

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



Una Institución Adventista

Definición de zonas de inundación mediante el modelo de simulación Hec-Ras en la cuenca baja del río Coata - Puno

Por:

Ronald Mamani Mamani
Diego Llanchipa Ramirez

Asesor:

Ing. Renny Daniel Díaz Aguilar

Juliaca, agosto de 2020

DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Ing. Renny Daniel Díaz Aguilar, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que el presente trabajo de investigación titulado: “DEFINICIÓN DE ZONAS DE INUNDACIÓN MEDIANTE EL MODELO DE SIMULACIÓN HEC-RAS EN LA CUENCA BAJA DEL RÍO COATA - PUNO” constituye la memoria que presentan los estudiantes Ronald Mamani Mamani y Diego Llanchipa Ramirez, para aspirar al grado de bachiller en Ingeniería Ambiental, cuyo trabajo de investigación 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 Juliaca, a los 14 días del mes de septiembre del año 2020.



Ing. Renny Daniel Díaz Aguilar

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

En Puno, Juliaca, Villa Chullunquiari, a 07 día(s) del mes de agosto del año 2020, siendo las 9:00 horas,

se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión campus Juliaca, bajo la dirección del (de la)

presidente(a): Ing. Verónica Naydel Pari Mamani, el(la)

secretario(a): Dr. Mac. Efraim Lujano Lavea y los demás miembros:

Mac. Bernardino Espia Alguilar

y el(la) asesor(a) Ing. Renny Daniel Diaz Alguilar

con el propósito de administrar el acto académico de sustentación del trabajo de

investigación titulado: Definición de zonas de inundación mediante

el modelo de simulación Hec-Ras en la cuenca baja del

rio Coata - Puno

de los (las) egresados (as): a) Ronald Mamani Mamani

b) Diego Llanchipa Ramirez

conducente a la obtención del grado académico de Bachiller en

Ingeniería Ambiental

(Denominación del Grado Académico de Bachiller)

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando a los 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 los 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 (a): Ronald Mamani Mamani

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>18</u>	<u>A-</u>	<u>Muy Bueno</u>	<u>Sobresaliente</u>

Candidato/a (b): Diego Llanchipa Ramirez

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>18</u>	<u>A-</u>	<u>Muy Bueno</u>	<u>Sobresaliente</u>

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó a los 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/a

Asesor/a

Candidato/a (a)

Miembro

Miembro

Candidato/a (b)

[Firma]
Secretario/a

Definición de zonas de inundación mediante el modelo de simulación Hec-Ras en la cuenca baja del río Coata - Puno

Ronald Mamani Mamani ^{a*}, Diego Llanchipa Ramirez ^bRenny Daniel Díaz Aguilar

^aEP. Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión

^bEP. Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión

Resumen

La población del distrito de Coata se ha visto afectado en diversas ocasiones por el desborde del río Coata, por tal motivo, surge la necesidad de poder determinar las áreas afectadas por inundaciones ante eventos de máximas avenidas. El presente artículo de investigación tiene por objetivo determinar las principales zonas afectadas por inundaciones mediante el modelo de simulación hidráulica HEC-RAS en la cuenca baja del río Coata. Se utilizó el software ArcGis juntamente con la extensión HEC-GeoRAS para digitalizar el cauce del río, los bancos y los caminos de flujo del cuerpo de agua, todo ello de acuerdo al Modelo de Elevación Digital (DEM), la representación de los resultados se realizó mediante un mapa de inundación conforme a los resultados obtenidos en el software HEC-RAS. Se logró identificar zonas de inundación de la cuenca baja del río Coata para un periodo de retorno en 5 años a un caudal de 428.06 m³/s. El área total afectada es de 134 hectáreas, el área con mayor inundación son zonas de cultivo (119 Ha) seguido de las poblaciones aledañas (70 Ha). Finalmente resaltamos que el análisis de inundación realizado permitirá a las autoridades hacer una adecuada gestión frente a inundaciones en la zona.

Palabras clave: Inundaciones; HEC-RAS; HEC-GeoRAS; simulación hidráulica; Coata.

