

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



TESIS:

**Modelamiento hidráulico con IBER 2D para identificar áreas
inundables aguas arriba del puente Chipichaca del río
Occoro, Tambo - La Mar - Ayacucho, 2024**

Para optar el título profesional de:

INGENIERO AGRÍCOLA

PRESENTADO POR:

Bach. Jhonatan MUCHA PINTA

ASESOR:

Mtro. Richard Alex OSCCO PECEROS

AYACUCHO - PERÚ

2025

DEDICATORIA

A Dios por guiarme siempre en cumplir uno de mis grandes metas.

A mis padres Hermenes Mucha Vargas y Juana Victoria Pinta López, por el amor, vida y confianza incondicional que me brindan cada día en todo momento de mi vida.

A mis hermanas, la Blga. Ketty Mucha Pinta y Melisa Mucha Pinta y demás familiares, por ser quienes me acompañaron en los momentos más difíciles.

A los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola por su orientación y apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, a mi alma mater, la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga, en la que logré formarme profesionalmente con apoyo incondicional de mis docentes.

Asimismo, a la Facultad de Ciencias Agrarias y a la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola por pertenecer a ello y formarme profesionalmente durante mi vida universitaria.

Finalmente quiero agradecer al Mtro. Richard Alex Oscoco Peceros, por la orientación y paciencia en esta elaboración de tesis.

INDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
INDICE GENERAL	iv
INDICE DE TABLAS	vi
INDICE DE FIGURAS	vii
RESUMEN	viii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	3
MARCO TEÓRICO	3
1.1. Antecedentes	3
1.1.1. Antecedentes internacionales	3
1.1.2. Antecedentes nacionales	4
1.2. Bases teóricas	5
1.2.1. Cartografía	5
1.2.2. Cuenca hidrográfica	5
1.2.3. Hidrología	13
1.2.4. Hidráulico	17
1.2.5. Inundación	21
CAPÍTULO II	24
METODOLOGÍA	24
2.1. Ubicación	24
2.1.1. Ubicación política	24
2.1.2. Ubicación geográfica	24
2.1.3. Ubicación administrativa	25
2.2. Materiales y equipos	25
2.2.1. Materiales	25
2.2.2. Equipos	25
2.3. Metodología	25
2.3.1. Fase preliminar	25
2.3.2. Fase de campo	26
2.3.3. Fase gabinete	29
CAPÍTULO III	43

RESULTADOS Y DISCUSIÓN	43
3.1. Estimación de la precipitación máxima 24 horas para un periodo de retorno de 100 años.....	43
3.2. Estimación de caudales máximos para periodo de retorno de 100 años, que produce inundaciones aguas arriba del puente Chipichaca del río Occoro.....	45
3.3. Estimación de los tirantes máximos de agua para identificar áreas de inundación aguas arriba del puente Chipichaca del río Occoro.....	46
3.4. Identificación de áreas agrícolas inundables para periodo de retorno de 100 años aguas arriba del puente Chipichaca del rio Occoro.....	47
CONCLUSIONES	49
RECOMENDACIONES.....	51
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52
ANEXOS	56

INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 <i>Estaciones meteorológicas</i>	31
Tabla 2 <i>Resumen de Precipitación máxima</i>	32
Tabla 3 <i>Regionalización de la cuenca de río Occoro</i>	33
Tabla 4 <i>Análisis de datos atípicos</i>	34
Tabla 5 <i>Bondad de ajuste de Kolmogórov Smirnov</i>	35
Tabla 6 <i>Intensidad de precipitación</i>	37
Tabla 7 <i>Método de bloque alterno</i>	44

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 <i>Clasificación de cuencas hidrográficas</i>	6
Figura 2 <i>Tipos de corriente</i>	8
Figura 3 <i>Cambio de forma de la curva hipsométrica con la edad del rio</i>	12
Figura 4 <i>Ejemplo de histograma de frecuencias acumuladas</i>	12
Figura 5 <i>Ciclo Hidrológico</i>	14
Figura 6 <i>Curva de Intensidad, Duración y Frecuencia (IDF)</i>	15
Figura 7 <i>Ubicación geográfica</i>	24
Figura 8 <i>Modelo digital de elevación (DEM)</i>	26
Figura 9 <i>Identificación del área de estudio</i>	27
Figura 10 <i>Levantamiento topográfico del Rio Occoro</i>	28
Figura 11 <i>Levantamiento a detalle del Rio Occoro</i>	29
Figura 12 <i>Estación Total Topcon E-105</i>	29
Figura 13 <i>Variación de los datos atípicos</i>	35
Figura 14 <i>Función de densidad de probabilidad</i>	36
Figura 15 <i>Curvas IDF</i>	38
Figura 16 <i>Método de SCS para Curva Número</i>	38
Figura 17 <i>Proceso de obtención de caudal máximo</i>	39
Figura 18 <i>Importación de curvas de nivel del rio Occoro a Iber 3.3.1</i>	40
Figura 19 <i>Asignación de coeficientes de rugosidad en el software ArcGIS 10.8</i>	40
Figura 20 <i>Asignación de coeficiente de Manning</i>	41
Figura 21 <i>Asignación de hidrograma de diseño</i>	41
Figura 22 <i>Hietograma de diseño TR=100 años</i>	44
Figura 23 <i>Resultado de caudal máximo</i>	45
Figura 24 <i>Hidrograma de diseño de caudal máximo TR=100 años</i>	46
Figura 25 <i>Mapa de tirantes máximos</i>	47
Figura 26 <i>Mapa de áreas agrícolas inundadas</i>	48

RESUMEN

Al llevarse a cabo la investigación, se logró identificar las áreas inundables ubicadas aguas arriba del puente Chipichaca sobre el río Occoro, en la comunidad de Tapial Cuchu, Distrito de Tambo, Provincia La Mar, Departamento Ayacucho, mediante un modelamiento hidráulico utilizando el software Iber 2D. Esta investigación se centró en la estimación de la inundación, evaluando el peligro asociado a eventos extremos de precipitación que pueden afectar tanto a la infraestructura como a las áreas agrícolas. Para el modelamiento hidrológico, se utilizaron datos de las estaciones meteorológicas de Quinoa, San Miguel, Huanta y Luricocha, cuyas intensidades máximas de precipitación fueron regionalizadas mediante un método específico para convertirlas en caudales máximos de diseño, con un período de retorno de 100 años. El caudal máximo estimado para el modelamiento hidráulico fue de 33,5 m³/s, valor que se utilizó como base para las simulaciones en el software Iber 2D. Los resultados del modelado indicaron que, con este caudal máximo, las áreas inundables en el margen izquierdo del río alcanzan 4.73 hectáreas (ha), mientras que en la margen derecha la inundación afecta 2.21 ha. Además, el cálculo del tirante máximo en la zona de inundación fue de 1.97 metros (m) y la velocidad máxima del flujo fue 8.84 m/s, lo que indica un potencial considerable de erosión y daño a las infraestructuras y a las áreas aledañas del cauce del río Occoro. También con el modelamiento hidráulico se identificó el impacto potencial sobre el puente Chipichaca y la carretera Huayao-Vicus, ambos elementos clave de la infraestructura vial de la zona donde la inundación afectó estos puntos críticos. A partir de estos resultados se concluye en proponer medidas de mitigación para reducir el impacto de las inundaciones. Entre las principales soluciones se incluye la construcción de defensas ribereñas en ambas márgenes del río, en las zonas donde se espera mayor riesgo de inundación.

Palabras clave: Modelamiento hidráulico, IBER 2D y áreas inundables.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el cambio climático ha incrementado la frecuencia e intensidad de las lluvias en diversas regiones del Perú, especialmente en la Sierra. Este fenómeno genera graves consecuencias, como daños materiales a infraestructuras y áreas agrícolas. Los modelamientos hidráulicos se presentan como una herramienta clave para predecir y gestionar estos eventos, permitiendo el diseño de infraestructuras que mitiguen los impactos negativos, como las avenidas máximas de los ríos. Un ejemplo de este tipo de fenómenos es el ocurrido durante el fenómeno de El Niño en los años 1997-1998, el cual provocó pérdidas económicas significativas debido a los desbordes.

La presente investigación se centra en el modelamiento hidráulico con IBER 2D para identificar áreas inundables aguas arriba del puente Chipichaca del río Occoro, Tambo – La Mar – Ayacucho, 2024. La Quebrada del río Occoro, que es de particular interés en este estudio, presenta una alta vulnerabilidad a desbordes debido a las precipitaciones de gran magnitud que ocurren entre los meses de enero, febrero y marzo. Durante este período, la quebrada descarga grandes volúmenes de agua, lo que provoca el desbordamiento de sus márgenes e inunda extensas áreas agrícolas, ocasionando graves pérdidas económicas.

Según los informes de la municipalidad distrital de Tambo, se han documentado desbordes recurrentes en el sector aguas arriba del puente Chipichaca, generando inundaciones que afectan la calidad del suelo agrícola, además de causar colmatación por el arrastre de materiales. Este fenómeno se repite año tras año, incrementando los daños materiales y económicos en la zona. Ante esta problemática, la presente investigación tiene como objetivo principal identificar las áreas inundables aguas arriba del puente Chipichaca del río Occoro utilizando el modelo hidráulico IBER 2D, con el fin de proponer soluciones efectivas para mitigar los riesgos de inundaciones.

Para alcanzar este objetivo, se realizó una estimación de la precipitación máxima en 24 horas, los caudales y tirantes máximos, y la identificación de las áreas de cultivo susceptibles a inundación en un período de retorno de 100 años. A través del modelado hidráulico bidimensional con IBER 2D, se generarán mapas de inundación que permitirán una mejor comprensión del comportamiento hidrológico en la zona y proporcionarán información clave para la toma de decisiones en la planificación y diseño de infraestructuras preventivas.

Objetivo general

Identificar áreas inundables aguas arriba del puente Chipichaca del río Occoro mediante modelamiento hidráulico con IBER 2D, Tambo - La Mar - Ayacucho, 2024.

Objetivos específicos

1. Estimar la precipitación máxima en 24 horas para un periodo de retorno de 100 años.
2. Estimar caudales máximos para periodos de retorno de 100 años, que produce inundaciones aguas arriba del puente Chipichaca del río Occoro.
3. Estimar los tirantes máximos de agua para identificar áreas de inundación aguas arriba del puente Chipichaca del río Occoro.
4. Identificar áreas inundables para periodo de retorno de 100 años aguas arriba del puente Chipichaca del río Occoro.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes

1.1.1. Antecedentes internacionales

Artículo científico presentado por Gutierrez et al. (2022) investigación titulada: “Modelación hidráulica en Iber para prevención de inundaciones en la cuenca Tesechoacán”. Con el objetivo de realizar una modelación hidráulica 2D en IBER; cuya metodología utilizó datos hidrométricos de la estación hidrométrica 28 143 (San José Chilapa), para identificar y cuantificar las zonas con alta peligrosidad de inundación en la subcuenca Tesechoacán, con ello generar propuestas que ayuden a mitigar el impacto de acontecimiento futuros. Concluyendo con un resultado de una superficie de 29027.24 ha inundadas, con tirantes de hasta 7.45 m.

Investigación de trabajo centrado en el empleo combinado de datos de precipitación, modelos hidrológicos e hidráulicos, y técnicas S.I.G (Sistema de Información Geográfica), para la estimación de caudales de avenidas y la delimitación de áreas inundables en el Sur de la Región de Murcia. Con el objeto de obtener datos espacialmente distribuidos en las áreas potenciales de inundación. Para lo cual realizó diferentes modelos de conversión lluvia-escorrentía superficial (Hidrograma Unitario Adimensional SCS, Hidrograma Unitario Gamma de Témez) y métodos de geometría hidráulica. Para la conversión de datos de lluvia (tormentas de diseño por periodos de retorno) a escorrentía se ha empleado el programa HEC-HMS 3.0.0 en combinación con la extensión HEC-GeoHMS 1.1 de ArcView 3.x. La modelización hidrológica se realiza con ayuda de ArcGIS 9.x y GRASS (García et al, 2011).

Estudio sobre, modelos predictivos de caudales máximos instantáneos para cuencas de drenaje de ambientes montañosos, sustentados en parámetros morfométrico, el propósito de esta investigación es explicar las relaciones existentes entre los caudales

máximos instantáneos de cuencas de la vertiente norte del macizo y los parámetros morfométricos de éstas, para proponer modelos predictivos de dichas respuestas. En la metodología contempla mediciones y cálculos de los parámetros morfométricos de las cuencas y sus redes de drenaje, y el empleo de técnicas estadísticas multivariadas, (Méndez, et al, 2015).

1.1.2. Antecedentes nacionales

Villegas, (2023) realizaron investigación de tesis titulada: “Análisis de riesgo frente a inundaciones en la quebrada Estanquillo con el modelo matemático iber, en el distrito de Cerro Colorado, provincia de Arequipa, departamento de Arequipa”, para optar el grado académico de Título Profesional en Ingeniera Civil, en la Universidad Católica de Santa María, Arequipa. El objetivo de esta investigación fue realizar los estudios de análisis: modelamiento hidrológico e hidráulico frente a inundaciones en la quebrada Estanquillo con el modelo matemático Iber, en el distrito de Cerro Colorado, provincia de Arequipa, departamento de Arequipa. En el aspecto metodológico utilizó datos pluviométricos de estaciones cercanas de la zona del proyecto. Concluyen que el nivel de peligro en la zona APIPA- sector 6 de Cerro Colorado es muy alto, además para un $Q = 39.8 \text{ m}^3/\text{s}$ en un $Tr = 100$ años; se genera el arrastre del material de la zona generando otro peligro hidrometeorológico.

Investigación de tesis sobre la “Determinación del caudal máximo de avenida con fines de diseño del aliviadero de la presa Querobamba, Cangallo - Ayacucho – 2016”, para optar el grado académico de Título Profesional en Ingeniero Agrícola, en la universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Ayacucho. El objetivo de la investigación fue; determinar el caudal máximo de avenida para el diseño del aliviadero de la presa Querobamba-Cangallo. En el aspecto metodológico utilizó la estación de aforo del río Quillacancha - Cangallo. Para la determinación de los caudales de avenida dentro de la microcuenca, mediante ecuación de Mac Math, método Racional Modificado y el uso del hidrograma unitario a través el programa Hec Hms, concluyó que ha determinado los caudales máximos para periodos de retorno de 50 y 100 años, obtuvo un caudal de diseño de $29.90 \text{ m}^3/\text{s}$, y se dimensionó el aliviadero de la presa Querobamba cuya altura es 2.0 m y un tirante de 2.0 m y un BL de 0.50 m, Lloccla, C. (2016).

Martínez, (2019) realizó investigación de tesis titulada: “Evaluación hidrológica para la determinación de caudales máximos en la subcuenca del río Sayacc, Vischongo - Vilcashuamán - Ayacucho, 2018”, para optar el grado académico de Título Profesional en Ingeniera Agrícola, en la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Ayacucho. El objetivo de esta investigación fue realizar la evaluación hidrológica para la determinación de caudales máximos en la subcuenca del río Sayacc, en el distrito de Vischongo provincia de Vilcashuamán, Ayacucho. En el aspecto metodológico utilizó datos hidrológicos de la estación Sachabamba que abarca toda el área de estudio de acuerdo a polígono de Thiessen. Concluyó que el volumen calculado de caudal máximo es de 105,4 m³/s para un periodo de retorno de 50 años en zonas agrícolas y que los resultados de la simulación hidráulica con el software Iber 2.3.2 revelaron la existencia de desbordes en los márgenes del río Sayacc, por lo cual realizó una evaluación del diseño hidráulico más conveniente.

1.2. Bases teóricas

1.2.1. Cartografía

1.2.1.1. Topografía

Ciencia aplicada que estudia la ubicación relativa de los puntos en la Tierra y representa una porción de su superficie en un plano (Rincón et al., 2017). Asimismo, es importante destacar que la topografía mide ángulos y determina ubicaciones utilizando ángulos y distancias previamente fijados para determinar las distancias verticales y horizontales entre puntos y objetos en la superficie terrestre Gámez, (2015).

1.2.1.2. Modelo digital de elevación

La representación digital se realiza utilizando una red regular de valores Z que se refieren a un datum común para representar digitalmente la altitud como una variable continua en una superficie bidimensional Roa, (2008).

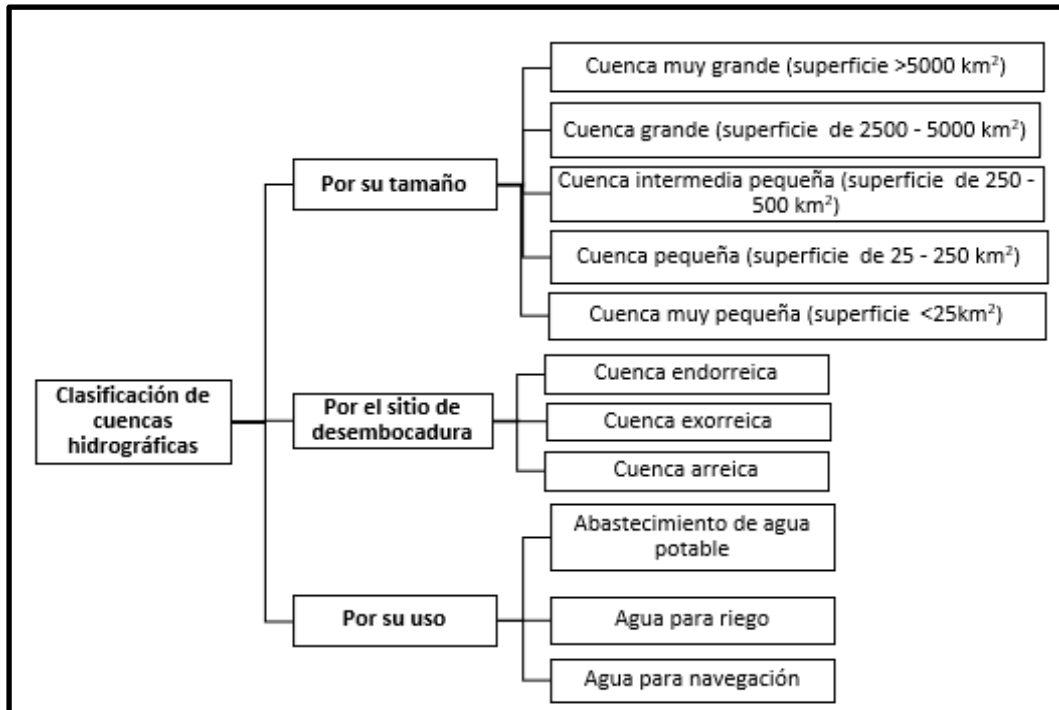
1.2.2. Cuenca hidrográfica

La cuenca hidrográfica es un área delimitada topográficamente que se drena a través de un curso de agua o un sistema interconectado de cursos de agua, el cual tiene una única salida donde se descarga todo el caudal efluente Araque et al. (2019).

1.2.2.1. Clasificación de cuencas

Figura 1

Clasificación de cuencas hidrográficas



Fuente: Araque et al. (2019)

1.2.2.2. Parámetros geomorfológicos de la cuenca

1.2.2.2.1. Parámetros de forma

En una cuenca la forma influye significativamente en su comportamiento hidrológico. Incluso cuencas de la misma área pueden mostrar diferentes respuestas hidrológicas, lo que se traduce en hidrogramas distintos, al recibir una misma cantidad y tipo de precipitación. Por esta razón, se han desarrollado varios parámetros para cuantificar las características morfológicas de las cuencas a través de índices o coeficientes Ibáñez et al. (2015), los parámetros principales son:

- Coeficiente de Gravelius (Cg)

Conocido como el Coeficiente de Compacidad, este índice establece una relación entre el perímetro de una cuenca y el perímetro de una cuenca circular hipotética que tiene la misma área. Así, permite evaluar la relación entre el ancho promedio del área de captación y la longitud total de la cuenca, que se mide desde el punto de salida hasta el lugar más alejado topográficamente (Ibáñez et al., 2015).

$$Cg = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} \quad (1)$$

Donde:

Cg: coeficiente de Gravelius

P: perímetro de la cuenca, en km

A: superficie de la cuenca, en km²

El Cg toma un valor superior a uno, aumentando a medida que la cuenca se vuelve más irregular (Ibáñez et al., 2015).

- Rectángulo equivalente

Se considera la conversión geométrica de la cuenca real en un rectángulo con lados L y l que mantenga el mismo perímetro. En este modelo, las curvas de nivel se transforman en líneas rectas que son paralelas a los lados más cortos del rectángulo (l). Esta cuenca teórica conservará tanto el Coeficiente de Gravelius como la distribución altitudinal de la cuenca original (Ibáñez Asensio et al., 2015).

$$L = \frac{Cg\sqrt{A}}{1,12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{Cg}\right)^2} \right] \quad (2)$$

$$l = \frac{Cg\sqrt{A}}{1,12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{Cg}\right)^2} \right] \quad (3)$$

Donde:

L= altura del rectángulo (km)

l= base del rectángulo (km)

Cg= coeficiente de Gravelius

A= superficie de la cuenca (km²)

1.2.2.2.2. *Parámetros de la red hidrográfica*

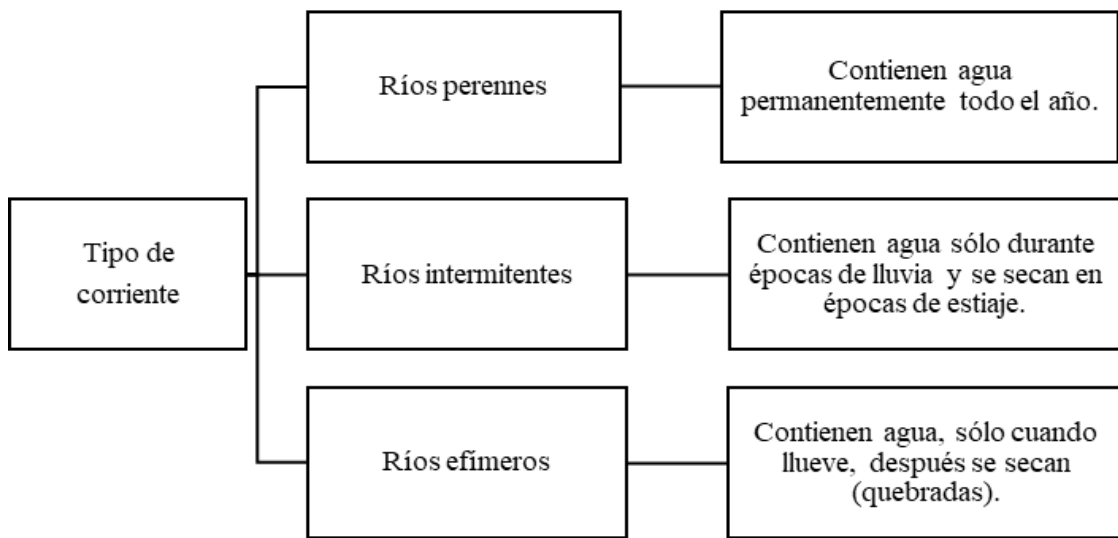
La red hidrográfica es el drenaje natural, permanente o temporal, por donde fluyen las aguas de la cuenca. Es clave para definir un territorio, ya que proporciona información

sobre la roca madre, los suelos y la morfología. Un mayor grado de bifurcación, con más corrientes tributarias, permite una evacuación más rápida del agua tras una tormenta, ya que facilita que la lluvia recorra distancias cortas por los cauces. Se utilizan indicadores como la densidad de corrientes y la densidad de drenaje para analizar la red hidrográfica de una cuenca (Ibáñez et al., 2015). Está conformado por los siguientes parámetros:

- Tipo de corriente

Figura 2

Tipos de corriente



Fuente: Ibáñez et al. (2015)

- Número de orden de los ríos

Indica el grado de ramificación de las corrientes de agua, determinándose por el número de bifurcaciones de sus tributarios. Cada río se clasifica en orden creciente desde su nacimiento hasta su desembocadura. Los ríos de primer orden no tienen tributarios, mientras que dos ríos de primer orden forman un río de segundo orden, y así sucesivamente; de este modo se establece el grado de ramificación del sistema de drenaje de una cuenca Ibáñez et al. (2015).

- Frecuencia de densidad de ríos (Fr)

Se refiere al número de ríos por unidad de superficie de la cuenca, se calcula dividiendo el número total de ríos (Nº ríos) entre el área total de la cuenca (A) (Ibáñez et al., 2015).

$$D_r = \frac{N^{\circ} \text{ ríos}}{A} \quad (4)$$

Donde:

Nº ríos= número de ríos de la cuenca

A= Área de la cuenca (km²)

- Densidad de drenaje

Se refiere al cociente entre la suma del largo total de los cursos de agua de una unidad hidrográfica y la superficie de esa unidad, esto representa cuántos kilómetros de curso de agua hay por cada unidad de superficie (Ibáñez et al., 2015).

$$Dd = \frac{L_T}{A} \quad (5)$$

Donde:

Dd= Densidad de drenaje (km/km²)

LT= Longitud total de ríos de la cuenca (km)

A= Área de la cuenca (km²)

- Extensión media del escurrimiento superficial (E)

Distancia promedio en línea recta que el agua precipitada debe recorrer para llegar al lecho de un curso de agua (Ibáñez et al., 2015).

$$E = \frac{A}{L_T} \quad (6)$$

Donde:

A= Área de la cuenca (km²)

LT= Longitud total de ríos de la cuenca (km)

- Pendiente media del río principal (Sm)

La velocidad de la escorrentía superficial en los ríos está influenciada por la inclinación de sus cauces; una mayor pendiente resulta en un escurrimiento más rápido; la pendiente media del río se utiliza como un parámetro para evaluar la declividad entre dos puntos específicos de la corriente (Ibáñez et al., 2015).

$$S_m = \frac{(H_M - H_m)}{1000 \times L} \quad (7)$$

Donde:

S_m = Pendiente media del cauce principal (m/m)

L = Longitud del cauce principal (km)

H_M, H_m = Altura máxima y mínima del lecho del río principal, referidos al nivel medio de las aguas del mar (msnm).

- Altura media del río principal (H_m)

Es el valor medio entre las alturas de los extremos del río principal (Ibáñez et al., 2015).

$$H = \frac{H_{max} + H_{min}}{2} \quad (8)$$

Donde:

H_{max} = Altura máxima del lecho del río principal (msnm)

H_{min} = Altura mínima del lecho del río principal (msnm)

- Tiempo de concentración (T_c)

Es el tiempo que el agua tarda en viajar desde el extremo superior de la cuenca hasta el punto donde se mide el flujo (Ibáñez Asensio et al., 2015). Se utiliza la fórmula de Kirpich, cuya ecuación es la siguiente:

$$T_c = 0.0195 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}} \quad (9)$$

Donde:

T_C = Tiempo de concentración (min)

L = Longitud del curso principal (m)

S = Pendiente media del curso principal (m/m)

1.2.2.2.3. Parámetros de relieve

Son cruciales, ya que el relieve de una cuenca impacta más en la respuesta hidrológica que su forma. Generalmente, un mayor relieve o pendiente genera escorrentía en tiempos más cortos (Ibáñez Asensio et al., 2015).

- Pendiente media del cauce (j)

Es la relación entre el desnivel altitudinal del cauce y su longitud (Ibáñez et al., 2015).

$$j = \frac{DA}{L} \quad (10)$$

Donde:

DA: desnivel altitudinal (km)

L: longitud del cauce (km)

- Pendiente media o promedio de la cuenca (J)

Se determina como una media ponderada de las pendientes de todas las superficies elementales, manteniendo constante la línea de máxima pendiente. Este índice refleja la velocidad media de la escorrentía y su capacidad de arrastre o erosión (Ibáñez et al., 2015).

$$J = 100 \frac{\sum Li * E}{A} \quad (11)$$

Donde:

J= pendiente media de la cuenca

Li= longitud de cada una de las curvas de nivel (km)

E= equidistancia de las curvas de nivel (km)

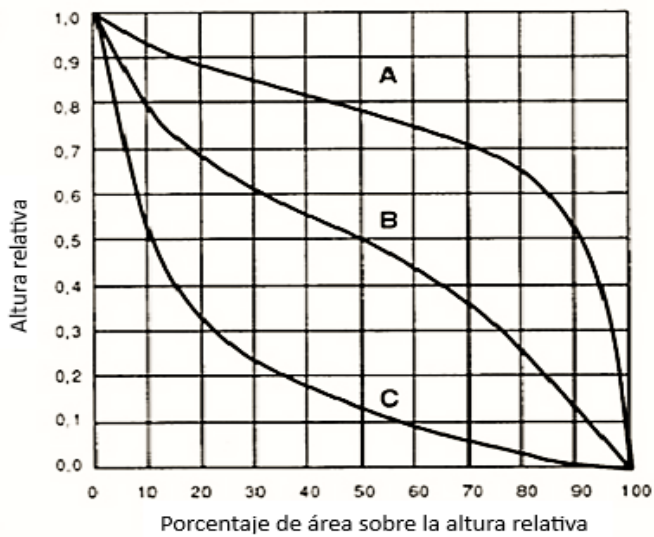
A= superficie de la cuenca (km²)

- Curva hipsométrica

La curva hipsométrica ilustra cómo varía el área drenada con la altura de la superficie de la cuenca. Se construye colocando en el eje horizontal los valores del área drenada, ya sea en km² o como porcentaje, hasta un nivel específico, que se representa en el eje vertical en metros, generalmente, los extremos de la curva muestran cambios abruptos; la función hipsométrica permite describir de manera objetiva la relación entre la altimetría de la cuenca y su elevación, esta curva se puede convertir en adimensional al dividir la altura y el área por sus valores máximos, lo que resulta útil en hidrología para comparar cuencas que presentan diferentes patrones de precipitación y evaporación con la altitud; además, las curvas hipsométricas se han relacionado con las edades de los ríos en las cuencas correspondientes (Caicedo et al., 2021).

