	08:00	1.3	1.3
01ene.2021	09:00	0.6	0.6
01ene.2021	10:00	0.3	0.3
01ene.2021	11:00	0.1	0.1
01ene.2021	12:00	0	0

Fuente: Elaboración propia (2025)

Resultados series de tiempo y Caudal, Tr = 50 años

Fecha	Tiempo	Flujo Directo (m^3/s)	Flujo Total (m^3/s)
01ene.2021	00:00	0	0
01ene.2021	01:00	1.3	1.3
01ene.2021	02:00	10	10
01ene.2021	03:00	28.1	28.1
01ene.2021	04:00	41.9	41.9
01ene.2021	05:00	38.1	38.1
01ene.2021	06:00	21.9	21.9
01ene.2021	07:00	9.9	9.9
01ene.2021	08:00	4.6	4.6
01ene.2021	09:00	2.1	2.1
01ene.2021	10:00	1	1
01ene.2021	11:00	0.4	0.4
01ene.2021	12:00	0.2	0.2
01ene.2021	13:00	0	0

Fuente: Elaboración propia (2025)

Resultados series de tiempo y Caudal, Tr = 100 años

Fecha	Tiempo	Flujo Directo (m^3/s)	Flujo Total (m^3/s)
01ene.2021	00:00	0	0
01ene.2021	01:00	1.5	1.5
01ene.2021	02:00	15.8	15.8
01ene.2021	03:00	45.9	45.9
01ene.2021	04:00	69.6	69.6
01ene.2021	05:00	66.4	66.4
01ene.2021	06:00	39.5	39.5
01ene.2021	07:00	17.8	17.8
01ene.2021	08:00	8.3	8.3
01ene.2021	09:00	3.8	3.8
01ene.2021	10:00	1.8	1.8
01ene.2021	11:00	0.8	0.8
01ene.2021	12:00	0.3	0.3
01ene.2021	13:00	0.1	0.1
01ene.2021	14:00	0	0
01ene.2021	15:00	0	0

Fuente: Elaboración propia (2025)

Resultados series de tiempo y Caudal, Tr = 200 años

Fecha	Tiempo	Flujo Directo (m^3/s)	Flujo Total (m^3/s)
01ene.2021	00:00	00:00	0
01ene.2021	01:00	16:48	1.7
01ene.2021	02:00	16:48	24.7
01ene.2021	03:00	04:48	72.2
01ene.2021	04:00	07:12	102.3
01ene.2021	05:00	21:36	90.9
01ene.2021	06:00	14:24	52.6
01ene.2021	07:00	16:48	23.7
01ene.2021	08:00	00:00	11
01ene.2021	09:00	02:24	5.1
01ene.2021	10:00	09:36	2.4
01ene.2021	11:00	02:24	1.1
01ene.2021	12:00	09:36	0.4
01ene.2021	13:00	02:24	0.1
01ene.2021	14:00	00:00	0

Fuente: Elaboración propia (2025)

Resultados series de tiempo y Caudal, Tr = 5000 años

Fecha	Tiempo	Flujo Directo (m^3/s)	Flujo Total (m^3/s)
01ene.2021	06:00	6	6
01ene.2021	07:00	2.8	2.8
01ene.2021	08:00	1.3	1.3
01ene.2021	09:00	0.6	0.6
01ene.2021	10:00	0.3	0.3
01ene.2021	11:00	0.1	0.1
01ene.2021	12:00	0	0

Fecha	Tiempo	Flujo Directo (m^3/s)	Flujo Total (m^3/s)
01ene.2021	00:00	0	0
01ene.2021	01:00	1.1	1.1
01ene.2021	02:00	6.7	6.7
01ene.2021	03:00	17.1	17.1
01ene.2021	04:00	21	21
01ene.2021	05:00	13.4	13.4

Fuente: Elaboración propia (2025)

ANEXO 04:

Levantamiento topográfico (fotogrametría)



PANEL FOTOGRÁFICO DEL ESTUDIO TOPOGRÁFICO

Fotografías del Monumentado de los BMs en el tramo Acraquia – Daniel Hernández



Materiales para la elaboración de BMs.



Excavación de BMs, dimensiones 0.40 m x 0.40 m x 0.40 m.



Encofrado y vaciado de concreto para BMs.



Colocado de los aceros corrugados en los BMs.



Desenfofrado de los BMs.



Pintado y enumerado de los 22 BMs.



BM-01 monumento.



BM-04 monumento.



BM-12 monumento.



BM-22 monumento.

Fotografías de la georreferenciación (coordenadas UTM y altitudes) de BMs en el tramo Acraquia – Daniel Hernández



Inicio de captura de coordenadas y altitud de cada BM con receptores GNSS (uno Estacionado y uno Móvil).



BM-01: Coordenadas UTM (E: 517684.988; N: 8634287.840), cota altimétrica: 3195.946 m s.n.m.



BM-02: Coordenadas UTM (E: 517356.232; N: 8634285.46),
cota altimétrica: 3221.553 m s.n.m.



BM-03: Coordenadas UTM (E: 517157.728; N: 8633652.61),
cota altimétrica: 3208.252m s.n.m.



BM-04: Coordenadas UTM (E: 516968.579; N: 8633241.46),
cota altimétrica: 3198.008 m s.n.m.



BM-05: Coordenadas UTM (E: 516723.954; N: 8632863.49),
cota altimétrica: 3200.525 m s.n.m.



BM-06: Coordenadas UTM (E: 516401.582; N: 8632457.23),
cota altimétrica: 3204.593 m s.n.m



BM-07: Coordenadas UTM (E: 516105.403; N: 8632092.72),
cota altimétrica: 3210.065 m s.n.m



BM-08: Coordenadas UTM (E: 515736.98; N: 8631863.65),
cota altimétrica: 3213.284 m s.n.m



BM-09: Coordenadas UTM (E: 515306.457; N: 8631553.55),
cota altimétrica: 3219.323 m s.n.m



BM-10: Coordenadas UTM (E: 515021.127; N: 8631130.26),
cota altimétrica: 3225.699 m s.n.m



BM-11: Coordenadas UTM (E: 514823.437; N: 8630696.95),
cota altimétrica: 3231.116 m s.n.m



BM-12: Coordenadas UTM (E: 514451.133; N: 8630454.58),
cota altimétrica: 3241.666 m s.n.m



BM-13: Coordenadas UTM (E: 514118.297; N: 8630065.86),
cota altimétrica: 3238.13 m s.n.m



BM-14: Coordenadas UTM (E: 513661.932; N: 8629964.49),
cota altimétrica: 3270.148 m s.n.m



BM-15: Coordenadas UTM (E: 513222.643; N: 8629543.92),
cota altimétrica: 3241.278 m s.n.m



BM-16: Coordenadas UTM (E: 512708.312; N: 8629664.05),
cota altimétrica: 3242.176 m s.n.m



BM-17: Coordenadas UTM (E: 512313.925; N: 8629517.30),
cota altimétrica: 3246.123 m s.n.m



BM-18: Coordenadas UTM (E: 511798.389; N: 8629560.98),
cota altimétrica: 3248.343 m s.n.m



BM-19: Coordenadas UTM (E: 511540.283; N: 8629360.35),
cota altimétrica: 3250.078 m s.n.m



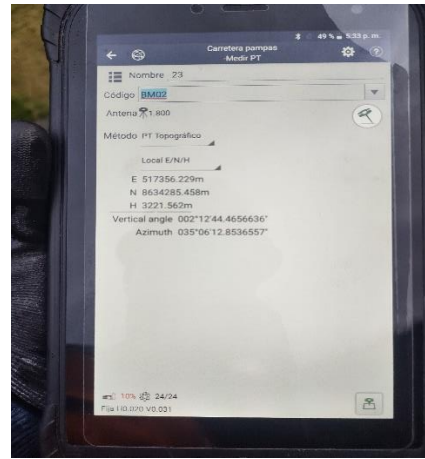
BM-20: Coordenadas UTM (E: 510909.52; N: 8629331.88), cota altimétrica: 3252.268 m s.n.m.



BM-21: Coordenadas UTM (E: 510372.585; N: 8629110.71), cota altimétrica: 3256.977 m s.n.m.



BM-22: Coordenadas UTM (E: 509862.932; N: 8628894.98), cota altimétrica: 3264.853 m s.n.m.



Se capturaron las coordenadas y altitudes en tiempo real de los 22 BMs en la Tablet.

Fotografías del levantamiento con dron del tramo Acraquia – Daniel Hernández



Marcado de BM-02 con yeso para su fácil identificación con el dron durante el vuelo.



Marcado de BM-03 con yeso para su fácil identificación con el dron durante el vuelo.



Marcado de BM-06 con yeso para su fácil identificación con el dron durante el vuelo.



Marcado de BM-09 con yeso para su fácil identificación con el dron durante el vuelo.



Marcado de BM-10 con yeso para su fácil identificación con el dron durante el vuelo.



Marcado de BM-11 con yeso para su fácil identificación con el dron durante el vuelo.



Marcado de BM-12 con yeso para su fácil identificación con el dron durante el vuelo.



Marcado de BM-15 con yeso para su fácil identificación con el dron durante el vuelo.



Marcado de BM-16 con yeso para su fácil identificación con el dron durante el vuelo.



Marcado de BM-18 con yeso para su fácil identificación con el dron durante el vuelo.



Marcado de BM-21 con yeso para su fácil identificación con el dron durante el vuelo.



Marcado de BM-22 con yeso para su fácil identificación con el dron durante el vuelo. Una vez terminado el marcado de los 22 BMs se procedió a la ejecución de los vuelos.



Vuelo-01: Despegue desde BM-21, con cobertura del área aguas arriba del río Opamayo.



Vuelo-02: Despegue desde BM-21, con cobertura del área aguas abajo del río Opamayo.



Vuelo-03: Despegue desde BM-16, con cobertura del área aguas arriba del río Opamayo.



Vuelo-04: Despegue desde BM-16, con cobertura del área aguas abajo del río Opamayo.



Vuelo-05: Despegue desde BM-11, con cobertura del área aguas arriba del río Opamayo.



Vuelo-06: Despegue desde BM-11, con cobertura del área aguas abajo del río Opamayo.



Vuelo-07: Despegue desde BM-07, con cobertura del área aguas arriba del río Opamayo.



Vuelo-08: Despegue desde BM-07, con cobertura del área aguas abajo del río.



Vuelo-09: Despegue desde BM-03, con cobertura del área aguas arriba del río Opamayo.



Vuelo-10: Despegue desde BM-03, con cobertura del área aguas abajo del río Opamayo.

Fotografías otros del levantamiento con dron del tramo Acraquia – Daniel Hernández



Instalación de los equipos topográficos y configuración del programa en la tablet con apoyo del topógrafo, garantizando su correcto funcionamiento y precisión.



Marcado con yeso y verificación de coordenadas de los BMs con el receptor GNSS móvil que se encuentra conectada a la tablet para el registro.



Previo a cada vuelo se verificó el dron con apoyo del técnico topógrafo, asegurando su óptimo funcionamiento y la calidad de los registros obtenidos



Vista panorámica del valle del río Opamayo con presencia de los tesisistas durante el trabajo de campo.

 Informe de procesamiento Pix4Denterprise versión 4.4.12

Important: Click on the different icons for:

- Help to analyze the results in the Quality Report
- Additional information about the sections

Click [here](#) for additional tips to analyze the Quality Report

Summary

Project	PAMPAS
Processed	2023-10-17 17:50:28
Camera Model Name(s)	FC6310R_8.8_5472x3648 (d801f666a3ebbc3dfd6001ee509462c0) (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	4.10 cm / 1.61 in
Area Covered	5.036 km ² / 503.5722 ha / 1.95 sq. mi. / 1244.9982 acres

Quality Check

Images	median of 4461 keypoints per image	
Dataset	2141 out of 2141 images calibrated (100%), all images enabled	
Camera Optimization	0% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	
Matching	median of 1843.54 matches per calibrated image	
Georeferencing	yes, 22 GCPs (22 3D), mean RMS error = 0.006 m	

Preview



Figure 1: Orthomosaic and the corresponding sparse Digital Surface Model (DSM) before densification.

Calibration Details

Number of Calibrated Images	2141 out of 2141
Number of Geolocated Images	2141 out of 2141

Initial Image Positions

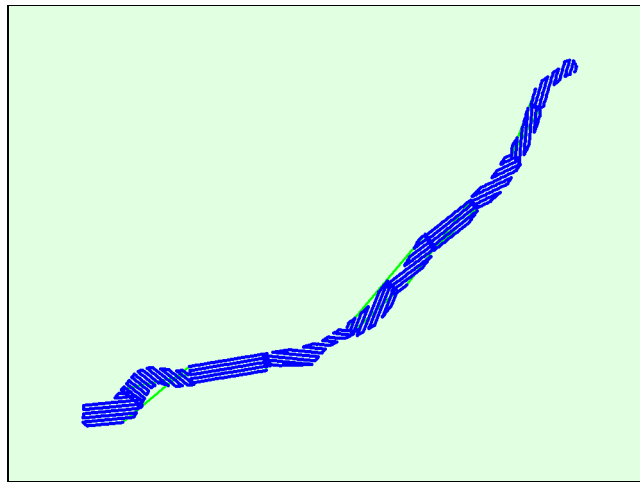
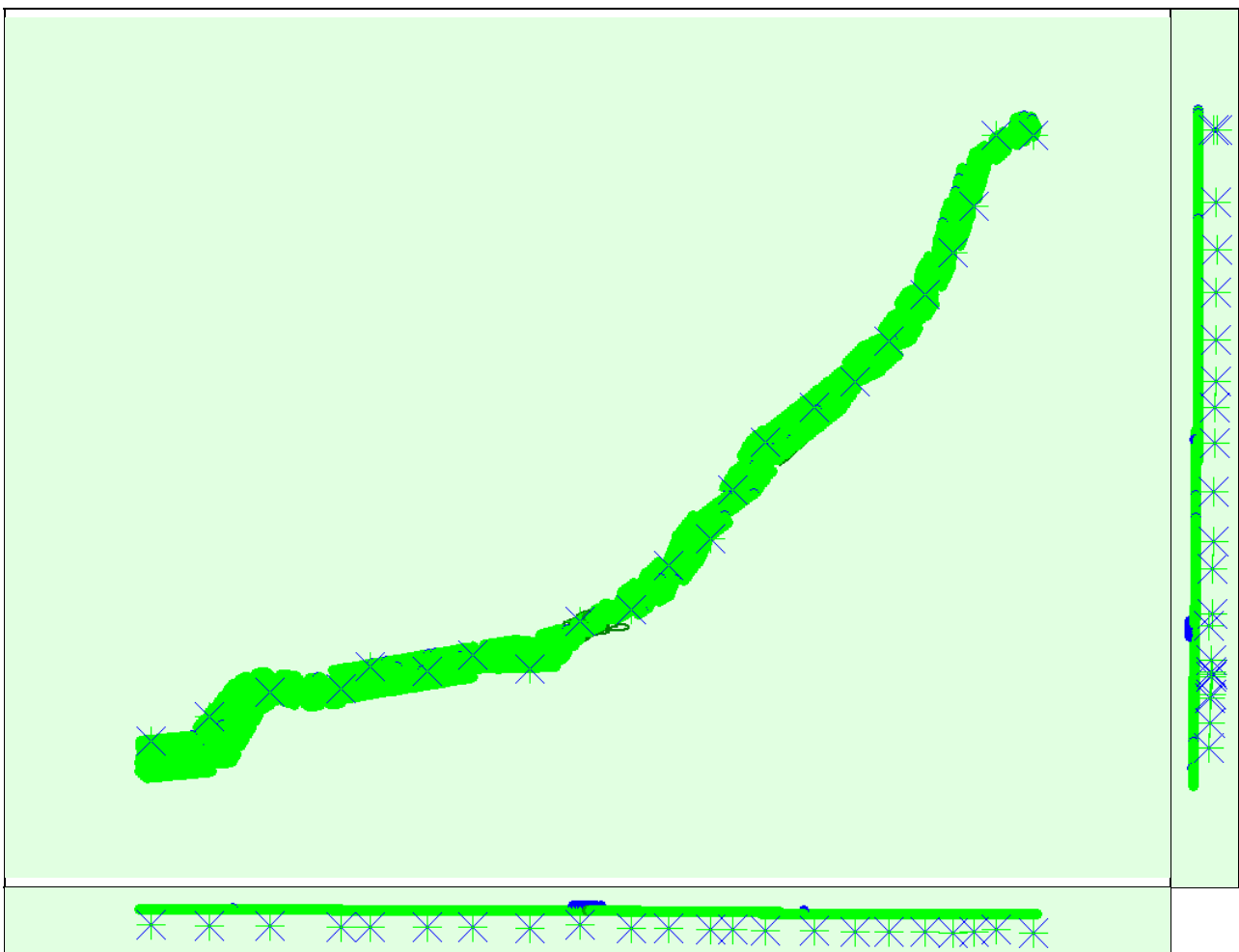


Figure 2: Top view of the initial image position. The green line follows the position of the images in time starting from the large blue dot.

Computed Image/GCPs/Manual Tie Points Positions



Uncertainty ellipses 1000x magnified

Figure 3: Offset between initial (blue dots) and computed (green dots) image positions as well as the offset between the GCPs initial positions (blue crosses) and their computed positions (green crosses) in the top-view (XY plane), front-view (XZ plane), and side-view (YZ plane). Dark green ellipses indicate the absolute position uncertainty of the bundle block adjustment result.

Absolute camera position and orientation uncertainties



X[m]	Y[m]	Z[m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]	Camera Displacement X[m]	Camera Displacement Y[m]	Camera Displacement Z[m]
------	------	------	----------------	--------------	----------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

Mean	0.007	0.006	0.010	0.005	0.006	0.007	0.013	0.014	0.024
Sigma	0.019	0.012	0.002	0.005	0.007	0.002	0.002	0.002	0.010

Overlap

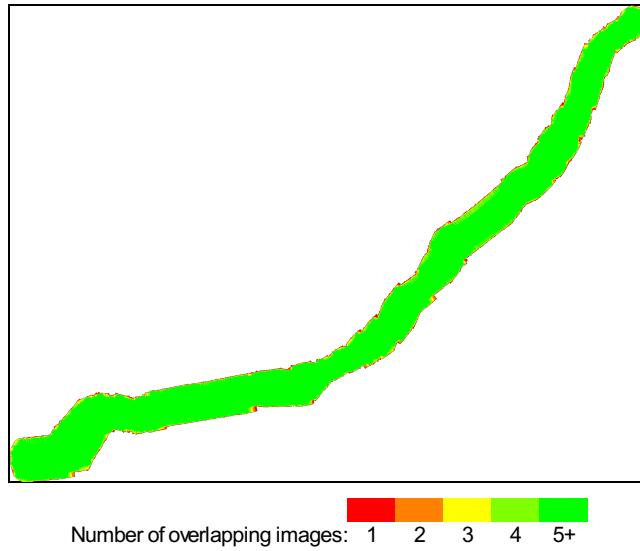


Figure 4: Number of overlapping images computed for each pixel of the orthomosaic. Red and yellow areas indicate low overlap for which poor results may be generated. Green areas indicate an overlap of over 5 images for every pixel. Good quality results will be generated as long as the number of keypoint matches is also sufficient for these areas (see Figure 5 for keypoint matches).