Summary

The population of the Coata district has been affected by the overflowing of the Coata River on several occasions. The present research article aims to determine the main areas affected by floods using the HEC-RAS hydraulic simulation model, in the lower basin of the Coata River. For this reason, it is necessary to be able to determine the areas affected by flooding in the event of maximum flooding. The ArcGis software was used along with the HEC-GeoRAS extension to digitize the riverbed, banks and flow paths of the water body, all according to the Digital Elevation Model (DEM). The representation of the results was done through a flood map according to the results obtained in the HEC-RAS software. In conclusion, it was possible to identify flood zones in the lower basin of the Coata River for a return period of 5 years and a flow rate of 428.06 m³/s. The total flooded area is 134 hectares, the area with the greatest flooding is the cultivation areas (119 Ha) followed by the surrounding populations (70 Ha). Finally, we would like to emphasize that the flood analysis carried out will allow the authorities to make an adequate management against floods in the area.

Keywords: Floods; HEC-RAS; HEC-GeoRAS; Hydraulic simulation; Coata

* Autor de correspondencia:

Km. 6 Carretera Salida Arequipa, Juliaca, Puno

Cel.: 929741536 , 950286327

E-mail: ronald.mm@upeu.edu.pe, diego.lr@upeu.edu.pe

1. Introducción

El modelo hidráulico es una herramienta de gran importancia para el estudio de crecidas de ríos permitiendo manejar hipótesis, con grado de confianza para la toma de decisiones, ya sea con fines de delimitación de la faja marginal de los cauces de río o exigir criterios de diseño de obras e infraestructuras capaces de soportar y funcionar adecuadamente en situaciones de emergencia o también en la ordenación del territorio en torno a los ríos, planteando así las restricciones del desarrollo urbano, las actividades agrícolas y pecuarias en las áreas que correspondan a la faja marginal (Estrada & Pacheco, 2012).

En el territorio nacional se realizaron modelamientos hidráulicos con el programa HEC-RAS para el río Huaycoloro en el distrito de Huachipa-Lima, esto con el fin de identificar los tramos críticos y vulnerables existentes en la zona de estudio y así proponer la mejor solución de defensas ribereñas ante un posible desborde (Quispe & Rojas, 2018).

A ello se suma el estudio llevado a cabo por Morales (2012) quien realizó una simulación hidráulica en el río Cabanillas con el objetivo de determinar áreas con riesgo a inundaciones para periodos de retorno de 25, 50, 100 y 500 años, siendo estas áreas de 702.900, 805.200, 942.000 y 1257.500 hectáreas consecutivamente, sin considerar el área del cauce natural del río que suma 714.27 hectáreas.

La población del distrito de Coata se ha visto afectada en diversas ocasiones a causa de las inundaciones y desbordes del río Coata, esto debido a las intensas precipitaciones, fenómenos climáticos y la baja topografía de la zona, trayendo como consecuencia, pérdidas de áreas de cultivo, viviendas, ganadería etc. El Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI) ha registrado en el 2010 el desborde del río Coata, dejando 500 hectáreas de cultivos afectados, 60 familias damnificadas y 140 familias afectadas.

Frente a esta problemática surge la necesidad de realizar un estudio de áreas en las que se presenten mayor probabilidad de inundaciones, mediante herramientas de simulación para así poder determinar las zonas que presenten mayor probabilidad de inundación al momento de generarse el desborde de los ríos.

Por lo mencionado el presente trabajo de investigación tiene por objetivo determinar las áreas afectadas por inundaciones ante eventos de máximas avenidas para un periodo de retomo de 5 años, para lo cual se utilizará el software HEC-RAS, ya que es un modelo que analiza zonas inundables a través de datos de secciones transversales del río, los cuales son obtenidos a partir de la topografía del cauce del río, el flujo de agua y las especificaciones técnicas de simulación, este software permitirá simular y hallar las zonas de posibles inundaciones en el tramo de estudio.

2. Materiales y Métodos

2.1. *Recolección de datos*

Para poder realizar las simulaciones de inundación en el HEC-RAS, se requieren datos de topografía, caudales máximos anuales y el coeficiente de rugosidad. Para la topografía de la zona de estudio se descargó el DEM (Modelo de Elevación Digital) del satélite Alos Palsar de la zona de estudio (<https://earthdata.nasa.gov/>) el cual cuenta con una resolución espacial de 12.5 m.