Figura 3

Cambio de forma de la curva hipsométrica con la edad del río



Fuente: (Caicedo et al., 2021)

Curva A: refleja una cuenca con gran potencial erosivo (fase de juventud)

Curva B: es una cuenca en equilibrio (fase de madurez)

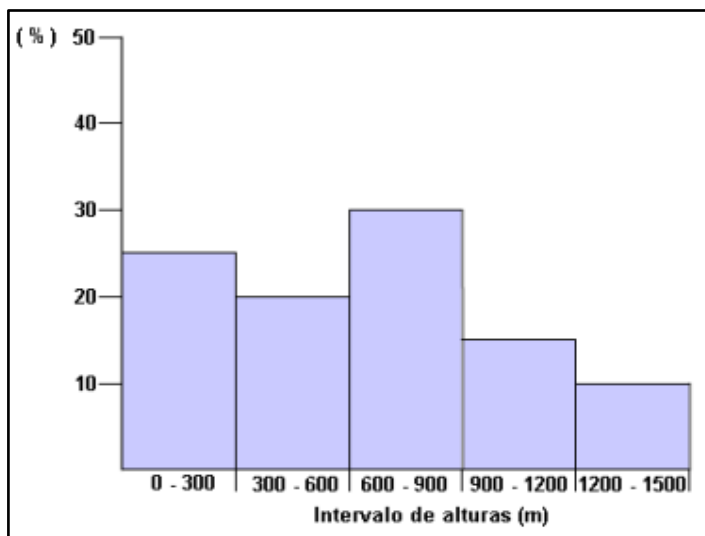
Curva C: es una cuenca sedimentaria (fase de vejez)

- Histograma de frecuencias altimétricas

Muestra la superficie, en km² o porcentaje, entre dos cotas, utilizando como marca de clase el promedio de las alturas. Al representar varios niveles, se genera el histograma, que se puede derivar de los mismos datos de la curva hipsométrica. Aunque ambos contienen la misma información, su representación es diferente, proporcionando una visión probabilística de la variación altitudinal en la cuenca (Ibáñez et al., 2015).

Figura 4

Ejemplo de histograma de frecuencias acumuladas



Fuente: (Ibáñez Asensio et al., 2015)

- **Altura media (H)**

Es la elevación promedio en relación con el nivel de la estación de aforo en la desembocadura de la cuenca. La variación altitudinal afecta la distribución térmica y la existencia de microclimas y hábitats específicos. Este factor es crucial para entender la variación del escurrimiento y caracterizar zonas climatológicas y ecológicas. Se puede calcular usando la curva hipsométrica o el histograma de frecuencias altimétricas, mediante una media aritmética ponderada o determinando el área bajo la curva (Ibáñez et al., 2015).

$$H = \frac{V}{A} \quad (12)$$

Donde:

V: volumen comprendido entre la curva y los ejes (m³)

S: superficie de la cuenca en m².

1.2.3. Hidrología

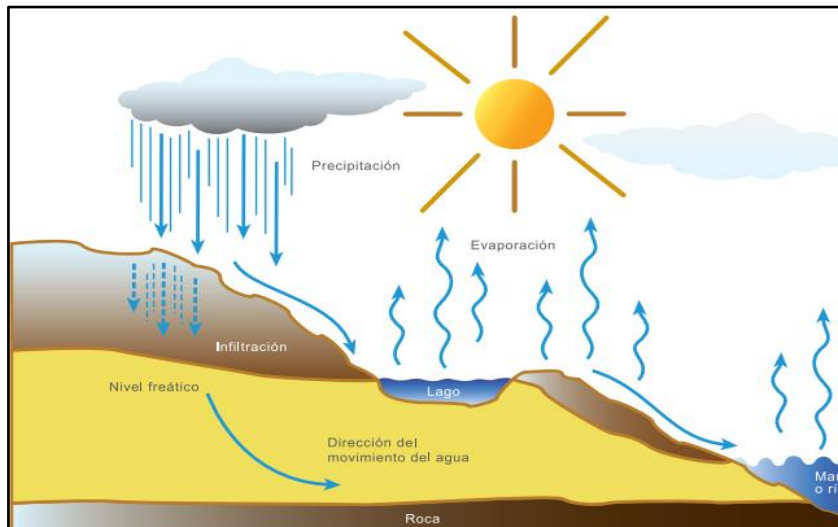
Es la ciencia natural que se dedica al estudio del agua, abarcando desde su ocurrencia, circulación y distribución en la superficie terrestre, así como sus propiedades físicas y químicas y su interacción con el medio ambiente y los seres vivos (Gámez, 2010).

1.2.3.1. Ciclo hidrológico

La cantidad total de agua en la Tierra, en sus tres estados (sólido, líquido y gaseoso) se ha mantenido constante desde la aparición de la humanidad; esta agua que forma la hidrosfera, se distribuye en océanos, continentes y atmósfera, existiendo una circulación continúa conocida como el ciclo del agua, impulsada por la energía solar y la gravedad (Pereyra Díaz et al., 2008). En este ciclo, el agua pasa de la superficie terrestre a la atmósfera en forma de vapor y regresa como precipitación, ya sea líquida o sólida (Gámez, 2010).

Figura 5

Ciclo Hidrológico



Nota: Fuente: Pereyra et al. (2008)

1.2.3.2. Precipitaciones

La precipitación es cualquier forma de agua que se condensa en la atmósfera y cae sobre la superficie terrestre, existen diferentes tipos de precipitación, que incluyen llovizna (con diámetros de 0.1 a 0.5 mm), lluvia (diámetro superior a 0.5 mm), así como escarcha, nieve, bolitas de nieve, granizo y bolas de hielo; este fenómeno es crucial en el ciclo hidrológico, ya que contribuye a la disponibilidad de agua en los ecosistemas y es fundamental para el abastecimiento de agua dulce en ríos y acuíferos (Villazón et al., 2021).

1.2.3.2.1. Prueba de bondad de ajuste de Kolmogórov Smirnov

Es una metodología que permite comprobar la bondad de ajuste de las distribuciones, además permite la elección de la más representativa, con un mejor ajuste. Consiste en la comparación del máximo valor absoluto de la diferencia D entre la función de distribución de probabilidad observada $F_o(xm)$ y la estimada $F(xm)$ Ministerio de transporte y comunicaciones (MTC, 2011).

$$D = \text{máx} / F_o(xm) - F(xm) / \quad (13)$$

1.2.3.3. Periodo de retorno

Es el tiempo promedio, en años, en que un caudal pico determinado se iguala o supera una vez cada "T" años, y se puede calcular la probabilidad de falla para una

estructura durante su vida útil, suponiendo que los eventos anuales son independientes; al seleccionar el período de retorno para el diseño de una obra, se deben considerar la probabilidad de excedencia, la vida útil de la estructura y el riesgo de falla admisible, que depende de factores económicos, sociales y técnicos (MTC, 2011).

1.2.3.4. Curva de intensidad, duración y frecuencia

La intensidad se refiere a la tasa de precipitación en el tiempo, es decir, la cantidad de lluvia caída por unidad de tiempo (mm/h). Puede medirse de forma instantánea o como promedio durante toda la duración de la lluvia, siendo esta última la más comúnmente utilizada (MTC, 2011).

$$i = \frac{P}{Td} \quad (14)$$

Donde:

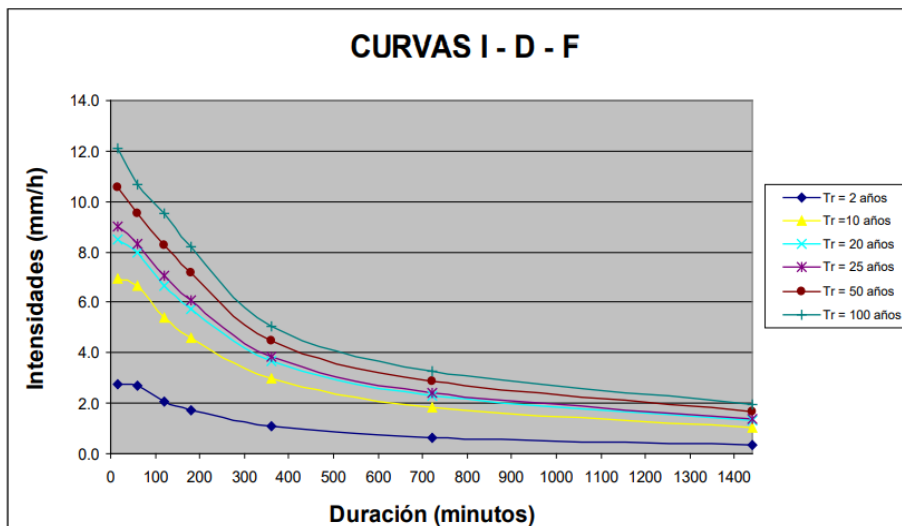
P = profundidad de lluvia (mm)

Td = duración

Las curvas intensidad–duración–frecuencia (IDF) relacionan la intensidad, duración y frecuencia de la lluvia; para elaborarlas, se utilizan registros pluviográficos para seleccionar la lluvia más intensa de diferentes duraciones en cada año, creando series anuales con los valores más altos observados, esto permite determinar la probabilidad de ocurrencia de eventos de lluvia para distintas duraciones (MTC, 2011).

Figura 6

Curva de Intensidad, Duración y Frecuencia (IDF)



1.2.3.5. Estimación de caudales

Cuando se tiene de suficientes datos de aforo, se efectúa un análisis estadístico de los caudales máximos anuales instantáneos, con datos de la estación más próxima al área de interés. Con estos datos, se calculan los caudales para diferentes períodos de retorno utilizando distribuciones estadísticas como log-Pearson III, log-normal y Valor Extremo Tipo I (MTC, 2011).

1.2.3.5.1. Método racional

Para estimar el caudal máximo a partir de la precipitación, se utiliza un coeficiente de escorrentía (c), que agrupa todas las abstracciones (como infiltración y evaporación) en un solo valor. Este coeficiente se calcula en función de las características de la cuenca, y es especialmente útil para cuencas con un área menor a 10 km² (MTC, 2011).

Con la siguiente fórmula se calcula la descarga máxima de diseño:

$$Q = 0,278 CIA \quad (15)$$

Donde:

Q = Descarga máxima de diseño (m³ /s)

C = Coeficiente de escorrentía

I = Intensidad de precipitación máxima horaria (mm/h)

A = Área de la cuenca (Km²)

1.2.3.5.2. Método racional modificado

El método permite estimar de manera sencilla los caudales punta en cuencas de drenaje natural con áreas menores de 770 km² y tiempos de concentración (T_c) entre 0.25 y 24 horas (MTC, 2011). La fórmula utilizada para el cálculo es la siguiente:

$$Q = 0,278 CIAK \quad (16)$$

Donde:

Q = Descarga máxima de diseño (m³/s)

C = Coeficiente de escorrentía

I = Intensidad de precipitación máxima horaria (mm/h)

A = Área de la cuenca (Km²)

K = Coeficiente de uniformidad

1.2.3.5.3. Hidrograma unitario

Permite hallar la escorrentía generada por una precipitación determinada, transformando la lluvia efectiva en escorrentía directa; se define como el hidrograma de escorrentía directa que produce en la salida de una cuenca debido a una lluvia efectiva unitaria (por ejemplo, 1 cm o 1 mm) con intensidad constante y distribución homogénea en toda la cuenca; la escorrentía de cualquier lluvia se puede determinar a partir del hidrograma de esta unidad (MTC, 2011).

1.2.3.5.4. Hidrograma unitario sintético de Snyder

Es una técnica utilizada para estimar el hidrograma de una cuenca, en especial cuando no se dispone de datos históricos o detallados de escorrentía. Este método, propuesto por Snyder en 1938, se basa en la formulación de un hidrograma unitario estándar que puede ser ajustado a las características específicas de una cuenca (MTC, 2011).

1.2.3.6. Modelo hidrológico HEC – HMS

Es un sistema de modelado hidrológico desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (USACE), Su objetivo es simular el comportamiento hidrológico de las cuencas fluviales para predecir los caudales y la escorrentía generados por precipitaciones. El HMS es una herramienta ampliamente utilizada en la ingeniería hidráulica, el diseño de infraestructuras y la gestión de cuencas hidrográficas (MTC, 2011).

HMS simula diferentes procesos hidrológicos dentro de una cuenca, como la precipitación, la escorrentía, la infiltración, el almacenamiento y el flujo en ríos y canales; el sistema es capaz de representar tanto cuencas pequeñas como grandes y modelar una variedad de fenómenos hidrológicos (MTC, 2011).

1.2.4. Hidráulico

Es todo lo relacionado con el agua y su comportamiento en movimiento, especialmente en sistemas diseñados para controlar, transportar o gestionar el flujo de agua, como ríos, canales, tuberías o infraestructuras hidráulicas; en ingeniería, hidráulico describe los principios y tecnologías utilizados para estudiar y gestionar el agua,

abarcando tanto sus propiedades físicas como los procesos que ocurren durante su flujo a través de diversos medios (MTC, 2011).

1.2.4.1. Clasificación de ríos

Según su edad de los ríos:

- **Ríos Jóvenes:** Se encuentran en su fase inicial de desarrollo, tienen un cauce irregular y una sección transversal en forma de "V", presentan pendientes pronunciadas y un fuerte caudal erosivo, los lechos del río tienen materiales fracturados debido a la alta energía del agua (García, 2019).

- **Ríos Maduros:** Están en una fase intermedia de desarrollo, se presentan en valles amplios con pendientes suaves, su cauce es más estable, con meandros y planicies de inundación; existen depósitos de sedimentos y el río tiene capacidad para transportar sedimentos, están más cerca del equilibrio entre erosión y sedimentación (García, 2019).

- **Ríos Viejos:** Se encuentran en una fase avanzada de desarrollo, tienen pendientes muy bajas y cauces amplios, están encausados y confinados, a menudo con intervenciones humanas (presas, canales); poseen planicies de inundación mucho más anchas que los meandros (García, 2019).

Según su condición de estabilidad:

- **Ríos Estática:** la corriente transporta sedimentos, pero no desplaza ni arrastra las partículas de las orillas, que son rocosas o poseen una alta cohesión (Ferrufino, 2015).

- **Dinámica:** Las fluctuaciones en la corriente, el tipo de material en el cauce y los sedimentos transportados han dado lugar a una pendiente y una sección cuyo cambio no es significativo de un año a otro, el río experimenta desplazamientos en las curvas, erosión en las orillas y acumulación de sedimentos en su interior (Ferrufino, 2015; García, 2019).

- **Morfológica:** corriente natural que no haya sido modificada por la intervención humana mantiene una estabilidad en su forma (Ferrufino, 2015; García, 2019).

Según su geometría

- **Cauce Recto:** Este tipo de cauce se da en tramos cortos y es temporal, ya que cualquier irregularidad en la forma o alineación del cauce, la formación de bancos de arena o una obstrucción temporal pueden generar alteraciones locales que crean flujos transversales, los cuales dan lugar a la formación de curvas y meandros (García, 2019).

- **Sinuosos o con meandros:** El río presenta un único cauce con curvas, hay una asimetría en las secciones transversales de estas ondulaciones, ya que la profundidad es mayor en la orilla cóncava y menor en la orilla convexa; los puntos más profundos se conocen como "thalweg", mientras que los materiales depositados en las orillas, formando una especie de playa, se llaman barras alternadas (García, 2019).

1.2.4.2. Coeficiente de rugosidad de Manning

El coeficiente de rugosidad de Manning (n) es un parámetro utilizado en hidráulica e hidrología para representar la resistencia al flujo del agua en un canal, ya sea natural o artificial; este coeficiente se emplea en la fórmula de Manning para calcular la velocidad del agua y el caudal en un canal abierto (Osío et al., 2000).

$$V = \frac{R^{2/3} S^{1/2}}{n} \quad (17)$$

Donde:

V= velocidad media

R= radio hidráulico

S= pendiente de la línea de energía

n= coeficiente de rugosidad de Manning

El coeficiente de Manning puede variar debido a factores como la rugosidad de la superficie del canal (que depende de su material y forma), la vegetación presente, la presencia de obstáculos o sedimentos, y las condiciones del flujo (como la velocidad y la profundidad del agua) (Osío et al., 2000).

1.2.4.3. Modelamiento hidráulico de un río

El modelado hidráulico bidimensional se llevará a cabo utilizando los programas IBER y HEC-RAS 2D, que, a través de sus modelos numéricos, permitirán predecir de forma sistemática el comportamiento (Bolívar, 2020).

1.2.4.4. Dimensionalidad

1.2.4.4.1. Modelo unidimensional

En este modelo, se analiza la velocidad en una sola dirección, generalmente en la dirección longitudinal del río. Se utilizan secciones del río y se asume una velocidad promedio constante en cada sección, sin considerar variaciones horizontales o verticales. El flujo se considera perpendicular a las secciones transversales (García, 2019).

1.2.4.4.2. Modelo bidimensional

En este modelo, el análisis de la velocidad se realiza en dos direcciones del plano horizontal. En cuanto a la variación vertical, se toma un valor promedio como único parámetro (García, 2019).

1.2.4.4.3. Modelo tridimensional

Este modelo examina la velocidad en las tres direcciones espaciales, siendo el nivel más avanzado de la modelación, donde se consideran todas las variaciones en las tres dimensiones (García, 2019).

1.2.4.5. Modelo Iber 2D

El modelo Iber 2D es una herramienta hidráulica que simula el flujo de agua en dos dimensiones, considerando tanto las variaciones longitudinales como transversales; se basa en las ecuaciones de conservación de masa y energía, permitiendo representar fenómenos como inundaciones y el comportamiento del agua en canales y cuerpos de agua, utiliza datos detallados sobre la topografía y las características del flujo para predecir la distribución del agua, siendo útil en la gestión de recursos hídricos, la planificación de infraestructuras y la prevención de inundaciones (Iber, 2012).

1.2.4.5.1. Estructura del cálculo con Iber

El proceso de cálculo en el software se divide en tres etapas: el Pre-Proceso, donde se ingresan datos como la geometría, la rugosidad y las condiciones de contorno, y se realiza el mallado; el Proceso, en el que se lleva a cabo el cálculo hidrodinámico; y el Post-Proceso, donde se visualizan y extraen los resultados obtenidos (García, 2019).

1.2.4.5.2. Ecuaciones hidrodinámicas

Las ecuaciones hidrodinámicas son un grupo de fórmulas matemáticas que explican el comportamiento de los fluidos en movimiento, particularmente el agua en ríos, canales, océanos u otros cuerpos acuáticos; estas ecuaciones se fundamentan en los principios de la mecánica de fluidos y se utilizan para modelar fenómenos como la velocidad del flujo, la distribución de la presión, los cambios en los niveles de agua, las olas y las inundaciones, entre otros (Velasco & Uribe, 2008).

1.2.4.5.3. Condiciones de contorno hidrodinámicas

Iber diferencia entre contornos cerrados (como paredes) y contornos abiertos, a través de los cuales el agua entra o sale del área de cálculo, en los contornos cerrados, se pueden aplicar condiciones de deslizamiento libre o de fricción en la pared; en el caso de deslizamiento libre, se desprecia el rozamiento del contorno con el fluido, si el impacto del rozamiento es significativo, se debe usar una condición de contorno basada en fricción (Bladé et al., 2014).

1.2.4.5.4. Malla de cálculo con Iber

La malla de cálculo con IBER es una discretización del área de estudio en celdas que permite simular flujos de agua en cuerpos hidráulicos, como ríos o canales, mediante el software IBER, resolviendo ecuaciones de flujo para analizar fenómenos como inundaciones y propagación de ondas (Bladé et al., 2014).

1.2.5. Inundación

Son desbordamientos que ocurren cuando las lluvias prolongadas exceden la capacidad de retención de agua del suelo y supera la máxima capacidad de transporte del río, el cauce principal del río al desbordarse inunda terrenos circundantes Instituto nacional de defensa civil (INDECI, 2014).

1.2.5.1. Causas de inundación

Ocupación de zonas inundables: El crecimiento urbano en áreas vulnerables a inundaciones incrementa la exposición de personas y bienes al riesgo, a pesar de la normativa que lo prohíbe. Las administraciones locales son responsables de esta tendencia (Martínez, 2019).

Agricultura intensiva sin conservación: La expansión de los regadíos y la agricultura industrial reduce la vegetación natural, lo que aumenta la escorrentía y la velocidad de los flujos de agua, exacerbando los daños durante lluvias intensas (Martínez, 2019).

Impermeabilización del suelo: El desarrollo urbanístico y la construcción de infraestructuras impermeabilizan el suelo, aumentando la escorrentía y los daños por inundaciones en áreas urbanas (Martínez, 2019).

Infraestructuras que alteran el drenaje natural: La construcción de carreteras, autopistas y otras infraestructuras cortas y desorganiza la red de drenaje natural, agravando los efectos de las lluvias torrenciales (Martínez, 2019).

Obras de defensa frente a inundaciones: Las infraestructuras de defensa, como diques y presas, pueden dar una falsa sensación de seguridad, permitiendo una mayor ocupación de zonas inundables. Además, estas obras suelen agravar los daños al aumentar la velocidad y la energía de las aguas de avenida (Martínez, 2019).

Reducción del espacio de los ríos: El crecimiento urbano y agrícola ha estrechado los cauces de los ríos, lo que limita su capacidad para gestionar caudales, especialmente durante las crecidas (Martínez, 2019).

1.2.5.2. Tipos de inundación

Según su origen, se pueden clasificar de la siguiente manera:

Inundaciones fluviales: Se producen cuando un río, arroyo o corriente se desborda debido a lluvias fuertes o al deshielo, excediendo su cauce habitual (Díez et al., 2009).

Inundaciones urbanas o pluviales: Estas ocurren cuando las lluvias son tan intensas que los sistemas de drenaje no pueden manejar el volumen de agua, lo cual es común en áreas urbanas con superficies impermeables como el concreto (Díez et al., 2009).

Inundaciones costeras: Se generan por el aumento del nivel del mar, causado por mareas altas, tormentas, huracanes o tsunamis, inundando las zonas cercanas a la costa (Díez et al., 2009).

1.2.5.3. Áreas o zonas inundables

Las zonas inundables son áreas que pueden ser cubiertas por agua debido a fenómenos como lluvias fuertes o desbordamientos de ríos; estas zonas son vulnerables a inundaciones, especialmente en condiciones climáticas extremas, y se encuentran comúnmente cerca de cuerpos de agua o en terrenos bajos (Guerra, 2022).

CAPÍTULO II METODOLOGÍA

2.1. Ubicación

2.1.1. Ubicación política

Departamento	: Ayacucho
Provincia	: La Mar
Distrito	: Tambo
Localidad	: Tapial Cuchu

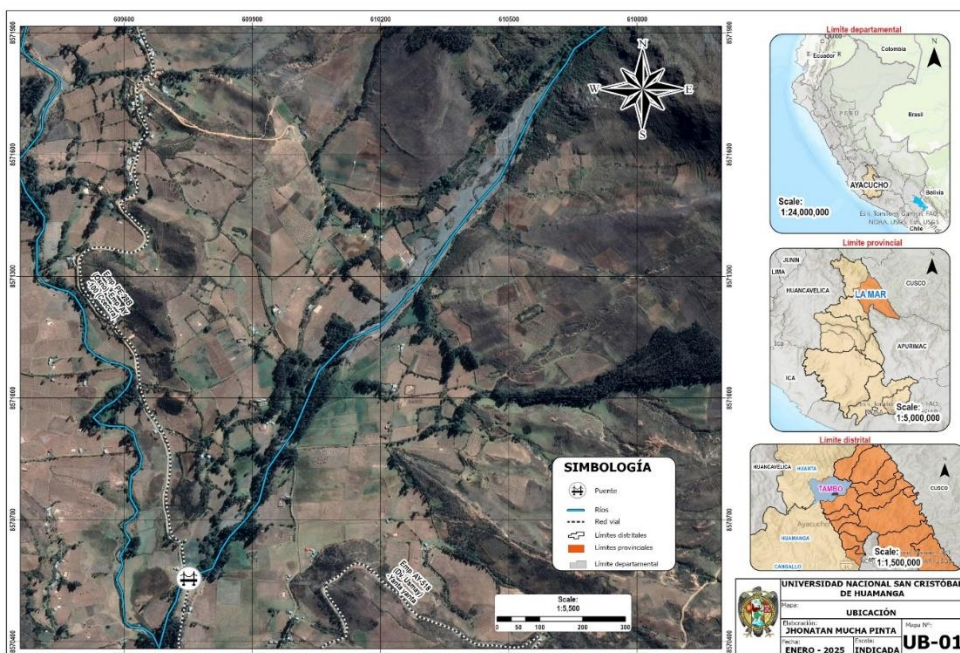
2.1.2. Ubicación geográfica

Ubicado en las coordenadas UTM WGS_84, zona 18L-UTM.

Este	: 610374.27
Norte	: 8571397.45
Cota	: 3044 msnm

Figura 7

Ubicación geográfica



2.1.3. Ubicación administrativa

De acuerdo a la Autoridad Nacional de Agua, el área de estudio se ubica dentro de la jurisdicción de:

Autoridad administrativa del agua: Pampas Apurímac

Administración local de agua: Bajo Apurímac – Pampas

2.2. Materiales y equipos

2.2.1. Materiales

- 01 wincha de 50m
- 01 flexómetro de 5m
- 01 libreta de campo
- 01 imágenes satelitales ALOS PALSAR de DEM 12.5m.
- Mapas de geo servidor GEO GPS PERÚ.
- Materiales de escritorio
- Datos de las estaciones meteorológicas de SENAMHI, SNIRH ANA.

2.2.2. Equipos

- 01 estación total Topcon Os-105
- 03 prismas
- 01 GPS navegador
- 01 cámara digital
- 04 radios
- 01 laptop Core i7

2.3. Metodología

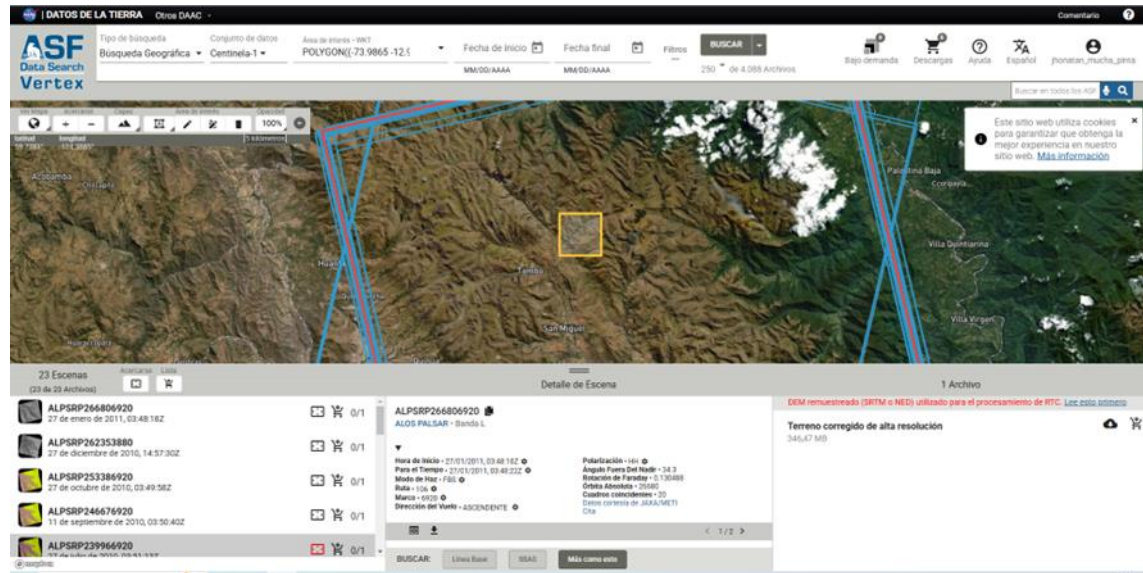
2.3.1. Fase preliminar

1. Se utilizó Google Earth Pro como herramienta principal para identificar y ubicar el punto de aforo en el río Occoro. Esta herramienta permitió una visualización precisa del terreno y facilitó la selección de un punto adecuado.
2. Se inicia con la obtención digital de elevación (DEM), que fueron descargados de la plataforma de distribución de ALOS PALSAR, en formato GeoTIFF, para la región del río Occoro. Se seleccionan imágenes correspondientes, con el fin de obtener una representación precisa de la topografía actual del área. Para la

selección del área, se utilizaron las coordenadas geográficas del río y alrededores, asegurando que el área de interés esté completamente cubierta.

Figura 8

Modelo digital de elevación (DEM)



Nota: la figura muestra la ubicación de la zona de estudio y los diferentes archivos DEM.

3. Se realizó la descarga de las bases de datos correspondiente a las cartas nacionales, mapa geomorfológico proporcionado por el Ministerio del Ambiente (MINAM) y el mapa de suelos de zonificación económica y ecológica de la región de Ayacucho, los cuales se utilizaron para realizar un análisis detallado de las características geográficas, geomorfológicas y de uso de suelos.
4. Se efectuó la recopilación de datos históricos de precipitaciones máximas diarias en un periodo de 24 horas, utilizando los servidores de la página del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) y Sistema Nacional de Información de Recursos Hídricos (SNIRH – ANA).

2.3.2. Fase de campo

1. Se realizó la identificación y caracterización de las zonas propensas a inundación en el tramo aguas arriba del puente Chipichaca. Se determinó un alto riesgo de desbordamiento e inundación en ambas márgenes del río Occoro, particularmente en la margen derecha e izquierda, debido a la concentración de actividades agrícolas y ganaderas en la zona, que representan una fuente vital

de ingresos para las familias locales. Además, se identificó la presencia de una vía de trocha carrozable, de uso frecuente para el transporte local, y un puente que conecta comunidades, ambos elementos críticos para la conectividad regional. Estos, junto con las áreas circundantes, se encuentran amenazados por el riesgo de inundación.

Figura 9

Identificación del área de estudio



Nota: se muestra la delimitación del margen derecho e izquierdo del río Occoro

2. Se llevó a cabo un levantamiento topográfico de alta precisión del cauce del río y las áreas agrícolas potencialmente inundables, utilizando equipo de estación total Topcon OS-105. El levantamiento incluyó la medición exacta de puntos clave a lo largo del cauce y en las zonas adyacentes, con el fin de obtener datos precisos sobre la elevación del terreno, las pendientes y la geometría del cauce. La estación total Topcon OS-105 permitió realizar un registro detallado de las variaciones topográficas, lo que facilita la identificación de áreas susceptibles a inundación y la elaboración de modelos de predicción de inundaciones.

