

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería Civil



Una Institución Adventista

**Determinación de superficie de inundación del río Chumbao en
el distrito de San Jerónimo, mediante el modelo numérico HEC-
RAS**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil

Autores:

Bach. Elizabeth Silvera Huamán

Bach. Mac Giver Romelio Mendoza Aguirre

Asesor:

Ing. Reymundo Jaulis Palomino

Lima, julio del 2022

DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA DE TESIS

Ing. Reymundo Jaulis Palomino, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: “**DETERMINACIÓN DE SUPERFICIE DE INUNDACIÓN DEL RÍO CHUMBAO EN EL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO, MEDIANTE EL MODELO NUMÉRICO HEC-RAS**” constituye la memoria que presenta la Bach. Elizabeth Silvera Huamán y el Bach. Mac Giver Romelio Mendoza Aguirre, para aspirar al título profesional de Ingeniero Civil, cuya tesis ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este trabajo de investigación son de entera responsabilidad de los autores, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en la ciudad de Lima, a los 27 días del mes de julio del año 2022.



Reymundo Jaulis Palomino

En Lima, Ñaña, Villa Unión, a los 27 día(s) del mes de julio del año 2022 siendo las 15:00 horas, se reunieron en modalidad virtual u online sincrónica, bajo la dirección del Señor Presidente del jurado: **Mg. Leonel Chahuares Paucar**, el secretario: **Ing. Ferrer Canaza Rojas** y los demás miembros: **Ing. David Diaz Garamendi** y el asesor **Ing. Reymundo Jaulis Palomino**, con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulada: "Determinación de Superficie de Inundación del río Chumbao en el Distrito de San Jerónimo, mediante el Modelo Numérico HEC-RAS"

.....de el(los)/la(las) bachiller/es: a) **ELIZABETH SILVERA HUAMAN**

.....b) **MAC GIVER ROMELIO MENDOZA AGUIRRE**

.....conducente a la obtención del título profesional de **INGENIERO CIVIL**.....
con mención en.....

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (los)/a(la)(las) candidato(a)/s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por el(los)/a(la)(las) candidato(a)/s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato (a): **ELIZABETH SILVERA HUAMAN**

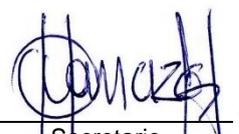
CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
APROBADO	16	B	BUENO	MUY BUENO

Candidato (b): **MAC GIVER ROMELIO MENDOZA AGUIRRE**

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
APROBADO	16	B	BUENO	MUY BUENO

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al(los)/a(la)(las) candidato(a)/s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

Presidente
Mg. Leonel
Chahuares
Paucar



Secretario
Ing. Ferrer Canaza
Rojas

Asesor
Ing. Reymundo
Jaulis Palomino

Miembro
Ing. David Diaz
Garamendi

Miembro



Candidato/a (a)
Elizabeth Silvera
Huaman



Candidato/a (b)
Mac Giver Romelio
Mendoza Aguirre

DEDICATORIA

“Adquiere sabiduría; adquiere entendimiento; no te olvides ni te apartes de las palabras de mi boca”

(Proverbios 4:5)

AGRADECIMIENTOS

Al Dios todo poderoso por su amor infinito, brindarnos grandes bendiciones y concedernos las fuerzas necesarias para culminar un objetivo más.

Asimismo, a nuestros padres por ser el pilar fundamental, por su apoyo incondicional quienes fueron sustento en todo momento a pesar de la distancia.

ÍNDICE

RESUMEN	5
ABSTRACT.....	5
1. INTRODUCCIÓN.....	6
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	7
3. RESULTADOS Y DISCUSIONES	8
CONCLUSIONES	13
REFERENCIAS.....	14

DETERMINACIÓN DE LA SUPERFICIE DE INUNDACIÓN DEL RÍO CHUMBAO EN EL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO, MEDIANTE EL MODELO NUMERICO HEC-RAS

DETERMINATION OF THE FLOOD SURFACE OF THE CHUMBAO RIVER IN THE DISTRICT OF SAN JERÓNIMO, THROUGH THE HEC-RAS NUMERICAL MODEL

Bach. Mac Giver Romelio Mendoza Aguirre macgivermendoza@upeu.edu.pe
Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión. Lima-Perú.

Bach. Elizabeth, Silvera Huamán elizabethsh@upeu.edu.pe
Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión. Lima-Perú.