La estación hidrológica más cercana a la zona de estudio es la estación del Puente Unocolla, de la cual se tomaron datos de caudales máximos anuales; estos datos se encuentran en la página web del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI (<https://www.senamhi.gob.pe/?p=estaciones>), además parte de esta información actualizada se encuentra en la página web de la Autoridad Nacional del Agua – ANA (<http://snirh.ana.gob.pe/visors2/>) la Información tomada es del periodo de 1958 al 2020. Cabe mencionar que dicha información es contrastada y tomada de la investigación de Lobo (2017), donde el autor concluye que los datos para el periodo (1958 a 2015) son consistentes.

2.2. Análisis de datos

Esta información es usada para el cálculo del caudal máximo para un periodo de retorno de 5 años, este cálculo fue mediante el método de Gumbel, haciendo uso de las siguientes ecuaciones:

$$N = \mu - \frac{\ln(-\ln(F(x)))}{d} \text{----- (I)}$$

Donde:

N: Periodo de retorno proyectado

F(x): Constante para cada periodo de retorno

$$x = \sum_{i=1}^n xi \text{----- (II)}$$

Donde:

X: Promedio de caudales máximos

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (xi - x)^2}{n - 1}} \text{----- (III)}$$

Donde:

S: Desviador estándar

n: Número de datos

$$\mu = x - 0.450047 * S \text{----- (IV)}$$

$$d = \frac{1}{0.779696 * S} \text{----- (X)}$$

Para determinar la resistencia del flujo (coeficiente de Manning) en el canal de la zona de estudio, se utilizó la tabla de valores recomendados para cauces naturales; la parte de la cuenca baja del Coata posee meandros y a la vez presenta cultivos de pasto para ganado, por consiguiente, el coeficiente de Manning que se utilizó fue de 0.035.

2.3. Procesamiento de datos

Para el procesamiento del área de estudio se utilizó un DEM de 12.5 m de resolución espacial el cual permitió realizar un análisis de la parte baja de la cuenca en estudio. Con la ayuda del software ArcGis 10.2 y la herramienta *Hillshade* se mejoró el detalle del relieve, de tal forma que se pueda visualizar el cauce del río de una manera más detallada para su delimitación.

2.3.1. Determinación de la geometría de cauce

Con la extensión del HEC-GeoRAS se digitalizó el centro del cauce del río en base a una imagen satelital de alta resolución del software SAS PLANET y en base al modelo de elevación digital. Luego de ello se crearon los bancos de cauce del cuerpo de agua, aguas arriba y aguas abajo, considerando la topografía del terreno. Así mismo se digitalizó los caminos del flujo con la herramienta “flowpaths” considerando 1000 metros para cada lado del margen del río.

2.3.2. Secciones Transversales

La creación de las secciones transversales se realizó con la extensión Hec- GeoRAS, con la herramienta “XS Cut Lines” dándole como referencia el modelo de elevación digital, asegurándose de que cada sección transversal sea lo suficientemente amplia como para cubrir la planicie de inundación. Una vez terminado toda la geometría del terreno se procedió a exportar al programa HEC-RAS.

2.3.3. Datos de flujo y generación de zonas de desborde

Con la ayuda del HEC-RAS, se modeló la respuesta que tendría el cauce del río Coata en el tramo de estudio, para ello se utilizó un caudal máximo para un periodo de retorno de 5 años, el coeficiente de rugosidad y la pendiente del terreno, dando como resultado el área que se encuentra en peligro a desbordes, para posteriormente elaborar el mapa de áreas de inundación.

3. Resultados y Discusión

El HEC-RAS permitió hallar las posibles áreas con peligros a desbordes en la cuenca baja del río Coata, estimando así la cantidad de hectáreas de cultivo afectados, de igual modo el área urbana afectada, de las localidades cercanas al cuerpo de agua. En la figura 1 se observa las secciones transversales del cauce del río en el HEC-RAS, el cual cuenta con 38 cortes transversales con un intervalo de 150 metros entre cada sección.