Figura 10

Levantamiento topográfico del Rio Occoro



3. Se llevó a cabo un levantamiento topográfico detallado en la zona debido a la presencia de una densa vegetación que dificulta la visibilidad y el acceso directo al terreno. Este levantamiento se ejecutó a lo largo del cauce del río Occoro, así como en ambas márgenes, derecha e izquierda, de las áreas potencialmente inundables. Para garantizar la precisión de los datos, se utilizaron técnicas avanzadas de medición que permitieron superar los obstáculos naturales de la vegetación, asegurando la obtención de información topográfica precisa sobre las variaciones en la elevación del terreno y los límites de las zonas inundables. El levantamiento se realizó con un enfoque integral, considerando tanto las características del cauce como las áreas circundantes, para proporcionar una base sólida para la evaluación de riesgos y la planificación de medidas de mitigación.

Figura 11

Levantamiento a detalle del Rio Occoro



Nota: En la imagen se muestra el levantamiento del Rio Occoro a detalle.

Figura 12

Estación Total Topcon E-105



Nota: en la imagen se observa al tesista haciendo levantamiento del cauce del rio Occoro

2.3.3. Fase gabinete

2.3.3.1. Delimitación de la cuenca del rio Occoro

1. Para la delimitación de la cuenca de rio Occoro se utilizó el modelo digital de elevación (DEM) descargado del satélite ALOS PALSAR en formato ráster, lo cual fue procesado en el software ArcGIS 10.8.

2. Se genera red de drenaje utilizando las herramientas de ArcGIS 10.8 como "Fill" y "Flow Direction" determinando los patrones de escorrentía dentro de la cuenca.
3. Con la herramienta "Watershed", se delimitó la cuenca del río Occoro, basándose en la red de drenaje y la dirección del flujo de agua. Este proceso permitió identificar el área que drena hacia un punto de salida específico, en este caso, el cauce principal del río Occoro.
4. Una vez delimitada la cuenca, se extrajeron parámetros geomorfológicos como el perímetro, el área total, la cota máxima y mínima, la longitud del cauce principal y el centroide de la cuenca utilizando herramientas de análisis geométrico en ArcGIS 10.8. Para la cota máxima y mínima, se identificaron los puntos más altos y bajos dentro de la cuenca utilizando las herramientas "Raster Calculator" y "Zonal Statistics". La longitud del cauce principal se calculó utilizando el análisis de redes de drenaje para determinar la distancia lineal desde el inicio hasta el final del cauce del río Occoro.

2.3.3.2. Análisis de datos de precipitaciones

1. Los datos de precipitaciones máximas de 24 horas correspondientes a la cuenca en estudio fueron obtenidos a partir de las estaciones meteorológicas cercanas operadas por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI). Estos datos fueron seleccionados en función de su proximidad geográfica y representatividad para la cuenca del río Occoro. Las estaciones de monitoreo consideradas fueron cuidadosamente elegidas para garantizar la cobertura espacial y temporal adecuada de las precipitaciones máximas en el área de interés. A continuación, se presentan las estaciones meteorológicas utilizadas y sus respectivos datos de precipitación máxima registrados en un período de 24 horas, los cuales se emplearon para el análisis de los eventos de lluvia extrema en la cuenca del río Occoro:

Tabla 1*Estaciones meteorológicas*

ESTACIONES METEOROLOGICAS UTILIZADAS EN EL ESTUDIO										
Estaciones	Tipo	Propietario	Coordenadas geográficas		Altitud m.s.n.m.	Ubicación			Periodo de registro	Record de años
			Latitud Sur	Longitud Oeste		Departamento	Provincia	Distrito		
En funcionamiento										
1. HUANTA	PLU	SENAMHI	12°55'38.70"	74°16'5.80"	2542.0	AYACUCHO	HUANTA	HUANTA	1993-2013	27.0
2. LURICOCHA	PLU	SENAMHI	12°54'40.8" S	74°16'59.66"	2486.0	AYACUCHO	HUANTA	LURICOCHA	1990-2019	30.0
3. QUINUA	PLU	PERC	13° 3'19.70"	74° 8'29.70"	3209.0	AYACUCHO	HUAMANGA	QUINUA	1992-2006	15.0
4. SAN MIGUEL	PLU	PERC	13°13'7.18"	74° 6'22.40"	2720.0	AYACUCHO	LA MAR	SAN MIGUEL	1992-2006	15.0

2. La información hidrometeorológica de las estaciones fue recopilada durante el período comprendido entre los años 1964 a 2018. Cada estación de monitoreo proporciona un conjunto de datos continuo que incluye registros de precipitaciones máximas de 24 horas, los cuales han sido validados y verificados conforme a los estándares de calidad establecidos por el SENAMHI. Estos datos permiten analizar tendencias climáticas a largo plazo, identificar patrones de eventos extremos y realizar estimaciones precisas para la modelización hidrológica. A continuación, se detalla el período de registro de cada estación.
3. Se realiza la obtención de precipitaciones máximas de 24 hrs de las cuatro estaciones mencionadas.

Tabla 2*Resumen de Precipitación máxima*

HUANTA		LURICOCHA		QUINUA		SAN MIGUEL	
AÑO	Ppmax 24h	AÑO	Ppmax 24h	AÑO	Ppmax 24h	AÑO	Ppmax 24h
1964	S/D	1964	15.90	1964	S/D	1964	19.50
1965	S/D	1965	18.80	1965	S/D	1965	23.20
1966	S/D	1966	20.00	1966	S/D	1966	38.00
1967	S/D	1967	23.10	1967	S/D	1967	21.30
1968	S/D	1968	26.10	1968	S/D	1968	29.00
1969	S/D	1969	12.10	1969	S/D	1969	18.00
1970	S/D	1970	23.60	1970	S/D	1970	33.20
1971	S/D	1971	38.60	1971	S/D	1971	28.00
1972	S/D	1972	13.00	1972	S/D	1972	19.00
1973	S/D	1973	30.80	1973	S/D	1973	27.00
1974	S/D	1974	27.40	1974	S/D	1974	31.70
1975	S/D	1975	30.60	1975	S/D	1975	26.50
1976	S/D	1976	34.30	1976	S/D	1976	24.70
1977	S/D	1977	32.90	1977	S/D	1977	15.00
1978	S/D	1978	21.60	1978	S/D	1978	20.80
1979	S/D	1979	20.10	1979	S/D	1979	20.00
1980	S/D	1980	14.90	1980	S/D	1980	23.60
1981	S/D	1981	30.10	1981	S/D	1981	26.60
1982	S/D	1982	44.20	1982	S/D	1982	31.50
1983	S/D	1983	32.10	1983	S/D	1983	S/D
1984	S/D	1984	21.20	1984	S/D	1984	S/D
1985	S/D	1985	0.00	1985	S/D	1985	S/D
1986	S/D	1986	0.00	1986	S/D	1986	S/D
1987	S/D	1987	18.40	1987	S/D	1987	S/D
1988	S/D	1988	18.50	1988	S/D	1988	S/D
1989	S/D	1989	31.20	1989	S/D	1989	S/D
1990	S/D	1990	18.50	1990	S/D	1990	S/D
1991	S/D	1991	19.30	1991	S/D	1991	S/D
1992	26.50	1992	16.60	1992	16.20	1992	S/D
1993	31.70	1993	31.00	1993	37.30	1993	S/D
1994	31.70	1994	25.80	1994	36.70	1994	S/D
1995	51.60	1995	29.00	1995	35.20	1995	S/D
1996	29.50	1996	30.00	1996	29.70	1996	S/D
1997	38.70	1997	30.30	1997	37.80	1997	S/D
1998	39.70	1998	20.20	1998	43.60	1998	S/D
1999	42.60	1999	14.80	1999	28.40	1999	S/D
2000	35.30	2000	S/D	2000	26.70	2000	S/D
2001	26.00	2001	S/D	2001	28.70	2001	S/D
2002	22.70	2002	S/D	2002	27.00	2002	S/D
2003	32.50	2003	S/D	2003	32.40	2003	S/D
2004	25.20	2004	S/D	2004	23.00	2004	S/D
2005	55.10	2005	S/D	2005	32.70	2005	S/D
2006	28.10	2006	S/D	2006	21.10	2006	S/D
2007	25.00	2007	S/D	2007	33.20	2007	S/D
2008	20.60	2008	S/D	2008	24.60	2008	S/D
2009	30.10	2009	S/D	2009	46.80	2009	S/D
2010	22.00	2010	S/D	2010	28.50	2010	S/D
2011	22.60	2011	S/D	2011	32.10	2011	S/D
2012	21.60	2012	S/D	2012	28.70	2012	S/D
2013	34.10	2013	S/D	2013	25.20	2013	S/D
2014	23.40	2014	S/D	2014	0.00	2014	S/D
2015	36.10	2015	S/D	2015	0.00	2015	S/D
2016	24.10	2016	S/D	2016	0.00	2016	S/D
2017	27.70	2017	S/D	2017	31.70	2017	S/D
2018	31.20	2018	S/D	2018	36.70	2018	S/D

4. Se llevó a cabo un proceso de regionalización en la cuenca del río Occoro, con el objetivo de identificar estaciones hidrológicas homogéneas, dado que esta cuenca carece de registros históricos de datos. Este enfoque permite generar estimaciones precisas de los parámetros hidrológicos mediante la identificación de zonas con comportamientos hidrológicos similares, lo cual es crucial para la modelización y la gestión de recursos hídricos en áreas con ausencia de información directa.

Tabla 3

Regionalización de la cuenca de río Occoro

Año	Huanta	Quinua	Huanta	Quinua	Luricocha	Luricocha	San Miguel	Regionalización Ppmax_24h
1964					15.90	15.90	19.50	19.32
1965					18.80	18.80	23.20	22.98
1966					20.00	20.00	38.00	37.10
1967					23.10	23.10	21.30	21.39
1968					26.10	26.10	29.00	28.85
1969					12.10	12.10	18.00	17.70
1970					23.60	23.60	33.20	32.72
1971					38.60	38.60	28.00	28.53
1972					13.00	13.00	19.00	18.70
1973					30.80	30.80	27.00	27.19
1974					27.40	27.40	31.70	31.48
1975					30.60	30.60	26.50	26.71
1976					34.30	34.30	24.70	25.18
1977					32.90	32.90	15.00	15.90
1978					21.60	21.60	20.80	20.84
1979					20.10	20.10	20.00	20.01
1980					14.90	14.90	23.60	23.16
1981					30.10	30.10	26.60	26.78
1982					44.20	44.20	31.50	32.14
1983					32.10	32.10		32.10
1984					21.20	21.20		21.20
1985					0.00	0.00		S/D
1986					0.00	0.00		S/D
1987					18.40	18.40		18.40
1988					18.50	18.50		18.50
1989					31.20	31.20		31.20
1990					18.50	18.50		18.50
1991					19.30	19.30		19.30
1992	26.50	16.20	26.50	16.20	16.60	16.60		19.43
1993	31.70	37.30	31.70	37.30	31.00	31.00		33.27
1994	31.70	36.70	31.70	36.70	25.80	25.80		31.14
1995	51.60	35.20	51.60	35.20	29.00	29.00		37.79
1996	29.50	29.70	29.50	29.70	30.00	30.00		29.75
1997	38.70	37.80	38.70	37.80	30.30	30.30		35.27
1998	39.70	43.60	39.70	43.60	20.20	20.20		33.70
1999	42.60	28.40	42.60	28.40	14.80	14.80		27.57
2000	35.30	26.70	35.30	26.70				30.80
2001	26.00	28.70	26.00	28.70				27.41
2002	22.70	27.00	22.70	27.00				24.95
2003	32.50	32.40	32.50	32.40				32.45
2004	25.20	23.00	25.20	23.00				24.05
2005	55.10	32.70	55.10	32.70				43.39

2006	28.10	21.10	28.10	21.10				24.44
2007	25.00	33.20	25.00	33.20				29.29
2008	20.60	24.60	20.60	24.60				22.69
2009	30.10	46.80	30.10	46.80				38.83
2010	22.00	28.50	22.00	28.50				25.40
2011	22.60	32.10	22.60	32.10				27.57
2012	21.60	28.70	21.60	28.70				25.31
2013	34.10	25.20	34.10	25.20				29.45
2014	23.40		23.40					23.40
2015	36.10		36.10					36.10
2016	24.10		24.10					24.10
2017	27.70	31.70	27.70	31.70				29.79
2018	31.20	36.70	31.20	36.70				34.08
D (km)	A	B	A	B	C	C	D	
	36.07	32.91	36.07	32.91	28.90	28.90	1.53	
	0.48	0.52	0.30	0.33	0.37	0.05	0.95	

ESTACIÓN	COORDENADAS		Cota	Distancia (d)	1/d ²	Peso
	Este	Norte				
1. HUANTA	579373.91	8570777.58	2542	36065.48	0.0000277273	0.175
2. LURICOCHA	583201.27	8583014.75	2486	32907.78	0.0000303880	0.192
3. QUINUA	593070.30	8556572.30	3209	28896.60	0.0000346062	0.219
4. SAN MIGUEL	610216.34	8560770.25	2720	15292.65	0.0000653909	0.414
				Suma	0.0001581124	1.000
Cantera	615146	8575211	3734			

5. Posteriormente, se lleva a cabo un análisis exhaustivo de los datos inconsistentes o atípicos de la precipitación regionalizada, con el fin de identificar posibles errores o valores atípicos que puedan afectar la calidad y precisión de los resultados hidrológicos.

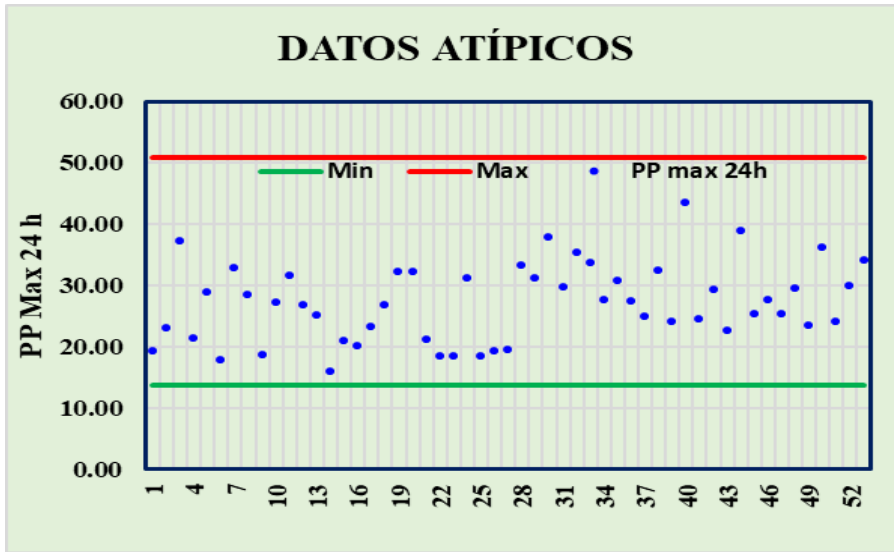
Tabla 4

Análisis de datos atípicos

	PP Max	Log (PP Max)
Numero de Datos (N)	53.00	53.00
Valor Máximo	43.39	1.64
Valor Mínimo	15.90	1.20
Media	27.12	1.42
Desviación Estandar	6.28	0.10
Varianza	39.48	0.01
Coef. Variación	0.23	0.07
Coef. Sesgo o asimetría	0.29	-0.16
Kn		2.79
XH		1.71
Valor Max		50.95
		Ok
XL		1.14
Valor Min		13.68
		Ok

Figura 13

Variación de los datos atípicos



6. Luego una vez concluido el análisis de los datos atípicos de la recepción máxima a 24 horas regionalizada, se procede a evaluar la bondad de ajuste mediante la prueba de Kolmogórov-Smirnov. Este procedimiento tiene como objetivo verificar la adecuación de la distribución de los datos a un modelo teórico específico. Para llevar a cabo este análisis, se utilizó el software Hydrognomon obteniendo los siguientes resultados con las distribuciones más utilizadas como se muestra en la tabla:

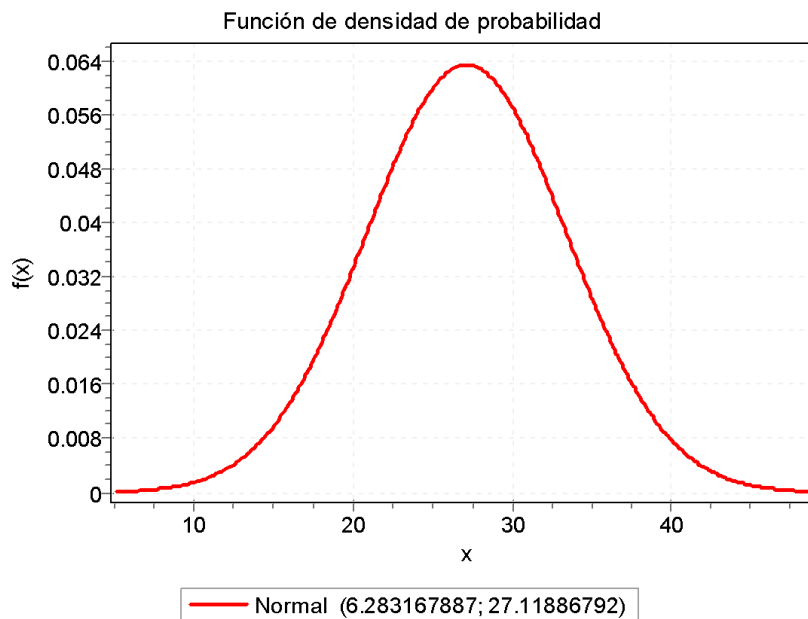
Tabla 5

Bondad de ajuste de Kolmogórov Smirnov

Kolmogorov-Smirnov test for:All data	a=1%	a=5%	a=10%	Attained	DMax
Normal	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	99.14%	0.0598
LogNormal	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	91.06%	0.0772
Gamma	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	97.08%	0.0671
Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	98.70%	0.0620
Log Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	95.71%	0.0701

Figura 14

Función de densidad de probabilidad



Nota: En la figura se observa la función Normal que se ajusta a los datos de estudio.

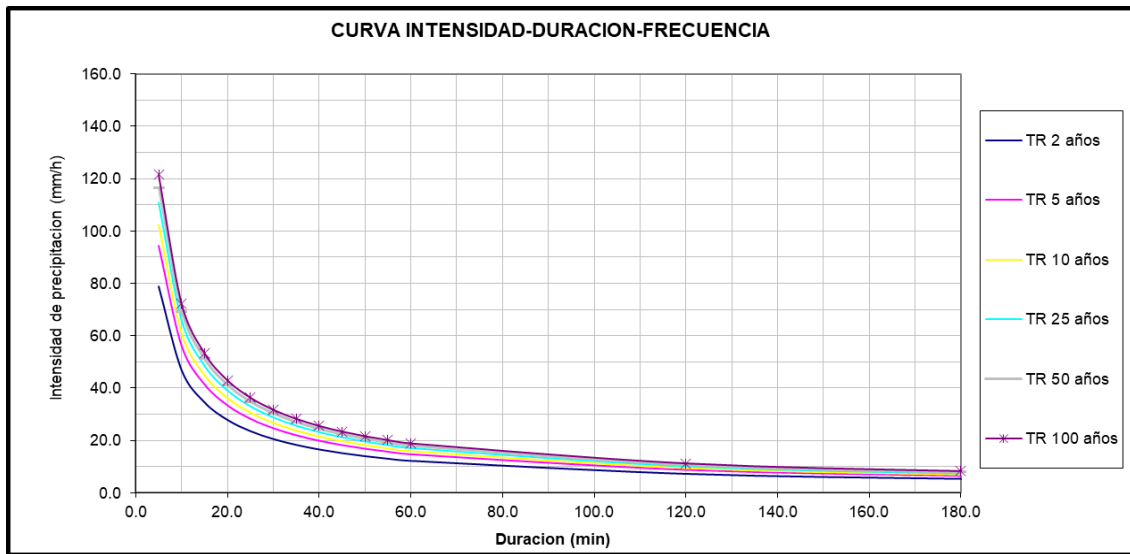
7. Posterior a la selección de la distribución más adecuada para los datos regionalizados, se procede al cálculo de los diferentes períodos de retorno, lo cual permite estimar la frecuencia y magnitud de eventos extremos. Posteriormente, se realiza el cálculo de las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) utilizando el método de Dick y Peschke, que facilita la caracterización de la relación entre la intensidad de la precipitación, su duración y su recurrencia. Finalmente, se generan los hietogramas correspondientes, los cuales representan la distribución temporal de la precipitación, proporcionando una visualización detallada de su variabilidad a lo largo del tiempo.

Tabla 6*Intensidad de precipitación*

Duración (Horas)	Duración (min)	Periodo de Retorno (Años)								
		2.00	5.00	10.00	25.00	50.00	100.00	150.00	200.00	500.00
		Intensidad (mm/hr)								
0.083	5	79.00	94.40	102.45	111.04	116.58	121.57	123.97	126.14	131.67
0.167	10	46.97	56.13	60.92	66.02	69.32	72.29	73.71	75.00	78.29
0.250	15	34.65	41.41	44.94	48.71	51.14	53.33	54.38	55.34	57.76
0.333	20	27.93	33.38	36.22	39.26	41.22	42.98	43.83	44.60	46.55
0.417	25	23.63	28.23	30.64	33.21	34.87	36.36	37.08	37.72	39.38
0.500	30	20.61	24.62	26.72	28.96	30.41	31.71	32.34	32.90	34.35
0.583	35	18.36	21.94	23.81	25.80	27.09	28.25	28.81	29.31	30.60
0.667	40	16.61	19.85	21.54	23.34	24.51	25.56	26.06	26.52	27.68
0.750	45	15.20	18.17	19.72	21.37	22.44	23.40	23.86	24.28	25.34
0.833	50	14.05	16.79	18.22	19.75	20.73	21.62	22.05	22.43	23.42
0.917	55	13.08	15.63	16.96	18.38	19.30	20.13	20.52	20.88	21.80
1.000	60	12.25	14.64	15.89	17.22	18.08	18.86	19.23	19.56	20.42
2.000	120	7.29	8.71	9.45	10.24	10.75	11.21	11.43	11.63	12.14
3.000	180	5.37	6.42	6.97	7.56	7.93	8.27	8.44	8.58	8.96
4.000	240	4.33	5.18	5.62	6.09	6.39	6.67	6.80	6.92	7.22
5.000	300	3.66	4.38	4.75	5.15	5.41	5.64	5.75	5.85	6.11
6.000	360	3.20	3.82	4.14	4.49	4.72	4.92	5.02	5.10	5.33
7.000	420	2.85	3.40	3.69	4.00	4.20	4.38	4.47	4.55	4.75
8.000	480	2.58	3.08	3.34	3.62	3.80	3.96	4.04	4.11	4.29
9.000	540	2.36	2.82	3.06	3.31	3.48	3.63	3.70	3.77	3.93
10.000	600	2.18	2.60	2.83	3.06	3.22	3.35	3.42	3.48	3.63
11.000	660	2.03	2.42	2.63	2.85	2.99	3.12	3.18	3.24	3.38
12.000	720	1.90	2.27	2.46	2.67	2.80	2.92	2.98	3.03	3.17
13.000	780	1.79	2.14	2.32	2.52	2.64	2.75	2.81	2.86	2.98
14.000	840	1.69	2.02	2.20	2.38	2.50	2.61	2.66	2.70	2.82
15.000	900	1.61	1.92	2.08	2.26	2.37	2.47	2.52	2.57	2.68
16.000	960	1.53	1.83	1.99	2.15	2.26	2.36	2.40	2.45	2.55
17.000	1020	1.46	1.75	1.90	2.06	2.16	2.25	2.30	2.34	2.44
18.000	1080	1.40	1.68	1.82	1.97	2.07	2.16	2.20	2.24	2.34
19.000	1140	1.35	1.61	1.75	1.89	1.99	2.07	2.11	2.15	2.24
20.000	1200	1.30	1.55	1.68	1.82	1.91	1.99	2.03	2.07	2.16
21.000	1260	1.25	1.49	1.62	1.76	1.84	1.92	1.96	1.99	2.08
22.000	1320	1.21	1.44	1.56	1.70	1.78	1.86	1.89	1.93	2.01
23.000	1380	1.17	1.39	1.51	1.64	1.72	1.80	1.83	1.86	1.94
24.000	1440	1.13	1.35	1.47	1.59	1.67	1.74	1.77	1.80	1.88

Figura 15

Curvas IDF

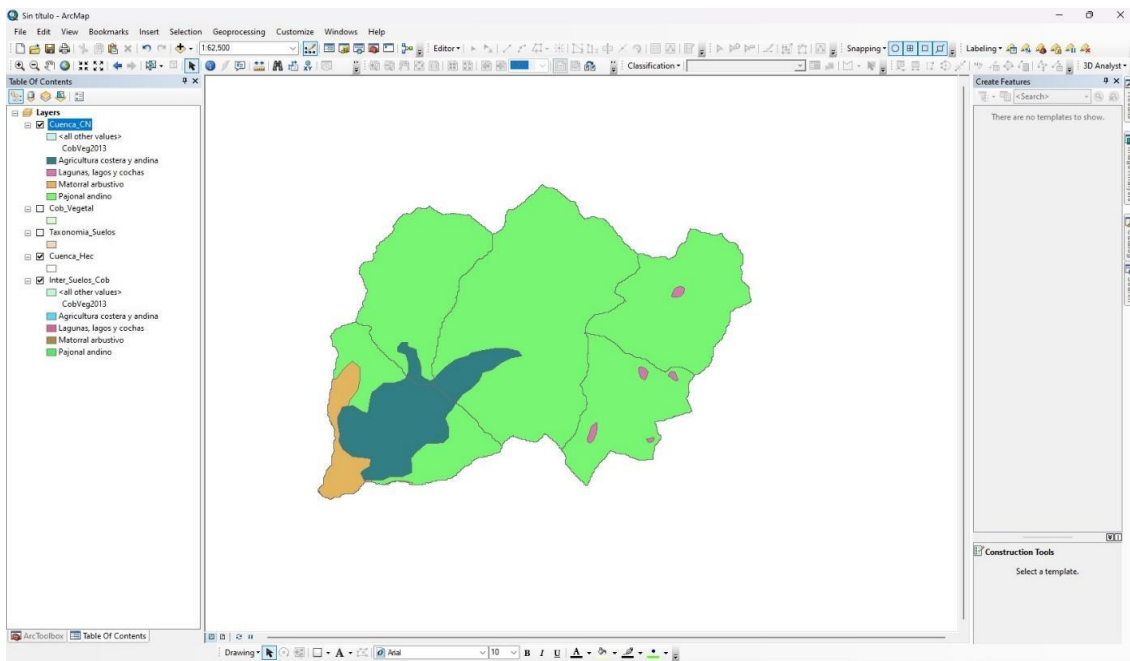


2.3.3.3. Determinación del caudal máximo

1. Para el cálculo de caudal máximo se realizó utilizando el método SCS para abstracciones o llamado también curva número (CN) en lo cual se realizó con el software ArcGIS 10.8, para lo cual se utilizó los mapas temáticos de entrada como el mapa de cobertura vegetal y uso descargado de Ministerio del Ambiente y mapa temático de suelo.

Figura 16

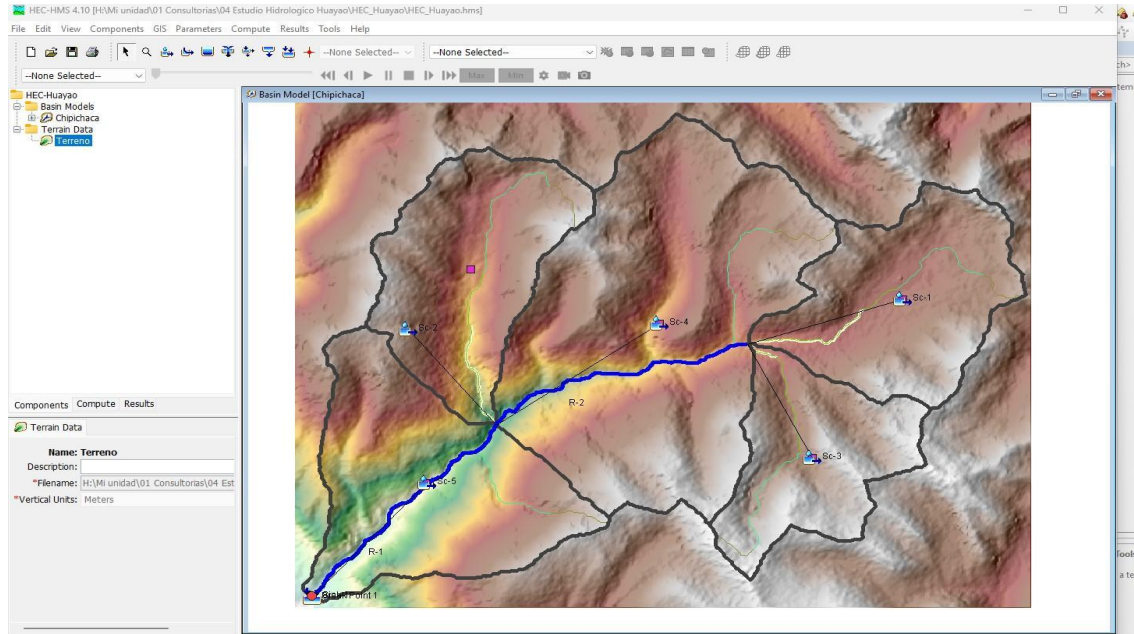
Método de SCS para Curva Número



2. Se realiza el procesamiento del hietograma y curva número en el software HEC-HMS 4.12, para luego calcular el caudal máximo para un periodo de retorno de 100 años causante de la inundación en aguas arriba del puente Chipichaca.