Bundle Block Adjustment Details

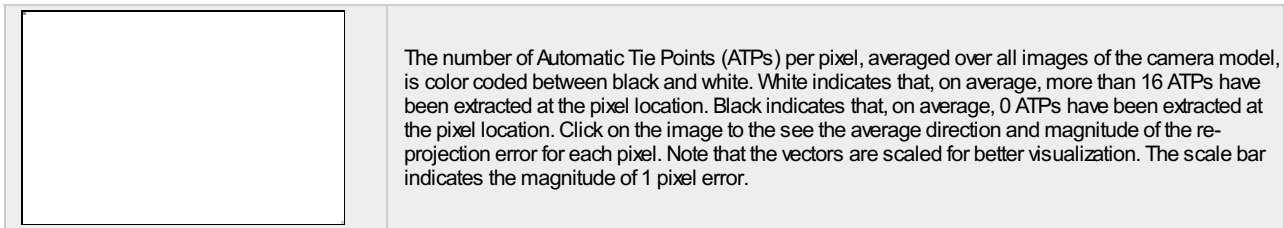
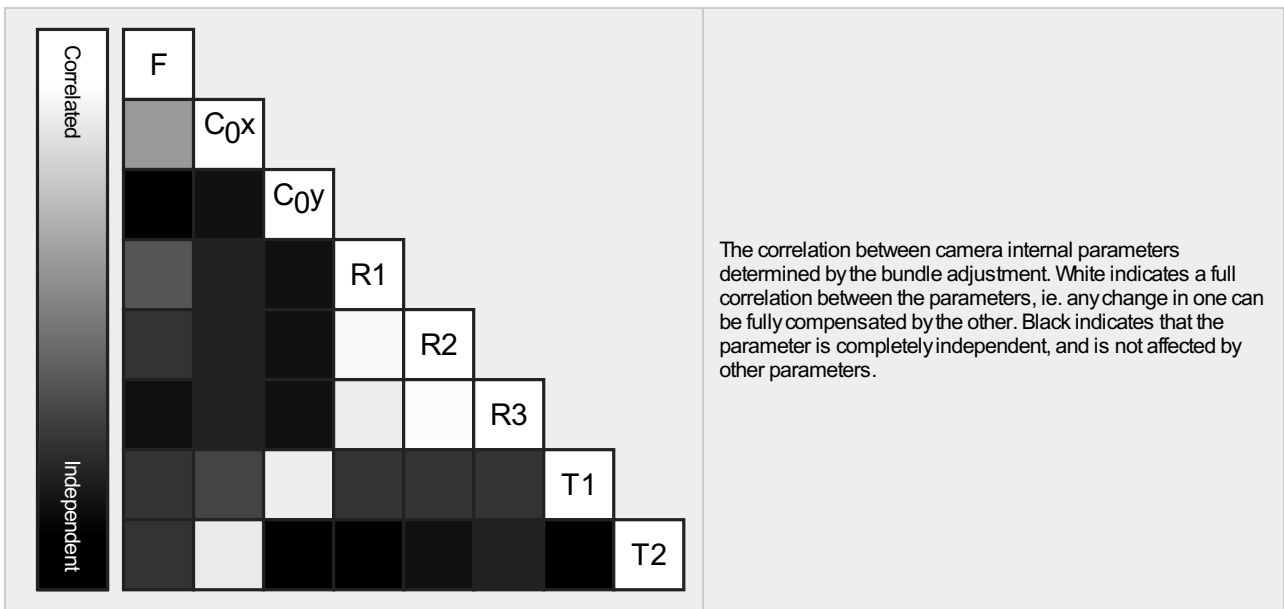
Number of 2D Keypoint Observations for Bundle Block Adjustment	3930713
Number of 3D Points for Bundle Block Adjustment	949160
Mean Reprojection Error [pixels]	0.134

Internal Camera Parameters

FC6310R_8.8_5472x3648 (d801f666a3ebbc3dfd6001ee509462c0) (RGB). Sensor Dimensions: 12.833 [mm] x 8.556 [mm]

EXIF ID: FC6310R_8.8_5472x3648

	Focal Length	Principal Point x	Principal Point y	R1	R2	R3	T1	T2
Initial Values	3671.740 [pixel] 8.611 [mm]	2717.370 [pixel] 6.373 [mm]	1827.510 [pixel] 4.286 [mm]	-0.010	-0.013	0.021	-0.002	-0.001
Optimized Values	3671.834 [pixel] 8.611 [mm]	2715.625 [pixel] 6.369 [mm]	1826.443 [pixel] 4.284 [mm]	-0.014	0.003	0.006	-0.002	-0.001
Uncertainties (Sigma)	0.147 [pixel] 0.000 [mm]	0.059 [pixel] 0.000 [mm]	0.145 [pixel] 0.000 [mm]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000



2D Keypoints Table

	Number of 2D Keypoints per Image	Number of Matched 2D Keypoints per Image
Median	4461	1844
Mn	2718	415
Max	6336	4248
Mean	4469	1836

3D Points from 2D Keypoint Matches

	Number of 3D Points Observed
In 2 Images	437947
In 3 Images	173116
In 4 Images	96335
In 5 Images	61265
In 6 Images	37314
In 7 Images	26093
In 8 Images	20894
In 9 Images	17123
In 10 Images	14790
In 11 Images	11443
In 12 Images	9007
In 13 Images	7618
In 14 Images	7106
In 15 Images	6786
In 16 Images	5331
In 17 Images	3871
In 18 Images	2956
In 19 Images	2247
In 20 Images	1890
In 21 Images	1324
In 22 Images	1010
In 23 Images	748

In 24 Images	587
In 25 Images	504
In 26 Images	393
In 27 Images	293
In 28 Images	219
In 29 Images	176
In 30 Images	145
In 31 Images	135
In 32 Images	118
In 33 Images	75
In 34 Images	66
In 35 Images	59
In 36 Images	50
In 37 Images	47
In 38 Images	27
In 39 Images	18
In 40 Images	13
In 41 Images	12
In 42 Images	3
In 43 Images	4
In 45 Images	2

? 2D Keypoint Matches

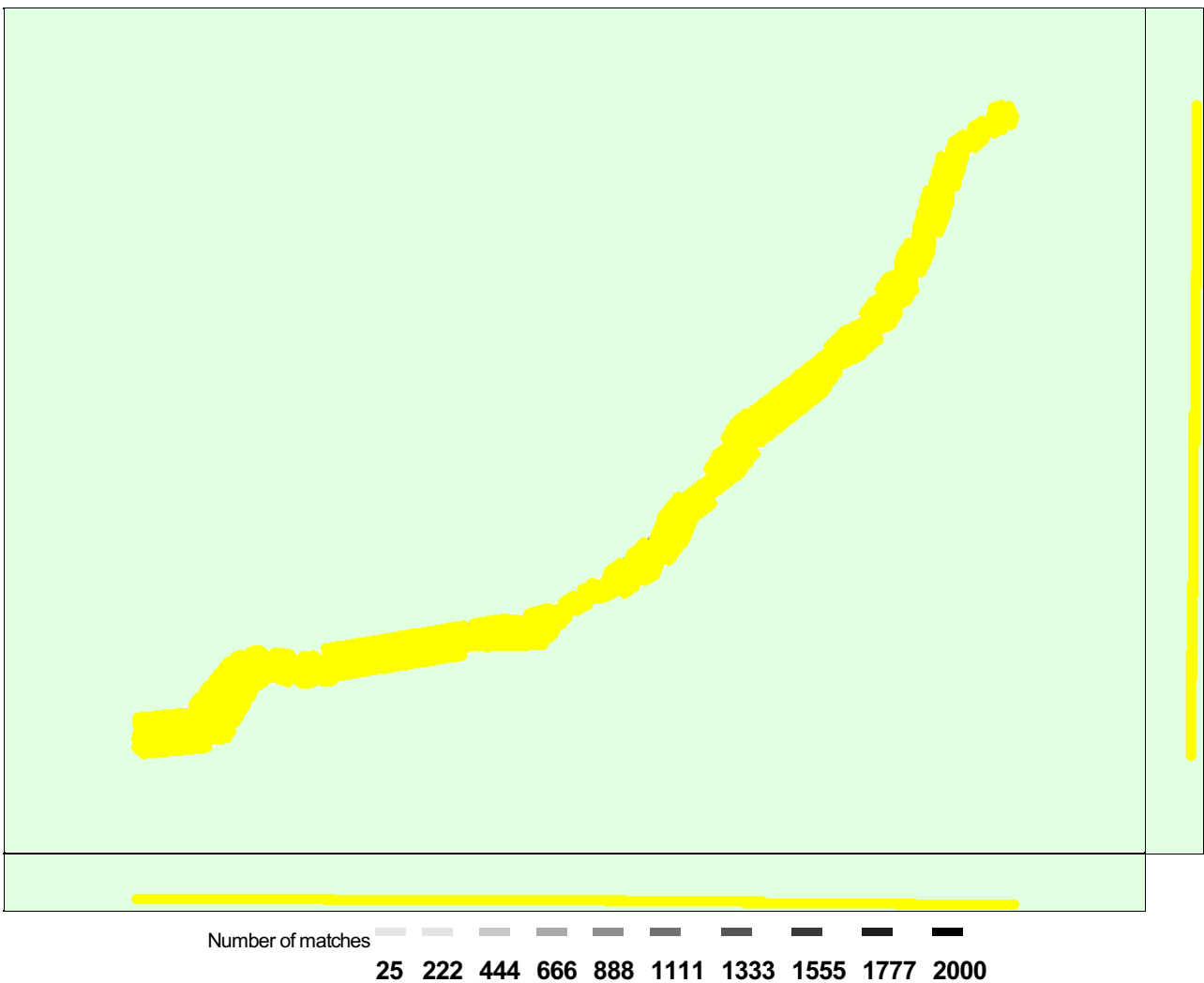


Figure 5: Computed image positions with links between matched images. The darkness of the links indicates the number of matched 2D keypoints between the images. Bright links indicate weak links and require manual tie points or more images.

Geolocation Details



Ground Control Points



GCP Name	Accuracy XY/Z [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
1 (3D)	0.020/ 0.020	0.002	-0.002	0.001	0.062	8 / 8
2 (3D)	0.020/ 0.020	0.003	-0.007	0.015	0.113	6 / 6
3 (3D)	0.020/ 0.020	0.001	-0.006	-0.003	0.071	6 / 6
4 (3D)	0.020/ 0.020	-0.001	-0.002	-0.007	0.118	5 / 5
5 (3D)	0.020/ 0.020	-0.003	-0.010	-0.004	0.105	11 / 11
6 (3D)	0.020/ 0.020	0.004	-0.005	-0.007	0.083	6 / 6
7 (3D)	0.020/ 0.020	0.002	-0.003	0.009	0.216	13 / 13
8 (3D)	0.020/ 0.020	0.003	-0.003	-0.004	0.113	6 / 6
9 (3D)	0.020/ 0.020	0.001	-0.002	-0.004	0.104	13 / 13
10 (3D)	0.020/ 0.020	-0.000	0.000	-0.005	0.101	5 / 5
11 (3D)	0.020/ 0.020	0.001	0.002	-0.002	0.203	7 / 7
12 (3D)	0.020/ 0.020	0.002	0.001	0.009	0.083	6 / 6
13 (3D)	0.020/ 0.020	-0.000	0.008	0.010	0.244	11 / 11
14 (3D)	0.020/ 0.020	-0.002	0.002	0.020	0.044	5 / 5
15 (3D)	0.020/ 0.020	-0.001	0.012	-0.000	0.069	6 / 6
16 (3D)	0.020/ 0.020	0.001	0.014	0.001	0.150	12 / 12
17 (3D)	0.020/ 0.020	-0.004	0.011	-0.001	0.076	5 / 5
18 (3D)	0.020/ 0.020	-0.003	0.006	0.005	0.087	5 / 5
19 (3D)	0.020/ 0.020	-0.003	0.009	-0.017	0.129	7 / 7
20 (3D)	0.020/ 0.020	-0.003	-0.013	-0.014	0.094	6 / 6
21 (3D)	0.020/ 0.020	-0.002	-0.014	-0.030	0.090	8 / 8
22 (3D)	0.020/ 0.020	0.000	-0.005	0.005	0.103	5 / 5
Mean [m]		-0.000033	-0.000340	-0.001122		
Sigma [m]		0.002212	0.007560	0.010633		
RMS Error [m]		0.002212	0.007567	0.010692		

Localisation accuracy per GCP and mean errors in the three coordinate directions. The last column counts the number of calibrated images where the GCP has been automatically verified vs. manually marked.

Absolute Geolocation Variance



Mn Error [m]	Max Error [m]	Geolocation Error X [%]	Geolocation Error Y [%]	Geolocation Error Z [%]
-	-6.61	0.00	0.00	0.00
-6.61	-5.29	0.00	0.00	0.00
-5.29	-3.97	0.00	0.00	0.00
-3.97	-2.65	0.00	0.00	0.00
-2.65	-1.32	0.05	0.00	0.00
-1.32	0.00	49.32	48.20	49.51
0.00	1.32	50.58	51.71	49.04
1.32	2.65	0.05	0.00	0.00
2.65	3.97	0.00	0.05	0.00
3.97	5.29	0.00	0.05	0.00
5.29	6.61	0.00	0.00	0.00
6.61	-	0.00	0.00	1.45
Mean [m]		-0.011633	0.169674	1.535315
Sigma [m]		0.070961	0.141933	4.417535
RMS Error [m]		0.071908	0.221211	4.676730

Min Error and Max Error represent geolocation error intervals between -1.5 and 1.5 times the maximum accuracy of all the images. Columns X, Y, Z show the percentage of images with geolocation errors within the predefined error intervals. The geolocation error is the difference between the initial and computed image positions. Note that the image geolocation errors do not correspond to the accuracy of the observed 3D points.

Geolocation Bias	X	Y	Z
Translation [m]	-0.014730	0.159825	1.000670

Bias between image initial and computed geolocation given in output coordinate system.

Relative Geolocation Variance

Relative Geolocation Error	Images X [%]	Images Y [%]	Images Z [%]
[-1.00, 1.00]	99.91	99.91	98.22
[-2.00, 2.00]	100.00	100.00	98.55
[-3.00, 3.00]	100.00	100.00	98.55
Mean of Geolocation Accuracy [m]	0.033858	0.033858	0.075869
Sigma of Geolocation Accuracy [m]	0.171894	0.171894	0.374034

Images X, Y, Z represent the percentage of images with a relative geolocation error in X, Y, Z.

Geolocation Orientational Variance	RMS [degree]
Omega	0.681
Phi	0.517
Kappa	7.549

Geolocation RMS error of the orientation angles given by the difference between the initial and computed image orientation angles.

Rolling Shutter Statistics

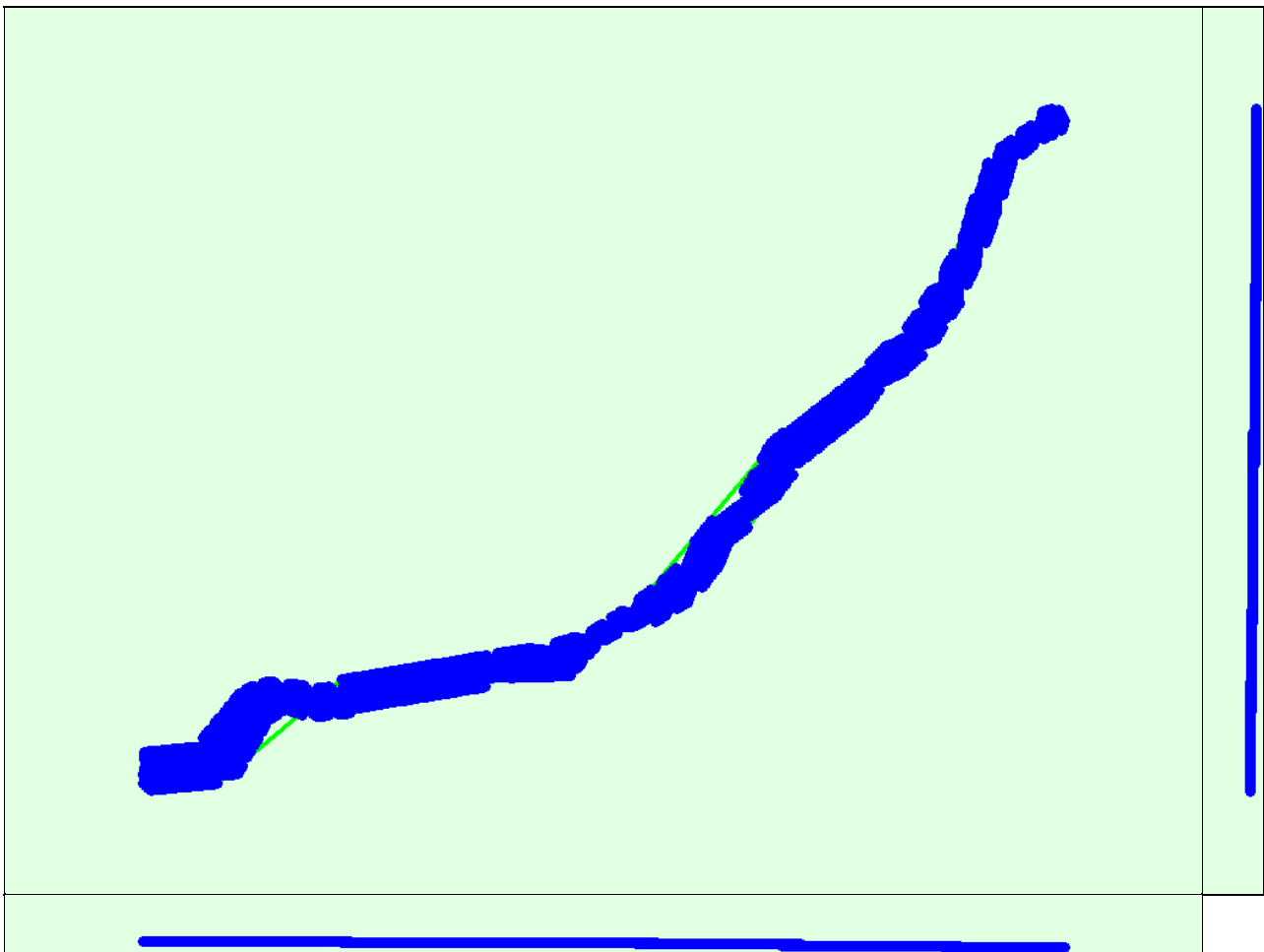


Figure 6: Camera movement estimated by the rolling shutter camera model. The green line follows the computed image positions. The blue dots represent the camera position at the start of the exposure. The blue lines represent the camera motion during the rolling shutter readout, re-scaled by a project dependant scaling factor for better visibility.