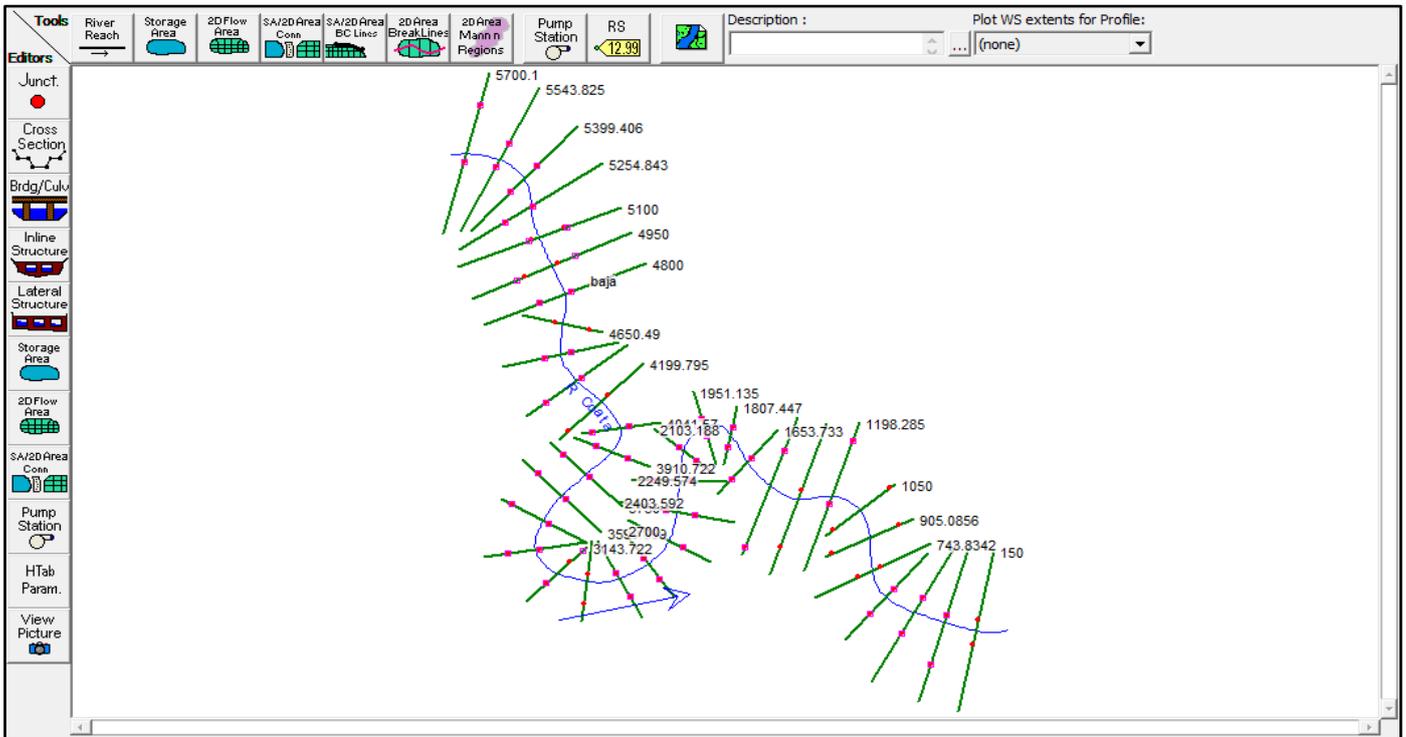


Figura 1. Vista de la geometría importada desde HEC-RAS.

La figura 2 muestra las zonas con mayor probabilidad de inundación para un tiempo de retorno en 5 años, donde se observa que el cauce del río llega a desbordarse de su curso natural, cubriendo 15 Ha de áreas urbanas, 119 Ha de áreas de cultivo agrícola, y más de 30 viviendas aledañas al río; alcanzando a cubrir un total de 134 hectáreas de terreno.