Figura 17

Proceso de obtención de caudal máximo

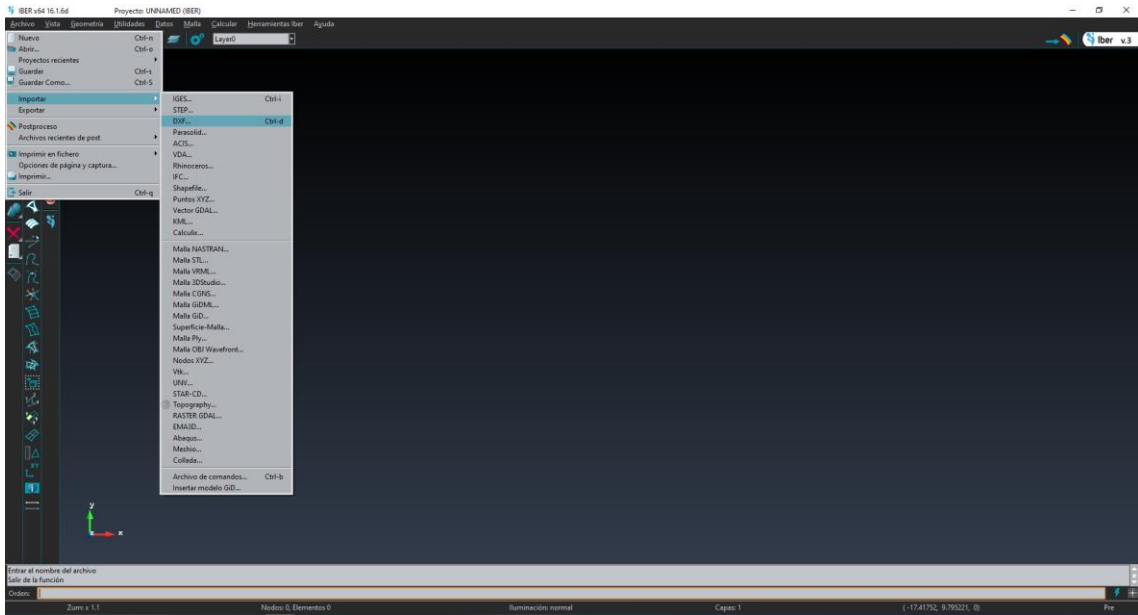


2.3.3.4. Modelado hidráulico en Iber 2D

1. Se procedió a crear un nuevo proyecto, y luego, desde el menú de archivo, seleccionó la opción para importar el archivo DXF que contiene las curvas de nivel generadas en Civil 3D, correspondientes al levantamiento topográfico del río Occoro. A continuación, se verificó y ajustó el sistema de coordenadas en el software Iber 3.3.1 para asegurar la corrección.

Figura 18

Importación de curvas de nivel del río Occoro a Iber 3.3.1



2. Se procedió a la asignación de coeficientes de rugosidad de Manning de acuerdo al uso de suelos estimados en el mapa del área de investigación. La zona de estudio cuenta con diferentes usos de suelos tales como: áreas c/s cultivo, pastos cortos, pastos altos, matorrales, árboles y cauce natural de río con gravas y canto rodado.

3.

Figura 19

Asignación de coeficientes de rugosidad en el software ArcGIS 10.8

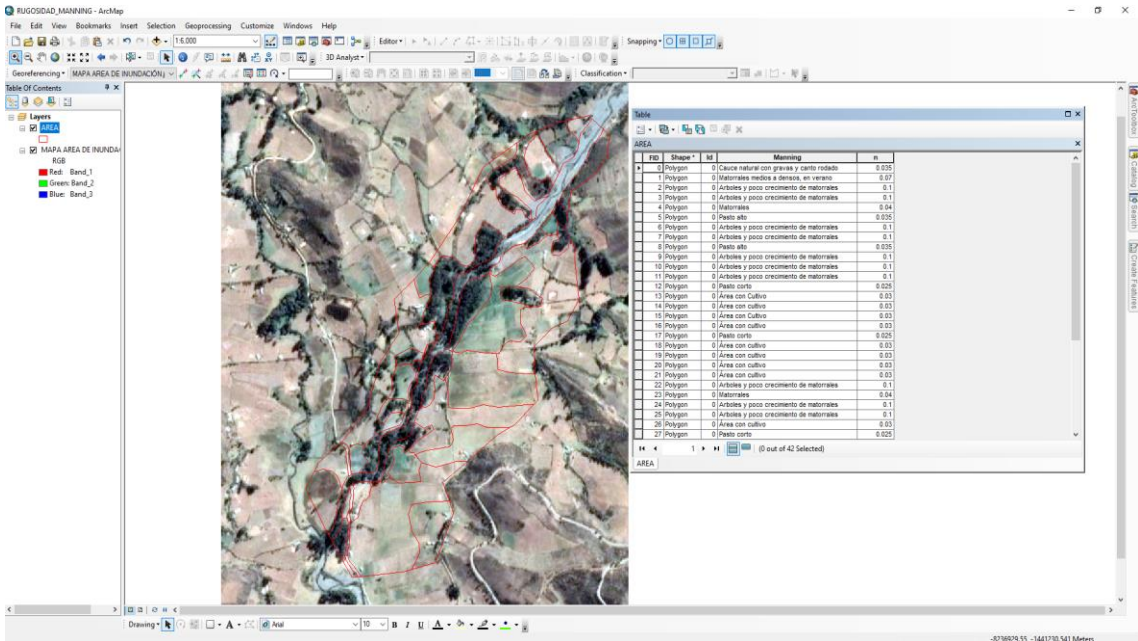
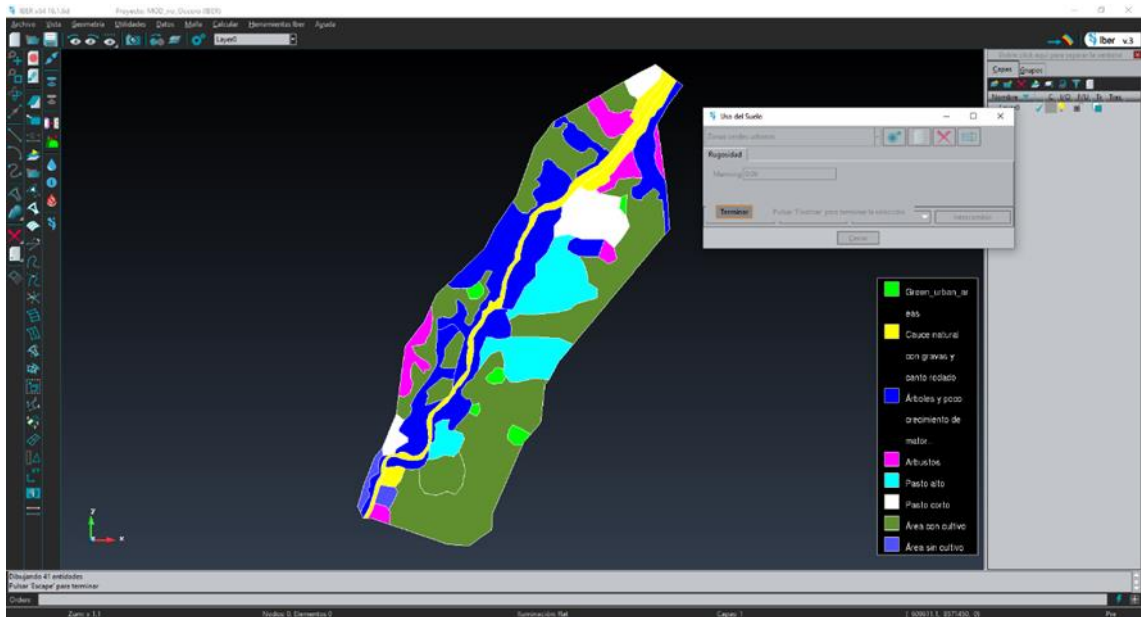


Figura 20

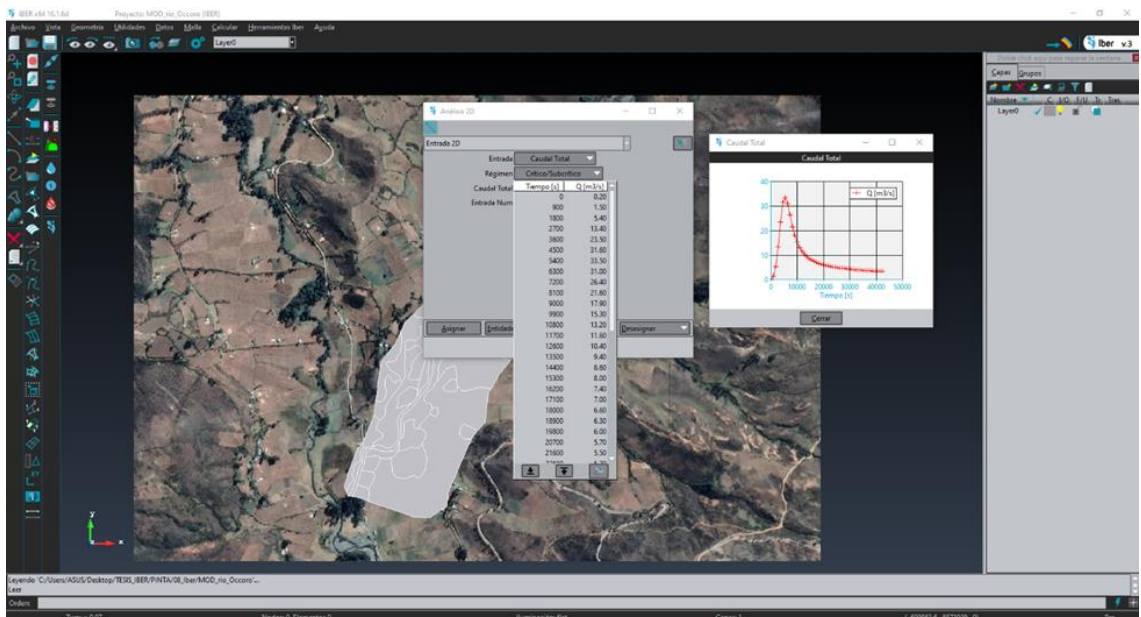
Asignación de coeficiente de Manning



4. Se asignaron las condiciones de contorno para la entrada y salida del flujo. En la condición de entrada, se inició el caudal máximo calculado en el estudio hidrológico, correspondiente a un período de retorno de 100 años. A continuación, se definió el punto de ingreso del caudal máximo al cauce del río Occoro, y de manera similar, se determinará el punto de salida del flujo.

Figura 21

Asignación de hidrograma de diseño



5. Se estableció la generación de malla, en este escenario se optó por asignar un tipo de malla no estructurada, dado que esta se ajusta mejor a las irregularidades que presentan las zonas del cauce del río. Se tomó en cuenta el tamaño de la celda de 0.5 metros para el cauce del río, y una malla de 1.5 metros para pastos cortos y largos y 2 metros para cultivos y una malla de 2 m para arboles; este criterio se aplica debido a que una malla fina permite tener mejores resultados. Finalmente, se insertó el hietograma de diseño, que representa la distribución temporal de la precipitación, esencial para simular el comportamiento del flujo durante el evento de diseño y garantizar la precisión del análisis hidráulico.

2.3.3.5. Obtención de mapas de áreas inundación Agrícolas

1. Luego se ejecuta el postproceso de modelo Iber para visualizar el caudal máximo con un tiempo de retorno de 100 años, para obtener la inundación en la zona de estudio, con los variables de visualización como: Nivel de agua, velocidades y profundidad de inundación. También se ajusta los parámetros de visualización, como el rango de colores para representar diferentes niveles de inundación.
2. Posteriormente, se exportan los resultados obtenidos del postprocesamiento del modelo Iber en formato ráster, lo que permite realizar un análisis detallado de las áreas inundadas. Este formato ráster es compatible con el software ArcGIS 10.8, donde se calcula y analiza la extensión de las zonas afectadas por la inundación. En ArcGIS, se pueden aplicar herramientas espaciales para evaluar el impacto de la inundación en la región, generando mapas detallados que muestran las áreas inundadas según los diferentes niveles de agua, velocidades y profundidades, lo que facilita la toma de decisiones en la planificación.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

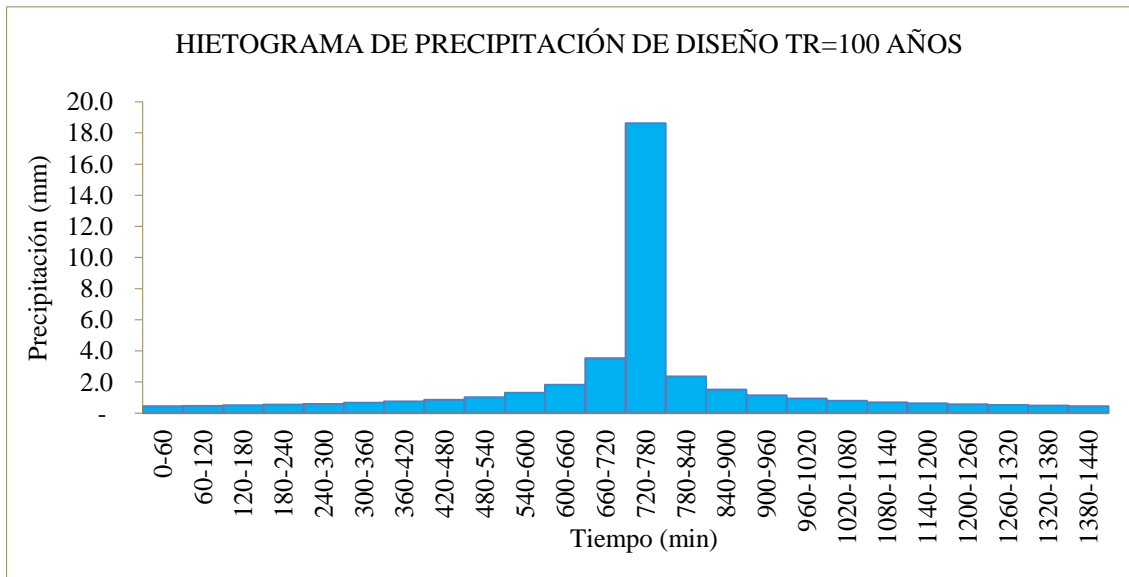
3.1. Estimación de la precipitación máxima 24 horas para un periodo de retorno de 100 años

Una técnica utilizada para estimar el hidrograma de una cuenca, en especial cuando no se dispone de datos históricos o detallados de escorrentía. Este método, propuesto por Snyder en 1938, se basa en la formulación de un hidrograma unitario estándar que puede ser ajustado a las características específicas de una cuenca (MTC, 2011)

En la investigación realizada de la estimación de la precipitación máxima de 24 horas para la cuenca del río Occoro, correspondiente a un periodo de retorno de 100 años, se emplearon los datos provenientes de la regionalización de las estaciones meteorológicas de Quinua, Huanta, Luricocha y San Miguel. A través de este enfoque, se aplicó el método de bloques alternos para el análisis, obteniendo como resultado una precipitación máxima de 18.632 mm/hora, la cual representa el valor de precipitación esperado bajo las condiciones del periodo de retorno especificado.

Tabla 7*Método de bloque alterno*

METODO DEL BLOQUE ALTERNO					
DURACION	INTENSIDAD	PROFUNDIDA ACUMULADA	PROFUNDIDAD INCREMENTAL	TIEMPO	PRECIPITACION
min	mm/hr	mm	mm	min	mm
60	18.632	18.632	18.632	0-60	0.436
120	11.078	22.157	3.525	60-120	0.467
180	8.174	24.521	2.364	120-180	0.502
240	6.587	26.349	1.829	180-240	0.544
300	5.572	27.861	1.512	240-300	0.596
360	4.860	29.160	1.299	300-360	0.662
420	4.329	30.306	1.146	360-420	0.746
480	3.917	31.335	1.029	420-480	0.861
540	3.586	32.271	0.936	480-540	1.029
600	3.313	33.132	0.861	540-600	1.299
660	3.085	33.931	0.799	600-660	1.829
720	2.890	34.677	0.746	660-720	3.525
780	2.721	35.378	0.701	720-780	18.632
840	2.574	36.040	0.662	780-840	2.364
900	2.444	36.667	0.627	840-900	1.512
960	2.329	37.263	0.596	900-960	1.146
1020	2.225	37.832	0.569	960-1020	0.936
1080	2.132	38.377	0.544	1020-1080	0.799
1140	2.047	38.899	0.522	1080-1140	0.701
1200	1.970	39.401	0.502	1140-1200	0.627
1260	1.899	39.885	0.484	1200-1260	0.569
1320	1.834	40.351	0.467	1260-1320	0.522
1380	1.774	40.802	0.451	1320-1380	0.484
1440	1.718	41.239	0.436	1380-1440	0.451

Figura 22*Hietograma de diseño TR=100 años*

3.2. Estimación de caudales máximos para periodo de retorno de 100 años, que produce inundaciones aguas arriba del puente Chipichaca del río Occoro

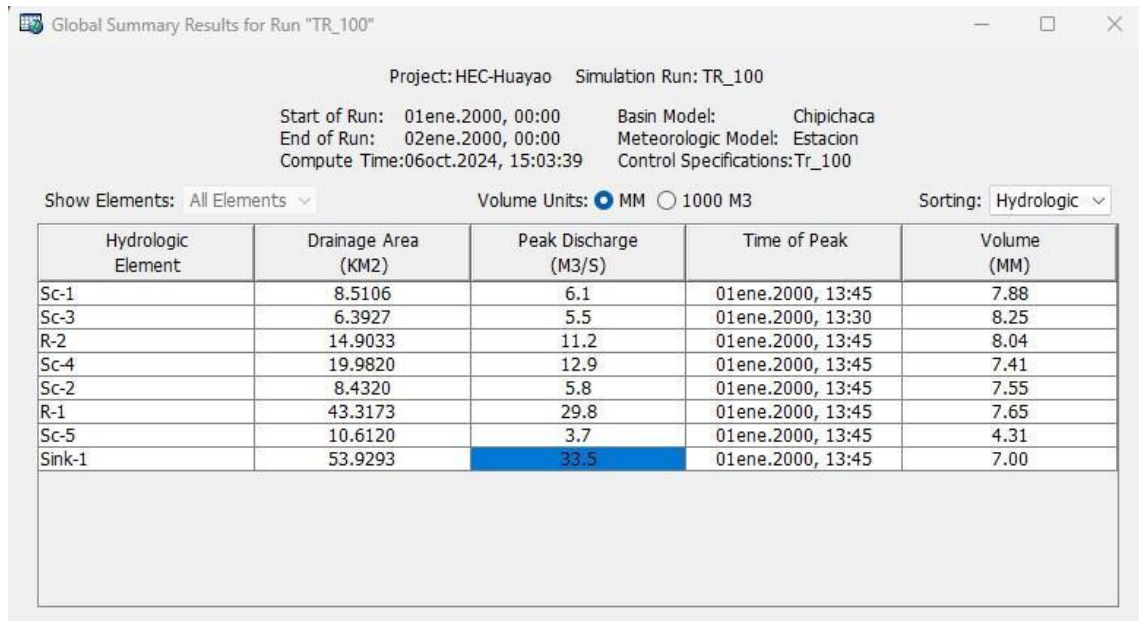
Según Villegas, (2023) en su investigación realizado los estudios de análisis: modelamiento hidrológico e hidráulico frente a inundaciones en la quebrada Estanquillo con el modelo matemático Iber, en el distrito de Cerro Colorado, provincia de Arequipa, departamento de Arequipa obtuvo un caudal máximo de $Q=39.8 \text{ m}^3/\text{s}$ en un $Tr= 100$ años.

Según (Martínez, 2019) en su investigación realiza en la cuenca del rio Sayacc obtuvo un caudal máximo de $Q=105.4 \text{ m}^3/\text{s}$ para un $Tr=50$ años.

En la investigación realizada de la subcuenca del rio Occoro se obtuvo un caudal máximo de $Q= 33.5 \text{ m}^3/\text{s}$ para un $Tr=100$ años. En la figura 23 se muestra el hietograma de diseño estimado para un periodo de retorno de 100 años. A partir de este hietograma, se calcularon los hidrogramas utilizando el software HEC-HMS para determinar el caudal del río Occoro.

Figura 23

Resultado de caudal máximo



Global Summary Results for Run "TR_100"

Project: HEC-Huayao Simulation Run: TR_100

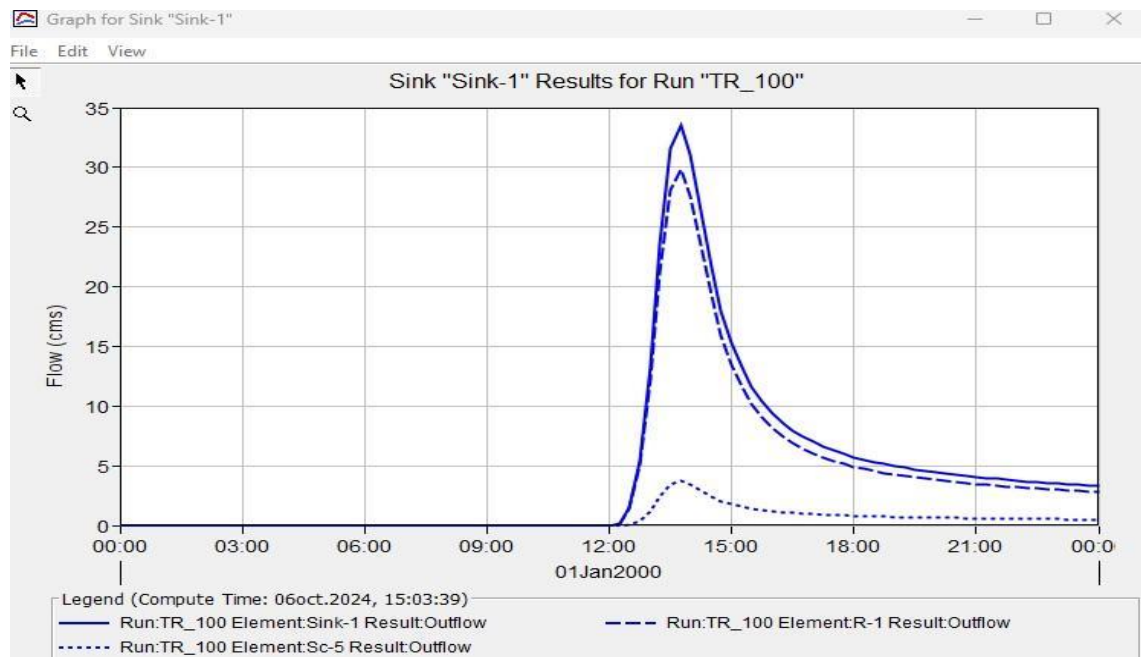
Start of Run: 01ene.2000, 00:00 Basin Model: Chipichaca
End of Run: 02ene.2000, 00:00 Meteorologic Model: Estacion
Compute Time: 06oct.2024, 15:03:39 Control Specifications: Tr_100

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
Sc-1	8.5106	6.1	01ene.2000, 13:45	7.88
Sc-3	6.3927	5.5	01ene.2000, 13:30	8.25
R-2	14.9033	11.2	01ene.2000, 13:45	8.04
Sc-4	19.9820	12.9	01ene.2000, 13:45	7.41
Sc-2	8.4320	5.8	01ene.2000, 13:45	7.55
R-1	43.3173	29.8	01ene.2000, 13:45	7.65
Sc-5	10.6120	3.7	01ene.2000, 13:45	4.31
Sink-1	53.9293	33.5	01ene.2000, 13:45	7.00

Figura 24

Hidrograma de diseño de caudal máximo TR=100 años



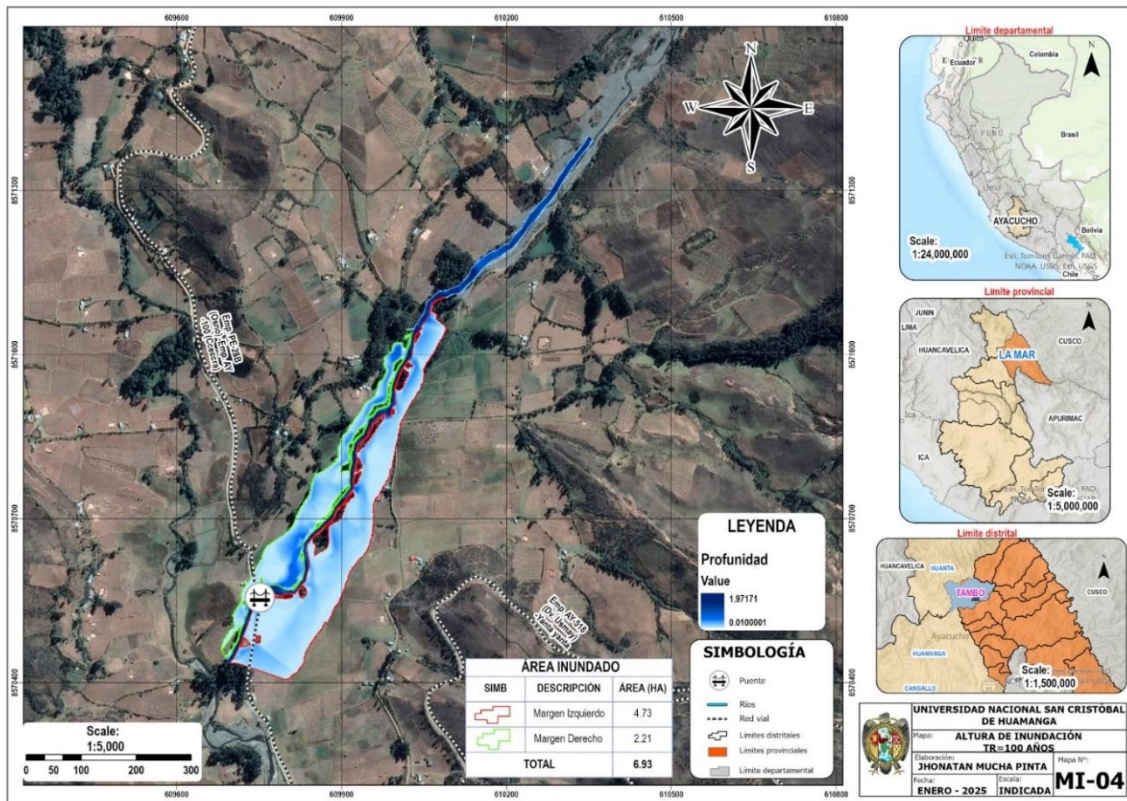
3.3. Estimación de los tirantes máximos de agua para identificar áreas de inundación aguas arriba del puente Chipichaca del río Occoro

Según Gutierrez et al. (2022) en su investigación realizada de "Modelación hidráulica en iber para prevención de inundaciones de la cuenca Tesechoacán" obtuvo un resultado de tirantes máximos de 7.45 m.

En la investigación realizada del río Occoro se obtuvo la profundidad de los tirantes máximos de $y = 1.97$ m, los cuales causa la inundación en las áreas agrícolas del margen derecho e izquierdo del río Occoro.

Figura 25

Mapa de tirantes máximos



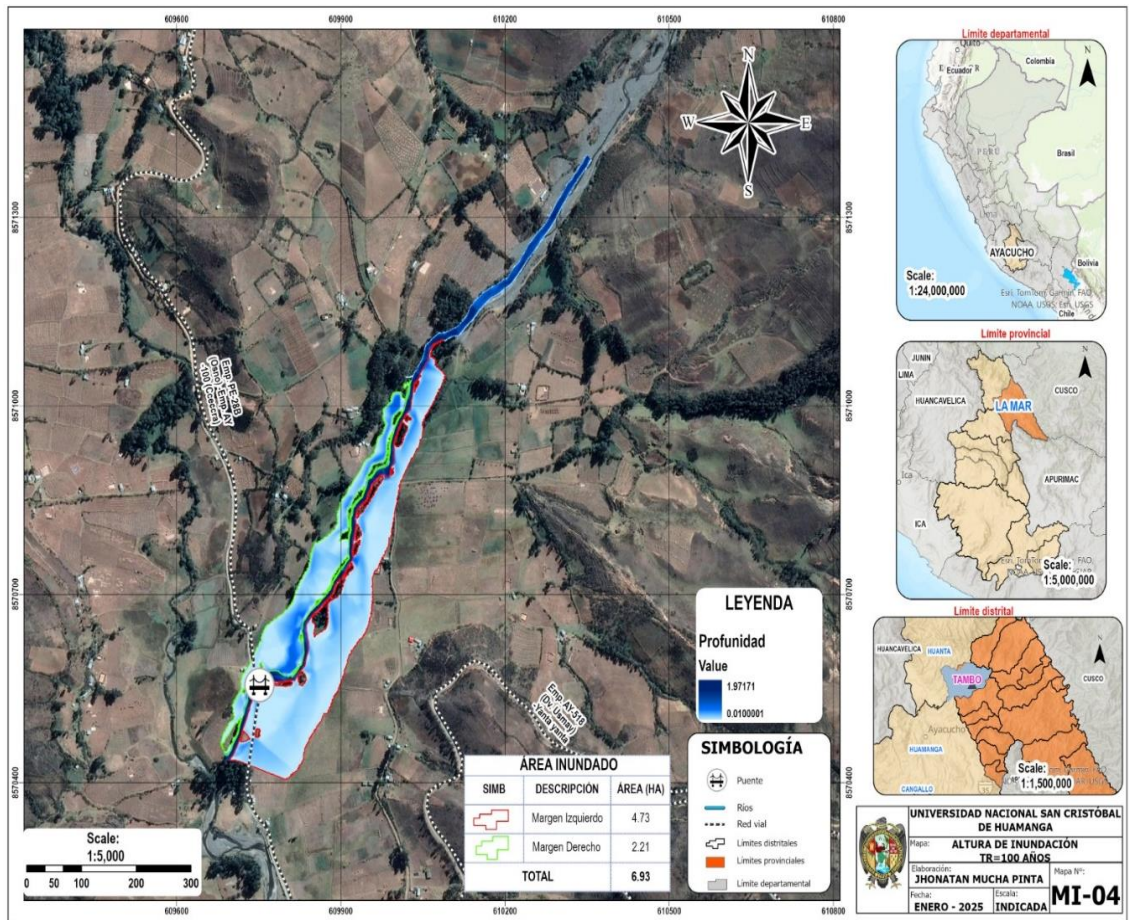
3.4. Identificación de áreas agrícolas inundables para periodo de retorno de 100 años aguas arriba del puente Chipichaca del rio Occoro

Según Gutierrez et al. (2022) en su investigación realizada de "Modelación hidráulica en iber para prevención de inundaciones de la cuenca Tesechoacán" obtuvo un resultado de una superficie de 29027.24 Ha inundada.