Median Camera Speed	9.907 [m/s]
---------------------	-------------

Median Camera Displacement During Sensor Readout)	0.7759 [m]
Median Rolling Shutter Readout Time	75.1655 [ms]

Initial Processing Details

System Information

Hardware	CPU: Intel(R) Core(TM) i7-10700 CPU @2.90GHz RAM: 16GB GPU: Intel(R) UHD Graphics 630 (Driver: 31.0.101.2111), Radeon RX 580 Series (Driver: 31.0.12027.9001)
Operating System	Windows 10 Pro, 64-bit

Coordinate Systems

Image Coordinate System	WGS 84
Ground Control Point (GCP) Coordinate System	WGS 84 / UTMzone 18S
Output Coordinate System	WGS 84 / UTMzone 18S

Processing Options

Detected Template	No Template Available
Keypoints Image Scale	Rapid, Image Scale: 0.25
Advanced: Matching Image Pairs	Aerial Grid or Corridor
Advanced: Matching Strategy	Use Geometrically Verified Matching: yes
Advanced: Keypoint Extraction	Targeted Number of Keypoints: Automatic
Advanced: Calibration	Calibration Method: Standard Internal Parameters Optimization: All prior External Parameters Optimization: All Rematch: Auto, no

Point Cloud Densification details

Processing Options

Image Scale	multiscale, 1/2 (Half image size, Default)
Point Density	Optimal
Minimum Number of Matches	3
3D Textured Mesh Generation	no
LOD	Generated: no
Advanced: Image Groups	group1
Advanced: Use Processing Area	yes
Advanced: Use Annotations	yes
Time for Point Cloud Densification	07h:52m:47s
Time for Point Cloud Classification	57m:08s
Time for 3D Textured Mesh Generation	NA

Results

Number of Processed Clusters	18
Number of Generated Tiles	7
Number of 3D Densified Points	234133904
Average Density (per m ³)	48.25

DSM, Orthomosaic and Index Details

Processing Options



DSM and Orthomosaic Resolution	1 x GSD (4.1 [cm/pixel])
DSM Filters	Noise Filtering: yes Surface Smoothing: yes, Type: Sharp
Raster DSM	Generated: yes Method: Triangulation Merge Tiles: yes
Raster DTM	Generated: yes Merge Tiles: yes
DTM Resolution	5 x GSD (4.1 [cm/pixel])
Contour Lines Generation	Generated: yes Contour Base [m]: 0 Elevation Interval [m]: 0.3 Resolution [cm]: 100 Minimum Line Size [vertices]: 4
Time for DSM Generation	05h:24m:07s
Time for Orthomosaic Generation	00s
Time for DTM Generation	16h:27m:11s
Time for Contour Lines Generation	56s
Time for Reflectance Map Generation	00s
Time for Index Map Generation	00s

⚙️ Fichas técnicas de los equipos utilizados

- Dron Phantom 4 RTK con estación móvil de alta precisión D-RTK 2 y accesorios:



The advertisement features a white DJI Phantom 4 RTK drone centered against a black background. The drone is shown from a top-down perspective, highlighting its four propellers and the camera mounted on the front. The DJI logo is positioned at the top center and on the left side. Below the top logo, the website URL <https://www.dji.com/phantom-4-rtk> and the social media handle @DJI Global are listed, along with icons for YouTube, LinkedIn, and Twitter. At the bottom, the text 'PHANTOM 4 RTK' is written in large, bold, white capital letters, followed by the tagline 'INTELIGENCIA VISIONARIA. PRECISIÓN ELEVADA.' and a descriptive sentence: 'Mejora tu próxima misión de cartografía con el Phantom 4 RTK - la solución más compacta y precisa de DJI para cartografía a bajas altitudes.'

CARTOGRAFÍA DE NUEVA GENERACIÓN

DJI se ha replanteado la tecnología de drones desde cero y ha introducido mejoras revolucionarias con las que es posible sentar nuevos estándares para la precisión con drones. El Phantom 4 RTK ofrece a sus usuarios información con un nivel de precisión centimétrico con menos puntos de control en tierra que los que eran necesarios previamente.



1 cm+1 ppm

Precisión de posicionamiento horizontal RTK

1.5cm+1ppm

Precisión de posicionamiento vertical RTK

5cm*

Precisión horizontal absoluta en modelos fotogramétricos



Módulo RTK



Sensor CMOS de 1"



TimeSync



Aplicación GS RTK



OcuSync 2.0



Estación móvil D-RTK 2

*en condiciones soleadas, con vientos inferiores a los 4 m/s, a 100 m de altura y 2.74 cm de GSD, a un ratio de superposición frontal del 80% y un ratio de superposición lateral del 70%



POSICIONAMIENTO CON UNA PRECISIÓN CENTIMÉTRICA

El Phantom 4 RTK incluye un módulo RTK completamente integrado que proporciona información de posición a nivel centimétrico en tiempo real, para obtener una precisión absoluta en la metainformación de la imagen. Justo al lado del receptor RTK se encuentra un módulo GNSS redundante gracias al que es posible mantener la estabilidad del vuelo en lugares con mala recepción de señal, como ciudades densamente pobladas. La combinación de estos dos módulos permite al Phantom 4 RTK optimizar la seguridad del vuelo y, a la vez, garantizar que se consigue una información lo más precisa posible para complejas tareas de prospección, cartografía e inspección.



CONSIGUE DATOS PRECISOS GRACIAS A TIMESYNC

El nuevo sistema TimeSync ha sido creado para sincronizar continuamente el controlador de vuelo, la cámara y el módulo RTK, para aprovechar así los módulos de posicionamiento del Phantom 4 RTK al máximo.

Además, TimeSync garantiza que todas las fotos utilizarán la metainformación más precisa y fija los datos de posicionamiento al centro del CMOS - optimizando los resultados de los métodos fotogramétricos y permitiendo que la imagen consiga un nivel de precisión centimétrica.



SISTEMA DE IMAGEN PRECISO

Captura la mejor imagen con un sensor CMOS de 1 pulgada y 20 megapíxeles. Gracias a su obturador mecánico el Phantom 4 RTK puede moverse y capturar imágenes sin que aparezca distorsión del obturador, por lo que tanto las misiones de cartografía como la captura corriente de datos pueden realizarse de forma fluida. Al tener una alta resolución, el Phantom 4 RTK puede lograr un tamaño del píxel del suelo (GSD, por sus siglas en inglés) de 2.74 cm a 100 m de altitud.



APLICACIÓN DE PLANIFICACIÓN DE VUELOS DEDICADA

Una nueva aplicación GS RTK otorga a los usuarios más posibilidades para controlar su Phantom 4 RTK, con dos modos de planificación (fotogramétrico y trayectoria) que se unen al modo de vuelo tradicional. Los modos de planificación permiten al piloto establecer la trayectoria de vuelo del dron y establecer parámetros como el ratio de superposición, la altitud, la velocidad y la configuración de la cámara, entre otros. Esto permite automatizar los flujos de trabajo de cartografía o inspección.



SISTEMA DE TRANSMISIÓN OCUSYNC

Disfruta de una transmisión de imagen en HD estable y fiable con un alcance de 7 km, ideal para cartografiar zonas extensas.

*Sin obstáculos, sin interferencias, según las normas de la FCC. El alcance de la transmisión depende de la potencia y la resiliencia de la señal de radio. Vuela tu dron siempre dentro de la línea de visión salvo estar autorizado en contrario.



COMPATIBILIDAD SIN COMPLICACIONES CON LA ESTACIÓN MÓVIL D-RTK 2

Complementa las misiones de tu Phantom 4 RTK con la estación móvil D-RTK 2 y consigue datos de posición relativa del dron en tiempo real para formar una solución de prospección precisa. El robusto diseño de la estación móvil y su sistema de transmisión OcuSync 2.0 garantizan una recopilación de datos de precisión centimétrica con tu Phantom 4 RTK en toda situación.

COMPATIBLE CON MOBILE SDK

El Phantom 4 RTK es compatible con el Mobile SDK de DJI, por lo que sus funciones pueden automatizarse y personalizarse a través del dispositivo



COMIENZA YA A CARTOGRAFIAR

Con una aplicación de planificación de vuelo integrada (GS RTK) y una forma sencilla de recoger datos RTK (RTK Network o estación móvil D-RTK 2), los pilotos tienen a su disposición una solución completa para prospección, cartografía o inspección.



ESPECIFICACIONES

Aeronave	Peso de despegue	1391 g
	Altura máx. de servicio sobre el nivel del mar	6000 m (19685 pies)
	Tiempo máx. de vuelo	30 minutos aprox.
	Rango de temperatura de funcionamiento	0 a 40 °C (32 a 104 °F)
	Rango de precisión de vuelo estacionario	RTK activo y funcionando: Vertical: ±0.1 m; Horizontal: ±0.1 m RTK desactivado Vertical: ±0.1 m (con posicionamiento visual); ±0.5 m (con posicionamiento GNSS) Horizontal: ±0.3 m (con posicionamiento visual); ±1.5 m (con posicionamiento GNSS)
	Desvío de posición de imagen	Para compensar la diferencia entre el centro de la cámara y el centro de fase de la antena D-RTK, se ha realizado un ajuste (36, 0 y 192 mm) a las coordenadas de la imagen en formato Exif. Los ejes positivos x, y, z del cuerpo de la aeronave apuntan al frente, a la derecha y hacia abajo de la aeronave respectivamente.
GNSS	Módulo GNSS de alta sensibilidad y frecuencia única	GPS+BeiDou+Galileo (Asia) GPS+GLONASS+Galileo (otras regiones)
	GNSS RTK de alta precisión multisistema y multifrecuencia	Frecuencia utilizada: GPS: L1/L2; GLONASS: L1/L2; BeiDou: B1/B2; Galileo: E1/E5a Precisión de velocidad: 0.03 m/s
Cámara	Sensor	1" CMOS Píxeles efectivos: 20 MP
	Objetivo	FOV (campo de visión) 84°, 8.8 mm [24 mm (equivalente a formato de 35 mm)] f/2.8 - f/11; enfoque a 1 m - ∞
	Rango ISO	Vídeo: 100 - 3200 (auto) 100 - 6400 (manual) Foto: 100 - 3200 (auto) 100 - 12800 (manual)
	Velocidad de obturación	Velocidad del obturador electrónico: 8 - 1/8000 s Velocidad obturador mecánico: 8 - 1/2000 s
	Tamaño de fotografía	3:2 5472×3648 4:3 4864×3648
	Tarjetas SD compatibles	MicroSD, Capacidad Máx.: 128 GB. Clase 10 ó UHS-1 valoración requerida

- Receptor GNSS diferencial CHCNAV i90:

CHCNAV

i90

**IMU-RTK GNSS
RECEPTOR**

The image shows a CHCNAV i90 IMU-RTK GNSS Receptor. It is a rugged, grey and blue device with a central touchscreen display. The display shows several icons for navigation and data collection, including a smartphone, a map, a network symbol, a power button, and a data collection button. The device is mounted on a base and is surrounded by an orange circular graphic element.

+

TOPOGRAFÍA & INGENIERÍA

ALTO-RENDIMIENTO IMU RTK GNSS RECEPTOR

El receptor GNSS I90 integra la tecnología profesional IMU-RTK para proporcionar un posicionamiento robusto y preciso, en cualquier circunstancia. Combina un motor RTK GNSS de última generación, un sensor IMU de alta gama sin calibración y capacidades avanzadas de rastreo GNSS para aumentar drásticamente la disponibilidad y fiabilidad de los RTK.

La compensación automática de inclinación de postes del I90 aumenta la velocidad del levantamiento y replanteo hasta un 30%. Los proyectos de construcción y de levantamiento topográfico se logran con una alta productividad y confiabilidad que sobrepasa los límites del levantamiento topográfico RTK del GNSS convencional.

COMPLETO GNSS POSICIONAMIENTO

Combinando GPS, Glonass, Galileo y BeiDou constelaciones.

La tecnología GNSS de 624 canales incorporada se beneficia de todas las señales GPS, GLONASS, Galileo y BeiDou y proporciona una robusta disponibilidad y fiabilidad de la posición RTK.

LEVANTAMIENTO DE IMU-RTK SIN-PROBLEMAS

Aumentar drásticamente la disponibilidad de RTK.

No es necesario ningún proceso complicado de calibración, rotación, nivelación o accesorios con el I90. Simplemente hay que balancear el polo de alcance unas cuantas veces para inicializar el módulo IMU interno del I90 y permitir el estudio RTK del GNSS en un entorno de campo difícil.

CONECTIVIDAD EXTENDIDA

Emparejamiento NFC instantáneo de su controlador.

El GNSS I90 combina módulos de conectividad de alta gama: Bluetooth, Wi-Fi, NFC, 4G, y UHF radio módem. El módem 4G es fácil de usar cuando se trabaja en redes RTK. El radiomódem UHF interno permite realizar estudios de larga distancia entre la base y la carretera hasta 5 km.

CONECTIVIDAD EXTENDIDA

Aumenta la velocidad del levantamiento y replanteo hasta un 30%.

El IMU incorporado al GNSS I90 asegura una compensación automática y sin interferencias de la inclinación de las bastones en tiempo real. Se consigue una precisión de 3 cm con un rango de inclinación de la pértiga de hasta 30 grados.

ANEXO 05:

Análisis morfológico del río



PANEL FOTOGRÁFICO DEL ANALISIS MORFOLÓGICO DEL RIO



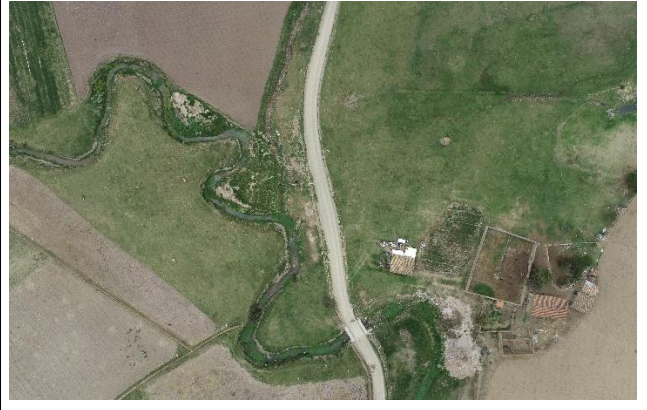
Sinuosidad del río Opamayo en la gran parte del tramo Acraquia – Daniel Hernández.



Transporte de agua durante todo el año, aunque en poca cantidad en épocas de estiaje.



El río Opamayo en el tramo Acraquia - Daniel Hernández presenta una pendiente baja, lo que genera un flujo de menor velocidad.



Colocado de los aceros corrugados en los BMs.



El río Opamayo presenta un desbordamiento lateral al superar la capacidad de su cauce.



Desborde del río Opamayo cuando el caudal aumenta, saliendo de su cauce e inundando las zonas bajas cercanas.

ANEXO 06:

Determinación del coeficiente de rugosidad de Manning



Documentación fotográfica de los tramos evaluados: A partir de la caracterización del material predominante en las márgenes y el lecho del río Opamayo, se determinó el coeficiente de Manning para cada sección de 20 m en el tramo comprendido entre Acraquia y Daniel Hernández.

PROGRESIVA: 0+020.0



MARGEN DERECHO	LECHO DEL RIO	MARGEN IZQUIERDO
Áreas cultivadas, sin cultivo (n=0.030)	Cauce sinuoso y estrecho, con maleza acuática, piedra, arena esparcida en el fondo y cierta irregularidad en las orillas (n=0.050).	Pastos cortos abundante (pastizales) (n=0.030).

Fuente: Elaboración propia.

PROGRESIVA: 0+180.0



MARGEN DERECHO	CAUCE DEL RIO	MARGEN IZQUIERDO
Áreas cultivadas, sin cultivo (n=0.030)	Sinuoso con vegetación, piedra y arena esparcida en el fondo del cauce. (n=0.045)	Pastos cortos abundante (pastizales) (n=0.030).

PROGRESIVA: 0+560.0



MARGEN DERECHO

Vegetación densa (pastos cortos y pastos altos como avena forrajera) (n=0.045).

CAUCE DEL RIO

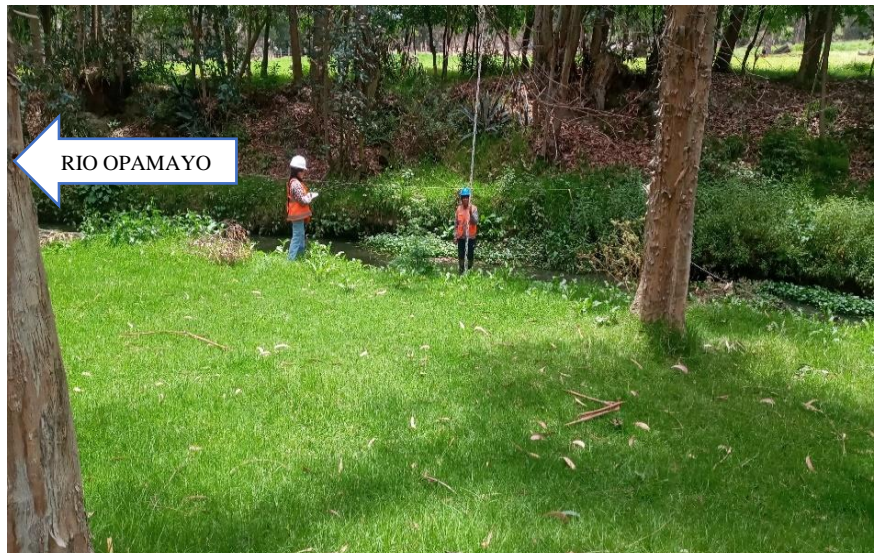
Sinuoso con abundante vegetación, piedras pequeñas y arena esparcida en el fondo. (n=0.050)

MARGEN IZQUIERDO

Pastos cortos (n=0.025).

Fuente: Elaboración propia.

PROGRESIVA: 0+680.0



MARGEN DERECHO

Arbustos y raíces de árboles (eucaliptos) (n=0.100).

CAUCE DEL RIO

Sinuoso con vegetación, piedra y arena esparcida en el fondo del cauce (n=0.045).

MARGEN IZQUIERDO

Pastos cortos con unos cuantos arbustos (n=0.080).

PROGRESIVA: 2+080.0



MARGEN DERECHO	CAUCE DEL RIO	MARGEN IZQUIERDO
Pastos cortos (pastizales) (n=0.030).	Sinuoso con vegetación, arena y lodo esparcido en el fondo del cauce (n=0.045).	Pastos cortos (pastizales) (n=0.030).

Fuente: Elaboración propia.

PROGRESIVA: 2+920.0



MARGEN DERECHO	CAUCE DEL RIO	MARGEN IZQUIERDO
Áreas cultivadas, sin cultivo (n=0.030)	Recto con poca vegetación, arena y lodo esparcido en el fondo del cauce (n=0.045).	Pastos cortos (pastizales) (n=0.025).

PROGRESIVA: 4+140.0



MARGEN DERECHO

Pastos cortos (n=0.025).

CAUCE DEL RIO

Sinuoso con vegetación, piedra y arena esparcida en el fondo del cauce (n=0.030).

MARGEN IZQUIERDO

Pastos altos (avena forrajera y alfalfa) (n=0.025).

Fuente: Elaboración propia.

PROGRESIVA: 4+920.0



MARGEN DERECHO

Áreas cultivadas, sin cultivo (n=0.025)

CAUCE DEL RIO

Recto con poca vegetación, piedra y arena esparcida en el fondo del cauce (n=0.030).

MARGEN IZQUIERDO

Pastos cortos (n=0.025).

PROGRESIVA: 5+780.0



MARGEN DERECHO

Pastos cortos (n=0.025).

CAUCE DEL RIO

Sinuoso con vegetación, piedra y arena esparcida en el fondo del cauce (n=0.030).

MARGEN IZQUIERDO

Pastos cortos (n=0.025).

Fuente: Elaboración propia.

PROGRESIVA: 7+700.0



MARGEN DERECHO

Áreas cultivadas, sin cultivo (n=0.025)

CAUCE DEL RIO

Recto con poca vegetación, piedra y arena esparcida en el fondo del cauce (n=0.030).