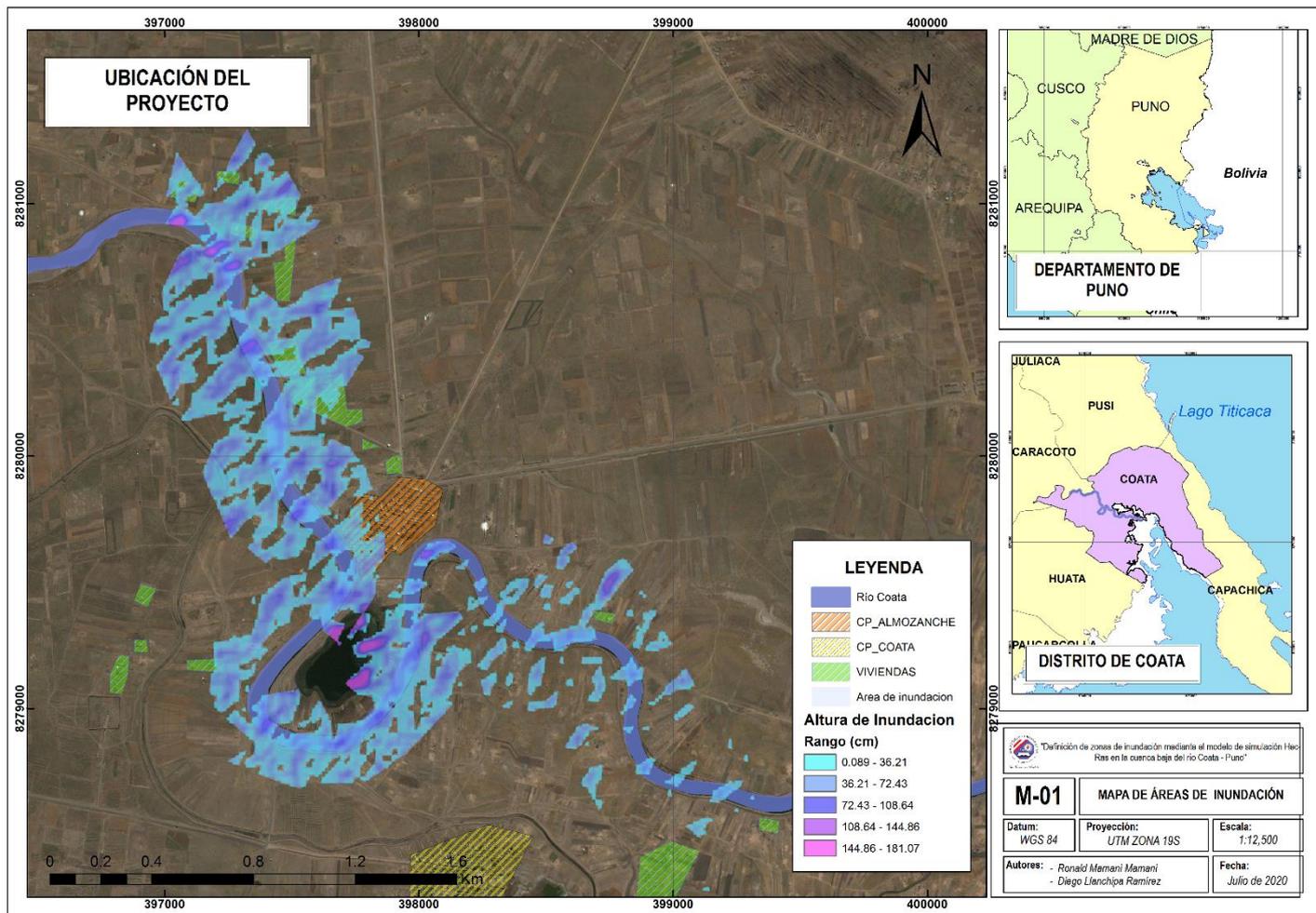


Figura 2. Mapa de áreas de inundación de la cuenca baja del río Coata.

Así mismo se observa que después de las zonas de desborde el caudal se canaliza, regresando a su cauce natural, esto puede deberse a la configuración del relieve y profundidad del canal, además se muestra que hay zonas en la que hay desbordes incongruentes, esto debido a la topografía con la que se trabajó, en este caso un DEM con una resolución especial de 12.5 m. En la tabla 1 se muestra la descripción de áreas afectadas por el desborde del río, siendo los cultivos los más afectados y una parte de la población de Almozanche.