En la investigación realizada se obtuvo las áreas afectadas por la inundación tanto en el margen derecho un área de 2.21 Ha y en el izquierdo un área de 4.73 Ha, con un área total de 6.94 Ha.

Figura 26

Mapa de áreas agrícolas inundadas



CONCLUSIONES

1. La estimación de la precipitación máxima de 24 horas para la cuenca del río Occoro se llevó a cabo utilizando datos hidrológicos provenientes de estaciones cercanas, como Huanta, Quinoa, Luricocha y San Miguel. A través de un proceso de regionalización, se logró determinar las precipitaciones máximas específicas para la cuenca. Posteriormente, se realizó un análisis exhaustivo de estas precipitaciones, lo que permitió calcular el hietograma correspondiente a un período de retorno de 100 años.

Este enfoque no solo proporciona un fundamento sólido para la evaluación del riesgo de inundación en la zona, sino que también resalta la importancia de integrar datos de múltiples fuentes.
2. Se identificaron y caracterizaron las zonas de inundación en el tramo del río Occoro, donde se encuentran predios dedicados a la producción de pastos, maíz, papa y actividades ganaderas realizadas por los habitantes locales. Se estimaron caudales máximos para un período de retorno de 100 años, alcanzando un valor de 33.5 m³/s, que genera inundaciones aguas arriba del puente Chipichaca. Este caudal será procesado con el software IBER, lo que permitirá simular escenarios de inundación y facilitar la toma de decisión.
3. Se estimaron los tirantes máximos de agua para identificar las áreas de inundación ubicadas aguas arriba del puente Chipichaca, en el río Occoro, mediante un modelamiento hidráulico en Iber 2D. Los resultados obtenidos indicaron un tirante máximo de 1.97 m, lo cual genera una inundación asociada a un periodo de retorno de 100 años.

4. Se logró identificar las áreas agrícolas susceptibles a inundación para un período de retorno de 100 años, ubicadas aguas arriba del puente Chipichaca, en el río Occoro. A través del análisis realizado, se consideran que, en el margen derecho del río, el área inundable es de 2.21 hectáreas, mientras que en el margen izquierdo se presenta una extensión mayor, con 4.73 hectáreas de terreno afectado. Estos resultados permiten una mejor comprensión de los riesgos asociados a inundaciones en la zona agrícola, lo que es fundamental para la planificación territorial y la implementación de medidas de protección en estas áreas. Además, la información obtenida puede ser utilizada para el diseño de estrategias de manejo de recursos hídricos y prevención de daños en cultivos, contribuyendo a la resiliencia de la comunidad agrícola frente a un evento.

RECOMENDACIONES

1. Se sugiere a la municipalidad distrital de Tambo y a las autoridades competentes la creación de un sistema integral de monitoreo que incluyen estaciones de medición de precipitaciones y caudales en tiempo real a lo largo de la cuenca del río Occoro. Esto permitirá la recolección de datos precisos y actualizados, facilitando la anticipación de eventos climáticos extremos y la implementación de medidas de respuesta adecuadas.
2. Se propone el desarrollo de un programa integral de gestión de inundaciones que utilice el caudal máximo estimado de 33.5 m³/s, procesado a través del software IBER para simular escenarios de inundación en el tramo del río Occoro. Esto puede incluir la construcción de infraestructura estructural y no estructural como drenaje adecuado, como canales y diques, y la implementación de prácticas de uso sostenible del suelo que reduzcan la vulnerabilidad de las tierras agrícolas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Araque, M., Vásconez, M., Mancheno, A., Álvarez, C., Prehn, C., Cevallos, C., & Ortiz, L. (2019). *Cuencas hidrográficas* (1era ed.). Universidad Politécnica Salesiana. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19038/1/Cuencas%20hidrogr%C3%A1ficas.pdf>
- Bladé, E., Cea, L., Corestein, G., Escolano, E., Puertas, J., Vázquez Cendón, E., . . . Coll, A. (marzo de 2014). *Abstract Keywords Introducción DOI: 10.1016/j.rimni.2012.07.004 Open Access Iber: herramienta de simulación numérica del flujo en ríos*. Recuperado el 10 de 01 de 2025, de Elsevier: <https://www.elsevier.es/es-revista-revista-internacional-metodos-numericos-calculo-338-articulo-iber-herramienta-simulacion-numerica-del-S0213131512000454>
- Bolívar, B., & Gustavo, E. (2020). *Modelamiento hidrológico e hidráulico bidimensional del río marañón sector puente Tingo Chico. Carretera Huánuco – Conococha*. Recuperado el 10 de 01 de 2025, de Universidad Nacional Agraria La Molina: <https://repositorio.lamolina.edu.pe/items/b99e361c-2d03-45f2-9f2e-946a0fdd839b>
- Caicedo, M., Cabrera, E., Zambrano, X., Rodríguez, M., & Intriago, P. (2021). *Estudio de características morfológicas de la cuenca “Cañitas” y su relación con el riesgo de inundaciones repentinas*. Recuperado el 26 de Octubre de 2024, de SciELO México: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-78902021000400022
- Díez, A., Llorente, M., Ballesteros, J., & Ruiz, V. (2009). Riesgos por avenidas e inundaciones fluviales. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 254-263. Obtenido de <https://www.raco.cat/index.php/ECT/article/download/199928/267371>
- Ferrufino, M. (2015). *Ríos*. Recuperado el 09 de 01 de 2025, de Academia: <https://www.academia.edu/15617405/RIOS>
- Gámez, W. (2010). *Texto básico de Hidrología*. Obtenido de <https://cenida.una.edu.ni/textos/np10g192.pdf>

- Gámez, W. (2015). *Texto básico autoformativo de topografía general*. David López. Obtenido de <https://repositorio.una.edu.ni/3179/1/NP31G192t.pdf>
- García, D. (2019). *Modelado hidráulico del río Amojú aplicando el software Iber para zonificar áreas inundables en la ciudad de Jaén, Perú*. Recuperado el 7 de diciembre de 2024, de <https://repositorio.unj.edu.pe/handle/UNJ/228>
- García, R., & Conesa, C. (2011). *Estimación de caudales de avenidas y delimitaciones de áreas inundables mediante métodos hidrometeorológicos e hidráulicos y técnicas S.I.G., estudio aplicado al litoral sur de la región de Murcia*. España: Papeles de Geografía.
- Guerra, A. (10 de 01 de 2022). Zonas inundables y límites a los usos urbanísticos. *Actualidad Jurídica Ambiental*. Obtenido de <https://www.actualidadjuridicaambiental.com/wp-content/uploads/2022/01/2021-02-01-Guerra-Zonas-inundables.pdf>
- Gutierrez, J., Rubiños, J., Fernandez, D., Ramírez, C., Roblero, R., Gutierrez, G., & Romero, M. (2022). *Modelación hidráulica en Iber para prevención de inundaciones en la cuenca Tesechoacán*. México: Revista Mexica.
- Ibáñez, S., Moreno, H., & Gisbert, J. (2015). *Morfología de las cuencas hidrográficas*. Recuperado el 20 de Octubre de 2024, de RiuNet: <https://m.riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/10782/Morfolog%C3%ADa%20de%20una%20cuena.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Iber. (13 de 06 de 2012). *Modelización bidimensional del flujo en lámina libre en aguas poco profundas*. Recuperado el 10 de 01 de 2025, de Iber 2D: https://ocw.camins.upc.edu/repositori/ocw/materials/250431/2024/Manual_Referencia_Hidraulico_Iber_v13.pdf
- Instituto Nacional de Defensa Civil, (INDECI). (2014). *Manual de estimación del riesgo ante inundaciones fluviales*. Recuperado el 01 de 12 de 2024, de <https://dimse.cenepred.gob.pe/simse/cenepred/docs/MAN-manual-evar-inundac-fluviales.pdf>
- Llocella, J. (2016). *Determinación del caudal máximo de avenida con fines de diseño del aliviadero de la presa Querobamba, Cangallo - Ayacucho - 2016*. Ayacucho - Perú: Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga.
- Martínez, H. (2018). *Evaluación hidrológica para la determinación de caudales máximos en la subcuena del río Sayacc, Vischongo - Vilcashuamán - Ayacucho, 2018*. Ayacucho - Perú: Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga.

- Martínez, J. (09 de 2019). *Principales causas y acciones clave para reducir los daños por inundaciones*. Recuperado el 01 de 12 de 2024, de <https://fnca.eu/comunicacion/prensa/notas-de-prensa-fnca?download=202:principales-causas-y-acciones-clave-para-reducir-los-danos-por-inundaciones>
- Méndez, W., Córdova, J., & Bravo, L. (2015). *Modelos predictivos de caudales máximos instantáneos para cuencas de drenaje de ambientes montañosos, sustentados en parámetros morfométricos*. Maracaibo - Venezuela: Revista técnica de la facultad de ingeniería universidad de Zulla.
- Ministerio de transportes y comunicaciones (MTC). (2011). Manual de hidrología, hidráulica y drenaje. Recuperado el 4 de 12 de 2024, de <https://www.gob.pe/>.
- Osío, M., Valencia, F. ..., Guevara, E., & Cartaya, H. (2000). Cálculo del coeficiente de rugosidad "N" De Manning en los grandes ríos de Venezuela. *Redalyc*, 7(2), 13. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/707/70770202.pdf>
- Pereyra, D., Pérez, J., & Salas, M. (2008). *Hidrología*. Recuperado el 27 de octubre de 2024
- Rincón, M., Vargas, W., & González, C. (2017). En *Topografía: Conceptos y aplicaciones* (pág. 28). Ecoe Ediciones. Obtenido de <https://www.ecoediciones.com/wp-content/uploads/2018/02/Topograf%C3%ADa-Conceptos-y-aplicaciones-ebook.pdf>
- Roa, J., & Kamp, U. (2008). *Modelos de elevación digital (MED) a partir de sistemas satelitales. Una introducción y análisis comparativo en la co*. Recuperado el 17 de Octubre de 2024, de Redalyc: <https://www.redalyc.org/pdf/3477/347730375002.pdf>
- Velasco, R., & Uribe, F. (2008). *La Hidrodinámica de Leonhard Euler*. Recuperado el 10 de 01 de 2025, de Miscelanea Matemática: https://miscelaneamatematica.org/download/tbl_articulos.pdf2.8856729d76d3bdf6.55726962652e706466.pdf
- Villazón, J., Noris, P., & Martín, G. (2 de June de 2021). *Determinación de la precipitación efectiva en áreas agropecuarias de la provincia de Holguín*. Recuperado el 30 de November de 2024, de SciELO Chile: <https://www.scielo.cl/pdf/idesia/v39n2/0718-3429-idesia-39-02-85.pdf>

Villegas, M. (2023). *Analisis de riesgo frente a inundaciones en la quebrada estanquillo con el modelo matemático iber, en el distrito de cerro colorado, Provincia de Arequipa, Departamento de Arequipa. Arequipa - Perú.*

ANEXOS

**1. DATOS DE LAS PRECIPITACIONES MÁXIMAS DE
LAS ESTACIONES UTILIZADAS**



ESTACIÓN METEOROLÓGICA HUANTA

ESTACION : HUANTA DISTRITO : HUANTA ALTITUD 2542 msnm
 CODIGO : 009 PROVINCIA : HUANTA LATITUD 12°55'38.70" S
 DEPARTAMENT. : AYACUCHO LONGITUD 74°16'5.80" O

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1992	26.5	19.7	25.3	15.6	22.0	6.3	13.4	9.1	12.7	10.3	15.1	21.0	26.50
1993	30.0	31.7	24.5	27.7	22.0	6.3	9.3	8.7	11.4	11.7	20.7	19.1	31.70
1994	29.6	31.7	22.5	27.7	11.9	5.2	9.3	8.4	13.6	10.6	25.4	20.1	31.70
1995	27.70	51.60	22.90	20.70	17.60	4.80	10.40	8.10	10.80	11.30	26.70	20.20	51.60
1996	26.40	29.50	25.80	26.20	17.30	4.70	7.20	9.90	12.80	14.90	19.20	21.50	29.50
1997	30.60	38.70	21.30	27.70	26.50	3.20	5.20	10.00	9.20	12.30	23.80	19.50	38.70
1998	35.40	39.70	21.80	34.30	8.60	7.80	5.20	9.30	10.10	12.80	30.20	17.40	39.70
1999	28.80	39.70	24.40	42.60	22.00	6.30	13.40	8.90	3.90	10.80	15.10	21.20	42.60
2000	30.80	33.00	23.00	17.50	35.30	5.80	12.00	8.80	11.20	12.70	18.80	20.70	35.30
2001	21.00	22.00	24.00	18.70	15.20	26.00	12.00	11.70	10.00	5.50	12.10	11.40	26.00
2002	8.20	19.80	20.00	8.90	5.20	1.40	13.10	7.80	8.20	10.80	22.70	22.70	22.70
2003	21.10	26.10	29.10	12.10	4.00	2.10	0.00	7.80	8.00	7.80	10.10	32.50	32.50
2004	11.00	25.20	15.60	3.10	4.90	4.00	10.10	9.00	14.10	7.00	8.40	16.00	25.20
2005	17.10	25.10	55.10	8.00	5.10	0.00	4.00	0.00	1.10	10.10	13.10	16.10	55.10
2006	28.10	16.30	9.20	20.20	0.00	5.00	0.00	2.00	7.00	8.20	10.00	11.20	28.10
2007	18.40	16.00	24.70	4.00	4.10	0.00	4.00	1.00	2.00	25.00	11.10	18.00	25.00
2008	15.90	20.60	4.60	1.90	9.70	4.50	0.00	0.00	2.80	6.40	9.60	10.90	20.60
2009	21.50	18.50	30.10	16.80	14.10	1.10	4.60	2.80	3.50	6.70	4.60	9.60	30.10
2010	21.80	12.60	14.80	9.60	0.00	0.00	0.00	2.60	3.40	10.60	10.00	22.00	22.00
2011	22.60	20.40	9.10	8.70	3.00	0.20	0.80	0.20	6.50	21.10	12.70	17.10	22.60
2012	12.20	21.60	10.40	7.60	3.80	3.90	3.50	3.80	17.80	9.40	7.80	15.40	21.60
2013	24.20	27.10	14.30	33.20	2.20	1.60	1.00	34.10	7.10	21.60	24.70	22.40	34.10
2014	18.00	23.40	12.40	6.60	3.20	1.00	4.00	4.00	7.00	17.10	19.00	21.50	23.40
2015	17.00	13.00	20.00	8.90	0.00	10.00	11.50	17.20	2.10	13.00	12.10	36.10	36.10
2016	13.10	24.10	14.10	10.10	4.10	10.00	3.10	17.20	15.10	13.00	8.10	15.00	24.10
2017	21.20	25.90	27.70	13.40	5.50	0.00	0.00	6.90	6.20	15.90	18.30	9.20	27.70
2018	14.90	31.20	19.20	6.00	8.20	2.80	9.60	14.10	0.00	0.00	0.00	0.00	31.20

2. PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE DE LA ESTACIÓN REGIONALIZADO

Árbol de proyecto		Gráficos	Resumen	Bondad de ajuste			
<ul style="list-style-type: none"> Tablas de datos Resultados <ul style="list-style-type: none"> Fit1 Fit2 Fit3 Fit4 							
Bondad de ajuste - Resumen							
#	Distribución	Kolmogorov Smirnov		Anderson Darling		Chi-cuadrado	
		Estadística	Rango	Estadística	Rango	Estadística	Rango
12	Pert	0.063367628	1	0.2346480478	1	1.678501928	2
11	Normal	0.064340795	2	0.2848559244	2	1.208406481	1
5	Gamma	0.070241391	3	0.3091950631	3	3.052841778	6
8	Log-Pearson 3	0.0703952143	4	0.3162876969	4	3.100435893	7
1	Chi-Squared	0.0714450791	5	0.4536290208	9	1.954976499	3
2	Chi-Squared (2P)	0.0715430501	6	0.3775772507	7	2.752155657	5
10	Lognormal (3P)	0.0725888927	7	0.3385505912	5	4.174837063	11
6	Gamma (3P)	0.074057412	8	0.3699807132	6	3.963496654	10
9	Lognormal	0.0753338146	9	0.3986572068	8	3.958042591	9
7	Log-Gamma	0.0763998382	10	0.4591007958	10	2.146039652	4
4	Frechet (3P)	0.0856017151	11	0.5215010049	11	3.109866119	8
3	Frechet	0.1415900548	12	1.433002294	12	5.004961865	12
13	Power Function	0.1537192519	13	6.390836315	13	N/A	

Bondad de ajuste - Detalles [\[ocultar\]](#)

Normal [#11]					
Kolmogorov-Smirnov					
Tamaño de la muestra	53				
Estadística	0.06434				
Valor P	0.97064				
Rango	2				
α	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Valor crítico	0.14423	0.16483	0.18311	0.20475	0.21968
Rechazar?	No	No	No	No	No
Anderson-Darling					
Tamaño de la muestra	53				
Estadística	0.28486				
Rango	2				
α	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Valor crítico	1.3749	1.9286	2.5018	3.2892	3.9074
Rechazar?	No	No	No	No	No
Chi-cuadrado					
Grados de libertad	5				
Estadística	1.2084				
Valor P	0.94407				
Rango	1				
α	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Valor crítico	7.2893	9.2364	11.07	13.388	15.086
Rechazar?	No	No	No	No	No

StatAssist

Archivo Ver Ayuda

f F S h H | Normal

Gráficos Cálculos Probabilidades

Propiedades

Dominio Continuo

Min -INF

Max +INF

Moda 27.11886792

Media 27.11886792

Varianza 39.47819869

Desv. est. 6.283167887

Coef. de var. 0.2316899033

Asimetría 0

Curtosis 0

Funciones

x 0

Densidad 5.721770910E-6

Densidad acum. 7.940004990E-6

Supervivencia 0.99999206

Riesgo 5.721816341E-6

Riesgo acum. 7.940036512E-6

Función de distribución inversa

P 0.999

x(P) 46.53531631

Parámetros

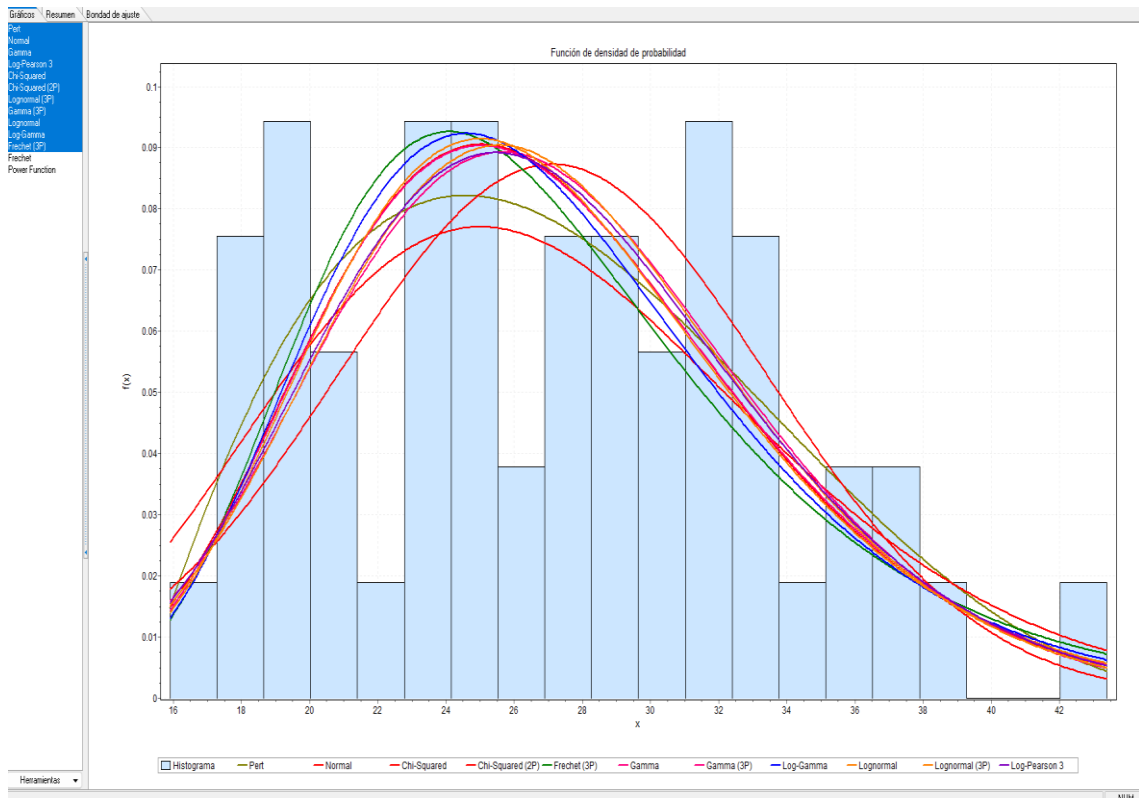
σ 6.283167887

μ 27.11886792

✓ Aplicar ↻ Restab.

Delimitadores

Límites



3. CURVAS IDF

Caudales máximos para diferentes periodos de retorno para una distribución Normal			
TR (años)	Probabilidad de Excedencia P = F(x)	Probabilidad de no Excedencia 1-F(x)	Z
2	0.500	0.500	27.12
5	0.200	0.800	32.41
10	0.100	0.900	35.17
25	0.040	0.960	38.12
50	0.020	0.980	40.02
100	0.010	0.990	41.74
150	0.007	0.993	42.56
200	0.005	0.995	43.30
500	0.002	0.998	45.20

Modelo de Dick Peschke									
Duración (Minutos)	Precipitación en 24 horas (mm)								
	27.12	32.41	35.17	38.12	40.02	41.74	42.56	43.30	45.20
	Periodo de Retorno (Años)								
	2	5	10	25	50	100	150	200	500
	Precipitación (mm)								
5	6.58	7.87	8.54	9.25	9.72	10.13	10.33	10.51	10.97
10	7.83	9.36	10.15	11.00	11.55	12.05	12.29	12.50	13.05
15	8.66	10.35	11.24	12.18	12.79	13.33	13.60	13.83	14.44
20	9.31	11.13	12.07	13.09	13.74	14.33	14.61	14.87	15.52
25	9.84	11.76	12.77	13.84	14.53	15.15	15.45	15.72	16.41
30	10.30	12.31	13.36	14.48	15.21	15.86	16.17	16.45	17.17
35	10.71	12.80	13.89	15.05	15.80	16.48	16.80	17.10	17.85
40	11.07	13.23	14.36	15.56	16.34	17.04	17.37	17.68	18.45
45	11.40	13.63	14.79	16.03	16.83	17.55	17.89	18.21	19.01
50	11.71	13.99	15.18	16.45	17.28	18.02	18.37	18.69	19.51
55	11.99	14.33	15.55	16.85	17.69	18.45	18.81	19.14	19.98
60	12.25	14.64	15.89	17.22	18.08	18.86	19.23	19.56	20.42
120	14.57	17.41	18.90	20.48	21.50	22.42	22.87	23.27	24.29
180	16.12	19.27	20.91	22.67	23.80	24.82	25.31	25.75	26.88
240	17.33	20.71	22.47	24.36	25.57	26.67	27.19	27.67	28.88
300	18.32	21.89	23.76	25.75	27.04	28.20	28.75	29.26	30.54
360	19.18	22.92	24.87	26.95	28.30	29.51	30.09	30.62	31.96
420	19.93	23.82	25.85	28.01	29.41	30.67	31.28	31.82	33.22
480	20.61	24.62	26.72	28.96	30.41	31.71	32.34	32.90	34.35
540	21.22	25.36	27.52	29.83	31.32	32.66	33.30	33.89	35.37
600	21.79	26.04	28.26	30.63	32.16	33.53	34.19	34.79	36.32
660	22.31	26.66	28.94	31.36	32.93	34.34	35.02	35.63	37.19
720	22.80	27.25	29.58	32.05	33.66	35.10	35.79	36.41	38.01
780	23.27	27.80	30.17	32.70	34.34	35.80	36.51	37.15	38.78
840	23.70	28.32	30.74	33.31	34.98	36.47	37.19	37.84	39.50
900	24.11	28.81	31.27	33.89	35.59	37.11	37.84	38.50	40.19
960	24.50	29.28	31.78	34.44	36.16	37.71	38.46	39.13	40.85
1020	24.88	29.73	32.27	34.97	36.72	38.29	39.04	39.73	41.47
1080	25.24	30.16	32.73	35.47	37.25	38.84	39.60	40.30	42.07
1140	25.58	30.57	33.18	35.96	37.75	39.37	40.14	40.85	42.64
1200	25.91	30.96	33.60	36.42	38.24	39.88	40.66	41.37	43.19
1260	26.23	31.34	34.02	36.87	38.71	40.37	41.16	41.88	43.72
1320	26.54	31.71	34.41	37.30	39.16	40.84	41.64	42.37	44.23
1380	26.83	32.06	34.80	37.72	39.60	41.29	42.11	42.84	44.72
1440	27.12	32.41	35.17	38.12	40.02	41.74	42.56	43.30	45.20

HIETOGRAMA DE PRECIPITACION DE DISEÑO

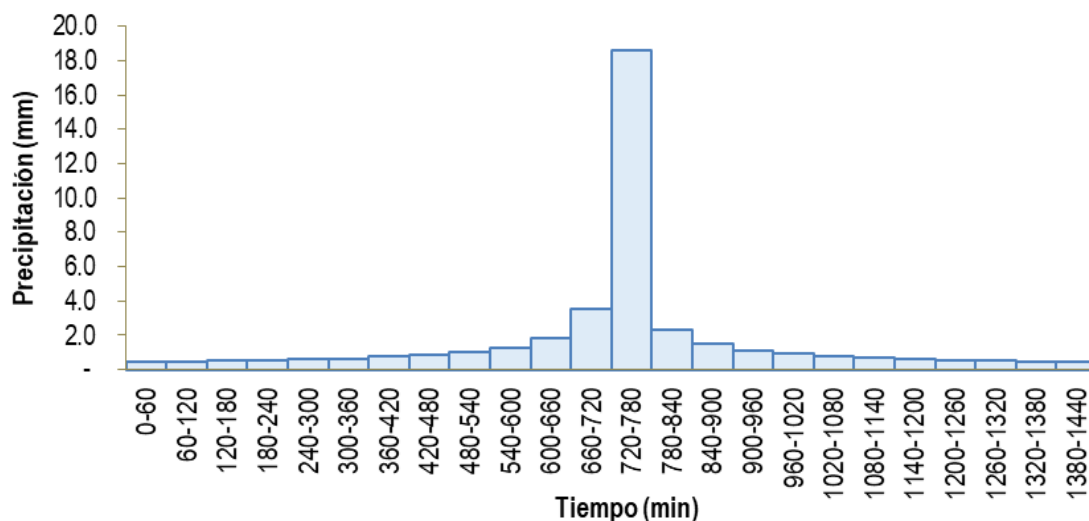
K = 269.479
T = 100
m = 0.0867
n = 0.750

$$I = \frac{269.479 \times T^{0.867}}{D^{0.750}}$$

METODO DEL BLOQUE ALTERNO

DURACION	INTENSIDAD	PROFUNDIDA ACUMULADA	PROFUNDIDAD INCREMENTAL	TIEMPO	PRECIPITACION
min	mm/hr	mm	mm	min	mm
60	18.632	18.632	18.632	0-60	0.436
120	11.078	22.157	3.525	60-120	0.467
180	8.174	24.521	2.364	120-180	0.502
240	6.587	26.349	1.829	180-240	0.544
300	5.572	27.861	1.512	240-300	0.596
360	4.860	29.160	1.299	300-360	0.662
420	4.329	30.306	1.146	360-420	0.746
480	3.917	31.335	1.029	420-480	0.861
540	3.586	32.271	0.936	480-540	1.029
600	3.313	33.132	0.861	540-600	1.299
660	3.085	33.931	0.799	600-660	1.829
720	2.890	34.677	0.746	660-720	3.525
780	2.721	35.378	0.701	720-780	18.632
840	2.574	36.040	0.662	780-840	2.364
900	2.444	36.667	0.627	840-900	1.512
960	2.329	37.263	0.596	900-960	1.146
1020	2.225	37.832	0.569	960-1020	0.936
1080	2.132	38.377	0.544	1020-1080	0.799
1140	2.047	38.899	0.522	1080-1140	0.701
1200	1.970	39.401	0.502	1140-1200	0.627
1260	1.899	39.885	0.484	1200-1260	0.569
1320	1.834	40.351	0.467	1260-1320	0.522
1380	1.774	40.802	0.451	1320-1380	0.484
1440	1.718	41.239	0.436	1380-1440	0.451