MARGEN IZQUIERDO

Pastos cortos (n=0.025).

PROGRESIVA: 8+860.0



MARGEN DERECHO

Pastos cortos (n=0.025).

CAUCE DEL RIO

Sinuoso con vegetación, piedra y arena esparcida en el fondo del cauce (n=0.030).

MARGEN IZQUIERDO

Pastos cortos (n=0.025).

Fuente: Elaboración propia.

PROGRESIVA: 10+640.0



MARGEN DERECHO

Áreas cultivadas, sin cultivo (n=0.025)

CAUCE DEL RIO

Recto con poca vegetación, piedra y arena esparcida en el fondo del cauce (n=0.030).

MARGEN IZQUIERDO

Pastos cortos (n=0.025).

PROGRESIVA: 10+700.0



MARGEN DERECHO

Pastos cortos (n=0.025).

CAUCE DEL RIO

Sinuoso con vegetación, piedra y arena esparcida en el fondo del cauce (n=0.030).

MARGEN IZQUIERDO

Pastos cortos (n=0.025).

Fuente: Elaboración propia.

PROGRESIVA: 11+380.0



MARGEN DERECHO

Áreas cultivadas, sin cultivo (n=0.025)

CAUCE DEL RIO

Recto con poca vegetación, piedra y arena esparcida en el fondo del cauce (n=0.030).

MARGEN IZQUIERDO

Pastos cortos (n=0.025).

PROGRESIVA: 14+260.0



MARGEN DERECHO

Pastos cortos (n=0.025).

CAUCE DEL RIO

Sinuoso con vegetación, piedra y arena esparcida en el fondo del cauce (n=0.030).

MARGEN IZQUIERDO

Pastos cortos (n=0.025).

Fuente: Elaboración propia.

PROGRESIVA: 15+020.0



MARGEN DERECHO

Áreas cultivadas, sin cultivo (n=0.025)

CAUCE DEL RIO

Recto con poca vegetación, piedra y arena esparcida en el fondo del cauce (n=0.030).

MARGEN IZQUIERDO

Pastos cortos (n=0.025).

Fuente: Elaboración propia.

12 **34** **Valores del coeficiente de rugosidad de Manning en 753 secciones del río Opamayo (15.040 km), agrupadas en tramos homogéneos.**

CARACTERÍSTICAS DE RIO OPAMAYO (TRAMO DE INTERVENCIÓN)					
COEFICIENTE DE RUGOSIDAD O MANNING “n”					
Nota: Para el cálculo de coeficiente Manning se utilizó el libro Ven Te Chow, basándonos en los datos obtenidos del trabajo en campo.					
N° DE SECCIÓN	PROGRESIVA	MARGEN DERECHO (n)	ZONA CENTRAL O LECHO DEL RIO (n)	MARGEN IZQUIERDO (n)	DESCRIPCIÓN DE MATERIAL DE MARGENE DERECHO, LECHO DE RIO Y MARGEN IZQUIERDO
1	0+000.0	0.030	0.050	0.030	- Margen derecho y margen izquierdo: Existe pastos cortos abundante (pastizales).
2	0+020.0	0.030	0.050	0.030	
3	0+040.0	0.030	0.050	0.030	- Lecho del rio: Cauce sinuoso con maleza acuática, piedras pequeñas, arena esparcida en el fondo.
4	0+060.0	0.030	0.050	0.030	
5	0+080.0	0.030	0.045	0.030	
6	0+100.0	0.030	0.045	0.030	
7	0+120.0	0.030	0.045	0.030	
8	0+140.0	0.030	0.045	0.030	
9	0+160.0	0.030	0.045	0.030	- Margen derecho: Existe áreas cultivadas (sin cultivo).
10	0+180.0	0.030	0.045	0.030	- Lecho del rio: Cauce sinuoso con maleza acuática, piedras pequeñas y arena esparcida en el fondo.
11	0+200.0	0.030	0.045	0.030	- Margen izquierdo: Existe pastos cortos abundante (pastizales).
12	0+220.0	0.030	0.045	0.030	
13	0+240.0	0.030	0.045	0.030	
14	0+260.0	0.030	0.045	0.030	
15	0+280.0	0.030	0.045	0.030	- Margen derecho: Existe áreas cultivadas (sin cultivo).
16	0+300.0	0.030	0.050	0.045	
17	0+320.0	0.030	0.050	0.045	- Lecho del rio: Cauce sinuoso con abundante vegetación y arena esparcida en el fondo.
18	0+340.0	0.030	0.050	0.045	- Margen izquierdo: Existe por pastos cortos y pastos altos como alfalfa.
19	0+360.0	0.045	0.050	0.045	

20	0+380.0	0.045	0.050	0.045	- Margen derecho: Existe pastos cortos y pastos altos como avena forrajera. - Lecho del rio: Cauce sinuoso con abundante vegetación, piedras pequeñas y arena esparcida en el fondo.
21	0+400.0	0.045	0.050	0.045	- Margen izquierdo: Existe pastos cortos y pastos altos como alfalfa.
22	0+420.0	0.045	0.050	0.025	- Margen derecho: Existe pastos cortos y pastos altos como avena forrajera. - Lecho del rio: Cauce sinuoso con abundante vegetación, piedras pequeñas y arena esparcida en el fondo.
23	0+440.0	0.045	0.050	0.025	- Margen izquierdo: Existe pastos cortos.
24	0+460.0	0.080	0.050	0.025	- Margen derecho: Presencia de arbustos y raíces de árboles (eucaliptos). - Lecho del rio: Cauce sinuoso con vegetación, piedras pequeñas y arena esparcida.
25	0+480.0	0.080	0.050	0.025	- Margen izquierdo: Existe pastos cortos.
26	0+500.0	0.045	0.050	0.025	- Margen derecho: Existe pastos cortos y pastos altos como avena forrajera.
27	0+520.0	0.045	0.050	0.025	- Lecho del rio: Cauce sinuoso con abundante vegetación, piedras pequeñas y arena esparcida en el fondo.
28	0+540.0	0.045	0.050	0.025	- Margen izquierdo: Existe pastos cortos.
29	0+560.0	0.045	0.050	0.025	- Margen derecho: Existe pastos cortos con pastos altos como avena forrajera. - Lecho del rio: Cauce sinuoso con vegetación, piedra y arena esparcida en el fondo.
30	0+580.0	0.045	0.045	0.100	- Margen izquierdo: Existe arbustos y raíces de árboles (eucaliptos).
31	0+600.0	0.045	0.045	0.100	- Margen derecho: Existe arbustos y raíces de árboles (eucaliptos).
32	0+620.0	0.100	0.045	0.080	- Lecho del rio: Cauce sinuoso con vegetación, piedra y arena esparcida en el fondo.
33	0+640.0	0.100	0.045	0.080	- Margen izquierdo: Existe pastos cortos con unos cuantos arbustos (eucaliptos).
34	0+660.0	0.100	0.045	0.080	
35	0+680.0	0.100	0.045	0.080	

					-
36	0+700.0	0.100	0.050	0.100	
37	0+720.0	0.100	0.050	0.100	
38	0+740.0	0.100	0.050	0.100	
39	0+760.0	0.100	0.050	0.100	- Margen derecho y margen izquierdo: Existe arbustos y raíces de árboles (eucaliptos) y áreas cultivadas (sin cultivo).
40	0+780.0	0.100	0.050	0.100	
41	0+800.0	0.100	0.050	0.100	- Lecho del rio: Cauce sinuoso con abundante vegetación, piedra y arena esparcida en el fondo.
42	0+820.0	0.100	0.050	0.100	
43	0+840.0	0.100	0.050	0.100	
44	0+860.0	0.100	0.050	0.100	
45	0+880.0	0.100	0.050	0.100	
46	0+900.0	0.030	0.050	0.080	- Margen derecho: Existe áreas cultivadas (sin cultivo).
47	0+920.0	0.030	0.050	0.080	- Lecho del rio: Cauce sinuoso con abundante vegetación, piedra y arena esparcida en el fondo.
48	0+940.0	0.030	0.050	0.080	- Margen izquierdo: Existe áreas cultivadas (sin cultivo) con unos cuantos arbustos (eucaliptos).
49	0+960.0	0.080	0.050	0.080	- Lecho del rio: Cauce sinuoso con abundante vegetación, piedra y arena esparcida en el fondo.
50	0+980.0	0.080	0.050	0.080	
51	1+000.0	0.080	0.050	0.080	- Margen derecho: Existe áreas pastos cortos (pastizales) con unos cuantos arbustos (eucaliptos). - Margen izquierdo: Existe áreas cultivadas (sin cultivo) con unos cuantos arbustos (eucaliptos).
52	1+020.0	0.080	0.050	0.080	- Margen derecho y margen izquierdo: Existe áreas con pastos cortos (pastizales) con unos cuantos arbustos (eucaliptos).
53	1+040.0	0.080	0.050	0.080	- Lecho del rio: Cauce sinuoso con abundante vegetación, piedra y arena esparcida en el fondo.
54	1+060.0	0.080	0.050	0.080	
55	1+080.0	0.080	0.050	0.080	- Margen derecho y margen izquierdo existe áreas cultivadas (sin cultivo) con unos cuantos arbustos (eucaliptos).
56	1+100.0	0.080	0.050	0.080	- Lecho del rio: Cauce sinuoso con abundante vegetación,

					piedra y arena esparcida en el fondo.
57	1+120.0	0.080	0.050	0.080	- Margen derecho existe áreas cultivadas (sin cultivo) con unos cuantos arbustos (eucaliptos). - Lecho del rio: Cauce sinuoso con abundante vegetación, piedra y arena esparcida en el fondo.
58	1+140.0	0.080	0.050	0.080	- Margen izquierdo existe áreas pastos cortos (pastizales) con unos cuantos arbustos (eucaliptos).
59	1+160.0	0.070	0.050	0.070	- Cauce sinuoso con abundante vegetación, piedras pequeñas y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe pastos cortos (pastizales) y en el margen izquierdo existe pastos altos como la alfalfa con uno y dos arbustos.
60	1+180.0	0.070	0.050	0.070	- Cauce sinuoso con abundante vegetación, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe áreas cultivadas (sin cultivo) con unos cuantos arbustos (eucaliptos) y en el margen izquierdo existe áreas pastos cortos (pastizales) con unos cuantos arbustos (eucaliptos).
61	1+200.0	0.070	0.050	0.070	
62	1+220.0	0.070	0.050	0.070	
63	1+240.0	0.070	0.050	0.070	
64	1+260.0	0.080	0.050	0.080	- Cauce sinuoso con abundante vegetación, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe áreas cultivadas (sin cultivo) con unos cuantos arbustos (eucaliptos) y en el margen izquierdo existe áreas pastos cortos (pastizales) con unos cuantos arbustos (eucaliptos).
65	1+280.0	0.080	0.050	0.080	
66	1+300.0	0.080	0.050	0.080	
67	1+320.0	0.080	0.050	0.080	
68	1+340.0	0.080	0.050	0.080	- Cauce sinuoso con abundante vegetación, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho y margen izquierdo existe áreas cultivadas (sin cultivo) con unos cuantos arbustos (eucaliptos).
69	1+360.0	0.080	0.050	0.080	
70	1+380.0	0.030	0.050	0.100	- Cauce sinuoso con abundante vegetación, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe pastos cortos y áreas cultivadas (sin cultivo) y en el margen izquierdo existe arbustos y raíces de árboles (eucaliptos) y áreas cultivadas (sin cultivo).
71	1+400.0	0.030	0.050	0.100	
72	1+420.0	0.030	0.050	0.100	
73	1+440.0	0.080	0.050	0.080	- Cauce sinuoso con abundante vegetación, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho y margen izquierdo existe áreas cultivadas
74	1+460.0	0.080	0.050	0.080	

					(sin cultivo) con unos cuantos arbustos (eucaliptos).
75	1+480.0	0.030	0.050	0.045	- Cauce sinuoso con abundante vegetación, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe áreas cultivadas (sin cultivo) con unos cuantos arbustos (eucaliptos) y en el margen izquierdo existe áreas cultivadas (sin cultivo) acompañadas de algunas viviendas.
76	1+500.0	0.030	0.050	0.045	
77	1+520.0	0.100	0.050	0.080	- Cauce sinuoso con abundante vegetación, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho y en el margen izquierdo existen áreas cultivadas (sin cultivo) con presencia de arbustos y raíces de árboles (eucaliptos).
78	1+540.0	0.100	0.050	0.080	
79	1+560.0	0.100	0.050	0.100	
80	1+580.0	0.100	0.050	0.100	
81	1+600.0	0.100	0.050	0.100	
82	1+620.0	0.100	0.050	0.100	
83	1+640.0	0.100	0.050	0.100	
84	1+660.0	0.030	0.050	0.045	- Cauce sinuoso con abundante vegetación, arena y lodo esparcida en el fondo, en el margen derecho existe áreas cultivadas (sin cultivo) y en el margen izquierdo existe pastos cortos y pastos altos como alfalfa.
85	1+680.0	0.030	0.050	0.045	
86	1+700.0	0.030	0.050	0.045	
87	1+720.0	0.070	0.050	0.100	- Cauce sinuoso con abundante vegetación, piedra, lodo y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe pastos cortos y áreas cultivadas (sin cultivo) con uno o dos arbustos (eucaliptos) y en el margen izquierdo existe áreas cultivadas (sin cultivo) con arbustos y raíces de árboles (eucaliptos).
88	1+740.0	0.070	0.050	0.100	
89	1+760.0	0.070	0.050	0.100	
90	1+780.0	0.070	0.050	0.100	
91	1+800.0	0.070	0.050	0.100	
92	1+820.0	0.070	0.050	0.100	
93	1+840.0	0.070	0.050	0.100	
94	1+860.0	0.070	0.050	0.100	
95	1+880.0	0.070	0.050	0.100	
96	1+900.0	0.030	0.050	0.030	- Cauce sinuoso con abundante vegetación, arena y lodo esparcida en el fondo, en el margen derecho e izquierdo existen pastos cortos con áreas cultivadas (sin cultivo).
97	1+920.0	0.030	0.050	0.030	
98	1+940.0	0.100	0.050	0.080	- Cauce sinuoso con abundante vegetación, piedra, lodo y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe áreas cultivadas (sin cultivo) con
99	1+960.0	0.100	0.050	0.080	
100	1+980.0	0.100	0.050	0.080	
101	2+000.0	0.100	0.050	0.080	

102	2+020.0	0.100	0.050	0.080	arbustos y raíces de árboles (eucaliptos) y en el margen izquierdo existe áreas cultivadas (sin cultivo) con unos cuantos arbustos (eucaliptos).	
103	2+040.0	0.100	0.050	0.080		
104	2+060.0	0.100	0.050	0.080		
105	2+080.0	0.030	0.045	0.025	- Cauce sinuoso con vegetación, arena y lodo esparcido en el fondo, en el margen derecho existe pastos cortos (pastizales) con áreas cultivadas (sin cultivo) y en el margen izquierdo existe pastos cortos (pastizales).	
106	2+100.0	0.030	0.045	0.025		
107	2+120.0	0.030	0.045	0.025		
108	2+140.0	0.030	0.045	0.025		
109	2+160.0	0.030	0.045	0.025		
110	2+180.0	0.030	0.045	0.025		
111	2+200.0	0.030	0.045	0.025		
112	2+220.0	0.030	0.045	0.025		
113	2+240.0	0.030	0.045	0.025		
114	2+260.0	0.030	0.045	0.025		
115	2+280.0	0.045	0.050	0.045	- Cauce sinuoso con abundante vegetación, arena y lodo esparcido en el fondo, en el margen derecho existe pastos cortos (pastizales) con pastos altos como alfalfa y en el margen izquierdo existe pastos cortos acompañadas de algunas viviendas.	
116	2+300.0	0.045	0.050	0.045		
117	2+320.0	0.045	0.050	0.045		
118	2+340.0	0.045	0.050	0.045		
119	2+360.0	0.045	0.050	0.045		
120	2+380.0	0.045	0.050	0.045		
121	2+400.0	0.045	0.050	0.045		
122	2+420.0	0.030	0.050	0.070		
123	2+440.0	0.030	0.050	0.070		
124	2+460.0	0.030	0.050	0.070		
125	2+480.0	0.030	0.050	0.070	- Cauce sinuoso con abundante vegetación, arena y lodo esparcido en el fondo, en el margen derecho existe pastos cortos (pastizales) con áreas cultivadas (sin cultivo) y en el margen izquierdo existe pastos altos como alfalfa con uno o dos arbustos (eucalipto).	
126	2+500.0	0.030	0.050	0.070		
127	2+520.0	0.030	0.050	0.070		
128	2+540.0	0.030	0.050	0.070		
129	2+560.0	0.025	0.050	0.045		
130	2+580.0	0.025	0.050	0.045		
131	2+600.0	0.025	0.050	0.045		
132	2+620.0	0.025	0.050	0.045		
133	2+640.0	0.030	0.050	0.045		- Cauce sinuoso con abundante vegetación, arena y lodo esparcido en el fondo, en el margen derecho existe pastos cortos (pastizales) con áreas cultivadas (sin cultivo) y en el margen izquierdo existe pastos altos como alfalfa y áreas de cultivo (sin cultivo).
134	2+660.0	0.030	0.050	0.045		
135	2+680.0	0.030	0.050	0.045		
136	2+700.0	0.030	0.050	0.045		

137	2+720.0	0.055	0.050	0.050	- Cauce sinuoso con abundante vegetación, arena y lodo esparcido en el fondo, en el margen derecho existe pastos cortos (pastizales), áreas cultivadas (sin cultivo) con uno o dos arbustos y en el margen izquierdo existe áreas cultivadas (sin cultivo) con uno o dos árboles (eucalipto).
138	2+740.0	0.055	0.050	0.050	
139	2+760.0	0.055	0.050	0.050	
140	2+780.0	0.055	0.050	0.050	
141	2+800.0	0.055	0.050	0.050	
142	2+820.0	0.055	0.050	0.050	
143	2+840.0	0.055	0.050	0.050	
144	2+860.0	0.055	0.050	0.050	
145	2+880.0	0.045	0.050	0.030	- Cauce sinuoso con abundante vegetación, arena y lodo esparcido en el fondo, en el margen derecho existe área de cultivo (sin cultivo) y en el margen izquierdo existe algunas viviendas.
146	2+900.0	0.045	0.050	0.030	
147	2+920.0	0.030	0.045	0.025	- Cauce sinuoso con vegetación, arena y lodo esparcido en el fondo, en el margen derecho existe áreas cultivadas (sin cultivo) y en el margen izquierdo existe pastos cortos (pastizales).
148	2+940.0	0.030	0.045	0.025	
149	2+960.0	0.030	0.045	0.025	
150	2+980.0	0.030	0.050	0.030	- Cauce sinuoso con abundante vegetación, arena y lodo esparcido en el fondo, en el margen derecho e izquierdo existen pastos cortos (pastizales) con áreas cultivadas (sin cultivo)
151	3+000.0	0.030	0.050	0.030	
152	3+020.0	0.030	0.050	0.030	
153	3+040.0	0.030	0.050	0.030	
154	3+060.0	0.030	0.050	0.030	
155	3+080.0	0.030	0.050	0.030	
156	3+100.0	0.030	0.050	0.030	
157	3+120.0	0.030	0.050	0.030	
158	3+140.0	0.030	0.050	0.030	
159	3+160.0	0.030	0.050	0.030	
160	3+180.0	0.030	0.050	0.030	
161	3+200.0	0.030	0.050	0.030	- Cauce sinuoso con abundante vegetación, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe abundantes pastos cortos (pastizales) y en el margen izquierdo existe áreas cultivadas (sin cultivo)
162	3+220.0	0.030	0.050	0.030	
163	3+240.0	0.030	0.050	0.030	
164	3+260.0	0.030	0.050	0.030	
165	3+280.0	0.030	0.050	0.030	
166	3+300.0	0.030	0.050	0.030	
167	3+320.0	0.030	0.050	0.030	
168	3+340.0	0.030	0.050	0.030	
169	3+360.0	0.030	0.050	0.030	
170	3+380.0	0.030	0.050	0.030	
171	3+400.0	0.030	0.050	0.030	