RESUMEN

El distrito de San Jerónimo presenta un peligro de inundaciones debido a la cuenca del río Chumbao, por tal motivo, surge la necesidad de determinar las superficies de inundación en sus eventos de máximas avenidas. La presente investigación tiene como objetivo determinar la superficie de inundación del río Chumbao en el distrito de San Jerónimo, provincia de Andahuaylas, departamento de Apurímac; mediante la recolección de datos en campo como la topografía, la caracterización del área delimitada dentro de la cuenca, la determinación del caudal máximo para diferentes periodos de retorno (modelación hidrológica) mediante el programa HEC-HMS a partir de la precipitación máxima 24 horas, obtenidas de diferentes estaciones meteorológicas y finalmente la modelación hidráulica bidimensional con el programa HEC-RAS. El área de estudio determinada es de 172.39 km², siendo su caudal de 216 m³/s para un período de retorno de 500 años, una superficie de inundación total de 31 Ha, con alturas máximas de inundación de hasta 3.87 m. Finalmente la determinación de la superficie de inundación permitirá que las autoridades locales tomen medidas de prevención ante desbordamiento e inundación en el distrito de San Jerónimo.

Palabras clave: superficie de inundación, topografía, modelación hidráulica bidimensional, HEC-RAS y HEC-HMS.

ABSTRACT

The district of San Jerónimo presents a danger of flooding due to the Chumbao river basin, for this reason, the need arises to determine the flood surfaces in its maximum flood events. The objective of this research is to determine the flood surface of the Chumbao River in the district of San Jerónimo, province of Andahuaylas, department of Apurímac; by collecting data in the field such as topography, the characterization of the delimited area within the basin, the determination of the maximum flow for different return periods (hydrological modeling) through the HEC-HMS program from the maximum precipitation 24 hours, obtained from different meteorological stations and finally the two-

dimensional hydraulic modeling with the HEC-RAS program. The determined study area is 172.39 km², with a flow of 216 m³/s for a return period of 500 years, a total flood surface of 31 Ha, with maximum flood heights of up to 3.87 m. Finally, the determination of the flood surface will allow local authorities to take prevention measures against overflow and flooding in the district of San Jerónimo.

Keywords: flood surface, hydrological modeling, HEC-HMS, hydraulic modeling, HEC-RAS.

1. INTRODUCCIÓN

En el Perú existe una gran cantidad de cuencas hidrográficas, en las cuales ocurren eventos extremos máximos generando inundaciones. Las inundaciones son fenómenos naturales que no solo son influenciados por los eventos extremos máximos sino también por factores antrópicos como la tala indiscriminada, urbanizaciones, vías de comunicación terrestres y la falta de conservación de la cuenca[1]. Este fenómeno natural permite que la población presente peligros en su seguridad por la falta de medidas de prevención, por lo cual la presente investigación muestra las zonas inundables en el área de estudio para la toma de medidas necesarias de las autoridades correspondientes.

En general, el Perú es un país que por su ubicación geográfica es altamente vulnerable, cuya columna vertebral es la cordillera de los Andes, que junto a las características geológicas naturales han determinado ser considerado el tercer más vulnerable en el mundo, después de Honduras y Bangladesh [2]. Debido a esta característica el país ha sufrido a lo largo de su historia numerosos desastres naturales y las inundaciones han sido parte de un gran porcentaje de estos. Una estimación de las víctimas fatales en Perú a consecuencia de estos fenómenos hidrometeorológicos durante el año 2011, en la región Lima ocurrieron 246 emergencias, registrándose un total de 14 fallecidos, 13 heridos, 1 354 personas damnificadas, 675 personas afectadas; daños materiales consistente en 241 viviendas destruidas y 158 viviendas afectadas [3].

En la actualidad la gran mayoría de la población del distrito de San Jerónimo se encuentra ubicada en zonas vulnerables a diferentes riesgos, según los acontecimientos de inundaciones ocurridos en el año 2019 a causa las lluvias, llegando a desbordarse del río Chumbao provocando 2 personas heridas, 384 personas afectadas, 102 viviendas afectadas y 1 institución educativa [4]. De acuerdo a la información obtenida de plan de prevención y reducción del riesgo de desastres de la provincia de Andahuaylas al 2021, el distrito de San Jerónimo ha sufrido un total de 12 inundaciones [5].

Para determinar las inundaciones se realiza el modelamiento hidrológico, el cual es la representación esquemática de un fenómeno hidrometeorológico que ocurre dentro de la cuenca hidrográfica, realizada con el objetivo de estudiar o analizar la influencia que ejerce un fenómeno. La representación se da de manera matemática o física, en el primer caso el modelo de expresiones analíticas de la complejidad observada que se representa mediante ecuaciones; el segundo es un modelo que reproduce el fenómeno a cierta escala [6].