HIETOGRAMA DE PRECIPITACIÓN DE DISEÑO TR=100 AÑOS



4. PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS DE LA CUENCA

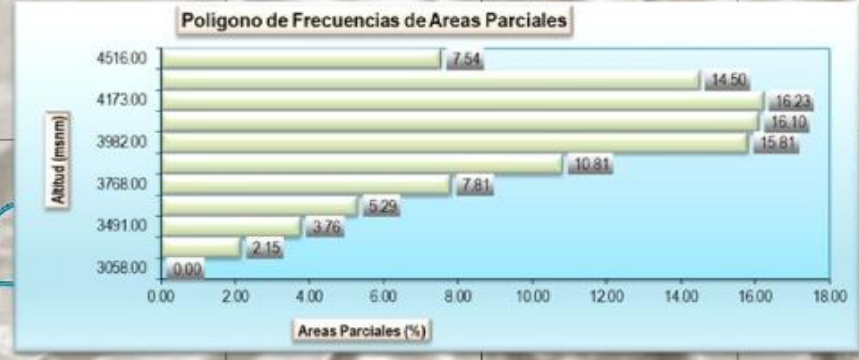
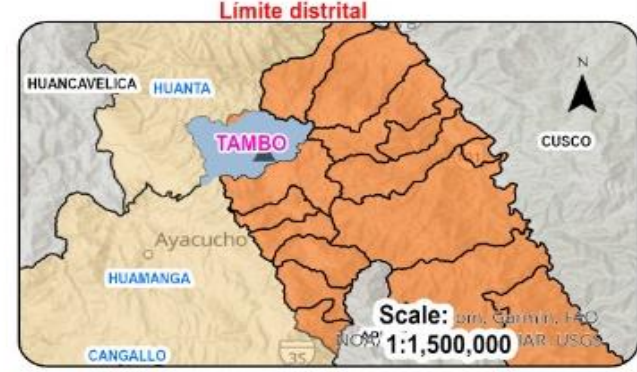
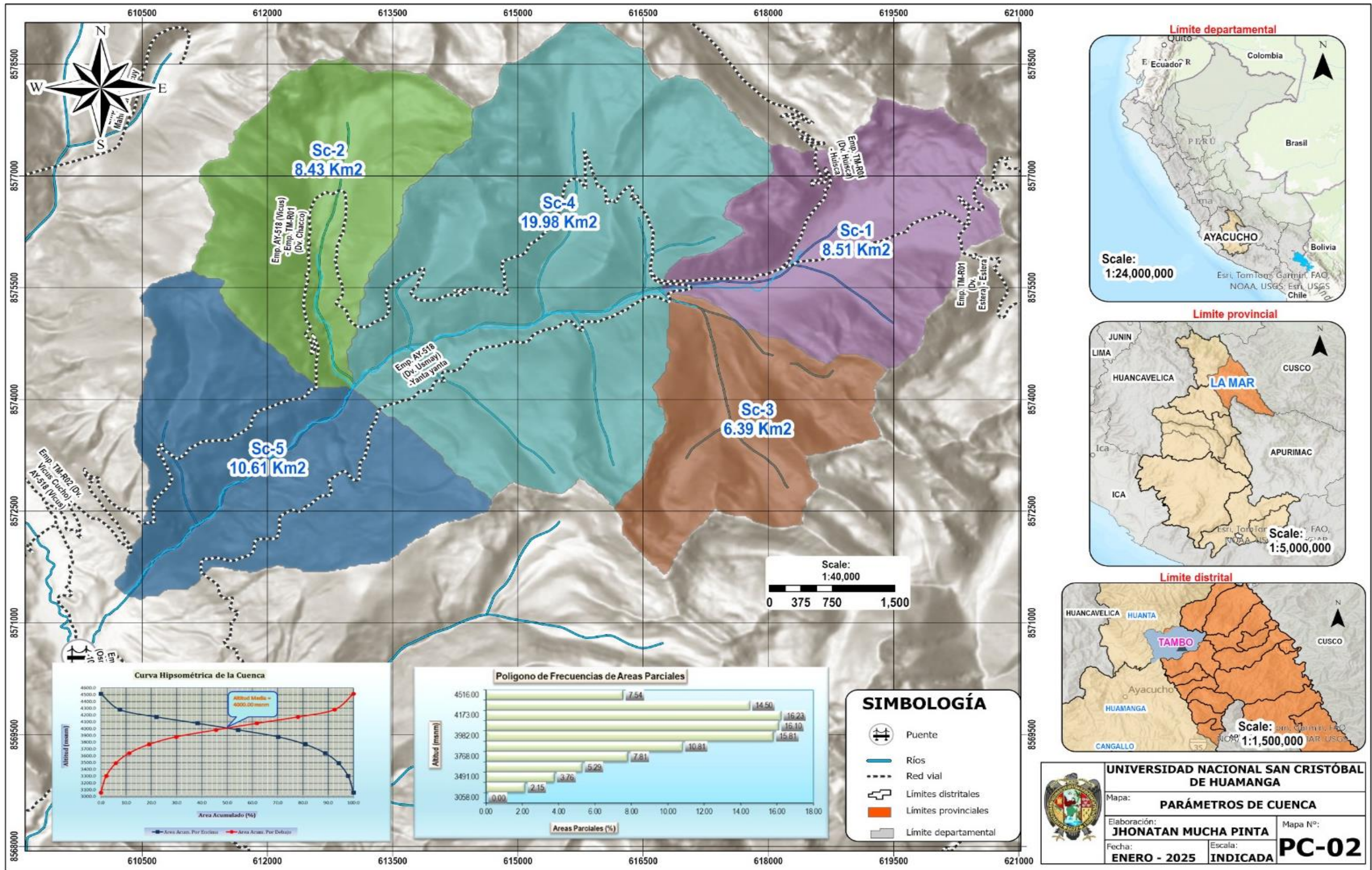
PARAMETROS			UNIDAD	MICROCUENCA	
AREA DE LA CUENCA			Km ²	53.93	
PERIMETRO			Km	46.77	
PARAMETROS DE FORMA	FACTOR DE CUENCA	Coefficiente de Compacidad (Gravelius)	1	1.80	
		FACTOR DE FORMA	Longitud (/al curso más largo)	Km	10.81
	Ancho Medio		Km	4.99	
	Radio de Circularidad		1	0.31	
	Factor de Forma		1	0.46	
	RECTANGULO EQUIVALENTE	Lado Mayor	Km	20.79	
		Lado Menor	Km	2.59	
	Longitud total de los ríos de diferentes grados	Orden 1	Km	10.81	
		Orden 2	Km	2.67	
	Altitud Máxima de la Cuenca			m.s.n.m.	4516.000
Altitud Mínima de la Cuenca			m.s.n.m.	3058	
Desnivel total de la Cuenca			Km	1.46	
Altitud de Frecuencia Media			m.s.n.m.	4000.00	
Altitud Media de la Cuenca			m.s.n.m.	4000.00	
Altura Máxima del cauce			m.s.n.m.	3906.000	
Altura más frecuente			m.s.n.m.	3980 - 4280	
Pendiente de la cuenca (sist. del rectángulo equivalente)			%	6.95	
Tipo de corriente			-	Perenne	
Densidad de drenaje			Km/Km2	0.25	
Pendiente media del río principal			m/m	0.1425	
Altura Máxima del cauce			m.s.n.m.	3906	
Altitud Mínima del cauce			m.s.n.m.	3058.000	
Tiempo de concentracion			Hr.	1.001	
Grado de ramificacion			-	2°	
Cálculo de la Densidad de Drenaje			Km/Km2	0.25	
Frecuencia de los Ríos			-	0.037	
Escurrimiento Superficial			-	1.0001	
PARAMETROS DE RELIEVE					
PARAMETROS DE LA RED					

5. TRABAJOS DE FASE CAMPO





**6. MAPAS DE MODELAMIENTO HIDRÁULICO
DEL RIO OCCORO**



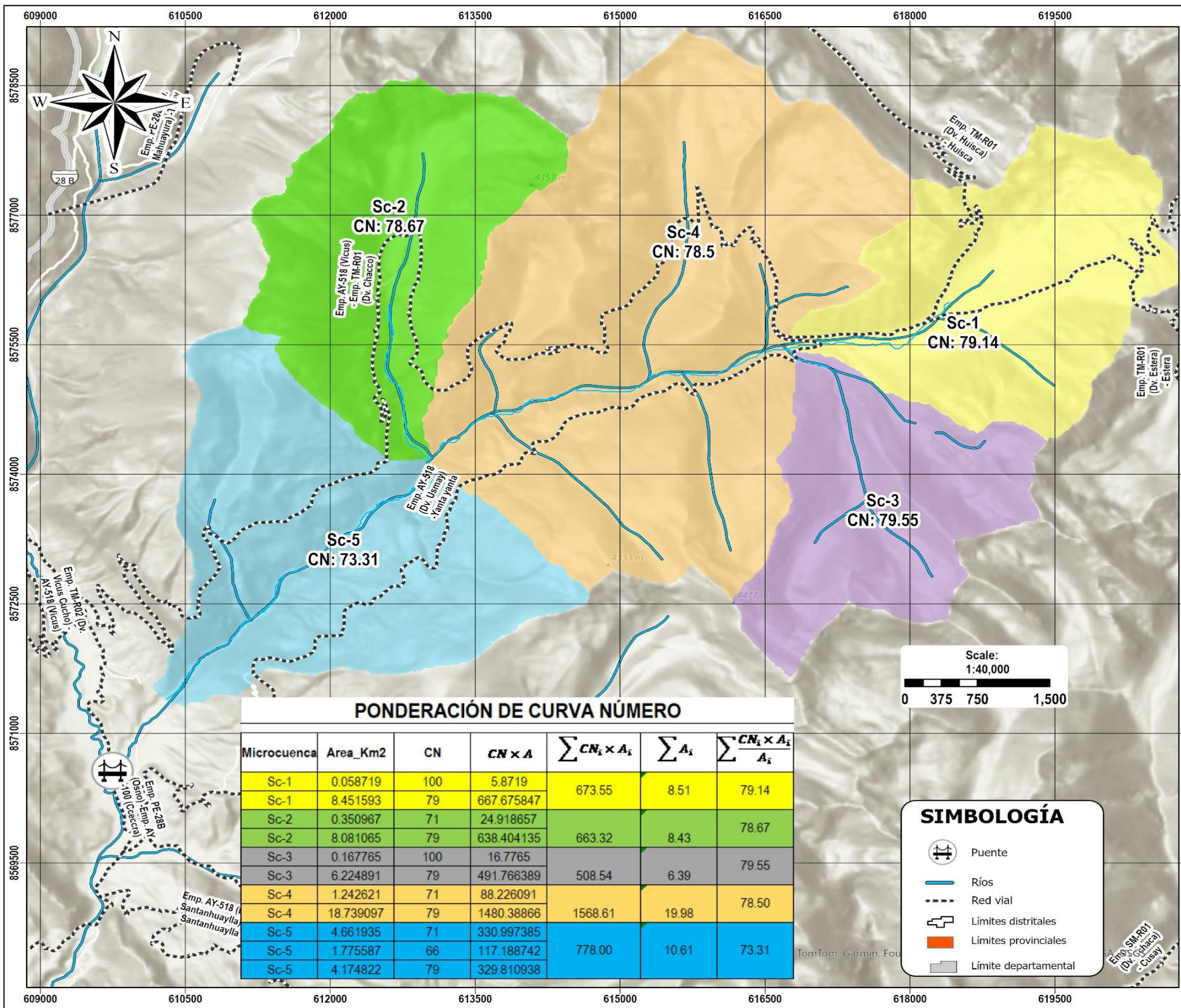
- SIMBOLOGÍA**
- +— Puente
 - Ríos
 - - - Red vial
 - Límites distritales
 - Límites provinciales
 - Límite departamental

UNIVERSIDAD NACIONAL SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA

Mapa: **PARÁMETROS DE CUENCA**

Elaboración: **JHONATAN MUCHA PINTA** Mapa N°: **PC-02**

Fecha: **ENERO - 2025** Escala: **INDICADA**

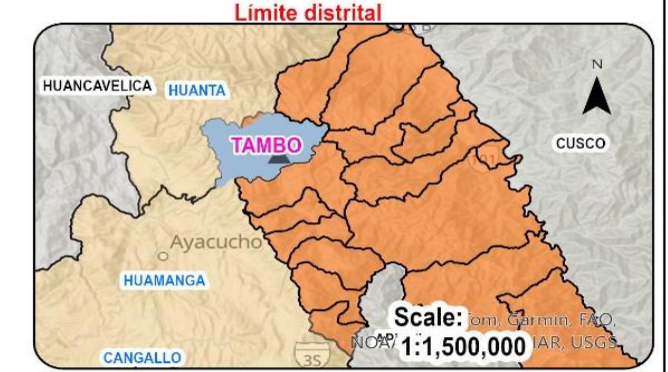


PONDERACIÓN DE CURVA NÚMERO

Microcuenca	Area_Km2	CN	CN x A	$\sum CN_i \times A_i$	$\sum A_i$	$\sum \frac{CN_i \times A_i}{A_i}$
Sc-1	0.058719	100	5.8719	673.55	8.51	79.14
Sc-1	8.451593	79	667.675847			
Sc-2	0.350967	71	24.918657	663.32	8.43	78.67
Sc-2	8.081065	79	638.404135			
Sc-3	0.167765	100	16.7765	508.54	6.39	79.55
Sc-3	6.224891	79	491.766389			
Sc-4	1.242621	71	88.226091	1568.61	19.98	78.50
Sc-4	18.739097	79	1480.38866			
Sc-5	4.661935	71	330.997385	778.00	10.61	73.31
Sc-5	1.775587	66	117.188742			
Sc-5	4.174822	79	329.810938			

SIMBOLOGÍA

- Puente
- Ríos
- Red vial
- Límites distritales
- Límites provinciales
- Límite departamental

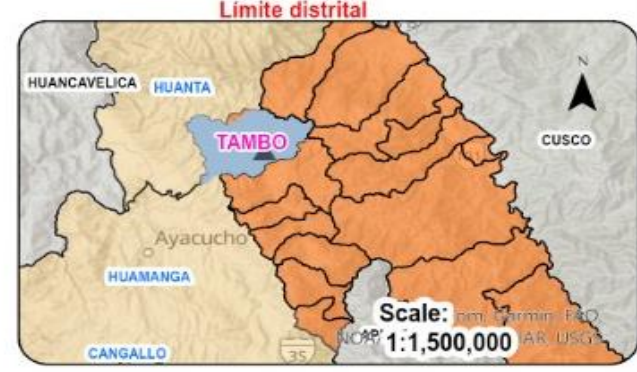
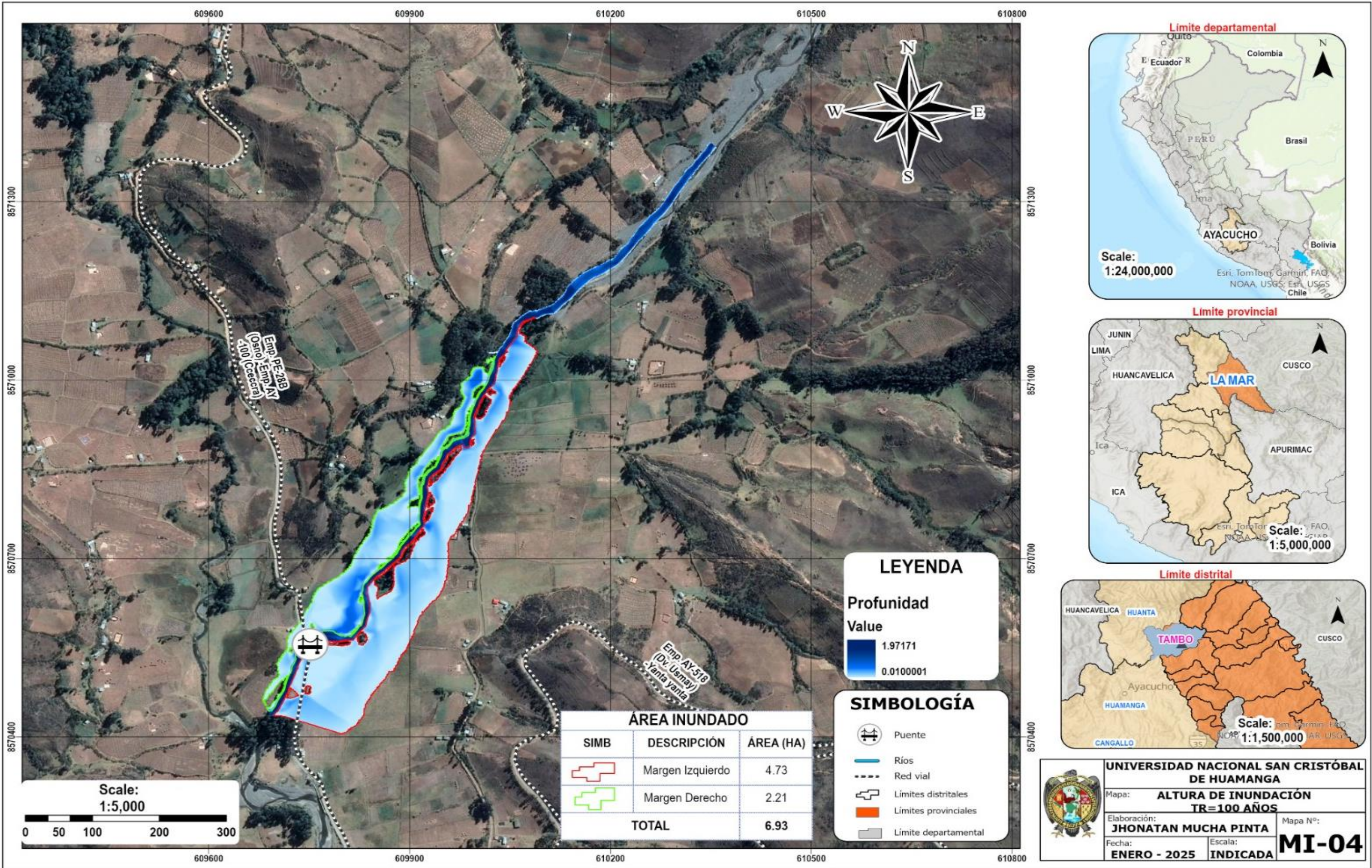


UNIVERSIDAD NACIONAL SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA

Mapa: **CURVA NÚMERO**

Elaboración: **JHONATAN MUCHA PINTA** Mapa N°: **PC-03**

Fecha: **ENERO - 2025** Escala: **INDICADA**



ÁREA INUNDADO		
SIMB	DESCRIPCIÓN	ÁREA (HA)
	Margen Izquierdo	4.73
	Margen Derecho	2.21
TOTAL		6.93

LEYENDA

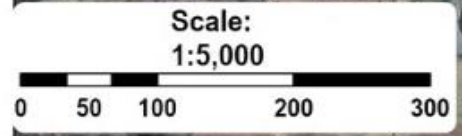
Profundidad

Value

	1.97171
	0.0100001

SIMBOLOGÍA

- Puente
- Ríos
- Red vial
- Límites distritales
- Límites provinciales
- Limite departamental

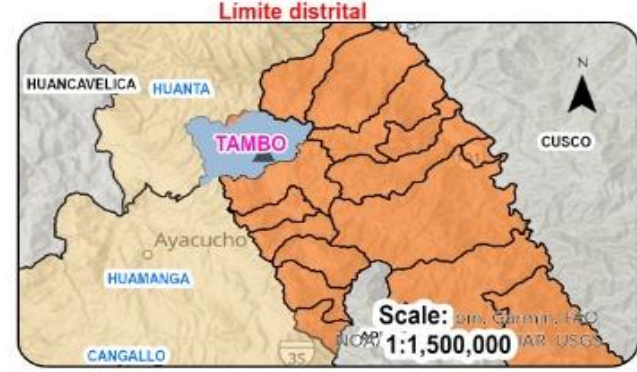
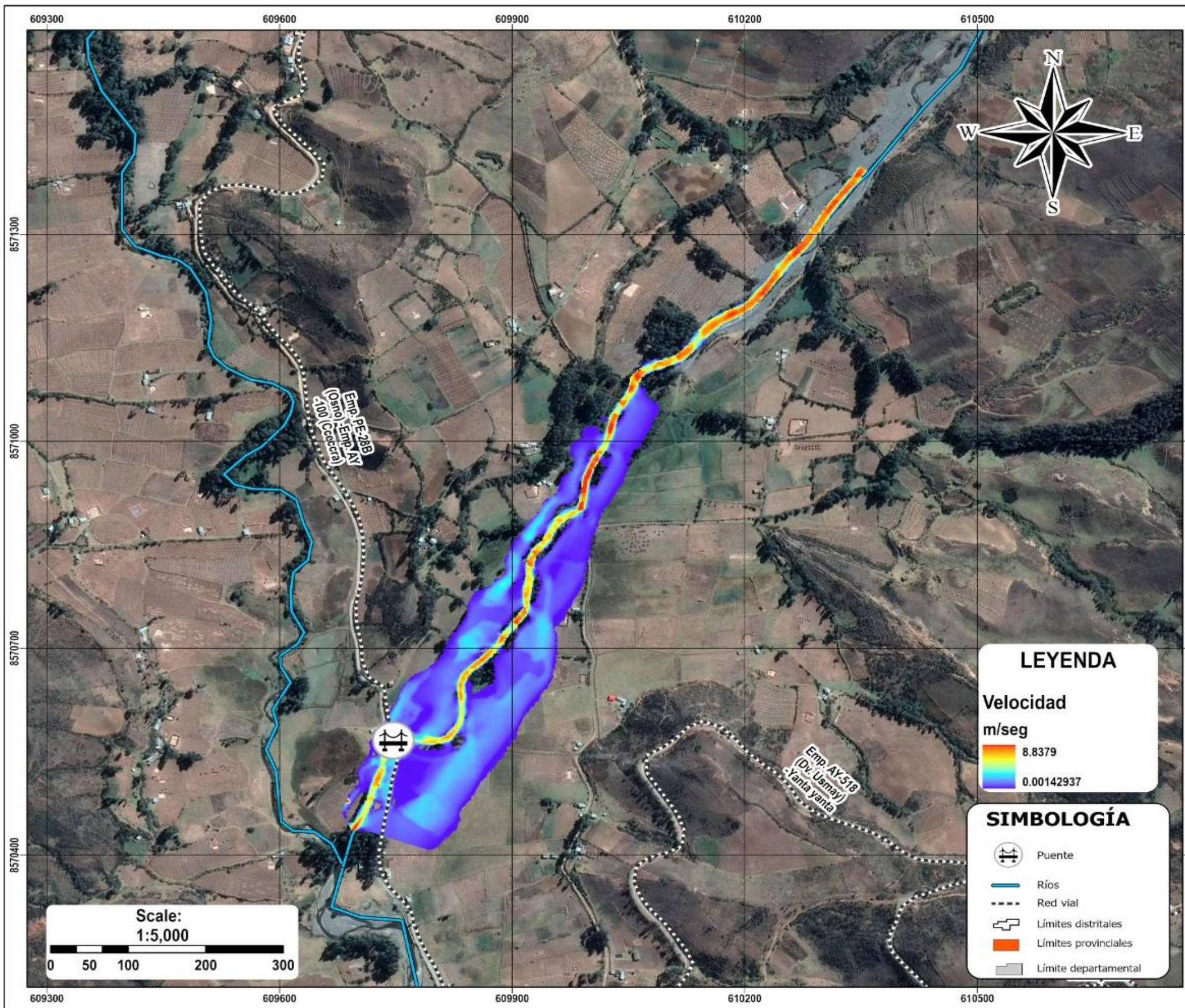


UNIVERSIDAD NACIONAL SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA

Mapa: **ALTURA DE INUNDACIÓN TR=100 AÑOS**

Elaboración: **JHONATAN MUCHA PINTA** Mapa N°: **MI-04**

Fecha: **ENERO - 2025** Escala: **INDICADA**

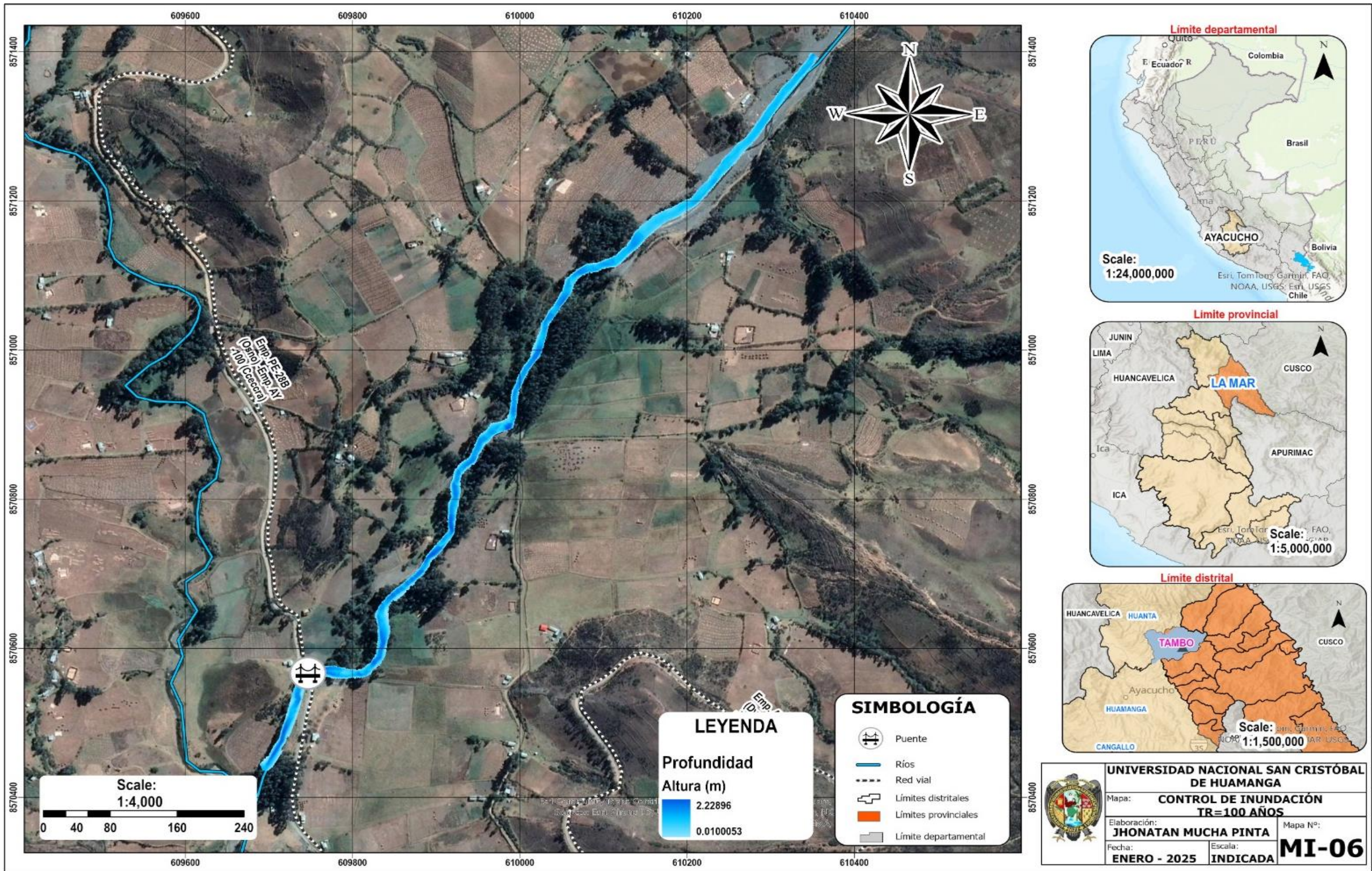


UNIVERSIDAD NACIONAL SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA

Mapa: **VELOCIDADES TR=100 AÑOS**

Elaboración: **JHONATAN MUCHA PINTA** Mapa N°: **MI-05**

Fecha: **ENERO - 2025** Escala: **INDICADA**





ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS
Bach. JHONATAN MUCHA PINTA
R.D. N° 049-2025-UNSCH-FCA-D

En la ciudad de Ayacucho a los tres días del mes de abril del año dos mil veinticinco, siendo las dieciocho horas, se reunieron en el auditorio de la Facultad de Ciencias Agrarias, bajo la presidencia del Dr. Felipe Escobar Ramírez Decano de la Facultad de Ciencias Agrarias; los miembros del jurado conformado por Dr. Juan Charapaqui Anccasi, Mtro. Richard Alex Oscco Peceros como asesor y el Ing. Efraín Chuchón Prado; actuando como secretario de actas el Mtro. Rodolfo Alca Mendoza, para recibir la sustentación de la Tesis titulado: **Modelamiento hidráulico con IBER 2D para identificar áreas inundables aguas arriba del puente Chipichaca del río Occoro, Tambo - La Mar - Ayacucho, 2024**, para obtener el Título Profesional de Ingeniero Agrícola presentado por el Bachiller **JHONATAN MUCHA PINTA**.

El señor Decano previa verificación de los documentos exigidos solicitó se proceda con la sustentación y posterior defensa de la tesis en un periodo de cuarenta y cinco minutos de acuerdo al reglamento de grados y títulos vigente. Terminado la exposición, los miembros del Jurado, formularon sus preguntas, aclaraciones y/o observaciones correspondientes. Luego se invito a los miembros del jurado pasar a otra aula para la deliberacion y calificación del trabajo de tesis, teniendo el siguiente resultado:

Jurado evaluador	Exposición	Respuestas a las preguntas	Generación de conocimiento	Promedio
Dr. Juan Charapaqui Anccasi	15	14	14	14
Mtro. Richard Alex Oscco Peceros	16	16	16	16
Ing. Efraín Chuchón Prado	14	14	14	14
PROMEDIO GENERAL				15

Acto seguido se invita al sustentante y publico en general para dar a conocer el resultado final. Firman el acta.

Dr. Juan Charapaqui Anccasi
Presidente

Mtro. Richard Alex Oscco Peceros
Asesor

Ing. Efraín Chuchón Prado
Jurado

Mtro. Rodolfo Alca Mendoza
Secretario Docente



UNSCH

FACULTAD DE CIENCIAS
AGRARIAS

CONSTANCIA DE CONTROL DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE TESIS

El que suscribe, miembro de la comisión de docentes instructores responsables de operativisar, verificar, garantizar y controlar la originalidad de los trabajos de **TESIS** de la Facultad de Ciencias Agrarias, de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, autorizado por la R.C.F. N° 005-2024-UNSCH-FCA-CF; hace constar que el trabajo titulado;

Modelamiento hidráulico con IBER 2D para identificar áreas inundables aguas arriba del puente Chipichaca del río Occoro, Tambo - La Mar - Ayacucho, 2024

Autor : Jhonatan Mucha Pinta

Asesor : Richard Alex Oscoco Peceros

Ha sido sometido al control de originalidad mediante el software TURNITIN UNSCH, acorde al Reglamento de originalidad de trabajos de Tesis, aprobado mediante la RCU N° 039-2021-UNSCH-CU, arrojando un resultado de diecinueve por ciento (**19 %**) de índice de similitud, realizado con **depósito de trabajos estándar**.

En consecuencia, se otorga la presente Constancia de Originalidad para los fines pertinentes.