172	3+420.0	0.030	0.050	0.030	- Cauce sinuoso con abundante vegetación, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe abundantes pastos cortos (pastizales) y en el margen izquierdo existe pastos cortos (pastizales) y áreas cultivadas (sin cultivo).
173	3+440.0	0.030	0.050	0.030	
174	3+460.0	0.030	0.050	0.030	
175	3+480.0	0.030	0.050	0.030	
176	3+500.0	0.030	0.050	0.030	
177	3+520.0	0.030	0.050	0.030	
178	3+540.0	0.030	0.050	0.030	- Cauce sinuoso con abundante vegetación, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho y en el margen izquierdo existen áreas cultivadas (sin cultivo).
179	3+560.0	0.030	0.050	0.030	
180	3+580.0	0.030	0.050	0.030	
181	3+600.0	0.030	0.050	0.030	
182	3+620.0	0.030	0.050	0.030	
183	3+640.0	0.030	0.050	0.030	
184	3+660.0	0.030	0.050	0.030	
185	3+680.0	0.030	0.050	0.030	
186	3+700.0	0.030	0.045	0.045	
187	3+720.0	0.030	0.045	0.045	- Cauce sinuoso con vegetación, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe áreas cultivadas (sin cultivo) y en el margen izquierdo existe pastos altos como alfalfa.
188	3+740.0	0.030	0.045	0.045	
189	3+760.0	0.030	0.045	0.045	
190	3+780.0	0.030	0.045	0.045	
191	3+800.0	0.040	0.035	0.035	- Cauce moderadamente sinuoso con poca vegetación, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe áreas cultivadas (sin cultivo) con surcos y en el margen izquierdo existe pastos cortos y altos como alfalfa.
192	3+820.0	0.040	0.035	0.035	
193	3+840.0	0.040	0.035	0.035	- Cauce sinuoso con poca vegetación, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe áreas cultivadas (sin cultivo) con surcos y en el margen izquierdo existe pastos altos como avena esparcida.
194	3+860.0	0.040	0.040	0.045	
195	3+880.0	0.040	0.040	0.045	
196	3+900.0	0.040	0.040	0.045	
197	3+920.0	0.040	0.040	0.045	
198	3+940.0	0.040	0.040	0.045	
199	3+960.0	0.040	0.040	0.045	- Cauce sinuoso con poca vegetación, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe áreas cultivadas (sin cultivo) con surcos y en el margen izquierdo existe pastos cortos con unos cuantos arboles (eucaliptos).
200	3+980.0	0.040	0.040	0.045	
201	4+000.0	0.040	0.040	0.045	
202	4+020.0	0.040	0.040	0.045	
203	4+040.0	0.035	0.040	0.040	- Cauce sinuoso con poca vegetación, piedra y arena
204	4+060.0	0.035	0.040	0.040	

205	4+080.0	0.035	0.040	0.040	esparcida en el fondo, en el margen derecho existe pastos cortos con áreas cultivadas (sin cultivo) con surcos y en el margen izquierdo existe áreas cultivadas (sin cultivo) con surcos.
206	4+100.0	0.035	0.040	0.040	
207	4+120.0	0.045	0.040	0.040	- Cauce sinuoso con poca vegetación, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe pastos altos (avena) y en el margen izquierdo existe pastos cortos (pastizales) y áreas cultivadas (sin cultivo) con surcos.
208	4+140.0	0.045	0.040	0.040	
209	4+160.0	0.040	0.035	0.045	- Cauce moderadamente sinuoso con poca vegetación, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe áreas cultivadas (sin cultivo) con surcos y en el margen izquierdo existe pastos altos como alfalfa.
210	4+180.0	0.040	0.035	0.045	
211	4+200.0	0.040	0.035	0.045	
212	4+220.0	0.030	0.035	0.030	- Cauce sinuoso con poca vegetación, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe pastos cortos (pastizales) y en el margen izquierdo existe pastos cortos (pastizales).
213	4+240.0	0.030	0.035	0.030	
214	4+260.0	0.060	0.050	0.030	- Cauce sinuoso con abundante vegetación, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe matorrales, arboles (eucalipto y ciprés) dispersos y pastos altos (avena) y en el margen izquierdo existe pastos cortos (pastizales).
215	4+280.0	0.060	0.050	0.030	
216	4+300.0	0.060	0.050	0.030	
217	4+320.0	0.060	0.050	0.030	
218	4+340.0	0.040	0.040	0.055	- Cauce sinuoso con poca vegetación, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe pastos cortos (pastizales) y pastos altos (avena) dispersos y en el margen izquierdo existe arboles (eucalipto) dispersos y áreas cultivadas (sin cultivo) con surcos.
219	4+360.0	0.040	0.040	0.055	
220	4+380.0	0.040	0.040	0.055	
221	4+400.0	0.040	0.040	0.055	
222	4+420.0	0.040	0.040	0.040	- Cauce sinuoso con poca vegetación, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe pastos

223	4+440.0	0.040	0.040	0.040	cortos (pastizales) y áreas cultivadas (sin cultivo) con surcos y en el margen izquierdo existe pastos cortos (pastizales) y áreas cultivadas (sin cultivo) con surcos.
224	4+460.0	0.035	0.050	0.055	- Cauce sinuoso con abundante vegetación, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe pastos altos (alfalfa) y en el margen izquierdo existe arboles (eucalipto) dispersos y áreas cultivadas (sin cultivo) con surcos.
225	4+480.0	0.035	0.050	0.055	
226	4+500.0	0.035	0.050	0.055	
227	4+520.0	0.035	0.050	0.035	
228	4+540.0	0.035	0.050	0.035	
229	4+560.0	0.035	0.050	0.035	
230	4+580.0	0.035	0.050	0.035	- Cauce sinuoso con abundante vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe pastos altos (avena) y en el margen izquierdo existe pastos cortos (pastizales) y áreas cultivadas (sin cultivo) con surcos.
231	4+600.0	0.035	0.050	0.035	
232	4+620.0	0.035	0.050	0.035	
233	4+640.0	0.035	0.050	0.035	
234	4+660.0	0.035	0.050	0.035	
235	4+680.0	0.035	0.050	0.035	
236	4+700.0	0.035	0.050	0.035	
237	4+720.0	0.035	0.050	0.035	
238	4+740.0	0.030	0.050	0.035	
239	4+760.0	0.030	0.050	0.035	
240	4+780.0	0.030	0.050	0.035	
241	4+800.0	0.030	0.050	0.035	- Cauce sinuoso con abundante vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe pastos cortos (pastizales) y en el margen izquierdo existe pastos cortos (pastizales) y áreas cultivadas (sin cultivo) con surcos.
242	4+820.0	0.030	0.050	0.035	
243	4+840.0	0.030	0.050	0.035	
244	4+860.0	0.030	0.050	0.035	
245	4+880.0	0.030	0.050	0.035	
246	4+900.0	0.030	0.050	0.035	
247	4+920.0	0.030	0.050	0.035	
248	4+940.0	0.030	0.050	0.035	
249	4+960.0	0.035	0.050	0.030	
250	4+980.0	0.035	0.050	0.030	
251	5+000.0	0.035	0.050	0.030	- Cauce sinuoso con abundante vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe pastos cortos (pastizales) y pastos altos (avena) y en el margen izquierdo existe pastos cortos (pastizales).
252	5+020.0	0.035	0.050	0.030	
253	5+040.0	0.035	0.050	0.030	
254	5+060.0	0.035	0.050	0.035	

255	5+080.0	0.035	0.050	0.035	- Cauce sinuoso con abundante vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe pastos cortos (pastizales) y pastos altos (avena) y en el margen izquierdo existe pastos cortos (pastizales) y pastos altos (alfalfa).
256	5+100.0	0.035	0.050	0.035	
257	5+120.0	0.035	0.050	0.035	
258	5+140.0	0.035	0.050	0.035	
259	5+160.0	0.035	0.050	0.035	
260	5+180.0	0.035	0.050	0.035	
261	5+200.0	0.035	0.050	0.035	
262	5+220.0	0.035	0.050	0.035	
263	5+240.0	0.035	0.050	0.035	
264	5+260.0	0.030	0.050	0.050	
265	5+280.0	0.030	0.050	0.050	
266	5+300.0	0.030	0.050	0.050	
267	5+320.0	0.030	0.050	0.050	
268	5+340.0	0.030	0.050	0.050	
269	5+360.0	0.030	0.050	0.050	
270	5+380.0	0.030	0.050	0.035	
271	5+400.0	0.030	0.050	0.035	
272	5+420.0	0.030	0.050	0.035	
273	5+440.0	0.030	0.050	0.035	
274	5+460.0	0.030	0.050	0.035	- Cauce sinuoso con abundante vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe pastos cortos (pastizales) y en el margen izquierdo existe pastos cortos (pastizales) y pastos altos (alfalfa).
275	5+480.0	0.030	0.050	0.035	
276	5+500.0	0.030	0.050	0.030	
277	5+520.0	0.030	0.050	0.030	
278	5+540.0	0.030	0.050	0.030	
279	5+560.0	0.030	0.050	0.030	
280	5+580.0	0.030	0.050	0.030	
281	5+600.0	0.030	0.050	0.030	
282	5+620.0	0.030	0.050	0.030	
283	5+640.0	0.030	0.050	0.030	
284	5+660.0	0.030	0.040	0.035	- Cauce sinuoso con poca vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe pastos cortos (pastizales) y en el margen izquierdo existe pastos altos (alfalfa).
285	5+680.0	0.030	0.040	0.035	
286	5+700.0	0.030	0.040	0.035	- Cauce sinuoso con abundante vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe pastos cortos (pastizales) y en el margen izquierdo existe áreas
287	5+720.0	0.030	0.050	0.040	
288	5+740.0	0.030	0.050	0.040	
289	5+760.0	0.030	0.050	0.040	

					cultivadas (sin cultivo) con surcos.
290	5+780.0	0.045	0.050	0.040	- Cauce sinuoso con abundante vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe pastos cortos (pastizales) con árboles dispersos (eucalipto) y en el margen izquierdo áreas cultivadas (sin cultivo) con surcos.
291	5+800.0	0.045	0.050	0.040	
292	5+820.0	0.045	0.050	0.040	
293	5+840.0	0.045	0.050	0.040	
294	5+860.0	0.045	0.050	0.040	
295	5+880.0	0.045	0.050	0.040	
296	5+900.0	0.045	0.050	0.040	
297	5+920.0	0.030	0.050	0.035	
298	5+940.0	0.030	0.050	0.035	
299	5+960.0	0.030	0.050	0.035	
300	5+980.0	0.030	0.050	0.035	- Cauce sinuoso con abundante vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe pastos cortos (pastizales) y en el margen izquierdo existe pastos cortos (pastizales) y áreas cultivadas (sin cultivo) con surcos.
301	6+000.0	0.045	0.050	0.040	- Cauce sinuoso con abundante vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe pastos cortos (pastizales) con árboles dispersos (eucalipto) y en el margen izquierdo existe pastos altos (avena)
302	6+020.0	0.045	0.050	0.040	
303	6+040.0	0.045	0.050	0.040	
304	6+060.0	0.045	0.050	0.040	
305	6+080.0	0.045	0.050	0.040	
306	6+100.0	0.045	0.050	0.040	
307	6+120.0	0.045	0.050	0.040	
308	6+140.0	0.045	0.050	0.040	
309	6+160.0	0.045	0.050	0.040	
310	6+180.0	0.045	0.050	0.035	
311	6+200.0	0.045	0.050	0.035	- Cauce sinuoso con abundante vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe pastos cortos (pastizales) con árboles dispersos (eucalipto) y en el margen izquierdo existe áreas cultivadas (sin cultivo) con surcos.
312	6+220.0	0.050	0.050	0.045	- Cauce sinuoso con abundante vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe pasto alto (avena) con árboles dispersos (eucalipto) y en el margen izquierdo existe matorrales dispersos y áreas cultivadas (sin cultivo) con surcos.
313	6+240.0	0.050	0.050	0.045	
314	6+260.0	0.050	0.050	0.045	
315	6+280.0	0.050	0.050	0.045	
316	6+300.0	0.050	0.050	0.040	
317	6+320.0	0.050	0.050	0.040	

318	6+340.0	0.050	0.050	0.040	arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe matorrales dispersos y áreas cultivadas (sin cultivo) con surcos y en el margen izquierdo existe pastos altos (alfalfa).
319	6+360.0	0.050	0.050	0.040	
320	6+380.0	0.030	0.050	0.035	- Cauce sinuoso con abundante vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe pastos cortos (pastizales) y en el margen izquierdo existe áreas cultivadas (sin cultivo) con surcos.
321	6+400.0	0.030	0.050	0.035	
322	6+420.0	0.030	0.050	0.035	
323	6+440.0	0.030	0.050	0.035	
324	6+460.0	0.030	0.050	0.035	
325	6+480.0	0.030	0.050	0.030	
326	6+500.0	0.030	0.050	0.030	
327	6+520.0	0.030	0.050	0.030	- Cauce sinuoso con abundante vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe pastos cortos (pastizales) y en el margen izquierdo existe pastos cortos (pastizales).
328	6+540.0	0.030	0.050	0.030	
329	6+560.0	0.030	0.050	0.030	
330	6+580.0	0.030	0.050	0.030	
331	6+600.0	0.030	0.050	0.030	
332	6+620.0	0.030	0.050	0.030	
333	6+640.0	0.030	0.050	0.030	
334	6+660.0	0.035	0.045	0.035	- Cauce sinuoso con vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe áreas cultivadas (sin cultivo) con surcos y en el margen izquierdo existe pastos cortos (pastizales) y áreas cultivadas (sin cultivo) con surcos.
335	6+680.0	0.035	0.045	0.035	
336	6+700.0	0.035	0.045	0.035	
337	6+720.0	0.035	0.045	0.035	
338	6+740.0	0.035	0.045	0.035	
339	6+760.0	0.035	0.045	0.035	
340	6+780.0	0.035	0.045	0.035	
341	6+800.0	0.035	0.045	0.035	
342	6+820.0	0.035	0.045	0.035	
343	6+840.0	0.035	0.045	0.035	
344	6+860.0	0.030	0.045	0.040	- Cauce sinuoso con vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe pastos cortos (pastizales) y en el margen izquierdo existe pastos cortos (pastizales) y pastos altos (alfalfa).
345	6+880.0	0.030	0.045	0.040	
346	6+900.0	0.030	0.045	0.040	
347	6+920.0	0.030	0.050	0.035	- Cauce sinuoso con abundante vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe pastos cortos (pastizales) y en el
348	6+940.0	0.030	0.050	0.035	
349	6+960.0	0.030	0.050	0.035	
350	6+980.0	0.030	0.050	0.035	

351	7+000.0	0.030	0.050	0.035	margen izquierdo existe áreas cultivadas (sin cultivo) con surcos.
352	7+020.0	0.035	0.050	0.035	- Cauce sinuoso con abundante vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe pastos cortos (pastizales) y áreas cultivadas (sin cultivo) con surcos y en el margen izquierdo existe áreas cultivadas (sin cultivo) con surcos.
353	7+040.0	0.035	0.050	0.035	
354	7+060.0	0.035	0.050	0.035	
355	7+080.0	0.035	0.050	0.035	
356	7+100.0	0.035	0.050	0.035	
357	7+120.0	0.035	0.050	0.035	- Cauce sinuoso con abundante vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe áreas cultivadas (sin cultivo) con surcos y en el margen izquierdo existe pastos cortos (pastizales).
358	7+140.0	0.035	0.050	0.030	
359	7+160.0	0.035	0.050	0.030	- Cauce sinuoso con abundante vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe pastos cortos y pastos altos (alfalfa) y en el margen izquierdo existe pastos cortos (pastizales).
360	7+180.0	0.040	0.050	0.030	
361	7+200.0	0.040	0.050	0.030	
362	7+220.0	0.040	0.050	0.030	
363	7+240.0	0.040	0.050	0.030	
364	7+260.0	0.040	0.050	0.030	
365	7+280.0	0.040	0.050	0.030	
366	7+300.0	0.040	0.050	0.030	
367	7+320.0	0.040	0.050	0.030	
368	7+340.0	0.040	0.050	0.030	
369	7+360.0	0.040	0.050	0.030	
370	7+380.0	0.040	0.050	0.030	
371	7+400.0	0.040	0.050	0.030	
372	7+420.0	0.040	0.050	0.030	
373	7+440.0	0.040	0.050	0.030	
374	7+460.0	0.040	0.050	0.030	
375	7+480.0	0.030	0.045	0.030	- Cauce sinuoso con vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe pastos cortos (pastizales) y en el margen izquierdo existe áreas cultivadas (sin cultivo).
376	7+500.0	0.030	0.045	0.030	
377	7+520.0	0.030	0.050	0.030	- Cauce sinuoso con vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe pastos cortos y en el margen izquierdo existe áreas cultivadas (sin cultivo).
378	7+540.0	0.030	0.050	0.030	
379	7+560.0	0.030	0.050	0.030	
380	7+580.0	0.030	0.050	0.030	

381	7+600.0	0.030	0.050	0.030	- Cauce sinuoso con vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe pastos cortos y en el margen izquierdo existe áreas cultivadas (sin cultivo).
382	7+620.0	0.030	0.050	0.030	
383	7+640.0	0.030	0.050	0.030	- Cauce sinuoso con abundante vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe pastos cortos (pastizales) y en el margen izquierdo existe pastos cortos.
384	7+660.0	0.030	0.050	0.030	
385	7+680.0	0.030	0.050	0.030	
386	7+700.0	0.030	0.050	0.030	
387	7+720.0	0.030	0.050	0.030	
388	7+740.0	0.030	0.050	0.030	
389	7+760.0	0.040	0.050	0.030	
390	7+780.0	0.040	0.050	0.030	
391	7+800.0	0.040	0.050	0.030	
392	7+820.0	0.040	0.050	0.030	
393	7+840.0	0.040	0.050	0.030	
394	7+860.0	0.040	0.050	0.030	
395	7+880.0	0.040	0.050	0.030	
396	7+900.0	0.040	0.050	0.030	
397	7+920.0	0.040	0.050	0.030	
398	7+940.0	0.040	0.050	0.030	
399	7+960.0	0.040	0.050	0.030	
400	7+980.0	0.040	0.050	0.030	- Cauce sinuoso con abundante vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe pastos cortos (pastizales) y áreas cultivadas (sin cultivo) en surcos y en el margen izquierdo existe pastos cortos (pastizales)
401	8+000.0	0.040	0.050	0.030	
402	8+020.0	0.040	0.050	0.030	
403	8+040.0	0.040	0.050	0.030	
404	8+060.0	0.040	0.050	0.030	
405	8+080.0	0.040	0.050	0.030	
406	8+100.0	0.040	0.050	0.030	
407	8+120.0	0.040	0.050	0.030	
408	8+140.0	0.040	0.050	0.030	- Cauce sinuoso con abundante vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe pastos cortos (pastizales) y pastos altos (alfalfa) y en el margen izquierdo existe pastos cortos.
409	8+160.0	0.040	0.050	0.030	
410	8+180.0	0.040	0.050	0.030	
411	8+200.0	0.040	0.050	0.030	
412	8+220.0	0.040	0.050	0.030	
413	8+240.0	0.040	0.050	0.030	
414	8+260.0	0.040	0.050	0.030	
415	8+280.0	0.030	0.050	0.045	
416	8+300.0	0.030	0.050	0.045	