En la actualidad, debido al avance tecnológico en los equipos de computación y herramientas informáticas, se ha mejorado las modelaciones hidrológicas e hidráulicas en los ríos. Gracias a este avance tecnológico, las modelaciones unidimensionales dieron paso a las modelaciones bidimensionales, facilitando adquirir resultados para la simulación de problemas de inundación [7]. En el caso de las modelaciones unidimensionales se limitan en los análisis de desbordamiento, al presentarse esta condición entonces se aplica el modelo bidimensional, siendo este el más adecuado. De lo anterior, existe el software HEC-RAS, el cual se ha convertido virtualmente en una de las más populares y aplicadas debido a su interfaz gratuita y amigable. Según el estudio de V. Moya Quiroga et al., 2019, demuestra que el software HEC-RAS en su versión 5 es una herramienta eficaz para estudiar y comprender el comportamiento de las inundaciones [8], [9].

El presente estudio tiene como objetivo determinar la superficie de inundación del río Chumbao en el distrito de San Jerónimo del departamento de Apurímac, mediante la caracterización y delimitación del área de estudio en la cuenca del río Chumbao, determinando sus parámetros hidrológicos y por último la aplicación de la modelación hidráulica bidimensional con el modelo numérico HEC-RAS.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para el desarrollo del estudio se recolectó datos e información básicas de la cuenca hidrográfica del Río Chumbao, la cual se ubica geográficamente entre las coordenadas 73°37' y 73°10' de longitud Oeste y entre los 13°48' y 13°33' de latitud Sur [10]. Se recogió información cartográfica del Carta Nacional del Instituto Geográfico Nacional, mapas digitales y softwares de visualización de modelos digitales de terreno como Google Earth, ArcGIS, AutoCAD y Civil3D para procesamiento de la información referida al proyecto.

Para el estudio de la zona como planteamiento inicial fue necesario elaborar un mapa geomorfológico regional, utilizando software ArcGIS versión 10.5 y un modelo digital de elevaciones (DEM), a fin de determinar las características morfométricas de la cuenca (área, perímetro, etc.). La delimitación de la cuenca se realizó por divisoria de agua sobre imágenes satelitales adquiridas de Google Earth, estas fueron georreferenciadas en coordenadas WGS-84 -UTM-zona- 18S.

Para el análisis hidrológico se realizó en base a la información de datos históricos de las estaciones meteorológicas cercanas a la zona de estudio en cuanto a la altitud y el comportamiento climático. Después de un análisis se utilizó información de 6 estaciones (Andahuaylas, Abancay, Chalhuanca, Chilcayoc, Curahuasi y Vilcas Huamán) administradas por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú – SENAMHI, para los años de 1964 al 2018 con datos de precipitaciones máximas para 24 horas (MTC, 2008)[11].

Para analizar el comportamiento de estos datos meteorológicos, se trabajó con base en la distribución de Gumbel, en cada uno de los períodos de retorno establecidos (100,140, 200 y 500 años). Los valores de precipitación obtenidos fueron manipulados mediante el software HEC-HMS versión 4.8 (Hydrologic Engineering Center's Hydrologic Modeling System) para generar caudales máximos de avenida. Es necesario mencionar que para obtener el número de

curvas (CN) se hizo uso del ráster del ANA [12]. Donde nos permite determinar automáticamente el CN haciendo el uso del Geo-HMS.

El proceso final referente a la simulación de inundación en el tramo de estudio del río Chumbao, se inició con el establecimiento del área delimitada para el estudio perteneciente a la cuenca, dentro del software HEC-RAS versión 5.0.7, para ello se requiere topografía en archivo DEM, coeficiente de rugosidad “n” de Manning y se utilizó un caudal máximo para un período de retorno de 500 años. Dando como resultado el área que se encuentra en peligro a desbordes, para posteriormente elaborar el mapa de áreas de inundación.

3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Haciendo el uso del ArcGIS se determinó la delimitación del área de estudio perteneciente a la cuenca del río Chumbao hasta el punto de interés, presenta un área de 172.39 km², a partir de esta delimitación se obtienen las diferentes características morfométricas. La aplicación del software ArcGIS refleja una buena calidad de modelo digital, es uno de los programas más completos para las delimitaciones cartográficas.