Nota: Se adjunta el resultado con Identificador de la entrega: 2648028433

Ayacucho, 16 de abril de 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DE
SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
Facultad de Ciencias Agrarias

Ing. Edgar Tenorio Mancilla
Coordinador de Control de originalidad de
trabajo de Investigación y tesis - FCA

Modelamiento hidráulico con IBER 2D para identificar áreas inundables aguas arriba del puente Chipichaca del río Occoro, Tambo - La Mar - Ayacucho, 2024

por Jhonatan Mucha Pinta

Fecha de entrega: 16-abr-2025 10:32a.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2648028433

Nombre del archivo: Mucha_TESIS_OK_JMP.pdf (7.59M)

Total de palabras: 18246

Total de caracteres: 83354

Modelamiento hidráulico con IBER 2D para identificar áreas inundables aguas arriba del puente Chipichaca del río Occoro, Tambo - La Mar - Ayacucho, 2024

INFORME DE ORIGINALIDAD

19%

INDICE DE SIMILITUD

21%

FUENTES DE INTERNET

7%

PUBLICACIONES

12%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	3%
2	repositorio.unj.edu.pe Fuente de Internet	2%
3	hdl.handle.net Fuente de Internet	2%
4	repositorio.udh.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	repositorio.unsch.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	docplayer.es Fuente de Internet	1%
8	repositorio.ucsm.edu.pe Fuente de Internet	1%

9	repositorio.unasam.edu.pe Fuente de Internet	1 %
10	repositorio.uap.edu.pe Fuente de Internet	1 %
11	repositorio.unsaac.edu.pe Fuente de Internet	1 %
12	Submitted to Universidad Ricardo Palma Trabajo del estudiante	1 %
13	www.linkedin.com Fuente de Internet	<1 %
14	www.redalyc.org Fuente de Internet	<1 %
15	Submitted to Instituto Tecnológico de Costa Rica Trabajo del estudiante	<1 %
16	slideplayer.es Fuente de Internet	<1 %
17	Submitted to Universidad de Piura Trabajo del estudiante	<1 %
18	Submitted to Universidad Nacional del Santa Trabajo del estudiante	<1 %
19	repositorioacademico.upc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

repositorio.puce.edu.ec

20	Fuente de Internet	<1 %
21	www.scielo.org.mx Fuente de Internet	<1 %
22	Submitted to Universidad Manuela Beltrán Trabajo del estudiante	<1 %
23	repositoriodspace.unipamplona.edu.co Fuente de Internet	<1 %
24	Submitted to Universidad Nacional de Trujillo Trabajo del estudiante	<1 %
25	Submitted to Universidad Tecnológica de los Andes Trabajo del estudiante	<1 %
26	idoc.pub Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 30 words

Excluir bibliografía

Activo

Modelamiento hidráulico con IBER 2D para identificar áreas inundables aguas arriba del puente Chipichaca del río Occoro, Tambo - La Mar - Ayacucho, 2024

Hydraulic modeling with IBER 2D to identify floodable areas upstream of the Chipichaca bridge of the Occoro river, Tambo - La Mar - Ayacucho, 2024

Jhonatan Mucha Pinta¹,
jhonatan.mucha.21@unsch.edu.pe

Richard Alex Oscco Peceros²
richard.oscco@unsch.edu.pe

Áreas de investigación: Medio Ambiente
Línea de investigación: Hidrología e hidráulica

RESUMEN

Al llevarse a cabo la investigación, se logró identificar las áreas inundables ubicadas aguas arriba del puente Chipichaca sobre el río Occoro, en la comunidad de Tapial Cuchu, Distrito de Tambo, Provincia La Mar, Departamento Ayacucho, mediante un modelamiento hidráulico utilizando el software Iber 2D. Esta investigación se centró en la estimación de la inundación, evaluando el peligro asociado a eventos extremos de precipitación que pueden afectar tanto a la infraestructura como a las áreas agrícolas. Para el modelamiento hidrológico, se utilizaron datos de las estaciones meteorológicas de Quinua, San Miguel, Huanta y Luricocha, cuyas intensidades máximas de precipitación fueron regionalizadas mediante un método específico para convertirlas en caudales máximos de diseño, con un período de retorno de 100 años. El caudal máximo estimado para el modelamiento hidráulico fue de 33,5 m³/s, valor que se utilizó como base para las simulaciones en el software Iber 2D. Los resultados del modelado indicaron que, con este caudal máximo, las áreas inundables en el margen izquierdo del río alcanzan 4.73 hectáreas (ha), mientras que en la margen derecha la inundación afecta 2.21 ha. Además, el cálculo del tirante máximo en la zona de inundación fue de 1.97 metros (m) y la velocidad máxima del flujo fue 8.84 m/s, lo que indica un potencial considerable de erosión y daño a las infraestructuras y a las áreas aledañas del cauce del río Occoro. También con el modelamiento hidráulico se identificó el impacto potencial sobre el puente Chipichaca y la carretera Huayao-Vicus, ambos elementos clave de la infraestructura vial de la zona donde la inundación afectó estos puntos críticos. A partir de estos resultados se concluye en proponer medidas de mitigación para reducir el impacto de las inundaciones. Entre las principales soluciones se incluye la construcción de defensas ribereñas en ambas márgenes del río, en las zonas donde se espera mayor riesgo de inundación.

Palabras clave: Modelamiento hidráulico, IBER 2D y áreas inundables.

ABSTRACT

When carrying out the investigation, it was possible to identify the flood-prone areas located upstream of the Chipichaca bridge over the Occoro River, in the community of Tapial Cuchu, Tambo District, La Mar Province, Ayacucho Department, through hydraulic modeling using the Iber 2D software. This research focused on flood estimation, evaluating the danger associated with extreme precipitation events that can affect both infrastructure and agricultural areas. For hydrological modeling, data from the meteorological stations of Quinua, San Miguel, Huanta and Luricocha were used, whose maximum precipitation intensities were regionalized using a specific method to convert them into maximum design flows, with a return period of 100 years. The maximum flow estimated for the hydraulic modeling was 33.5 m³/s, a value that was used as the basis for the simulations in the Iber 2D software. The modeling results indicated that, with this maximum flow, the floodable areas on the left bank of the river reach 4.73 hectares (ha), while on the right bank the flood affects 2.21 ha. Furthermore, the calculation of the maximum depth in the flood zone was 1.97 meters (m) and the maximum flow speed was 8.84 m/s, which indicates a considerable potential for erosion and damage to the infrastructure and surrounding areas of the Occoro River channel. Also with hydraulic modeling, the potential impact on the Chipichaca bridge and the Huayao-Vicus highway was identified, both key elements of the road infrastructure in the area where the flood affected these critical points. Based on these results, it is concluded to propose mitigation measures to reduce the impact of floods. The main solutions include the construction of riverside defenses on both banks of the river, in areas where the highest risk of flooding is expected.

Keywords: Hydraulic modeling, 2D IBER and flood-prone areas

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el cambio climático ha incrementado la frecuencia e intensidad de las lluvias en diversas regiones del Perú, especialmente en la Sierra. Este fenómeno genera graves consecuencias, como daños materiales a infraestructuras y áreas agrícolas. Los modelamientos hidráulicos se presentan como una herramienta clave para predecir y gestionar estos eventos, permitiendo el diseño de infraestructuras que mitiguen los impactos negativos, como las avenidas máximas de los ríos. Un ejemplo de este tipo de fenómenos es el ocurrido durante el fenómeno de El Niño en los años 1997-1998, el cual provocó pérdidas económicas significativas debido a los desbordes.

La presente investigación se centra en el modelamiento hidráulico con IBER 2D para identificar áreas inundables aguas arriba del puente Chipichaca del río Occoro, Tambo – La Mar – Ayacucho, 2024. La Quebrada del río Occoro, que es de particular interés en este estudio, presenta una alta vulnerabilidad a desbordes debido a las precipitaciones de gran magnitud que ocurren entre los meses de enero, febrero y marzo. Durante este período, la quebrada descarga grandes volúmenes de agua, lo que provoca el desbordamiento de sus márgenes e inunda extensas áreas agrícolas, ocasionando graves pérdidas económicas.

Según los informes de la municipalidad distrital de Tambo, se han documentado desbordes recurrentes en el sector aguas arriba del puente Chipichaca, generando inundaciones que afectan la calidad del suelo agrícola, además de causar colmatación por el arrastre de materiales. Este fenómeno se repite año tras año, incrementando los daños materiales y económicos en la zona. Ante esta problemática, la presente investigación tiene

como objetivo principal identificar las áreas inundables aguas arriba del puente Chipichaca del río Occoro utilizando el modelo hidráulico IBER 2D, con el fin de proponer soluciones efectivas para mitigar los riesgos de inundaciones.

Para alcanzar este objetivo, se realizó una estimación de la precipitación máxima en 24 horas, los caudales y tirantes máximos, y la identificación de las áreas de cultivo susceptibles a inundación en un período de retorno de 100 años. A través del modelado hidráulico bidimensional con IBER 2D, se generarán mapas de inundación que permitirán una mejor comprensión del comportamiento hidrológico en la zona y proporcionarán información clave para la toma de decisiones en la planificación y diseño de infraestructuras preventivas.

Objetivo general

Identificar áreas inundables aguas arriba del puente Chipichaca del río Occoro mediante modelamiento hidráulico con IBER 2D, Tambo - La Mar - Ayacucho, 2024.

Objetivos específicos

1. Estimar la precipitación máxima en 24 horas para un periodo de retorno de 100 años.
2. Estimar caudales máximos para periodos de retorno de 100 años, que produce inundaciones aguas arriba del puente Chipichaca del río Occoro.
3. Estimar los tirantes máximos de agua para identificar áreas de inundación aguas arriba del puente Chipichaca del río Occoro.
4. Identificar áreas inundables para periodo de retorno de 100 años aguas arriba del puente Chipichaca del río Occoro.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Ubicación

2.1.1. Ubicación política

Políticamente el área de estudio se encuentra ubicado en:

Departamento : Ayacucho

Provincia : La Mar

Distrito : Tambo

Localidad : Tapial Cuchu

2.1.2. Ubicación geográfica

La ubicación geográfica del área de estudio está ubicada en las coordenadas UTM WGS_84, zona 18L-UTM.

Este : 610374.27

Norte : 8571397.45

Cota : 3044 msnm

2.1.3. Ubicación administrativa

De acuerdo a la Autoridad Nacional de Agua, el área de estudio se ubica dentro de la jurisdicción de:

Autoridad administrativa del agua: Pampas Apurímac

Administración local de agua: Bajo Apurímac - Pampas

2.2. Materiales y equipos

2.2.1. Materiales

- 01 wincha de 50m
- 01 flexómetro de 5m
- 01 libreta de campo
- 01 imágenes satelitales ALOS PALSAR de DEM 12.5m.
- Mapas de geo servidor GEO GPS PERÚ.
- Materiales de escritorio
- Datos de las estaciones meteorológicas de SENAMHI, SNIRH ANA.

2.2.2. Equipos

- 01 estación total Topcon Os-105
- 03 prismas
- 01 GPS navegador
- 01 cámara digital

- 04 radios

- 01 laptop Core i7

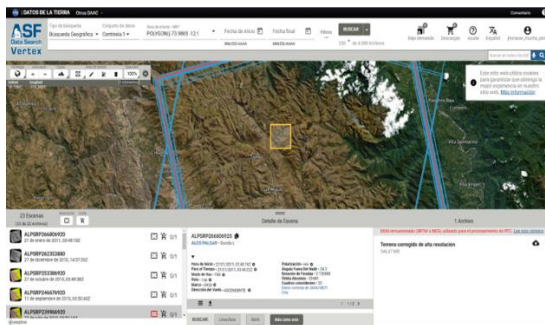
2.3. Metodología

2.3.1. Fase preliminar

1. Se utilizó Google Earth Pro como herramienta principal para identificar y ubicar el punto de aforo en el río Occoro. Esta herramienta permitió una visualización precisa del terreno y facilitó la selección de un punto adecuado.
2. Se inicia con la obtención digital de elevación (DEM), que fueron descargados de la plataforma de distribución de ALOS PALSAR, en formato GeoTIFF, para la región del río Occoro. Se seleccionan imágenes correspondientes, con el fin de obtener una representación precisa de la topografía actual del área. Para la selección del área, se utilizaron las coordenadas geográficas del río y alrededores, asegurando que el área de interés esté completamente cubierta.

Figura 1

Modelo digital de elevación (DEM)



Nota: la figura muestra la ubicación de la zona de estudio y los diferentes archivos DEM.

3. Se realizó la descarga de las bases de datos correspondiente a las cartas nacionales, mapa geomorfológico proporcionado por el Ministerio del Ambiente (MINAM) y el mapa de suelos de zonificación económica y ecológica de la región de Ayacucho, los cuales se utilizaron para realizar un análisis detallado de las características geográficas, geomorfológicas y de uso de suelos.

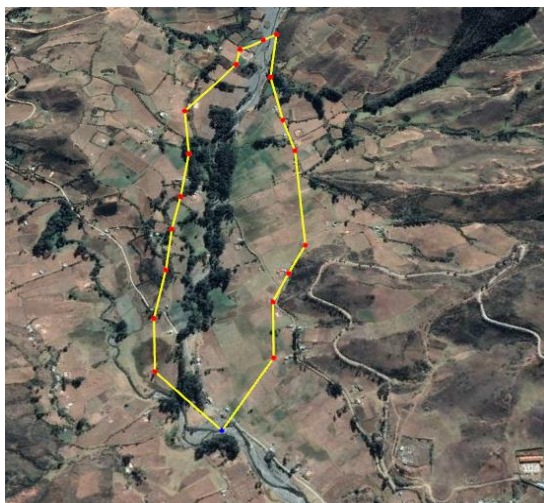
4. Se efectuó la recopilación de datos históricos de precipitaciones máximas diarias en un periodo de 24 horas, utilizando los servidores de la página del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) y Sistema Nacional de Información de Recursos Hídricos (SNIRH – ANA).

2.3.2. Fase de campo

1. Se realizó la identificación y caracterización de las zonas propensas a inundación en el tramo aguas arriba del puente Chipichaca. Se determinó un alto riesgo de desbordamiento e inundación en ambas márgenes del río Occoro, particularmente en la margen derecha e izquierda, debido a la concentración de actividades agrícolas y ganaderas en la zona, que representan una fuente vital de ingresos para las familias locales. Además, se identificó la presencia de una vía de trocha carrozable, de uso frecuente para el transporte local, y un puente que conecta comunidades, ambos elementos críticos para la conectividad regional. Estos, junto con las áreas circundantes, se encuentran amenazados por el riesgo de inundación.

Figura 2

Identificación del área de estudio



Nota: se muestra la delimitación del margen derecho e izquierdo del río Occoro

2. Se llevó a cabo un levantamiento topográfico de alta precisión del cauce del río y las áreas agrícolas potencialmente inundables, utilizando equipo de estación total Topcon OS-105. El levantamiento incluyó la medición exacta de puntos clave a lo largo del cauce y en las zonas adyacentes, con el fin de obtener datos precisos sobre la elevación del terreno, las pendientes y la geometría del cauce. La estación total Topcon OS-105 permitió realizar un registro detallado de las variaciones topográficas, lo que facilita la identificación de áreas susceptibles a inundación y la elaboración de modelos de predicción de inundaciones.

Figura 3

Levantamiento topográfico del Río Occoro



3. Se llevó a cabo un levantamiento topográfico detallado en la zona debido a la presencia de una densa vegetación que dificulta la visibilidad y el acceso directo al terreno. Este levantamiento se ejecutó a lo largo del cauce del río Occoro, así como en ambas márgenes, derecha e izquierda, de las áreas potencialmente inundables. Para garantizar la precisión de los datos, se utilizaron técnicas avanzadas de medición que permitieron superar los obstáculos naturales de la vegetación, asegurando la obtención de información topográfica precisa sobre las variaciones en la elevación del terreno y los límites de las zonas inundables. El levantamiento se realizó con un enfoque integral, considerando tanto las

características del cauce como las áreas circundantes, para proporcionar una base sólida para la evaluación de riesgos y la planificación de medidas de mitigación.

Figura 4

Levantamiento a detalle del Rio Occoro



Nota: En la imagen se muestra el levantamiento del Rio Occoro a detalle.

Figura 5

Estación Total Topcon E-105



Nota: en la imagen se observa al tesista haciendo levantamiento del cauce del rio Occoro

2.3.3. Fase gabinete

Delimitación de la cuenca del rio Occoro

1. Para la delimitación de la cuenca de rio Occoro se utilizó el modelo digital de elevación (DEM) descargado del satélite ALOS PALSAR en formato ráster, lo cual fue procesado en el software ArcGIS 10.8.
2. Se genera red de drenaje utilizando las herramientas de ArcGIS 10.8 como “Fill” y “Flow Direction” determinando los patrones de escurrimiento dentro de la cuenca.
3. Con la herramienta “Watershed”, se delimitó la cuenca del rio Occoro, basándose en la red de drenaje y la dirección del flujo de agua. Este proceso permitió identificar el área que drena hacia un punto

de salida específico, en este caso, el cauce principal del río Occoro.

4. Una vez delimitada la cuenca, se extrajeron parámetros geomorfológicos como el perímetro, el área total, la cota máxima y mínima, la longitud del cauce principal y el centroide de la cuenca utilizando herramientas de análisis geométrico en ArcGIS 10.8. Para la cota máxima y mínima, se identificaron los puntos más altos y bajos dentro de la cuenca utilizando las herramientas “Raster Calculator” y “Zonal Statistics”. La longitud del cauce principal se calculó utilizando el análisis de redes de drenaje para determinar la distancia lineal desde el inicio hasta el final del cauce del rio Occoro.

Análisis de datos de precipitaciones

1. Los datos de precipitaciones máximas de 24 horas correspondientes a la cuenca en estudio fueron obtenidos a partir de las estaciones meteorológicas cercanas operadas por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI). Estos datos fueron seleccionados en función de su proximidad geográfica y representatividad para la cuenca del río Occoro. Las estaciones de monitoreo consideradas fueron cuidadosamente elegidas para garantizar la cobertura espacial y temporal adecuada de las precipitaciones máximas en el área de interés. A continuación, se presentan las estaciones meteorológicas utilizadas y sus respectivos datos de precipitación máxima registrados en un período de 24 horas, los cuales se emplearon para el análisis de los eventos de lluvia extrema en la cuenca del rio Occoro.

Tabla 1

Estaciones meteorológicas utilizadas en el estudio

Estaciones	Tipo	Propietario	Coordenadas geográficas		ALTITUD m.s.n.m.	Periodo de registro
			Latitud Sur	Longitud Oeste		
En funcionamiento						
1. HUANTA	PLU	SENAMHI	12°55'38.70"	74°16'5.80"	2542.0	1993-2013
2. LURICOCHA	PLU	SENAMHI	12°54'40.8" S	74°16'59.66"	2486.0	1990-2019
3. QUINUA	PLU	PERC	13° 3'19.70"	74° 8'29.70"	3209.0	1992-2006
4. SAN MIGUEL	PLU	PERC	13°13'7.18"	74° 6'22.40"	2720.0	1992-2006

2. La información hidrometeorológica de las estaciones fue recopilada durante el período comprendido entre los años 1964 a 2018. Cada estación de monitoreo proporciona un conjunto de datos continuo que incluye registros de precipitaciones máximas de 24 horas, los cuales han sido validados y verificados conforme a los estándares de calidad establecidos por el SENAMHI. Estos datos permiten analizar tendencias climáticas a largo plazo, identificar patrones de eventos extremos y realizar estimaciones precisas para la modelización hidrológica. A continuación, se detalla el período de registro de cada estación.

3. Se realiza la obtención de precipitaciones máximas de 24 hrs de las cuatro estaciones mencionadas.

Tabla 2

Resumen de Precipitación máxima

HUANTA		LURICOCHA		QUINUA		SAN MIGUEL	
ANO	Ppmax 24h	ANO	Ppmax 24h	ANO	Ppmax 24h	ANO	Ppmax 24h
1964	S/D	1964	15.90	1964	S/D	1964	19.50
1965	S/D	1965	18.80	1965	S/D	1965	23.20
1966	S/D	1966	20.00	1966	S/D	1966	38.00
1967	S/D	1967	23.10	1967	S/D	1967	21.30
1968	S/D	1968	26.10	1968	S/D	1968	29.00
1969	S/D	1969	12.10	1969	S/D	1969	18.00
1970	S/D	1970	23.60	1970	S/D	1970	33.20
1971	S/D	1971	38.60	1971	S/D	1971	28.00
1972	S/D	1972	13.00	1972	S/D	1972	19.00
1973	S/D	1973	30.80	1973	S/D	1973	27.00
1974	S/D	1974	27.40	1974	S/D	1974	31.70
1975	S/D	1975	30.60	1975	S/D	1975	26.50
1976	S/D	1976	34.30	1976	S/D	1976	24.70
1977	S/D	1977	32.90	1977	S/D	1977	15.00
1978	S/D	1978	21.60	1978	S/D	1978	20.80
1979	S/D	1979	20.10	1979	S/D	1979	20.00
1980	S/D	1980	14.90	1980	S/D	1980	23.60
1981	S/D	1981	30.10	1981	S/D	1981	26.60
1982	S/D	1982	44.20	1982	S/D	1982	31.50
1983	S/D	1983	32.10	1983	S/D	1983	S/D
1984	S/D	1984	21.20	1984	S/D	1984	S/D
1985	S/D	1985	0.00	1985	S/D	1985	S/D
1986	S/D	1986	0.00	1986	S/D	1986	S/D
1987	S/D	1987	18.40	1987	S/D	1987	S/D
1988	S/D	1988	18.50	1988	S/D	1988	S/D
1989	S/D	1989	31.20	1989	S/D	1989	S/D
1990	S/D	1990	18.50	1990	S/D	1990	S/D
1991	S/D	1991	19.30	1991	S/D	1991	S/D
1992	26.50	1992	16.20	1992	16.20	1992	S/D
1993	31.70	1993	31.00	1993	37.30	1993	S/D
1994	31.70	1994	25.80	1994	36.70	1994	S/D
1995	51.60	1995	29.00	1995	35.20	1995	S/D
1996	29.50	1996	30.00	1996	29.70	1996	S/D
1997	38.70	1997	30.30	1997	37.80	1997	S/D
1998	39.70	1998	20.20	1998	43.60	1998	S/D
1999	42.60	1999	14.80	1999	28.40	1999	S/D
2000	35.30	2000	S/D	2000	26.70	2000	S/D
2001	26.00	2001	S/D	2001	28.70	2001	S/D
2002	22.70	2002	S/D	2002	27.00	2002	S/D
2003	32.50	2003	S/D	2003	32.40	2003	S/D
2004	25.20	2004	S/D	2004	23.00	2004	S/D
2005	55.10	2005	S/D	2005	32.70	2005	S/D
2006	28.10	2006	S/D	2006	21.10	2006	S/D
2007	25.00	2007	S/D	2007	33.20	2007	S/D
2008	20.60	2008	S/D	2008	24.60	2008	S/D
2009	30.10	2009	S/D	2009	46.80	2009	S/D
2010	22.00	2010	S/D	2010	28.50	2010	S/D
2011	22.60	2011	S/D	2011	32.10	2011	S/D
2012	21.60	2012	S/D	2012	28.70	2012	S/D
2013	34.10	2013	S/D	2013	25.20	2013	S/D
2014	23.40	2014	S/D	2014	0.00	2014	S/D
2015	36.10	2015	S/D	2015	0.00	2015	S/D

4. Se llevó a cabo un proceso de regionalización en la cuenca del río Occoro, con el objetivo de identificar estaciones hidrológicas homogéneas, dado que esta cuenca carece de registros históricos de datos. Este enfoque permite generar estimaciones precisas de los parámetros hidrológicos mediante la identificación de zonas con comportamientos hidrológicos similares, lo cual es crucial para la modelización y la gestión de recursos hídricos en áreas con ausencia de información directa.

Tabla 3

Regionalización de la cuenca de río Occoro

Año	Huanta	Quinua	Huanta	Quinua	Luricocha	Luricocha	San Miguel	Regionalización Ppmax 24h
1964					15.90	15.90	19.50	19.32
1965					18.80	18.80	23.20	22.98
1966					20.00	20.00	38.00	37.10
1967					23.10	23.10	21.30	21.39
1968					26.10	26.10	29.00	28.85
1969					12.10	12.10	18.00	17.70
1970					23.60	23.60	33.20	32.72
1971					38.60	38.60	28.00	28.53
1972					13.00	13.00	19.00	18.70
1973					30.80	30.80	27.00	27.19
1974					27.40	27.40	31.70	31.48
1975					30.60	30.60	26.50	26.71
1976					34.30	34.30	24.70	25.18
1977					32.90	32.90	15.00	15.90
1978					21.60	21.60	20.80	20.84
1979					20.10	20.10	20.00	20.01
1980					14.90	14.90	23.60	23.16
1981					30.10	30.10	26.60	26.78
1982					44.20	44.20	31.50	32.14
1983					32.10	32.10		32.10
1984					21.20	21.20		21.20
1985					0.00	0.00		S/D
1986					0.00	0.00		S/D
1987					18.40	18.40		18.40
1988					18.50	18.50		18.50
1989					31.20	31.20		31.20
1990					18.50	18.50		18.50
1991					19.30	19.30		19.30
1992	26.50	16.20	26.50	16.20	16.60	16.60		19.43
1993	31.70	37.30	31.70	37.30	31.00	31.00		33.27
1994	31.70	36.70	31.70	36.70	25.80	25.80		31.14
1995	51.60	35.20	51.60	35.20	29.00	29.00		37.79
1996	29.50	29.70	29.50	29.70	30.00	30.00		29.75
1997	38.70	37.80	38.70	37.80	30.30	30.30		35.27
1998	39.70	43.60	39.70	43.60	20.20	20.20		33.70
1999	42.60	28.40	42.60	28.40	14.80	14.80		27.57
2000	35.30	26.70	35.30	26.70				30.80
2001	26.00	28.70	26.00	28.70				27.41
2002	22.70	27.00	22.70	27.00				24.95
2003	32.50	32.40	32.50	32.40				32.45
2004	25.20	23.00	25.20	23.00				24.05
2005	55.10	32.70	55.10	32.70				43.39
2006	28.10	21.10	28.10	21.10				24.44
2007	25.00	33.20	25.00	33.20				29.29
2008	20.60	24.60	20.60	24.60				22.69
2009	30.10	46.80	30.10	46.80				38.83
2010	22.00	28.50	22.00	28.50				25.40
2011	22.60	32.10	22.60	32.10				27.57
2012	21.60	28.70	21.60	28.70				25.31
2013	34.10	25.20	34.10	25.20				29.45
2014	23.40	0.00	23.40	0.00				23.40
2015	36.10	0.00	36.10	0.00				36.10
2016	24.10	24.10						24.10
2017	27.70	31.70	27.70	31.70				29.79
2018	31.20	36.70	31.20	36.70				34.08

ESTACIÓN	COORDENADAS		Cota	Distancia (d)	1/d^2	Peso
	Este	Norte				
1. Huanta	579373.91	857077.58	2542	36065.48	0.0000277273	0.175
2. Luricocha	583201.27	8583014.75	2486	32907.78	0.0000303880	0.192
3. Quinua	593070.30	8556572.30	3209	28896.60	0.0000346062	0.219
4. San Miguel	610216.34	8560770.25	2720	15292.65	0.0000653909	0.414
Cantera	615146	8575211	3734		0.0001581124	1.000

5. Posteriormente, se lleva a cabo un análisis exhaustivo de los datos inconsistentes o atípicos de la precipitación regionalizada, con el fin de identificar posibles errores o valores atípicos que puedan afectar la

calidad y precisión de los resultados hidrológicos.

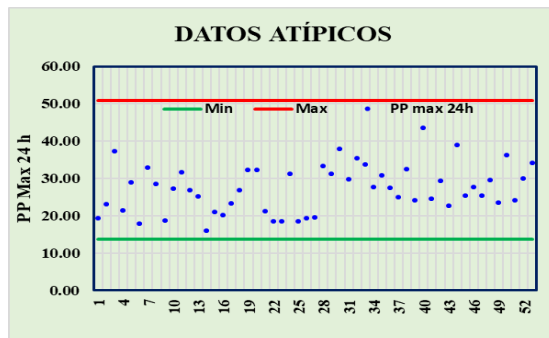
Tabla 4

Análisis de datos atípicos

	PP Max	Log (PP Max)
Numero de Datos (N)	53.00	53.00
Valor Máximo	43.39	1.64
Valor Mínimo	15.90	1.20
Media	27.12	1.42
Desviación Estandar	6.28	0.10
Varianza	39.48	0.01
Coef. Variación	0.23	0.07
Coef. Sesgo o asimetría	0.29	-0.16
Kn		2.79
XH		1.71
Valor Max		50.95
		Ok
XL		1.14
Valor Min		13.68
		Ok

Figura 6

Variación de los datos atípicos



6. Luego una vez concluido el análisis de los datos atípicos de la recepción máxima a 24 horas regionalizada, se procede a evaluar la bondad de ajuste mediante la prueba de Kolmogórov-Smirnov. Este procedimiento tiene como objetivo verificar la adecuación de la distribución de los datos a un modelo teórico específico. Para llevar a cabo este análisis, se utilizó el software Hydrognomon obteniendo los siguientes resultados con las distribuciones más utilizadas como se muestra en la tabla:

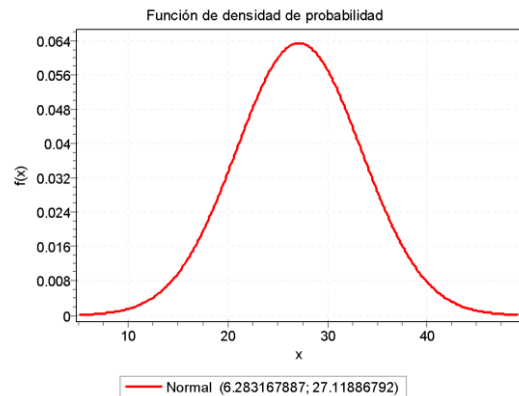
Tabla 5

Bondad de ajuste de Kolmogórov Smirnov

Kolmogorov -Smirnov test for:All data	a=1%	a=5%	a=10%	Attained DMax	
Normal	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	99.14%	0.0598
LogNormal	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	91.06%	0.0772
Gamma	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	97.08%	0.0671
Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	98.70%	0.0620
Log Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	95.71%	0.0701

Figura 7

Función de densidad de probabilidad



Nota: En la figura se observa la función Normal que se ajusta a los datos de estudio.

7. Posterior a la selección de la distribución más adecuada para los datos regionalizados, se procede al cálculo de los diferentes períodos de retorno, lo cual permite estimar la frecuencia y magnitud de eventos extremos. Posteriormente, se realiza el cálculo de las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) utilizando el método de Dick y Peschke, que facilita la caracterización de la relación entre la intensidad de la precipitación, su duración y su recurrencia. Finalmente, se generan los hietogramas correspondientes, los cuales representan la distribución temporal de la precipitación, proporcionando una visualización detallada de su variabilidad a lo largo del tiempo.