Tabla 1

Áreas de zonas inundables de la cuenca baja del río Coata.

Descripción	Área (Ha)	%
Cultivos	119	58.3
P. Almozanche	15	7.4
P. Coata	0	0
Población aledaña	70	34.3
Inundación total	134	100

3.1. Discusiones

La escasez de datos topográficos de la zona de estudio, fue una limitación para representar de manera detallada la topografía de la zona de estudio, debido a que la parte baja de la cuenca Coata presenta una topografía llana y la imagen satelital del Alos Palsar por su resolución espacial de 12.5 m, no representa adecuadamente la batimetría del cauce del río. Además, Lobo (2017), menciona que un DEM con mayor resolución permitiría una delimitación más precisa del área de estudio obteniendo resultados más óptimos.

Según Rodaz, Torres, & Mora (2013) la importancia de realizar un análisis de riesgo radica en determinar las distribuciones de probabilidad de las pérdidas que pueden sufrir en lapsos dados los bienes expuestos, como consecuencia de la ocurrencia de amenazas naturales, sin embargo, esta investigación no contempla el análisis de riesgo, debido a que es necesario realizar el trabajo en campo, como la recolección de datos de tipo de vivienda, ubicación geográfica, tipo de construcción, entre otros con el fin de realizar el análisis de vulnerabilidad.

Para el análisis de riesgo por inundación Apel et al. (2009) concluye que, a mayor nivel de detalle a modelar, resulta una mayor complejidad, repercutiendo en una mayor demanda de recursos y tiempo de procesamiento de datos. Cabe mencionar que, el procesamiento de los datos en un SIG (Sistema de Información Geográfica), permitió mejorar la representación topográfica de la zona, dado que la topografía plana de la zona generó una mayor dificultad al momento de generar los cortes transversales del cauce del río.

4. Conclusiones

Se logró identificar zonas de inundación de la cuenca baja del río Coata mediante el uso del Software HEC-RAS para un periodo de retorno en 5 años a un caudal proyectado de 428.06 m³/s. El área total afectada es de 134 hectáreas; el área con mayor inundación son zonas de cultivo (119 Ha), las poblaciones aledañas a la ribera del río también son afectadas (70 Ha) y el poblado de Almozanche con 15 Ha; estas tres zonas son afectadas por estar en cercanía a la ribera del río. El poblado de Coata no es afectado por las inundaciones para este periodo de retorno debido al caudal de retorno es de 428.06 m³/s, además de ubicarse lejos de la ribera del río Coata.

5. Recomendaciones

Se recomienda hacer un levantamiento topográfico a detalle debido a que se trabajó con una imagen satelital del satélite Alos Palsar, el cual tiene una resolución espacial de 12.5 metros, a la hora de correr el modelo se tuvo la dificultad de generar adecuadamente los cortes transversales, esto debido a que la cuenca baja del río Coata tiene una topografía plana.

Además, se recomienda aplicar modelos hidráulicos para distintos periodos de retorno, el cual pueda permitir identificar de manera más precisa zonas inundables y de tal manera se pueda elaborar planes de contingencia ante un eventual desborde.

Finalmente se recomienda elaborar mapas de vulnerabilidad, peligro y riesgo, esto con el fin de tener un panorama amplio de este problema.