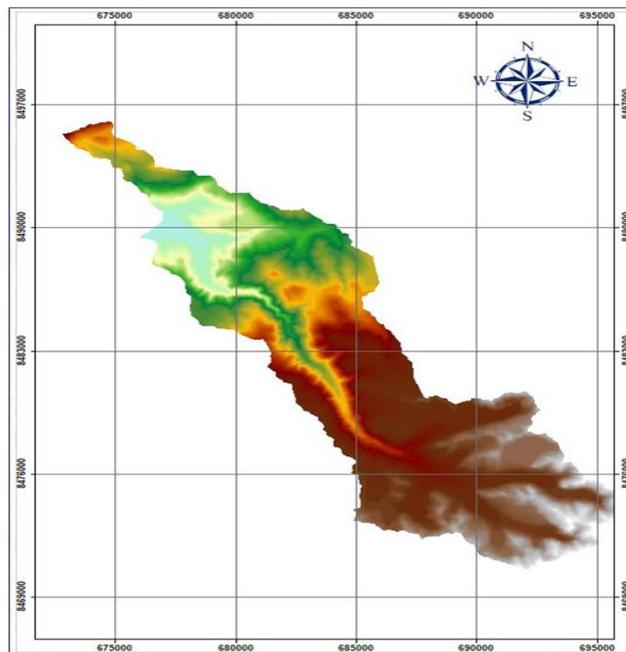


Fig. 1: Delimitación del área de estudio en la cuenca Chumbao hasta el punto de aforo.

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de características físicas morfométricas alcanzados para el área de estudio en la cuenca del río Chumbao se muestra en la tabla 1, presentando que se trata de una cuenca alargada (coeficiente de compacidad o índice de Gravelius = 1.89) [13]. Según la característica del área de la cuenca estudiada tiene una clasificación pequeña. El volumen del escurrimiento y escurrimientos máximos ocurren con mayor intensidad cuando la cuenca aumenta su tamaño [14]. Según el

estudio de Merila Alcarraz en el año 2019, realizó la investigación de la Evaluación de la socavación en estribos en el Puente Poshcota del río Chumbao, en la cual delimitó su área de estudio dentro de la cuenca del río Chumbao en el distrito de San Jerónimo y parte de la ciudad de Andahuaylas, dando como resultados parámetros con similitud a esta investigación [15]. Además, en el estudio Evaluación de los Recursos Hídricos en Cabecera de las Subcuenas de las Provincias de Andahuaylas y Chincheros, ejecutado por la Autoridad Nacional del Agua (ANA), también realizó la delimitación de un área de estudio dentro de la cuenca del río Chumbao con finalidad de determinar los eventos hidrológicos extremos en el punto de aforo localizado en la ciudad de Andahuaylas, dando como resultado una superficie de 172.45 km² y perímetro de 91.66 km [16]. Por lo tanto, la existencia de estos estudios dentro de la cuenca del río Chumbao, evidencian la coherencia en similitud de características físicas y morfológicas.

Tabla 1: Parámetros físicos morfométricos en el área de estudio

Parámetros	Resultados
Área de estudio (Km ²)	172.39
Perímetro de estudio (Km)	88.82
Longitud del cauce principal (Km)	31.56
Ancho promedio (Km)	5.46
Coefficiente de compacidad Kc	1.89
Factor de forma Ff	0.17
Altitud Máxima de la Cuenca (m.s.n.m)	4849.62
Altitud Mínima de la Cuenca (m.s.n.m)	2941.77
Densidad de drenaje (Km/Km ²)	2.93
Pendiente promedio de la cuenca (%)	4.76
Tiempo de concentración (h)	3.06

Fuente: Elaboración propia

La información meteorológica se trabajó a partir de las precipitaciones registradas (ver tabla 2) por la entidad SENAMHI por un período de 54 años. La metodología propuesta para seleccionar las estaciones tiene similitud con otros estudios, mencionando entre ellos el Estudio de la Cuenca del Río Chumbao, donde realizó un análisis y procesamiento integral de la información hidrológica disponible registrado en estaciones hidrometeorológicas dentro y fuera de la cuenca con la finalidad de generar caudales en el punto de interés [10].

Tabla 2: Coordenadas de las estaciones meteorológicas

Estaciones	Este (m)	Norte (m)	Años Registro
Chilcayocc	637596	8464893	1999-2018
Chalhuanca	694744	8419274	2000-2012
Andahuaylas	676732	8499759	1964-2018
Abancay	732582	8494940	1964-2018
Curahuasi	745152	8500658	1964-2018
Vilcashuamán	615248	8490912	1987-2018

Fuente: Adaptado de SENAMHI

Los datos que se grafican en figura 2 muestra la tendencia de precipitación anual en la cuenca Chumbao, los valores máximos de precipitación anual se presentaron en los años 1964, 1967, 2003 y 2006 con valores 65.5 mm, 65.5 mm, 67.3 mm y 63.7 mm respectivamente. De acuerdo a la información de INGEMMET, la inundación producida por el río Chumbao en el distrito de San Jerónimo específicamente en la Av. Ejército se presentó en el año 2010 con una de precipitación 51 mm anual causando daños de 20 viviendas, 1 muerto y terrenos de cultivos. Febrero y marzo son los meses más lluviosos y cobran importancia al ser la principal amenaza que condiciona el riesgo a inundaciones en la cuenca y en la población. Los reportes del INDECI mencionan que el área de estudio es altamente susceptible a ser afectados por desborde del río Chumbao, constituyendo zonas críticas [17].