Figura 8

Curvas IDF

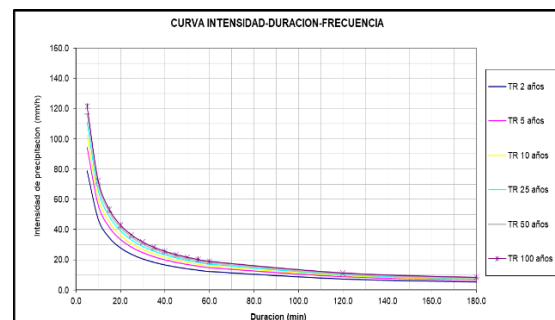


Tabla 6

Intensidad de precipitación

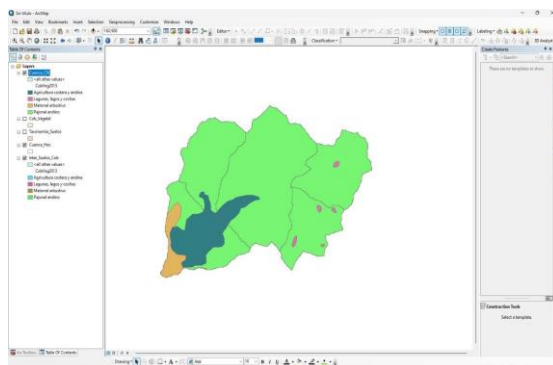
Duración (Horas)	Duración (min)	Periodo de Retorno (Años)									
		2.00	5.00	10.00	25.00	50.00	100.00	150.00	200.00	500.00	
0.083	5	79.00	94.40	102.45	111.04	116.58	121.57	123.97	126.14	131.67	
0.167	10	46.97	56.13	60.92	66.02	69.32	72.29	73.71	75.00	78.29	
0.250	15	34.65	41.41	44.94	48.71	51.14	53.33	54.38	55.34	57.76	
0.333	20	27.93	33.38	36.22	39.26	41.22	42.98	43.83	44.60	46.55	
0.417	25	23.63	28.23	30.64	33.21	34.87	36.36	37.08	37.72	39.38	
0.500	30	20.61	24.62	26.72	28.96	30.41	31.71	32.34	32.90	34.35	
0.583	35	18.36	21.94	23.81	25.80	27.09	28.25	28.81	29.31	30.60	
0.667	40	16.61	19.85	21.54	23.34	24.51	25.56	26.06	26.52	27.68	
0.750	45	15.20	18.17	19.72	21.37	22.44	23.40	23.86	24.28	25.34	
0.833	50	14.05	16.79	18.22	19.75	20.73	21.62	22.05	22.43	23.42	
0.917	55	13.08	15.63	16.96	18.38	19.30	20.13	20.52	20.88	21.80	
1.000	60	12.25	14.64	15.89	17.22	18.08	18.86	19.23	19.56	20.42	
2.000	120	7.29	8.71	9.45	10.24	10.75	11.21	11.43	11.63	12.14	
3.000	180	5.37	6.42	6.97	7.56	7.93	8.27	8.44	8.58	8.96	
4.000	240	4.33	5.18	5.62	6.09	6.39	6.67	6.80	6.92	7.22	
5.000	300	3.66	4.38	4.75	5.15	5.41	5.64	5.75	5.85	6.11	
6.000	360	3.20	3.82	4.14	4.49	4.72	4.92	5.02	5.10	5.33	
7.000	420	2.85	3.40	3.69	4.00	4.20	4.38	4.47	4.55	4.75	
8.000	480	2.58	3.08	3.34	3.62	3.80	3.96	4.04	4.11	4.29	
9.000	540	2.36	2.82	3.06	3.31	3.48	3.63	3.70	3.77	3.93	
10.000	600	2.18	2.60	2.83	3.06	3.22	3.35	3.42	3.48	3.63	
11.000	660	2.03	2.42	2.63	2.85	2.99	3.12	3.18	3.24	3.38	
12.000	720	1.90	2.27	2.46	2.67	2.80	2.92	2.98	3.03	3.17	
13.000	780	1.79	2.14	2.32	2.52	2.64	2.75	2.81	2.86	2.98	
14.000	840	1.69	2.02	2.20	2.38	2.50	2.61	2.66	2.70	2.82	
15.000	900	1.61	1.92	2.08	2.26	2.37	2.47	2.52	2.57	2.68	
16.000	960	1.53	1.83	1.99	2.15	2.26	2.36	2.40	2.45	2.55	
17.000	1020	1.46	1.75	1.90	2.06	2.16	2.25	2.30	2.34	2.44	
18.000	1080	1.40	1.68	1.82	1.97	2.07	2.16	2.20	2.24	2.34	
19.000	1140	1.35	1.61	1.75	1.89	1.99	2.07	2.11	2.15	2.24	
20.000	1200	1.30	1.55	1.68	1.82	1.91	1.99	2.03	2.07	2.16	
21.000	1260	1.25	1.49	1.62	1.76	1.84	1.92	1.96	1.99	2.08	
22.000	1320	1.21	1.44	1.56	1.70	1.78	1.86	1.89	1.93	2.01	
23.000	1380	1.17	1.39	1.51	1.64	1.72	1.80	1.83	1.86	1.94	
24.000	1440	1.13	1.35	1.47	1.59	1.67	1.74	1.77	1.80	1.88	

Determinación del caudal máximo

1. Para el cálculo de caudal máximo se realizó utilizando el método SCS para abstracciones o llamado también curva número (CN) en lo cual se realizó con el software ArcGIS 10.8, para lo cual se utilizó los mapas temáticos de entrada como el mapa de cobertura vegetal y uso descargado de Ministerio del Ambiente y mapa temático de suelo.

Figura 9

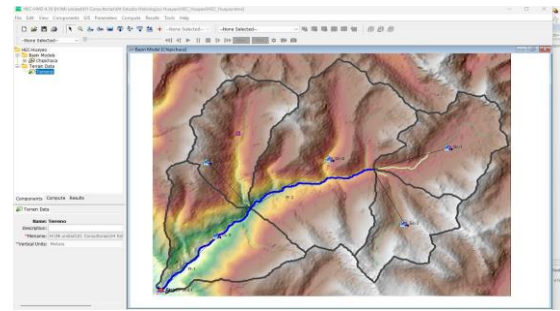
Método de SCS para Curva Número



2. Se realiza el procesamiento del hietograma y curva número en el software HEC-HMS 4.12, para luego calcular el caudal máximo para un periodo de retorno de 100 años causante de la inundación en aguas arriba del puente Chipichaca.

Figura 10

Proceso de obtención de caudal máximo

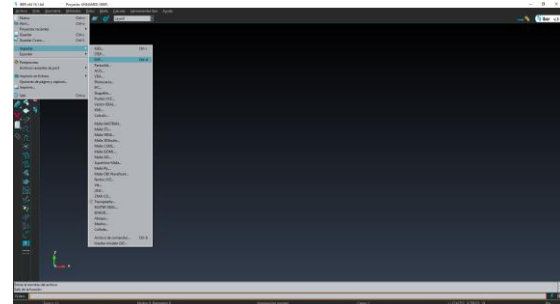


Modelado hidráulico en Iber 2D

1. Se procedió a crear un nuevo proyecto, y luego, desde el menú de archivo, seleccionó la opción para importar el archivo DXF que contiene las curvas de nivel generadas en Civil 3D, correspondientes al levantamiento topográfico del río Occoro. A continuación, se verificó y ajustó el sistema de coordenadas en el software Iber 3.3.1 para asegurar la corrección

Figura 11

Importación de curvas de nivel del rio Occoro a Iber 3.3.1



2. Se procedió a la asignación de coeficientes de rugosidad de Manning de acuerdo al uso de suelos estimados en el mapa del área de investigación. La zona de estudio cuenta con diferentes usos de suelos tales como: áreas c/s cultivo, pastos cortos, pastos altos, matorrales, árboles y cauce natural de río con gravas y canto rodado.

Figura 12

Asignación de coeficientes de rugosidad en el software ArcGIS 10.8

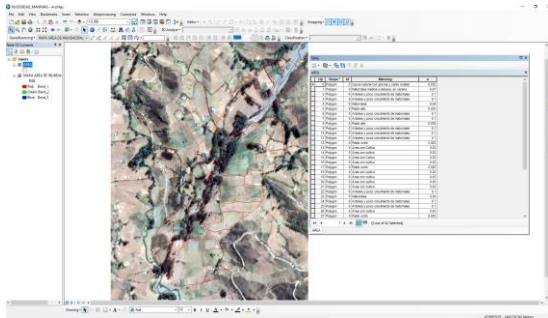
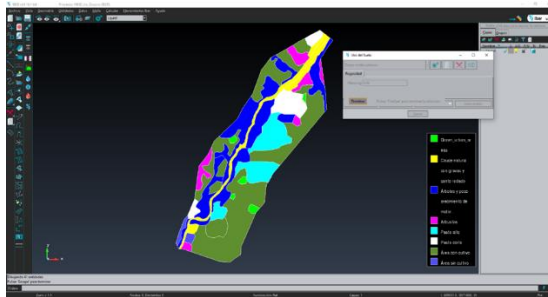


Figura 13

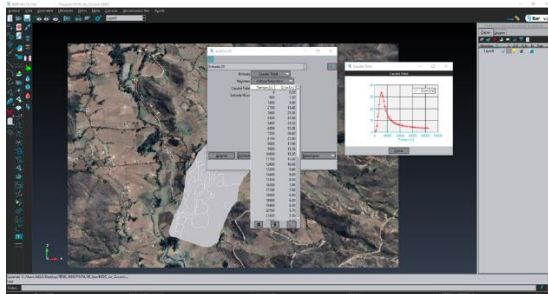
Asignación de coeficiente de Manning



3. Se asignaron las condiciones de contorno para la entrada y salida del flujo. En la condición de entrada, se inició el caudal máximo calculado en el estudio hidrológico, correspondiente a un período de retorno de 100 años. A continuación, se definió el punto de ingreso del caudal máximo al cauce del río Occoro, y de manera similar, se determinará el punto de salida del flujo.

Figura 14

Asignación de hidrograma de diseño



4. Se estableció la generación de malla, en este escenario se optó por asignar un tipo de malla no estructurada, dado que esta se ajusta mejor a las irregularidades que presentan las zonas del cauce del río. Se

tomó en cuenta el tamaño de la celda de 0.5 metros para el cauce del río, y una malla de 1.5 metros para pastos cortos y largos y 2 metros para cultivos y una malla de 2 m para arboles; este criterio se aplica debido a que una malla fina permite tener mejores resultados. Finalmente, se insertó el hietograma de diseño, que representa la distribución temporal de la precipitación, esencial para simular el comportamiento del flujo durante el evento de diseño y garantizar la precisión del análisis hidráulico.

Obtención de mapas de áreas inundación Agrícolas

1. Luego se ejecuta el postproceso de modelo Iber para visualizar el caudal máximo con un tiempo de retorno de 100 años, para obtener la inundación en la zona de estudio, con los variables de visualización como: Nivel de agua, velocidades y profundidad de inundación. También se ajusta los parámetros de visualización, como el rango de colores para representar diferentes niveles de inundación.
2. Posteriormente, se exportan los resultados obtenidos del postprocesamiento del modelo Iber en formato ráster, lo que permite realizar un análisis detallado de las áreas inundadas. Este formato ráster es compatible con el software ArcGIS 10.8, donde se calcula y analiza la extensión de las zonas afectadas por la inundación. En ArcGIS, se pueden aplicar herramientas espaciales para evaluar el impacto de la inundación en la región, generando mapas detallados que muestran las áreas inundadas según los diferentes niveles de agua, velocidades y profundidades, lo que facilita la toma de decisiones en la planificación.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Estimación de la precipitación máxima 24 horas para un periodo de retorno de 100 años

Una técnica utilizada para estimar el hidrograma de una cuenca, en especial cuando no se dispone de datos históricos o detallados de escorrentía. Este método, propuesto por Snyder en 1938, se basa en la formulación de un hidrograma unitario estándar que puede ser ajustado a las características específicas de una cuenca (MTC, 2011)

En la investigación realizada de la estimación de la precipitación máxima de 24 horas para la cuenca del río Occoro, correspondiente a un periodo de retorno de 100 años, se emplearon los datos provenientes de la regionalización de las estaciones meteorológicas de Quinua, Huanta, Luricocha y San Miguel. A través de este enfoque, se aplicó el método de bloques alternos para el análisis, obteniendo como resultado una precipitación máxima de 18.632 mm/hora, la cual representa el valor de precipitación esperado bajo las condiciones del periodo de retorno especificado.

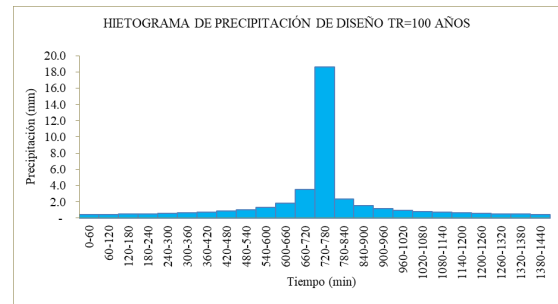
Tabla 1

Método de bloque alterno

METODO DEL BLOQUE ALTERNO					
DURACION	INTENSIDAD	PROFUNDIDA ACUMULADA	PROFUNDIDAD INCREMENTAL	TIEMPO	PRECIPITACION
min	mm/hr	mm	mm	min	mm
60	18.632	18.632	18.632	0-60	0.436
120	11.078	22.157	3.525	60-120	0.467
180	8.174	24.521	2.364	120-180	0.502
240	6.587	26.349	1.829	180-240	0.544
300	5.572	27.861	1.512	240-300	0.596
360	4.860	29.160	1.299	300-360	0.662
420	4.329	30.306	1.146	360-420	0.746
480	3.917	31.335	1.029	420-480	0.861
540	3.586	32.271	0.936	480-540	1.029
600	3.313	33.132	0.861	540-600	1.299
660	3.085	33.931	0.799	600-660	1.829
720	2.890	34.677	0.746	660-720	3.525
780	2.721	35.378	0.701	720-780	18.632
840	2.574	36.040	0.662	780-840	2.364
900	2.444	36.667	0.627	840-900	1.512
960	2.329	37.263	0.596	900-960	1.146
1020	2.225	37.832	0.569	960-1020	0.936
1080	2.132	38.377	0.544	1020-1080	0.799
1140	2.047	38.899	0.522	1080-1140	0.701
1200	1.970	39.401	0.502	1140-1200	0.627
1260	1.899	39.885	0.484	1200-1260	0.569
1320	1.834	40.351	0.467	1260-1320	0.522
1380	1.774	40.802	0.451	1320-1380	0.484
1440	1.718	41.239	0.436	1380-1440	0.451

Figura 15

Hietograma de diseño TR=100 años



3.2. Estimación de caudales máximos para periodo de retorno de 100 años, que produce inundaciones aguas arriba del puente Chipichaca del río Occoro.

Según Villegas, (2023) en su investigación realizado los estudios de análisis: modelamiento hidrológico e hidráulico frente a inundaciones en la quebrada Estanquillo con el modelo matemático Iber, en el distrito de Cerro Colorado, provincia de Arequipa, departamento de Arequipa obtuvo un caudal máximo de $Q=39.8$ m³/s en un $Tr=100$ años. Según (Martínez, 2019) en su investigación realiza en la cuenca del río Sayacc obtuvo un caudal máximo de $Q=105.4$ m³/s para un $Tr=50$ años

En la investigación realizada de la subcuenca del río Occoro se obtuvo un caudal máximo de $Q=33.5$ m³/s para un $Tr=100$ años. En la figura 23 se muestra el hietograma de diseño estimado para un periodo de retorno de 100 años. A partir de este hietograma, se calcularon los hidrogramas utilizando el software HEC-HMS para determinar el caudal del río Occoro.

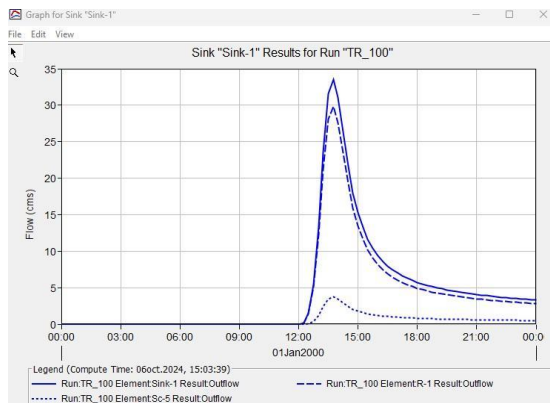
Figura 16

Resultado de caudal máximo

Project: HEC-Huayao Simulation Run: TR_100				
Start of Run: 01ene.2000, 00:00		Basin Model: Chipichaca		
End of Run: 02ene.2000, 00:00		Meteorologic Model: Estacion		
Compute Time: 06oct.2024, 15:03:39		Control Specifications: TR_100		
Show Elements: All Elements		Volume Units: <input checked="" type="radio"/> MM <input type="radio"/> 1000 M3	Sorting: Hydrologic	
Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
Sc-1	8.5106	6.1	01ene.2000, 13:45	7.88
Sc-3	6.3927	5.5	01ene.2000, 13:30	8.25
R-2	14.9033	11.2	01ene.2000, 13:45	8.04
Sc-4	19.9820	12.9	01ene.2000, 13:45	7.41
Sc-2	8.4320	5.8	01ene.2000, 13:45	7.55
R-1	43.3173	29.8	01ene.2000, 13:45	7.65
Sc-5	10.6120	3.7	01ene.2000, 13:45	4.31
Snk-1	53.9293	33.5	01ene.2000, 13:45	7.00

Figura 17

Hidrograma de diseño de caudal máximo TR=100 años



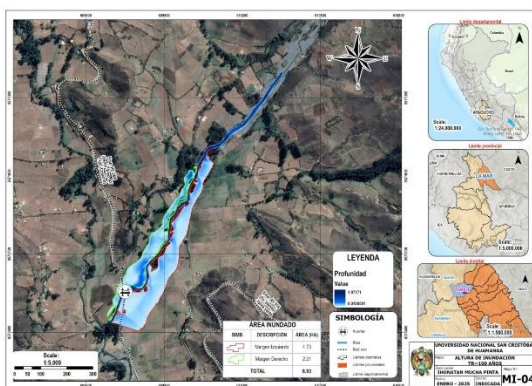
3.3. Estimación de los tirantes máximos de agua para identificar áreas de inundación aguas arriba del puente Chipichaca del río Occoro.

Según Gutierrez et al. (2022) en su investigación realizada de” Modelación hidráulica en iber para prevención de inundaciones de la cuenca Tesechoacán” obtuvo un resultado de tirantes máximos de 7.45 m.

En la investigación realizada del río Occoro se obtuvo la profundidad de los tirantes máximos de $y = 1.97$ m, los cuales causa la inundación en las áreas agrícolas del margen derecho e izquierdo del río Occoro.

Figura 18

Mapa de tirantes máximos



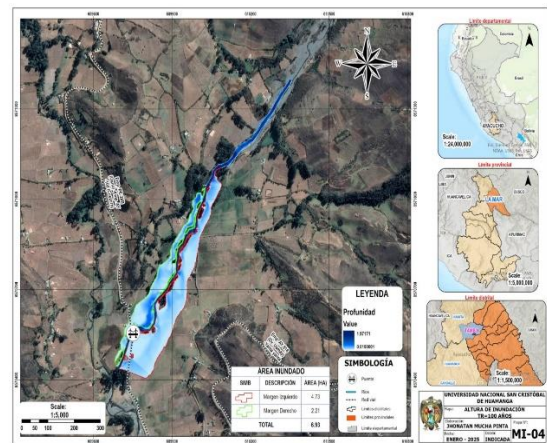
3.4. Identificación de áreas agrícolas inundables para periodo de retorno de 100 años aguas arriba del puente Chipichaca del río Occoro.

Según Gutierrez et al. (2022) en su investigación realizada de” Modelación hidráulica en iber para prevención de inundaciones de la cuenca Tesechoacán” obtuvo un resultado de una superficie de 29027.24 Ha inundada.

En la investigación realizada se obtuvo las áreas afectadas por la inundación tanto en el margen derecho un área de 2.21 Ha y en el izquierdo un área de 4.73 Ha, con un área total de 6.94 Ha.

Figura 19

Mapa de áreas agrícolas inundadas



CONCLUSIONES

1. La estimación de la precipitación máxima de 24 horas para la cuenca del río Occoro se llevó a cabo utilizando datos hidrológicos provenientes de estaciones cercanas, como Huanta, Quinoa, Luricocha y San Miguel. A través de un proceso de regionalización, se logró determinar las precipitaciones máximas específicas para la cuenca. Posteriormente, se realizó un análisis exhaustivo de estas precipitaciones, lo que permitió calcular el hietograma

correspondiente a un período de retorno de 100 años.

Este enfoque no solo proporciona un fundamento sólido para la evaluación del riesgo de inundación en la zona, sino que también resalta la importancia de integrar datos de múltiples fuentes.

2. Se identificaron y caracterizaron las zonas de inundación en el tramo del río Occoro, donde se encuentran predios dedicados a la producción de pastos, maíz, papa y actividades ganaderas realizadas por los habitantes locales. Se estimaron caudales máximos para un período de retorno de 100 años, alcanzando un valor de 33.5 m³/s, que genera inundaciones aguas arriba del puente Chipichaca. Este caudal será procesado con el software IBER, lo que permitirá simular escenarios de inundación y facilitar la toma de decisión.
3. Se estimaron los tirantes máximos de agua para identificar las áreas de inundación ubicadas aguas arriba del puente Chipichaca, en el río Occoro, mediante un modelamiento hidráulico en Iber 2D. Los resultados obtenidos indicaron un tirante máximo de 1.97 m, lo cual genera una inundación asociada a un periodo de retorno de 100 años.
4. Se logró identificar las áreas agrícolas susceptibles a inundación para un período de retorno de 100 años, ubicadas aguas arriba del puente Chipichaca, en el río Occoro. A través del análisis realizado, se consideran que, en el margen derecho del río, el área inundable es de 2.21 hectáreas, mientras que en el margen izquierdo se presenta una extensión mayor, con 4.73 hectáreas de terreno afectado. Estos resultados permiten una mejor comprensión de los riesgos asociados a inundaciones en

la zona agrícola, lo que es fundamental para la planificación territorial y la implementación de medidas de protección en estas áreas. Además, la información obtenida puede ser utilizada para el diseño de estrategias de manejo de recursos hídricos y prevención de daños en cultivos, contribuyendo a la resiliencia de la comunidad agrícola frente a un evento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Araque, M., Vásconez, M., Mancheno, A., Álvarez, C., Prehn, C., Cevallos, C., & Ortiz, L. (2019). *Cuencas hidrográficas* (1era ed.). Universidad Politécnica Salesiana. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19038/1/Cuencas%20hidrogr%C3%A1ficas.pdf>
- Bladé, E., Cea, L., Corestein, G., Escolano, E., Puertas, J., Vázquez Cendón, E., . . . Coll, A. (marzo de 2014). *Abstract Keywords Introducción DOI: 10.1016/j.rimni.2012.07.004 Open Access Iber: herramienta de simulación numérica del flujo en ríos*. Recuperado el 10 de 01 de 2025, de Elsevier: <https://www.elsevier.es/es-revista-revista-internacional-metodos-numericos-calculo-338-articulo-iber-herramienta-simulacion-numerica-del-S0213131512000454>
- Bolívar, B., & Gustavo, E. (2020). *Modelamiento hidrológico e hidráulico bidimensional del río marañón sector puente Tingo Chico. Carretera Huánuco – Conococha*. Recuperado el 10 de 01 de 2025, de Universidad Nacional Agraria La Molina: <https://repositorio.lamolina.edu.pe/items/b99e361c-2d03-45f2-9f2e-946a0fdd839b>
- Caicedo, M., Cabrera, E., Zambrano, X., Rodríguez, M., & Intriago, P. (2021). *Estudio de características morfológicas*

- de la cuenca “Cañitas” y su relación con el riesgo de inundaciones repentinas. Recuperado el 26 de Octubre de 2024, de SciELO México: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-78902021000400022
- Díez, A., Llorente, M., Ballesteros, J., & Ruiz, V. (2009). Riesgos por avenidas e inundaciones fluviales. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 254-263. Obtenido de <https://www.raco.cat/index.php/ECT/article/download/199928/267371>
- Ferrufino, M. (2015). *Ríos*. Recuperado el 09 de 01 de 2025, de Academia: <https://www.academia.edu/15617405/RIOS>
- Gámez, W. (2010). *Texto básico de Hidrología*. Obtenido de <https://cenida.una.edu.ni/textos/np10g192.pdf>
- Gámez, W. (2015). *Texto básico autoformativo de topografía general*. David López. Obtenido de <https://repositorio.una.edu.ni/3179/1/NP31G192t.pdf>
- García, D. (2019). *Modelado hidráulico del río Amojú aplicando el software Iber para zonificar áreas inundables en la ciudad de Jaén, Perú*. Recuperado el 7 de diciembre de 2024, de <https://repositorio.unj.edu.pe/handle/UJ/228>
- García, R., & Conesa, C. (2011). *Estimación de caudales de avenidas y delimitaciones de áreas inundables mediante métodos hidrometeorológicos e hidráulicos y técnicas S.I.G., estudio aplicado al litoral sur de la región de Murcia*. España: Papeles de Geografía.
- Guerra, A. (10 de 01 de 2022). Zonas inundables y límites a los usos urbanísticos. *Actualidad Jurídica Ambiental*. Obtenido de [https://www.actualidadjuridicaambiental.com/wp-](https://www.actualidadjuridicaambiental.com/wp-content/uploads/2022/01/2021-02-01-Guerra-Zonas-inundables.pdf)
- content/uploads/2022/01/2021-02-01-Guerra-Zonas-inundables.pdf
- Gutierrez, J., Rubiños, J., Fernandez, D., Ramírez, C., Roblero, R., Gutierrez, G., & Romero, M. (2022). *Modelación hidráulica en Iber para prevención de inundaciones en la cuenca Tesechoacán*. México: Revista Mexica.
- Ibáñez, S., Moreno, H., & Gisbert, J. (2015). *Morfología de las cuencas hidrográficas*. Recuperado el 20 de Octubre de 2024, de RiuNet: <https://m.riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/10782/Morfolog%C3%ADa%20de%20una%20cuenca.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Iber. (13 de 06 de 2012). *Modelización bidimensional del flujo en lámina libre en aguas poco profundas*. Recuperado el 10 de 01 de 2025, de Iber 2D: https://ocw.camins.upc.edu/repositori/ocw/materials/250431/2024/Manual_Referecia_Hidraulico_Iber_v13.pdf
- Instituto Nacional de Defensa Civil, (INDECI). (2014). *Manual de estimación del riesgo ante inundaciones fluviales*. Recuperado el 01 de 12 de 2024, de <https://dimse.cenepred.gob.pe/simse/cenepred/docs/MAN-manual-evar-inundac-fluviales.pdf>
- Llocclla, J. (2016). *Determinación del caudal máximo de avenida con fines de diseño del aliviadero de la presa Querobamba, Cangallo - Ayacucho - 2016*. Ayacucho - Perú: Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga.
- Martínez, H. (2018). *Evaluación hidrológica para la determinación de caudales máximos en la subcuenca del río Sayacc, Vischongo - Vilcashuamán - Ayacucho, 2018*. Ayacucho - Perú: Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga.
- Martínez, J. (09 de 2019). *Principales causas y acciones clave para reducir los daños por inundaciones*. Recuperado el 01 de 12 de 2024, de <https://fnca.eu/comunicacion/prensa/notas-de-prensa->

- fnca?download=202:principales-causas-y-acciones-clave-para-reducir-los-danos-por-inundaciones
- Méndez, W., Córdova, J., & Bravo, L. (2015). *Modelos predictivos de caudales máximos instantáneos para cuencas de drenaje de ambientes montañosos, sustentados en parámetros morfométricos*. Maracaibo - Venezuela: Revista técnica de la facultad de ingeniería universidad de Zulla.
- Ministerio de transportes y comunicaciones (MTC). (2011). Manual de hidrología, hidráulica y drenaje. Recuperado el 4 de 12 de 2024, de <https://www.gob.pe/>.
- Osío, M., Valencia, F. .., Guevara, E., & Cartaya, H. (2000). Cálculo del coeficiente de rugosidad "N" De Manning en los grandes ríos de Venezuela. *Redalyc*, 7(2), 13. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/707/70770202.pdf>
- Pereyra, D., Pérez, J., & Salas, M. (2008). *Hidrología*. Recuperado el 27 de octubre de 2024
- Rincón, M., Vargas, W., & González, C. (2017). En *Topografía: Conceptos y aplicaciones* (pág. 28). Ecoe Ediciones. Obtenido de <https://www.ecoediciones.com/wp-content/uploads/2018/02/Topograf%C3%ADa-Conceptos-y-aplicaciones-ebook.pdf>
- Roa, J., & Kamp, U. (2008). *Modelos de elevación digital (MED) a partir de sistemas satelitales. Una introducción y análisis comparativo en la co*. Recuperado el 17 de Octubre de 2024, de [Redalyc: https://www.redalyc.org/pdf/3477/347730375002.pdf](https://www.redalyc.org/pdf/3477/347730375002.pdf)
- Velasco, R., & Uribe, F. (2008). *La Hidrodinámica de Leonhard Euler*. Recuperado el 10 de 01 de 2025, de [Miscelanea Matemática: https://miscelaneamatematica.org/down](https://miscelaneamatematica.org/download/tbl_articulos.pdf2.8856729d76d3bdf6.55726962652e706466.pdf)
- Villazón, J., Noris, P., & Martín, G. (2 de June de 2021). *Determinación de la precipitación efectiva en áreas agropecuarias de la provincia de Holguín*. Recuperado el 30 de November de 2024, de SciELO Chile: <https://www.scielo.cl/pdf/idesia/v39n2/0718-3429-idesia-39-02-85.pdf>
- Villegas, M. (2023). *Analisis de riesgo frente a inundaciones en la quebrada estanquillo con el modelo matemático iber, en el distrito de cerro colorado, Provincia de Arequipa, Departamento de Arequipa*. Arequipa - Perú.