417	8+320.0	0.030	0.050	0.045	arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe pastos cortos (pastizales) y en el margen izquierdo existe algunas viviendas.
418	8+340.0	0.075	0.050	0.035	- Cauce sinuoso con abundante vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe matorrales dispersos y presencia de viviendas y en el margen izquierdo existe áreas cultivadas (sin cultivo) en surcos.
419	8+360.0	0.075	0.050	0.035	
420	8+380.0	0.075	0.050	0.035	
421	8+400.0	0.075	0.050	0.035	
422	8+420.0	0.075	0.050	0.035	
423	8+440.0	0.075	0.050	0.035	
424	8+460.0	0.075	0.050	0.035	
425	8+480.0	0.075	0.050	0.035	
426	8+500.0	0.075	0.050	0.035	
427	8+520.0	0.075	0.050	0.035	
428	8+540.0	0.075	0.050	0.035	
429	8+560.0	0.075	0.050	0.035	
430	8+580.0	0.075	0.050	0.035	
431	8+600.0	0.075	0.050	0.035	- Cauce sinuoso con abundante vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe matorrales dispersos y presencia de viviendas y en el margen izquierdo existe pastos cortos (pastizales).
432	8+620.0	0.075	0.050	0.030	
433	8+640.0	0.075	0.050	0.030	
434	8+660.0	0.075	0.050	0.030	
435	8+680.0	0.075	0.050	0.030	
436	8+700.0	0.075	0.050	0.030	
437	8+720.0	0.075	0.050	0.030	
438	8+740.0	0.075	0.050	0.030	- Cauce sinuoso con abundante vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe áreas cultivadas (sin cultivo) en surcos y en el margen izquierdo existe pastos cortos.
439	8+760.0	0.035	0.050	0.030	
440	8+780.0	0.035	0.050	0.030	- Cauce sinuoso con abundante vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe algunas viviendas y en el margen izquierdo existe pastos cortos (pastizales).
441	8+800.0	0.035	0.050	0.030	
442	8+820.0	0.070	0.050	0.030	
443	8+840.0	0.070	0.050	0.030	- Cauce sinuoso con abundante vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe viviendas y en el margen izquierdo existe pastos cortos (pastizales).
444	8+860.0	0.070	0.050	0.030	
445	8+880.0	0.075	0.050	0.035	
446	8+900.0	0.075	0.050	0.035	
447	8+920.0	0.075	0.050	0.035	

473	9+440.0	0.030	0.050	0.040	arena esparcida en el fondo, en el
474	9+460.0	0.030	0.050	0.040	margen derecho existe pastos
475	9+480.0	0.030	0.050	0.040	cortos (pastizales) y áreas
					cultivadas (sin cultivo) y en el
					margen izquierdo existe pastos
					cortos y pastos altos (alfalfa).
476	9+500.0	0.035	0.045	0.040	- Cauce sinuoso con vegetación
					acuática, piedra y arena
					esparcida en el fondo, en el
					margen derecho existe pastos
					altos (alfalfa) y en el margen
					izquierdo existe pastos cortos y
					pastos altos (alfalfa).
477	9+520.0	0.030	0.045	0.045	- Cauce sinuoso con vegetación
					acuática, piedra y arena
					esparcida en el fondo, en el
					margen derecho existe pastos
					cortos (pastizales) y en el
					margen izquierdo existe pastos
					cortos y algunas viviendas.
478	9+540.0	0.030	0.045	0.045	- Cauce sinuoso con vegetación
					acuática, piedra y arena
					esparcida en el fondo, en el
					margen derecho existe pastos
					cortos y áreas cultivadas (sin
					cultivo) en surcos y en el margen
					izquierdo existe pastos cortos
					(pastizales).
479	9+560.0	0.035	0.045	0.030	- Cauce sinuoso con vegetación
					acuática, piedra y arena
					esparcida en el fondo, en el
					margen derecho existe pastos
					cortos y áreas cultivadas (sin
					cultivo) en surcos y en el margen
					izquierdo existe pastos cortos
					(pastizales).
480	9+580.0	0.040	0.045	0.045	- Cauce sinuoso con vegetación
					acuática, piedra y arena
					esparcida en el fondo, en el
					margen derecho existe pastos
					cortos y pastos altos (alfalfa) y
					en el margen izquierdo existe
					pastos cortos y algunos árboles
					(eucalipto).
481	9+600.0	0.040	0.045	0.045	- Cauce sinuoso con vegetación
					acuática, piedra y arena
					esparcida en el fondo, en el
					margen derecho existe pastos
					cortos y pastos altos (alfalfa) y
					en el margen izquierdo existe
					pastos cortos y pastos altos
					(alfalfa).
482	9+620.0	0.040	0.045	0.035	- Cauce sinuoso con vegetación
					acuática, piedra y arena
					esparcida en el fondo, en el
					margen derecho existe pastos
					cortos y pastos altos (alfalfa) y
					en el margen izquierdo existe
					pastos cortos y pastos altos
					(alfalfa).
483	9+640.0	0.040	0.045	0.035	- Cauce sinuoso con vegetación
					acuática, piedra y arena
					esparcida en el fondo, en el
					margen derecho existe pastos
					cortos y pastos altos (alfalfa) y
					en el margen izquierdo existe
					pastos cortos y pastos altos
					(alfalfa).
484	9+660.0	0.035	0.045	0.045	- Cauce sinuoso con vegetación
485	9+680.0	0.035	0.045	0.045	acuática, piedra y arena
					esparcida en el fondo, en el
					margen derecho existe pastos
					cortos y pastos altos (alfalfa) y
					en el margen izquierdo existe
					pastos cortos algunos árboles
					(eucaliptos).
486	9+700.0	0.035	0.045	0.045	

487	9+720.0	0.035	0.045	0.035	- Cauce sinuoso con vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe pastos cortos y pastos altos (alfalfa) y en el margen izquierdo existe pastos cotos y pastos altos (alfalfa).
488	9+740.0	0.035	0.045	0.050	- Cauce sinuoso con vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe pastos cortos y pastos altos (alfalfa) y en el margen izquierdo existe pastos cortos, arboles dispersos (eucaliptos) y algunas viviendas.
489	9+760.0	0.035	0.045	0.050	
490	9+780.0	0.035	0.045	0.050	
491	9+800.0	0.035	0.050	0.035	- Cauce sinuoso con abundante vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe pastos cortos y pastos altos (alfalfa) y en el margen izquierdo existe pastos altos (alfalfa) y pastos cortos.
492	9+820.0	0.035	0.050	0.035	
493	9+840.0	0.035	0.050	0.035	
494	9+860.0	0.035	0.050	0.035	
495	9+880.0	0.035	0.050	0.035	
496	9+900.0	0.030	0.050	0.035	- Cauce sinuoso con abundante vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe pastos cortos (pastizales) y en el margen izquierdo existe pastos cortos y áreas cultivadas (sin cultivo) en surcos.
497	9+920.0	0.030	0.050	0.035	
498	9+940.0	0.030	0.050	0.035	
499	9+960.0	0.030	0.050	0.030	- Cauce sinuoso con abundante vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe pastos cortos (pastizales) y en el margen izquierdo existe pastos cortos (pastizales).
500	9+980.0	0.030	0.050	0.030	
501	10+000.0	0.030	0.050	0.030	
502	10+020.0	0.035	0.050	0.030	- Cauce sinuoso con abundante vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe pastos cortos y pastos altos (alfalfa) y en el margen izquierdo existe pastos cortos (pastizales).
503	10+040.0	0.030	0.050	0.030	- Cauce sinuoso con abundante vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe pastos cortos (pastizales) y en el margen izquierdo existe pastos cortos (pastizales)

504	10+060.0	0.030	0.050	0.040	- Cauce sinuoso con abundante vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe pastos cortos (pastizales) y en el margen izquierdo existe matorrales dispersos, pastos altos (alfalfa) con algunos arbustos.
505	10+080.0	0.030	0.050	0.040	
506	10+100.0	0.030	0.050	0.040	
507	10+120.0	0.030	0.050	0.040	
508	10+140.0	0.030	0.050	0.030	
509	10+160.0	0.030	0.050	0.030	
510	10+180.0	0.030	0.050	0.030	- Cauce sinuoso con abundante vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe pastos cortos (pastizales) y en el margen izquierdo existe pastos cortos (pastizales)
511	10+200.0	0.030	0.050	0.030	
512	10+220.0	0.030	0.050	0.030	
513	10+240.0	0.030	0.050	0.030	
514	10+260.0	0.030	0.050	0.030	
515	10+280.0	0.030	0.050	0.030	
516	10+300.0	0.030	0.050	0.030	
517	10+320.0	0.030	0.050	0.030	
518	10+340.0	0.030	0.050	0.030	
519	10+360.0	0.030	0.050	0.030	
520	10+380.0	0.030	0.050	0.030	
521	10+400.0	0.030	0.050	0.030	
522	10+420.0	0.030	0.050	0.030	
523	10+440.0	0.030	0.050	0.030	
524	10+460.0	0.030	0.050	0.035	- Cauce sinuoso con abundante vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe pastos cortos (pastizales) y en el margen izquierdo existe áreas cultivadas (con cultivo).
525	10+480.0	0.030	0.050	0.035	
526	10+500.0	0.030	0.050	0.030	
527	10+520.0	0.030	0.050	0.030	- Cauce sinuoso con abundante vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe áreas cultivadas (sin cultivo) y en el margen izquierdo existe pastos cortos (pastizales).
528	10+540.0	0.030	0.050	0.030	
529	10+560.0	0.030	0.050	0.030	
530	10+580.0	0.035	0.050	0.030	

531	10+600.0	0.035	0.050	0.030	- Cauce sinuoso con abundante vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe pastos altos (alfalfa) y en el margen izquierdo existe pastos cortos (pastizales).	
532	10+620.0	0.030	0.045	0.040	- Cauce sinuoso con vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe pastos cortos (pastizales) y en el margen izquierdo existe matorrales dispersos y pastos cotos (pastizales).	
533	10+640.0	0.030	0.045	0.040		
534	10+660.0	0.030	0.045	0.040		
535	10+680.0	0.030	0.045	0.040		
536	10+700.0	0.030	0.045	0.040		
537	10+720.0	0.030	0.045	0.040		
538	10+740.0	0.030	0.045	0.040		
539	10+760.0	0.030	0.045	0.040		
540	10+780.0	0.030	0.050	0.550		
541	10+800.0	0.030	0.050	0.550		
542	10+820.0	0.030	0.050	0.550		
543	10+840.0	0.030	0.050	0.550		- Cauce sinuoso con abundante vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe pastos cortos (pastizales) y en el margen izquierdo existe matorrales dispersos, arboles dispersos (pinos) y áreas cultivadas (sin cultivo) en surcos.
544	10+860.0	0.030	0.050	0.550		
545	10+880.0	0.030	0.050	0.550		
546	10+900.0	0.030	0.050	0.550		
547	10+920.0	0.030	0.050	0.550		
548	10+940.0	0.030	0.050	0.550		
549	10+960.0	0.030	0.050	0.550		
550	10+980.0	0.030	0.050	0.550		
551	11+000.0	0.030	0.050	0.550		
552	11+020.0	0.030	0.050	0.550		
553	11+040.0	0.030	0.050	0.050	- Cauce sinuoso con abundante vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe pastos cortos (pastizales) y en el margen izquierdo existe matorrales dispersos, arboles dispersos (pinos) y pastos cortos (pastizales).	
554	11+060.0	0.030	0.050	0.050		
555	11+080.0	0.030	0.050	0.050	- Cauce sinuoso con vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe pastos cortos (pastizales) y en el margen izquierdo existe pastos cortos (pastizales) y áreas cultivadas (sin cultivo) en surcos.	
556	11+100.0	0.030	0.045	0.035		
557	11+120.0	0.030	0.045	0.035		

558	11+140.0	0.035	0.050	0.040	- Cauce sinuoso con abundante vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe pastos cortos y áreas cultivadas (sin cultivo) en surcos y en el margen izquierdo existe pastos cortos y pastos altos (alfalfa).
559	11+160.0	0.030	0.045	0.050	- Cauce sinuoso con vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe pastos cortos (pastizales) y en el margen izquierdo existe arbustos dispersos (pinos) y pastos cortos (pastizales).
560	11+180.0	0.030	0.045	0.050	- Cauce sinuoso con abundante vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe pastos cortos (pastizales) y en el margen izquierdo existe arbustos dispersos (pinos) y pastos altos (alfalfa).
561	11+200.0	0.030	0.050	0.550	- Cauce sinuoso con vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe pastos cortos (pastizales) y en el margen izquierdo existe arbustos dispersos (pinos) y pastos altos (alfalfa).
562	11+220.0	0.040	0.045	0.030	- Cauce sinuoso con vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe pastos altos (alfalfa) y en el margen izquierdo existe pastos cortos (pastizales).
563	11+240.0	0.040	0.045	0.030	
564	11+260.0	0.040	0.045	0.030	
565	11+280.0	0.040	0.045	0.030	
566	11+300.0	0.030	0.050	0.030	- Cauce sinuoso con abundante vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe pastos cortos (pastizales) y en el margen izquierdo existe pastos cortos (pastizales).
567	11+320.0	0.030	0.050	0.030	
568	11+340.0	0.045	0.050	0.030	- Cauce sinuoso con vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe pastos altos (alfalfa) y en el margen izquierdo existe pastos cortos (pastizales).
569	11+360.0	0.045	0.050	0.030	
570	11+380.0	0.050	0.045	0.045	- Cauce sinuoso con vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe matorrales dispersos y pastos altos (alfalfa) y en el margen izquierdo existe matorrales

					dispersos, cerco perimétrico de madera y pastos altos (alfalfa).
571	11+400.0	0.050	0.045	0.040	- Cauce sinuoso con vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe matorrales dispersos y pastos altos (alfalfa) y en el margen izquierdo existe matorrales dispersos y áreas cultivadas (sin cultivo) en surcos.
572	11+420.0	0.050	0.045	0.040	
573	11+440.0	0.050	0.045	0.040	
574	11+460.0	0.030	0.050	0.040	- Cauce sinuoso con abundante vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe matorrales dispersos y pastos cortos (pastizales) y en el margen izquierdo existe matorrales dispersos y áreas cultivadas (sin cultivo) en surcos.
575	11+480.0	0.030	0.050	0.040	
576	11+500.0	0.030	0.050	0.040	
577	11+520.0	0.030	0.050	0.040	
578	11+540.0	0.030	0.050	0.040	
579	11+560.0	0.035	0.050	0.030	- Cauce sinuoso con abundante vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe matorrales dispersos y pastos cortos (pastizales) y en el margen izquierdo existe matorrales dispersos y áreas cultivadas (sin cultivo).
580	11+580.0	0.035	0.050	0.030	
581	11+600.0	0.035	0.050	0.030	
582	11+620.0	0.035	0.050	0.030	- Cauce sinuoso con abundante vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe áreas cultivadas (sin cultivo) en surcos y en el margen izquierdo existe áreas cultivadas (sin cultivo).
583	11+640.0	0.035	0.050	0.040	- Cauce sinuoso con abundante vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe áreas cultivadas (sin cultivo) en surcos y en el margen izquierdo existe pastos altos (alfalfa).
584	11+660.0	0.035	0.050	0.050	- Cauce sinuoso con abundante vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe matorrales dispersos y pastos cortos (pastizales) y en el margen izquierdo existe arboles dispersos (pinos) y pastos altos (alfalfa).

585	11+680.0	0.035	0.050	0.045	- Cauce sinuoso con abundante vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe pastos altos (alfalfa) y en el margen izquierdo existe arboles dispersos (pinos) y áreas cultivadas (sin cultivo) en surcos.
586	11+700.0	0.035	0.050	0.045	
587	11+720.0	0.030	0.050	0.045	- Cauce sinuoso con abundante vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe pastos cortos (pastizales) y en el margen izquierdo existe arboles dispersos (pinos) y áreas cultivadas (sin cultivo) en surcos.
588	11+740.0	0.030	0.050	0.045	
589	11+760.0	0.030	0.050	0.045	
590	11+780.0	0.030	0.050	0.045	
591	11+800.0	0.030	0.050	0.045	
592	11+820.0	0.030	0.050	0.030	- Cauce sinuoso con abundante vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe pastos cortos (pastizales) y en el margen izquierdo existe pastos cortos (pastizales).
593	11+840.0	0.030	0.050	0.030	
594	11+860.0	0.150	0.050	0.030	- Cauce sinuoso con abundante vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe arboles densos (pinos) y pastos altos (alfalfa) y en el margen izquierdo existe pastos cortos (pastizales).
595	11+880.0	0.110	0.050	0.030	- Cauce sinuoso con abundante vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe arboles densos (pinos) y en el margen izquierdo existe pastos cortos (pastizales).
596	11+900.0	0.080	0.050	0.030	- Cauce sinuoso con abundante vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe arboles dispersos (pinos) y pastos altos (alfalfa) y en el margen izquierdo existe pastos cortos (pastizales).
597	11+920.0	0.080	0.050	0.035	- Cauce sinuoso con abundante vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe arboles dispersos (pinos) y pastos altos
598	11+940.0	0.080	0.050	0.035	
599	11+960.0	0.080	0.050	0.035	
600	11+980.0	0.080	0.050	0.035	