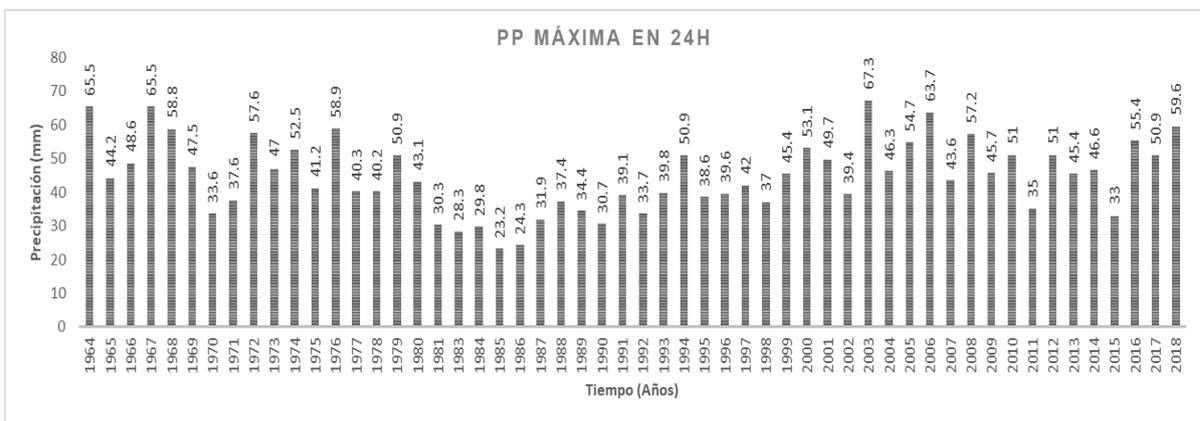


Fig. 2: Precipitación multianual para la cuenca río Chumbao.

Fuente: Elaboración propia

Para la consideración de las estructuras a proyectar y que el área de estudio se encuentra en una zona industrial y urbana se designó un período de retorno máximo de 500 años [18]. La función Gumbel, también conocida como distribución doble exponencial, es la más empleada para el análisis de frecuencia de precipitaciones extremas y la ejecución de inferencias [19]. De lo anterior, se calculó la precipitación máxima probable mediante la función Gumbel para los períodos de 100, 140, 200 y 500 años obteniendo los resultados (ver tabla 3) según el manual del MTC.

Tabla 3: Precipitaciones máximas por el método de Gumbel del río Chumbao.

Período de Retorno (Tr años)	Precipitaciones Máximas (mm)
	Gumbel
100	78.64
140	81.49
200	84.50
500	92.23

Fuente: Elaboración propia

La cuenca del río Chumbao cuenta con 7 subcuencas [20].

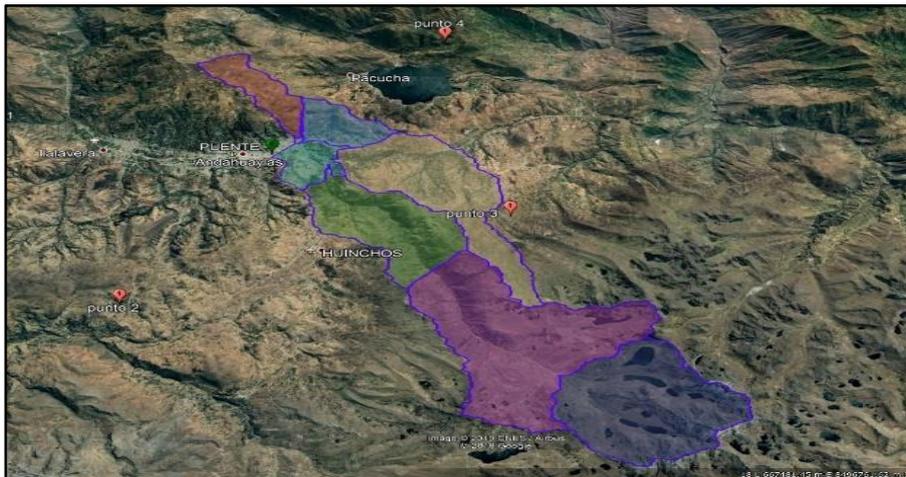


Fig. 3: Mapeo de las subcuencas de la cuenca del río Chumbao.

Fuente: Elaboración propia

Con fines de modelación hidrológica es necesario obtener los parámetros Morfométricos para cada Subcuenca. Algunos de estos datos requeridos por HEC-HMS se presentan en la siguiente tabla. Se determinó el número de curva (NC) de cada subcuenca que involucra al área de estudio de acuerdo a las características hidrográficas para determinar y afianzar los resultados obtenidos teniendo en cuenta en número de curva de referencia del Autoridad Nacional del Agua[12].

Tabla 4: Parámetros Morfométricos de las Subcuencas del río Chumbao.

Subcuenca	Área (km ²)	Perímetro (km ²)	Tiempo de concentración (h)	Tiempo de retardo (min)	Longitud (recorrido más largo) (km)	Pendiente (m/m)	Numero de curvas (CN)
N° 01	6.586	22.70	1.6579	34.816	5.124	0.0853	61.57
N° 02	8.330	20.45	2.1364	44.864	7.821	0.1219	71.46
N° 03	7.973	16.80	1.6549	34.754	5.443	0.1096	70.95
N° 04	31.696	45.20	4.4479	93.406	18.121	0.0740	72.57
N° 05	25.474	32.20	2.8853	60.592	11.101	0.1017	70.48
N° 06	53.267	51.90	3.7387	78.514	14.232	0.0703	71.64
N° 07	39.071	34.10	2.5891	54.371	9.245	0.0865	70.74

Fuente: Elaboración propia.

Se utilizó el software HEC-HMS donde se insertaron los datos requeridos para diferentes períodos, obteniendo los siguientes resultados (ver tabla 5).

Tabla 5: Datos obtenidos de los caudales máximos según período de retorno.

Período de retorno (años)	Caudal (m ³ /s)
100	139.40
140	156.40
200	170.40
500	216.00

Fuente: Elaboración Propia

La aplicación convencional del coeficiente de rugosidad “n” de Manning se suele aplicar en condiciones normales (valor constante), sin embargo, esta puede variar en función a las siguientes características de un canal: aspereza de la superficie, curvas, vegetación, irregularidades y tirante [21]. En la Tabla 6 se presenta los valores de los distintos factores para la determinación del coeficiente de rugosidad “n” de Manning, adoptados a partir de las condiciones del área en estudio.

Tabla 6: Coeficiente de rugosidad adoptado para el río Chumbao

Cauce del río Chumbao	Llanuras de inundación
n0 = 0.024 (grava fina)	n0 = 0.020 (tierra)
n1 = 0.005 (irregularidad menor)	n1 = 0.005 (irregularidad menor)
n2 = 0.005 (ocasionalmente)	n2 = 0.000 (variación gradual)
n3 = 0.000 (obstrucción despreciable)	n3 = 0.010 (obstrucción menor)
n4 = 0.005 (Vegetación baja)	n4 = 0.010 (Vegetación media)
n5 = 1.000 (Menor)	n5 = 1.000 (Menor)
n total = 0.039	n total = 0.045

Fuente: Elaboración propia

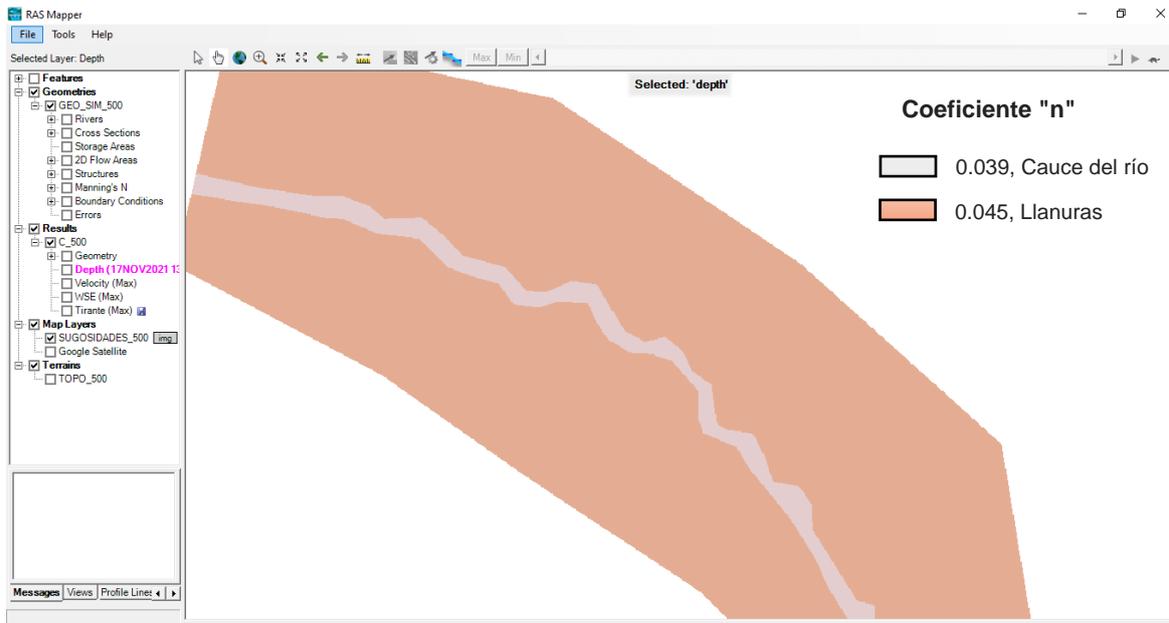


Fig. 4: Identificación de las zonas con distintos coeficientes de rugosidad.