					(alfalfa) y en el margen izquierdo existe matorrales dispersos y pastos altos (alfalfa).
601	12+000.0	0.035	0.050	0.040	- Cauce sinuoso con abundante vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe matorrales dispersos y pastos altos (alfalfa) y en el margen izquierdo existe matorrales dispersos, pastos cortos y áreas cultivadas (sin cultivo) en surcos.
602	12+020.0	0.035	0.050	0.040	
603	12+040.0	0.035	0.050	0.040	
604	12+060.0	0.035	0.050	0.040	
605	12+080.0	0.040	0.045	0.035	- Cauce sinuoso con vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe matorrales dispersos, pastos cortos y pastos altos (alfalfa) y en el margen izquierdo existe matorrales dispersos y pastos cortos (pastizales).
606	12+100.0	0.040	0.045	0.035	
607	12+120.0	0.040	0.045	0.035	- Cauce sinuoso con vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe matorrales dispersos, pastos cortos y pastos altos (alfalfa) y en el margen izquierdo existe matorrales dispersos y áreas cultivadas (sin cultivo).
608	12+140.0	0.040	0.045	0.030	- Cauce sinuoso con vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe matorrales dispersos, pastos cortos y pastos altos (alfalfa) y en el margen izquierdo existe pastos cortos (pastizales).
609	12+160.0	0.040	0.045	0.030	
610	12+180.0	0.030	0.050	0.030	- Cauce sinuoso con abundante vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe pastos cortos (pastizales) y en el margen izquierdo existe pastos cortos (pastizales).
611	12+200.0	0.030	0.050	0.030	
612	12+220.0	0.030	0.050	0.030	
613	12+240.0	0.035	0.045	0.030	- Cauce sinuoso con vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe matorrales dispersos, pastos cortos (pastizales) y en el

					margen izquierdo existe pastos cortos (pastizales).
614	12+260.0	0.030	0.050	0.030	- Cauce sinuoso con abundante vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe pastos cortos (pastizales) y en el margen izquierdo existe pastos cortos (pastizales).
615	12+280.0	0.030	0.050	0.030	- Cauce sinuoso con vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe matorrales dispersos, pastos cortos y pastos altos (alfalfa) y en el margen izquierdo existe pastos cortos (pastizales).
616	12+300.0	0.040	0.045	0.030	- Cauce sinuoso con abundante vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe matorrales dispersos y pastos cortos (pastizales) y en el margen izquierdo existe uno o dos árboles (eucalipto) y pastos altos (alfalfa).
617	12+320.0	0.035	0.050	0.040	- Cauce sinuoso con vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe pastos cortos (pastizales) y en el margen izquierdo existe pastos cortos (pastizales).
618	12+340.0	0.035	0.050	0.040	- Cauce sinuoso con vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe áreas cultivadas (sin cultivo) en surcos y en el margen izquierdo existe pastos cortos y pastos altos (alfalfa).
619	12+360.0	0.035	0.050	0.040	- Cauce sinuoso con vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe uno o dos árboles (eucalipto) y pastos altos (alfalfa) y en el margen izquierdo existe pastos cortos y pastos altos (alfalfa).
620	12+380.0	0.030	0.045	0.030	- Cauce sinuoso con vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe pastos cortos (pastizales) y en el margen izquierdo existe pastos cortos (pastizales).
621	12+400.0	0.035	0.045	0.040	- Cauce sinuoso con vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe pastos cortos (pastizales) y en el margen izquierdo existe pastos cortos y pastos altos (alfalfa).
622	12+420.0	0.040	0.045	0.040	- Cauce sinuoso con vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe pastos cortos (pastizales) y en el margen izquierdo existe pastos cortos y pastos altos (alfalfa).
623	12+440.0	0.035	0.045	0.040	- Cauce sinuoso con vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe pastos cortos (pastizales).

					cortos y pastos altos (alfalfa) y en el margen izquierdo existe pastos cortos y pastos altos (alfalfa).
624	12+460.0	0.035	0.045	0.035	- Cauce sinuoso con vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe áreas sin cultivo y pastos altos (alfalfa) y en el margen izquierdo existe áreas sin cultivo y pastos altos (alfalfa).
625	12+480.0	0.035	0.045	0.035	- Cauce sinuoso con abundante vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe arboles dispersos (eucalipto) y pastos altos (alfalfa) y en el margen izquierdo existe pastos altos (alfalfa).
626	12+500.0	0.080	0.050	0.035	- Cauce sinuoso con vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe pastos cortos (pastizales) y en el margen izquierdo existe matorrales dispersos y áreas cultivadas (sin cultivo) en surcos.
627	12+520.0	0.030	0.045	0.040	- Cauce sinuoso con vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe pastos cortos (pastizales) y en el margen izquierdo existe matorrales dispersos y áreas cultivadas (sin cultivo) en surcos.
628	12+540.0	0.030	0.045	0.040	- Cauce sinuoso con vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe pastos cortos (pastizales) y en el margen izquierdo existe áreas cultivadas (sin cultivo) en surcos.
629	12+560.0	0.030	0.045	0.040	- Cauce sinuoso con vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe pastos cortos (pastizales) y en el margen izquierdo existe áreas cultivadas (sin cultivo) en surcos.
630	12+580.0	0.030	0.045	0.040	- Cauce sinuoso con vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe pastos cortos (pastizales) y en el margen izquierdo existe áreas cultivadas (sin cultivo) en surcos.
631	12+600.0	0.030	0.045	0.040	- Cauce sinuoso con vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe pastos cortos (pastizales) y en el margen izquierdo existe áreas cultivadas (sin cultivo) en surcos.
632	12+620.0	0.040	0.045	0.040	- Cauce sinuoso con vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe pastos cortos (pastizales) y en el margen izquierdo existe áreas cultivadas (sin cultivo) en surcos.
633	12+640.0	0.040	0.045	0.040	- Cauce sinuoso con vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe pastos cortos (pastizales) y en el margen izquierdo existe áreas cultivadas (sin cultivo) en surcos.
634	12+660.0	0.040	0.045	0.040	- Cauce sinuoso con vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe pastos cortos (pastizales) y en el margen izquierdo existe áreas cultivadas (sin cultivo) en surcos.
635	12+680.0	0.030	0.045	0.040	- Cauce sinuoso con vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe pastos cortos (pastizales) y en el margen izquierdo existe áreas cultivadas (sin cultivo) en surcos.
636	12+700.0	0.030	0.045	0.040	- Cauce sinuoso con vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe pastos cortos (pastizales) y en el margen izquierdo existe áreas cultivadas (sin cultivo) en surcos.
637	12+720.0	0.075	0.045	0.030	- Cauce sinuoso con vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe arboles dispersos (eucaliptos) y pastos altos (alfalfa) y en el margen
638	12+740.0	0.075	0.045	0.030	- Cauce sinuoso con vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe arboles dispersos (eucaliptos) y pastos altos (alfalfa) y en el margen

					izquierdo existe pastos cortos (pastizales).
639	12+760.0	0.035	0.050	0.070	- Cauce sinuoso con abundante vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe pastos altos (alfalfa) y en el margen izquierdo existe uno o dos árboles (eucalipto) y áreas cultivadas (sin cultivo) en surcos.
640	12+780.0	0.035	0.050	0.070	- Cauce sinuoso con vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe pastos cortos (pastizales) y en el margen izquierdo existe uno o dos árboles (eucalipto) y áreas cultivadas (sin cultivo) en surcos.
641	12+800.0	0.030	0.045	0.070	- Cauce sinuoso con vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe arboles dispersos (eucaliptos) y pastos cortos (pastizales) y en el margen izquierdo existe arboles dispersos (eucalipto) y pastos cortos (pastizales).
642	12+820.0	0.030	0.045	0.070	- Cauce sinuoso con abundante vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe arboles densos (eucaliptos) y áreas cultivadas (sin cultivo) en surcos y en el margen izquierdo existe arboles densos (eucaliptos) y pastos altos (alfalfa).
643	12+840.0	0.080	0.045	0.080	
644	12+860.0	0.080	0.045	0.080	
645	12+880.0	0.080	0.045	0.080	
646	12+900.0	0.080	0.045	0.080	
647	12+920.0	0.080	0.045	0.080	
648	12+940.0	0.110	0.045	0.150	
649	12+960.0	0.110	0.045	0.150	
650	12+980.0	0.110	0.045	0.150	
651	13+000.0	0.110	0.045	0.150	
652	13+020.0	0.070	0.045	0.080	
653	13+040.0	0.070	0.045	0.080	
654	13+060.0	0.070	0.045	0.080	
655	13+080.0	0.080	0.050	0.080	
656	13+100.0	0.080	0.050	0.080	
657	13+120.0	0.080	0.050	0.080	
658	13+140.0	0.080	0.050	0.080	

679	13+560.0	0.035	0.050	0.030	- Cauce sinuoso con abundante vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe pastos cortos (pastizales) en surcos y en el margen izquierdo existe pastos cortos (pastizales).
680	13+580.0	0.030	0.050	0.030	- Cauce sinuoso con abundante vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe pastos cortos (pastizales) y en el margen izquierdo existe pastos cortos (pastizales).
681	13+600.0	0.030	0.050	0.030	
682	13+620.0	0.030	0.050	0.030	
683	13+640.0	0.030	0.050	0.030	
684	13+660.0	0.080	0.050	0.030	- Cauce sinuoso con abundante vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe arboles dispersos (eucalipto) y áreas de cultivo (sin cultivo) en surcos y en el margen izquierdo existe pastos cortos (pastizales).
685	13+680.0	0.080	0.050	0.030	- Cauce sinuoso con abundante vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe uno o dos árboles (eucalipto) y pastos cortos (pastizales) y en el margen izquierdo existe pastos cortos (pastizales).
686	13+700.0	0.070	0.050	0.030	
687	13+720.0	0.035	0.050	0.035	
688	13+740.0	0.035	0.050	0.035	
689	13+760.0	0.035	0.050	0.035	- Cauce sinuoso con abundante vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe pastos cortos y áreas de cultivo (sin cultivo) en surcos y en el margen izquierdo existe pastos cortos y cerco de tapial (erosionado).
690	13+780.0	0.035	0.050	0.035	- Cauce sinuoso con abundante vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe pastos cortos y áreas cultivadas (sin cultivo) en surcos y en el margen izquierdo existe pastos cortos y cerco de tapial (erosionado) y discontinuo.
691	13+800.0	0.035	0.050	0.035	
692	13+820.0	0.035	0.050	0.035	
693	13+840.0	0.035	0.050	0.035	
694	13+860.0	0.110	0.050	0.035	- Cauce sinuoso con abundante vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe pastos cortos (pastizales) y arboles
695	13+880.0	0.110	0.050	0.035	
696	13+900.0	0.110	0.050	0.035	
697	13+920.0	0.110	0.050	0.035	

698	13+940.0	0.110	0.050	0.035	densos (eucaliptos) y en el margen izquierdo existe pastos cortos y cerco de tapial (erosionado).
699	13+960.0	0.110	0.050	0.035	
700	13+980.0	0.110	0.050	0.035	
701	14+000.0	0.110	0.050	0.035	
702	14+020.0	0.110	0.050	0.035	
703	14+040.0	0.110	0.050	0.035	
704	14+060.0	0.110	0.050	0.035	
705	14+080.0	0.011	0.050	0.030	- Cauce sinuoso con abundante vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe pastos cortos (pastizales) y arboles densos (eucaliptos) y en el margen izquierdo existe pastos cortos (pastizales).
706	14+100.0	0.011	0.050	0.030	
707	14+120.0	0.011	0.050	0.030	- Cauce sinuoso con abundante vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe pastos cortos (pastizales) y arboles densos (eucaliptos) y en el margen izquierdo existe pastos cortos y cerco de tapial (erosionado).
708	14+140.0	0.011	0.050	0.030	
709	14+160.0	0.110	0.050	0.035	
710	14+180.0	0.110	0.050	0.035	- Cauce sinuoso con abundante vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe pastos cortos y algunas viviendas y en el margen izquierdo existe pastos cortos (pastizales).
711	14+200.0	0.110	0.050	0.035	
712	14+220.0	0.110	0.050	0.035	- Cauce sinuoso con abundante vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe pastos cortos (pastizales) y en el margen izquierdo existe pastos cortos y cerco de tapial (erosionado).
713	14+240.0	0.070	0.050	0.030	
714	14+260.0	0.070	0.050	0.030	- Cauce sinuoso con abundante vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe pastos cortos (pastizales) y en el margen izquierdo existe pastos cortos y cerco de tapial (erosionado).
715	14+280.0	0.030	0.050	0.035	
716	14+300.0	0.030	0.050	0.035	- Cauce sinuoso con abundante vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe pastos cortos (pastizales) y pastos altos (alfalfa) y en el margen izquierdo existe pastos cortos y cerco de tapial (erosionado) y discontinuo.
717	14+320.0	0.040	0.050	0.030	
718	14+340.0	0.040	0.050	0.030	- Cauce sinuoso con abundante vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el
719	14+360.0	0.040	0.050	0.030	
720	14+380.0	0.030	0.050	0.035	- Cauce sinuoso con abundante vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el
721	14+400.0	0.030	0.050	0.035	


					margen derecho existe pastos cortos (pastizales) y en el margen izquierdo existe pastos cortos y cerco de tapial (erosionado).
722	14+420.0	0.030	0.050	0.030	- Cauce sinuoso con abundante vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe pastos cortos (pastizales) y en el margen izquierdo existe pastos cortos (pastizales).
723	14+440.0	0.030	0.050	0.030	- Cauce sinuoso con abundante vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe áreas cultivadas (sin cultivo) en surcos y en el margen izquierdo existe pastos cortos (pastizales).
724	14+460.0	0.030	0.050	0.030	- Cauce sinuoso con abundante vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe uno o dos árboles (eucalipto) y pastos altos (alfalfa) y en el margen izquierdo existe pastos cortos (pastizales).
725	14+480.0	0.035	0.050	0.030	- Cauce sinuoso con abundante vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe áreas cultivadas (sin cultivo) y en el margen izquierdo existe pastos cortos (pastizales).
726	14+500.0	0.035	0.050	0.030	- Cauce sinuoso con abundante vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe uno o dos árboles (eucalipto) y pastos altos (alfalfa) y en el margen izquierdo existe pastos cortos (pastizales).
727	14+520.0	0.080	0.050	0.030	- Cauce sinuoso con abundante vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe áreas cultivadas (sin cultivo) y en el margen izquierdo existe pastos cortos (pastizales).
728	14+540.0	0.080	0.050	0.030	- Cauce sinuoso con abundante vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe áreas cultivadas (sin cultivo) y en el margen izquierdo existe pastos cortos (pastizales).
729	14+560.0	0.030	0.050	0.030	- Cauce sinuoso con abundante vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe áreas cultivadas (sin cultivo) y en el margen izquierdo existe pastos cortos (pastizales).
730	14+580.0	0.030	0.050	0.030	- Cauce sinuoso con abundante vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe pastos cortos (pastizales) y en el margen izquierdo existe pastos cortos (pastizales).
731	14+600.0	0.030	0.050	0.030	- Cauce sinuoso con abundante vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe pastos cortos (pastizales) y en el margen izquierdo existe pastos cortos (pastizales).
732	14+620.0	0.030	0.050	0.030	- Cauce sinuoso con abundante vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe pastos cortos (pastizales) y en el margen izquierdo existe pastos cortos (pastizales).
733	14+640.0	0.030	0.050	0.030	- Cauce sinuoso con abundante vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe pastos cortos (pastizales) y en el margen izquierdo existe pastos cortos (pastizales).
734	14+660.0	0.030	0.050	0.030	- Cauce sinuoso con abundante vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe áreas cultivadas (sin cultivo) y en el margen izquierdo existe pastos cortos (pastizales).
735	14+680.0	0.030	0.050	0.030	- Cauce sinuoso con abundante vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe áreas cultivadas (sin cultivo) y en el margen izquierdo existe pastos cortos (pastizales).
736	14+700.0	0.030	0.050	0.030	- Cauce sinuoso con abundante vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe pastos cortos (pastizales) y en el
737	14+720.0	0.030	0.050	0.030	
738	14+740.0	0.030	0.050	0.030	
739	14+760.0	0.030	0.050	0.030	

740	14+780.0	0.030	0.050	0.030	margen izquierdo existe pastos cortos (pastizales).
741	14+800.0	0.030	0.050	0.030	
742	14+820.0	0.030	0.050	0.030	
743	14+840.0	0.030	0.050	0.030	
744	14+860.0	0.030	0.050	0.030	
745	14+880.0	0.040	0.045	0.035	- Cauce sinuoso con vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe matorrales dispersos y pastos altos (alfalfa) y en el margen izquierdo existe pastos cortos y cerco de tapial (erosionado).
746	14+900.0	0.040	0.045	0.035	
747	14+920.0	0.040	0.045	0.035	
748	14+940.0	0.070	0.045	0.035	- Cauce sinuoso con vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe pastos cortos y algunas viviendas y en el margen izquierdo existe pastos cortos y cerco de tapial (erosionado).
749	14+960.0	0.030	0.050	0.035	- Cauce sinuoso con abundante vegetación acuática, piedra y arena esparcida en el fondo, en el margen derecho existe terreno irregular con pequeños montículos destinado a futura expansión urbana y en el margen izquierdo existe pastos cortos y cerco de tapial (erosionado).
750	14+980.0	0.030	0.050	0.035	
751	15+000.0	0.030	0.050	0.035	
752	15+020.0	0.030	0.050	0.035	
753	15+040.0	0.030	0.050	0.035	

ANEXO 07:

Modelamiento Hidráulico



 Mapas de inundación por periodos de retorno

ANEXO 08:

Planos



ANEXO 08: **Planos**

- Plano de ubicación y localización
- Plano de ubicación de estación meteorológica Pampas.
- Plano de ubicación del área de influencia de la cuenca
- Ubicación general, departamental, provincial y distrital de la subcuenca río Opamayo.
- Ubicación geográfica de la subcuenca río Opamayo
- Ubicación hidrográfica de la subcuenca río Opamayo
- Plano en planta del río Opamayo
- Plano de secciones del río Opamayo

MATRIZ DE CONSISTENCIA

TÍTULO: “MODELAMIENTO DE ZONAS INUNDABLES EN EL TRAMO ACRAQUIA – DANIEL HERNÁNDEZ DEL RIO OPAMAYO EN TAYACAJA”

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	MARCO TEÓRICO	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
<p>Problema general</p> <p>¿Cuáles serán las zonas inundables en el tramo Acraquia – Daniel Hernández del río Opamayo en Tayacaja?</p> <p>Problemas específicos:</p> <p>a. ¿Cuáles serán las zonas urbanas inundables en el tramo Acraquia – Daniel Hernández del río Opamayo en Tayacaja?</p> <p>b. ¿Cuáles serán las zonas agrícolas inundables en el tramo Acraquia – Daniel</p>	<p>Objetivo general</p> <p>Determinar las zonas inundables en el tramo Acraquia – Daniel Hernández del río Opamayo en Tayacaja.</p> <p>Objetivos específicos:</p> <p>a. Determinar las zonas urbanas inundables en el tramo Acraquia – Daniel Hernández del río Opamayo en Tayacaja.</p> <p>b. Determinar las zonas agrícolas inundables en el tramo Acraquia – Daniel Hernández del río Opamayo en Tayacaja.</p>	<p>Antecedentes</p> <p>Internacional:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Universidad Católica de Colombia (2020): Diaz y Ibarra, “<i>Estudio de Amenaza de Inundación del Río Culagá, Sector Puente Pr2+500 en la Vía Toledo - Labateca, Departamento Norte de Santander</i>”. • Universidad Estatal del Sur de Manabí (2019): Figueroa, “<i>Aplicación del HEC-RAS para la modelación hidráulica y determinación de zonas de inundación en las riberas del río Jipijapa (UNESUM-BYPASS)</i>”. 	<p>Hipótesis general</p> <p>No se plantea hipótesis por ser una investigación de nivel descriptivo.</p> <p>Hipótesis Específicas:</p> <p>No se plantea hipótesis por ser una investigación de nivel descriptivo.</p>	<p>Identificación de Variables:</p> <p>a. Variable</p> <p>Modelamiento de zonas inundables</p> <p>Dimensiones:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Zonas Urbanas 2. Zonas Agrícolas 	<p>Tipo de Investigación:</p> <p>Aplicada</p> <p>Nivel de Investigación:</p> <p>Descriptivo</p> <p>Método de Investigación:</p> <p>No experimental</p> <p>Diseño de Investigación:</p> <p>Descriptivo Simple.</p> <p>Diagrama:</p> <p style="text-align: center;">M → O</p> <p>Donde:</p>