Fuente: elaboración propia.

Con la aplicación del software HEC-RAS se determinó las zonas con mayor probabilidad de inundación en el río Chumbao (figura 5). Se identifica 3 zonas con mayor impacto; estas crecidas alcanzan hasta 3.87 m de altura máxima, para un período de retorno de 500 años y un caudal de 216 m³/s, el río llega a desbordarse cubriendo aproximadamente 31 Ha, afectando viviendas, áreas agrícolas y vías de comunicación.

La inundación afecta directamente a los propietarios de estas parcelas generando pérdidas económicas y daños materiales.

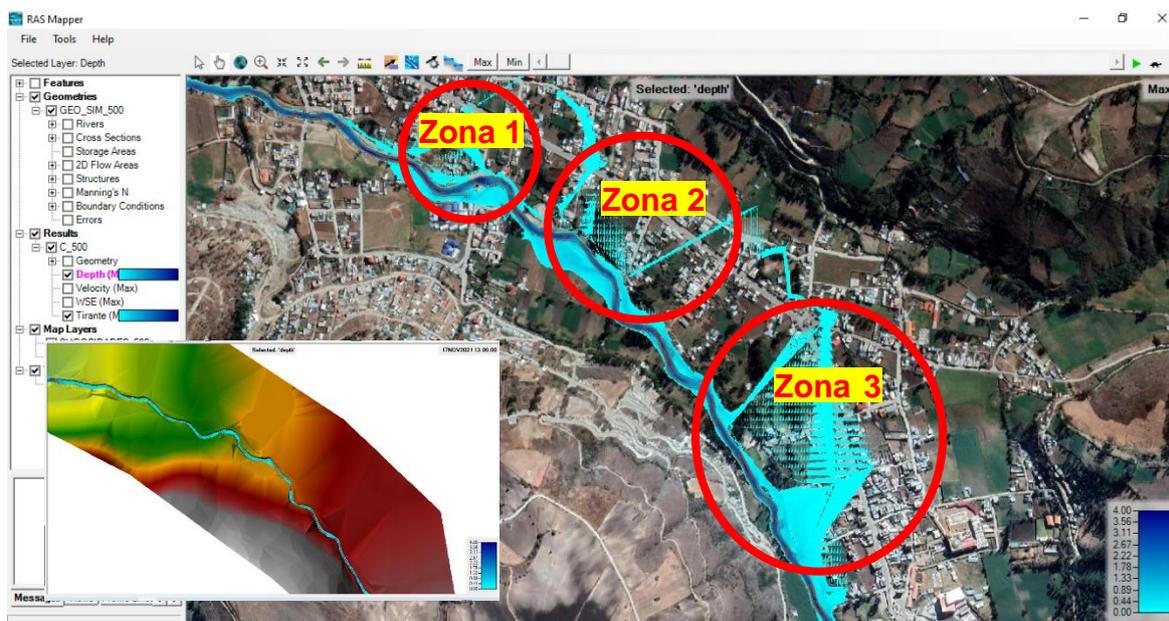


Fig. 5: Mapa de inundación, tiempo de retorno 500 años.

Fuente: elaboración propia.

Tabla 7: Alturas máximas en zonas inundables del río Chumbao

Zona	Altura máxima (m)
1	3.87
2	3.09
3	3.56

Fuente: Elaboración propia

4. CONCLUSIONES

La simulación de superficie de inundación aplicada en el río Chumbao se determinó a través de la aplicación del software ArcGIS versión 10.25, modelo digital de elevaciones (DEM), determinación de caudales máximos con el software HEC-HMS versión 4.8 y finalmente el uso del software HEC-RAS versión 5.0.7.

Se identificó las zonas que son propensas a inundaciones para un período de retorno 500 años con un caudal de 216 m³/s. Se obtuvo aproximadamente 31 Ha de área afectada de inundación y con una altura máxima de 3.87 m; el margen derecho del río Chumbao es el más peligroso tiene una extensión de inundación más grande.

La información provista ayudará a los residentes del distrito de San Jerónimo, principalmente a la población que se encuentra en el área de estudio delimitada en esta investigación a permanecer alertas y ser advertidos a un futuro posible desastre natural y combatirlas a tiempo. Las áreas de inundación identificadas

ayudarán a las autoridades locales para la adopción de medidas de prevención ante desbordamiento e inundación.

Finalmente, HEC-RAS 5.0.7 (Beta) incluye herramientas fáciles de usar, termina procesando de forma adecuada modelos bidimensionales, y que a pesar de las limitaciones de no permitir introducir estructuras internas como puentes dentro del área 2D no le quita desmerito al software por tratarse de una versión beta.

REFERENCIAS

- [1] E. Hurtado, “Modelamiento hidráulico bidimensional del río Rímac en el sector Huachipa, tramo km. 27+450 al km. 28+525,” Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, 2017.
- [2] Viceministerio de Gestión Estratégica de Recursos Naturales, Dirección General de Ordenamiento Territorial, and Equipo Técnico de Vulnerabilidad, “Memoria descriptiva del mapa de vulnerabilidad física del Perú,” Lima, 2011.
- [3] INDECI, “Compendio Estadístico del INDECI en la atención de emergencias y desastres,” Lima, Dec. 2012.
- [4] Centro de Operaciones de Emergencia Nacional, “Inundación en el distrito de san Jerónimo - Apurímac,” San Jerónimo, Feb. 2019.
- [5] A. López, “Plan de prevención y reducción del riesgo de desastres al 2021,” Andahuaylas, 2018.
- [6] A. Velasquez, “Modelamiento hidrológico e hidráulico del río Santa, Tramo Asentamiento Humano las Flores, Distrito de Carhuaz, Ancash,” Universidad Nacional Agraria, Lima, 2015.
- [7] M. Astorayme, “Configuración de modelos climáticos, Hidrológicos e Hidráulicos en la cuenca del río Rímac, Perú,” Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, 2017.

- [8] J. Martín, S. López, P. Martín, G. Simarro, and G. Benito, "Uso de modelos UNI- y Bidimensionales en llanuras de inundación. Aplicación al caso del río Tajo en Talavera de la Reina ," *Ingeniería del Agua*, pp. 1–10, 2003.
- [9] v. Moya, S. Kurea, K. Udoa, and A. Manoa, "Aplicación de simulación numérica 2D para analizar la inundación de febrero de 2014 en la Amazonía Boliviana: aplicación del nuevo HEC-RAS versión 5," *RIBAGUA*, pp. 3–10, Jul. 2015.
- [10] Autoridad Nacional del Agua, "Estudio de la cuenca del Río Chumbao Andahuaylas-Apurímac," Ayacucho, 1980.
- [11] Ministerio de Transportes y Comunicaciones, "Manual de hidrología, hidráulica y drenaje," Lima, 2018.
- [12] Autoridad Nacional del Agua and Sistema Nacional de Información de Recursos Hídricos, "Observatorio del agua," *Observatorio del agua*, 2022. <https://snirh.ana.gob.pe/observatoriosnirh/> (accessed May 20, 2022).
- [13] A. Cañibano, P. Sastre, and R. D'Andrea, "Área y perímetro para la caracterización de formas," *SUMA*, pp. 1–8, Jul. 2016.
- [14] W. Gámez, *Texto básico de Hidrología*, 1a ed. Nicaragua: Universidad Nacional Agraria, 2009.
- [15] Alcarraz Yeny, "Evaluación de la socavación en estribos en el puente Poshcota del río Chumbao, distrito de Andahuaylas – Apurímac - 2017," Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola, Universidad Nacional de San Cristóbal, Ayacucho, 2019.
- [16] Autoridad Nacional del Agua, "Evaluación de los Recursos Hídricos en Cabecera de las Subcuenas de las Provincias de Andahuaylas y Chincheros," Andahuaylas - Apurímac, Nov. 2013.

- [17] S. Villacorta, P. Valderrama, and R. Roa, "Primer reporte de zonas críticas por Peligros Geológicos y Geo-Hidrológicos en la Región Apurímac," Apurímac, Mar. 2012.
- [18] Comisión Nacional del Agua, "Manual para el control de inundaciones," México, Feb. 2011.
- [19] J. Gutiérrez, V. Vargas, M. Romero, J. Plácido, M. Aguirre, and H. Silva, "Periodos de retorno de lluvias torrenciales para el estado de Tamaulipas, México," *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, pp. 1–14, Nov. 2011.
- [20] Autoridad Nacional del Agua, "Mapas de Subcuencas Hidrográficas," *Geo GPS Perú*, 2022. <https://www.geogpsperu.com/2018/07/mapa-de-subcuencas-hidrograficas-ana.html> (accessed May 20, 2022).
- [21] A. Rocha, *Hidráulica de tuberías y canales*, 1st ed., vol. 1. Lima, 2007.