<p>Hernández del río Opamayo en Tayacaja?</p>		<ul style="list-style-type: none"> • Universidad de la Salle (2018): Acuña y Del Pilar, “<i>Evaluación de Amenaza y Vulnerabilidad por Desbordamiento del Río Cusiana en la Zona Urbana de Mani – Casanare</i>”. <p>Nacional:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Universidad San Ignacio de Loyola (2020): Chalco y Cullanco, “<i>Determinación de Zonas Vulnerables a Inundaciones en el tramo Puente Huachipa - la Atarjea del Río Rímac, Distrito Lurigancho-Chosica para la Mitigación de Desastres</i>”. • Universidad Nacional del Centro del Perú (2019): Ramos, “<i>Áreas Inundables en Diferentes Periodos de Retorno Aplicando el Modelo de Simulación Hidráulica, Tramo Urbano del Río San Ramón, Pangoa - Satipo</i>”. <p>Local:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Universidad Nacional de Huancavelica (2014): Misaico, “<i>Modelamiento Hidráulico del Río Lircay en el Tramo de la Ciudad de Ocopa</i>”. 			<p>M: muestra (objeto en que se realizara el estudio).</p> <p>O: observación de la muestra.</p> <p>Población y Muestra:</p> <p>Población:</p> <p>Rio Opamayo.</p> <p>Muestra:</p> <p>Tramo Acraquia – Daniel Hernández del río Opamayo, comprende 15,040.00 km.</p> <p>Muestreo:</p> <p>No probabilístico - Intencional</p> <p>Técnicas de recolección de datos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Revisión y Análisis de documentos. - Observación Directa - Entrevistas - Levantamiento Topográfico - Batimetría
---	--	--	--	--	---

		<p>Marco teórico referencial</p> <ul style="list-style-type: none"> - Caudal máximo o caudal de inundación. - Inundaciones - Máximas avenidas. - Software HEC-RAS - Zona de inundación. - Zona vulnerable a inundación. - Zonas Agrícolas - Zonas Urbanas 			<p>Instrumentos de recolección de datos</p> <ul style="list-style-type: none"> - Dispositivos GPS - Equipos de medición topográfica (tales como Drone, estaciones totales, mira topográfica, jalones, entre otros), <p>Técnicas de procesamiento y análisis de datos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Software HEC-RAS - Software AutoCAD Civil 3D - Software Qgis - Excel - Otros
--	--	--	--	--	--

TESISTAS:

- Bach. TORRES SOTO, Dirse Carmela
- Bach. TORRES SOTO, Eberth Nijael



ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL HUANCAVELICA

PROVEIDO 000611-2026-UNH/EPICH

EXPEDIENTE : **2026-0015668**

ASUNTO: designacion de jurados para la revision y aprobacion del informe fianl de tesis

FECHA

16/06/2026

Atender en 0 días

REFERENCIA : SOLICITUD N° 1 designacion de jurados para la revision y aprobacion del informe fianl de tesis

DEPENDENCIA DESTINO	TRAMITE	PRIORIDAD	INDICACIONES
UNI. FUN. GESTIÓN DE GRADOS Y TÍTULOS - EPI CIVIL HVCA GOMEZ TUNQUE KENNEDY RICHARD	ATENDER	NORMAL	

LOPEZ BARRANTES MARCO ANTONIO
DIRECTOR(A) DE ESCUELA PROFESIONAL(e)

SOLICITO: DESIGNACIÓN DE JURADOS PARA LA REVISIÓN Y APROBACIÓN DEL INDORME FINAL DE TESIS.

SEÑOR DIRECTOR DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL-HUANCAVELICA, DE LA FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA.

SR.DIR.

Nosotros, **Dirse Carmela, TORRES SOTO**, identificado con DNI N° 48041891, Bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil - Huancavelica y **Eberth Nijael, TORRES SOTO**, identificado con DNI N° 44888689, Bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil – Huancavelica, acudimos a su digno despacho con la finalidad de solicitar, que mediante su persona solicite al Decano la designación de jurados para la revisión y aprobación del informe final de tesis titulado:

“MODELAMIENTO DE ZONAS INUNDABLES EN EL TRAMO ACRAQUIA – DANIEL HERNÁNDEZ DEL RÍO OPAMAYO EN TAYACAJA”.

En cumplimiento de las disposiciones reglamentarias, declaramos que todas las comunicaciones, resoluciones y notificaciones relacionadas con el proceso de obtención del título profesional mediante sustentación de tesis serán remitidas al siguiente correo institucional:

- Correo electrónico institucional para notificaciones oficiales: 2012151089@unh.edu.pe / 2006151050@unh.edu.pe
- Correo personal para respaldo: torressoto30@gmail.com / nijael_angelito@hotmail.com

Asimismo, nos comprometemos a revisar permanentemente el correo institucional y a dar respuesta o cumplimiento a las observaciones y disposiciones que se nos notifiquen, reconociendo la plena validez legal de las notificaciones digitales emitidas con firmas digitales institucionales.

Huancavelica, 16 de Junio de 2026

Adjuntamos:

- Archivo del informe final de tesis en formato PDF.
- Informe del asesor.
- Reporte de similitud.
- Copia de Resolución y Aprobación del proyecto de tesis.

Firma

Nombres y Apellidos: Dirse Carmela, Torres Soto.
DNI N°: 48041891

Firma

Nombres y Apellidos: Eberth Nijael, Torres Soto
DNI N°: 44888689

N° de celular: 942873677 / 989709351



UNH

UNIVERSIDAD NACIONAL DE
HUANCAVELICA

DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE
INGENIERIA CIVIL HUANCAVELICA



Firmado digitalmente por LOPEZ
BARRANTES Marco Antonio FAU
20168014862 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 16.06.2026 11:44:41 -05:00

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"
"Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia"

Huancavelica, 16 de Junio del 2026

INFORME N° 000010-2026-UNH/DAICH-MALB

A: **DR. MARCO ANTONIO LOPEZ BARRANTES**
DIRECTOR (e) DE LA ESCUELTA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
HAUCNAVELICA

ASUNTO: **REVISIÓN DEL INFORME FINAL DE TESIS.**

Fecha elaboración: Huancavelica, 16 de Junio de 2026

Tengo el agrado de dirigirme a usted, Por medio de la presente me dirijo a Ud. Para saludarlo cordialmente, y a la vez informarle que se ha cumplido con la revisión del informe final de tesis Titulado "**MODELAMIENTO DE ZONAS INUNDABLES EN EL TRAMO ACRAQUIA – DANIEL HERNÁNDEZ DEL RÍO OPAMAYO EN TAYACAJA**", presentado por los Bachilleres: **Bach. Dirse Carmela TORRES SOTO y Bach. Eberth Nijael TORRES SOTO**, dando su conformidad en calidad de asesor con un puntaje 121 de acuerdo al anexo 03 de informe de tesis para sus trámites respectivos, para que soliciten fecha y hora de sustentación del Informe Final de Tesis.

Sin otro particular es propicia la ocasión para hacerle llegar las muestras de mi especial consideración.

Atentamente,

Documento Firmado Digitalmente

MARCO ANTONIO LOPEZ BARRANTES
ASESOR

DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL HUANCAVELICA

MLB
cc.:



N° Expediente:



"Esta es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico archivado por la Universidad Nacional de Huancavelica, aplicando lo dispuesto por el Art. 25 de D.S. 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. 026-2016-PCM". Su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través.
Dirección web: <https://sgd.unh.edu.pe:8181/verifica/inicio.do>
Código de Verificación: **A8VUICZ**

Anexo 03

Ficha de evaluación del informe final de tesis/trabajo de investigación/trabajo académico



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA

(Creada por ley N° 25265)



FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL HUANCAVELICA

FICHA DE EVALUACIÓN DE INFORME DE TESIS

Título de la tesis	MODELAMIENTO DE ZONAS INUNDABLES EN EL TRAMO ACRAQUIA – DANIEL HERNÁNDEZ DEL RÍO OPAMAYO EN TAYACAJA
Tesista(s)	Bach. Dirse Carmela TORRES SOTO Bach. Eberth Nijael TORRES SOTO
Asesor(a)	Dr: Marco Antonio Lopez Barrantes
Jurado Evaluador	Presidente:
	Secretario:
	Vocal:

INCOMPLETO (1)	BUENO (2)	MUY BUENO (3)
-----------------------	------------------	----------------------

CRITERIOS DE EVALUACIÓN		ESCALA		
TÍTULO		1	2	3
1	El título presenta claridad, precisión y coherencia (mínimo 15 y máximo 20 palabras)			x
2	Delimitación adecuada			X
RESUMEN		1	2	3
3	Contiene el problema y objetivo de investigación o población y/o muestra.			x
4	Precisa el método, técnica e instrumentos de estudio.			x
5	Precisa los resultados, conclusiones y palabras clave.			x
6	Tiene un máximo de 250 palabras y están redactadas en un solo párrafo.			x
INTRODUCCIÓN		1	2	3
7	Contiene el problema de investigación y los antecedentes de estudio.			X
8	Se señala los objetivos de investigación y la hipótesis.			x
9	Describe brevemente el estudio y presenta la estructura del informe de investigación.			X
CAPÍTULO I. EL PROBLEMA				
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA		1	2	3
10	Delimita y contextualiza el problema.		x	
11	La redacción del planteamiento del problema es coherente.		x	
12	Argumentación con referencias bibliográficas.		x	
FORMULACIÓN DEL PROBLEMA		1	2	3
13	La formulación del problema está redactada con claridad y precisión.		x	
14	El problema presenta variable(s) y tiene relación con el título.		x	
15	Los problemas específicos se relacionan con el problema general.		x	
OBJETIVOS		1	2	3
16	El objetivo general evidencia el propósito del estudio		x	

17	Los objetivos específicos se derivan del objetivo general y son factibles de alcanzar.			x	
18	Los objetivos responden al problema de investigación.			x	
JUSTIFICACIÓN			1	2	3
19	Se exponen las razones ¿por qué?, ¿para qué? y la viabilidad del estudio.			x	
LIMITACIONES			1	2	3
20	Explica las limitaciones en el control de la(s) variable(s), selección de la muestra, instrumentos de medición y la generalización de los resultados.			x	
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO					
ANTECEDENTES			1	2	3
21	Presenta los antecedentes y los integra en relación con el problema de investigación.			x	
22	En los antecedentes se mencionan el problema, objetivo(s), metodología, población, resultados y conclusiones.			x	
BASES TEÓRICAS			1	2	3
23	La organización de las bases teóricas es coherente y corresponde a las variables de estudio.				x
24	Las bases teóricas fundamentan las variables de estudio.				x
DEFINICIÓN DE TÉRMINOS			1	2	3
25	Define los conceptos más relevantes del estudio.			x	
26	Utiliza 10 conceptos como mínimo con fuentes en orden alfabético.			x	
HIPÓTESIS			1	2	3
27	La hipótesis se enuncia de manera clara y precisa.	Proyectos de investigación que consideren hipótesis, se califica y se otorga el puntaje correspondiente		Proyectos de investigación que no consideren hipótesis, se asigna la máxima puntuación	x
28	La hipótesis responde al problema de investigación.				x
VARIABLES			1	2	3
29	Identifica(n) con precisión la(s) variable(s) de estudio				x
OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES			1	2	3
30	La operacionalización presenta definición conceptual y operacional de la(s) variable(s) o también presenta dimensiones (si es pertinente), indicadores, ítems o instrumentos			x	
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA					
31	Identifica el ámbito de estudio.				X
32	Selecciona y fundamenta el tipo y nivel de investigación.				X
33	Existe correspondencia entre nivel y diseño de investigación.				X
34	Señala la población y muestra de estudio.	Proyectos de investigación que consideren hipótesis, se califica y se otorga el puntaje correspondiente		Proyectos de investigación que no consideren hipótesis, se asigna la máxima puntuación	X
35	Selecciona y fundamenta el tipo de muestreo a utilizar.				X
36	Selecciona y fundamenta las técnicas e instrumentos a utilizar en el estudio.			x	
37	Precisa los procedimientos para la recolección de datos.			x	
38	Especifica y fundamenta la(s) técnica(s) y procedimientos estadísticos(s) para el análisis de datos.				X
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN					
RESULTADOS			1	2	3
39	Describe en forma detallada y secuencial los resultados y se corresponden con los objetivos.				x
40	Las tablas y las figuras sirven de complemento para la descripción de los resultados.				x
DISCUSIÓN			1	2	3
41	Interpreta y justifica los resultados.				x

42	Explica la relación de los resultados con los antecedentes, bases teóricas y la hipótesis.			x
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		1	2	3
43	Las conclusiones se sustentan en los resultados y responden a los objetivos.			x
44	Las recomendaciones se corresponden con las conclusiones, se dirige a instituciones, autoridades o personas para implementar los hallazgos del estudio y sugiere nuevas investigaciones.			x
REFERENCIAS		1	2	3
45	Las citas y referencias se corresponden con el estilo de redacción.			x
46	Todas las citas están referenciadas y validadas.			x
ANEXOS		1	2	3
47	Incluye la matriz de consistencia, validación del instrumento, instrumentos utilizados, consentimiento informado, base de datos, evidencia de aplicación de instrumento y otros de acuerdo a la naturaleza del estudio.			x

CONTEO TOTAL DE MARCAS (realice el conteo de marcas en cada una de las tres categorías de la escala y anote)	0	20	27
	A	B	C
	0	20	27

$$\text{Puntaje Total} = 1(A) + 2(B) + 3(C) = \underline{0} + 2 \cdot 20 + 3 \cdot 27 = \underline{121}$$

Para el resultado final, ubicar el puntaje obtenido en la siguiente tabla:

RESULTADO		INTERVALO
Desaprobado	<input type="text"/>	[1 – 47]
Replantear	<input type="text"/>	(47 – 94]
Aprobado	<input type="text" value="121"/>	(94 – 141]

Huancavelica, 06 de Mayo del 2026

Presidente

Secretario

Vocal



Firmado digitalmente por LOPEZ BARRANTES Marco Antonio FAU
20168014962.ssf
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 16.06.2026 11:41:36 -05:00

Asesor

Nota:

* El presente formato de acta es flexible, debiendo contener mínimamente la información descrita.

** El presente formulario se emplea en dos etapas: I. Verificación previa del asesor y II. Evaluación por los jurados. El asesor completa únicamente los campos relativos a su revisión y firma exclusivamente en su sección. Los jurados completan y firman únicamente en el espacio destinado a sus cargos.

***El jurado reunido, culminada la evaluación de la tesis, el jurado (presidente) debe informar el resultado del presente anexo a la Escuela Profesional.

NOMBRE DEL TRABAJO

Modelamiento de zonas inundables en el tramo Acraquia – Daniel Hernández del río Opamayo en Tayacaja

AUTOR

Dirse Carmela TORRES SOTO Bach Eberth Nijael TORRES SOTO

RECuento DE PALABRAS

48797 Words

RECuento DE CARACTERES

267078 Characters

RECuento DE PÁGINAS

277 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

60.0MB

FECHA DE ENTREGA

Jun 16, 2026 9:25 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Jun 16, 2026 9:32 AM GMT-5

● 11% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 9% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 7% Base de datos de trabajos entregados
- 2% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 12 palabras)



Firmado digitalmente por LOPEZ BARRANTÉS Marco Antonio FAU 20168014962 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 16.06.2026 11:42:51 -05:00



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA

(Creada por Ley N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA

Ciudad Universitaria Paturpampa

RESOLUCIÓN DE DECANO N° 201-2023-FCI-UNH

Huancavelica, junio 26 del 2023.

VISTO:

El expediente, Oficio N° 154-2023-EPICH-FCI-UNH (26-06-2023) y con hoja de trámite N° 1043 (26-06-2023) en 06 folios y un 01 ejemplar presentado por el Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil-Huancavelica de la Facultad de Ciencias de Ingeniería, Universidad Nacional de Huancavelica; sobre designación de Asesor y aprobación de proyecto de tesis mediante resolución y;

CONSIDERANDO:

Que, según el artículo primero de la Resolución N° 005-2021-CEU-UNH, (14-06-2021), proclama como ganador de las Elecciones, en el cargo de Decano de la Facultad de Ciencias de Ingeniería, al Mg. Pedro Antonio Palomino Pastrana, a partir del 03 de mayo del 2021 al 02 de mayo del 2025 y artículo tercero, dispone que los artículos primero y segundo de la presente resolución, los decanos ganadores de las elecciones entraran en vigencia para sus funciones académicas y administrativas a partir del 15 de junio del 2021 hasta la fecha de culminación para los cuales fueron elegidos.

Que, según el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Huancavelica aprobado con Resolución N° 0469-2023-CU-UNH, de fecha 10-05-2023, indica en el **Art. 21°** fusiones del asesor; **a)** velar por la calidad de la tesis; **b)** cumplir con los pazos establecidos en el presente reglamento; **c)** Asesor y velar el cumplimiento del desarrollo de la tesis por parte del o los asesorados hasta la sustentación; **d)** verificar la originalidad de la tesis con el software anti plagio oficial de la UNH; **Art. 17°** de la presentación y aprobación; **c)** el director de escuela profesional notifica el proyecto de investigación al asesor para su revisión en el plazo máximo de quince días (15) días hábiles, debiendo este emitir un informe al director de escuela profesional dando a conocer el resultado de la evaluación, adjunto el proyecto en un medio digital. **d)** en caso de ser favorable, el director de Escuela profesional solicita al decano la designación de asesor y aprobación del proyecto de tesis, con resolución de decano; para ser notificado al responsable de investigación de la Escuela Profesional para su inscripción. **e) una vez emitida la resolución de aprobación del proyecto de tesis, el o los interesados procederán a ejecutar el proyecto cuya vigencia no excederá de tres años (presentación de la tesis a la escuela profesional) a partir de la fecha de la notificación de la resolución. Vencido dicho plazo el/los interesados deberán presentar un nuevo proyecto de tesis.**

Que, el decano de la Facultad de Ciencias de Ingeniería, autoriza al secretario docente con hoja de trámite N° 1043 de fecha 26-06-2023, la emisión de la resolución correspondiente.

Que, en uso de las atribuciones que le confieren al Decano y al amparo de la Ley Universitaria N° 30220 y el Estatuto de la Universidad Nacional de Huancavelica.

SE RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- DESIGNAR al Dr. Marco Antonio López Barrantes, Asesor del proyecto de tesis titulado: "MODELAMIENTO DE ZONAS INUNDABLES EN EL TRAMO ACRAQUIA-DANIEL HERNÁNDEZ DEL RIO OPAMAYO EN TAYACAJA", de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil-Huancavelica de la Facultad de Ciencias de Ingeniería, Universidad Nacional de Huancavelica.

ARTÍCULO SEGUNDO.- APROBAR el proyecto de tesis titulado: "MODELAMIENTO DE ZONAS INUNDABLES EN EL TRAMO ACRAQUIA-DANIEL HERNÁNDEZ DEL RIO OPAMAYO EN TAYACAJA", presentado por **Dirse Carmela Torres Soto y Eberth Nijael Torres Soto** de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil-Huancavelica de la Facultad de Ciencias de Ingeniería, Universidad Nacional de Huancavelica.

ARTÍCULO TERCERO. - DERIVAR la presente Resolución a: interesados, Asesor, responsable de Investigación y Dirección de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil-Huancavelica de la Facultad de Ciencias de Ingeniería, Universidad Nacional de Huancavelica, para su conocimiento y trámite correspondiente.

Regístrese, comuníquese y archívese-----"



Dr. PEDRO ANTONIO PALOMINO PASTRANA
Decano



Ing. MARINO ARTICA FELIX
Secretario Docente

Reg. Doc.598823

Reg. Exp.576875