6. Referencias Bibliográficas

- ANA. (Julio de 2020). Sistema Nacional de Información de Recursos Hídricos. Obtenido de Visor de Estaciones Convencionaler: <http://snirh.ana.gob.pe/consultasSnirh/ConsHidrom2.aspx>
- Apel, H., Aronica, G.T., Kreibich, H. *et al.* (2009) Flood risk analyses—how detailed do we need to be?. *Nat Hazards* 49, 79–98. <https://doi.org/10.1007/s11069-008-9277-8>
- Cartaya, Scarlet, & Mantuano-Eduarte, Roddy. (2016). Identificación de zonas en riesgo de inundación mediante la simulación hidráulica en un segmento del Río Pescadillo, Manabí, Ecuador. *Revista de Investigación*, 40(89), 158-170. Recuperado en 28 de junio de 2020, de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1010-29142016000300009&lng=es&tlng=es.
- Estrada Sifontes, V., & Pacheco Moya, R. M. (2012). Modelación hidrológica con HEC-HMS en cuencas montañosas de la región oriental de Cuba. *SciELO*, 95.
- Farooq, M., Shafique, M., & Khattak, M. S. (2019). Flood hazard assessment and mapping of River Swat using HEC-RAS 2D model and high-resolution 12-m TanDEM-X DEM (WorldDEM). *Natural Hazards*, 97(2), 477–492. <https://doi.org/10.1007/s11069-019-03638-9>
- Guarniz, Carlos. (2014). “Comparación de los modelos Hidráulicos Unidimensional (HEC-RAS) y Bidimensional (IBER) en el Análisis de Rotura en Presas de Materiales Suelos; y Aplicación a la Presa Palo Redondo” (Tesis de pregrado). Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo, Perú.
- INDECI. (29 de Febrero de 2020). Módulo de Monitoreo y Análisis. Obtenido de Boletín Informativo de Aviso Hidrológico Indeci N° 197 del 29-02-2020 : <https://www.indeci.gob.pe/wp-content/uploads/2020/02/BOLET%20INFORMATIVO-HIDROL%20GICO-INDECI-N%20197-DEL-29-02-2020.pdf>
- Irvem, A., & Ozbuldu, M. (2020). Evaluation of Flood Simulation for Zeyzoun Dam-Break in Syria Using Hec-Ras Model. *Fresenius Environmental Bulletin*, 29(2), 1250–1255.
- Kim, V., Tantane, S., & Suparta, W. (2020). Gis-Based Flood Hazard Mapping Using Hec-Ras Model: A Case Study of Lower Mekong River, Cambodia. *Geographia Technica*, 15(1), 16–26. https://doi.org/10.21163/GT_2020.151.02
- Lluén, Willy (2015). "Aplicacion de la nueva herramienta hec-ras 5.0 para calculos bidimensionales del flujo de agua en rios" (Tesis de master). Escola de Camins, Barcelona.
- Lobo, E. (2017). “Estudio hidrológico e hidráulico para la identificación de la vulnerabilidad a desbordes de la cuenca baja del río Coata – Puno” (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima, Perú.
- Mamani, H. (2014). “Modelamiento de maximas avenidas que generan riesgo de inundacion en la ciudad de Ayaviri - Puno” (Tesis de pregrado). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.
- Morales, A. (2012). Definición de áreas de inundación del río Cabanillas para la delimitación de la faja marginal (tesis de pregrado). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.
- Ogras, S., & Onen, F. (2020). Flood Analysis with HEC-RAS: A Case Study of Tigris River. *Advances in Civil Engineering*, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/6131982>
- Olasunkanmi, A. B., & Dan’azumi, S. (2018). Flood Inundation and Hazard Mapping of River Zungur Watershed Using Gis and Hec-Ras Models. *Nigerian Journal of Technology*, 37(4), 1162–1167. <https://doi.org/10.4314/njt.v37i4.41>.
- Pathan, A. K. I., & G Agnihotri, P. (2020). 2-D Unsteady Flow Modelling and Inundation Mapping for Lower Region of Purna Basin Using HEC-RAS. *Nature Environment & Pollution Technology*, 19(1), 277–285.
- Quispe Quiñones, D. R., & Rojas Félix, J. E. (2018). Modelamiento hidráulico del cauce en río huaycoloro mediante el programa Hec-Ras para mitigar las inundaciones en Huachipa, 2018. Universidad de César Vallejo.
- Rodaz, M., Torres, M., & Mora, R. (2013). Vulnerabilidad y riesgo por inundaciones. Colegio de Ingenieros Civiles de México, (November). Obtenido de: <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3180.3769>

Sabău, D., & Șerban, G. (2018). Arch dam failure preliminary analysis using HEC-RAS and HEC-GEO RAS modeling. Case study Someșul Rece 1 reservoir. *Forum Geografic*, 17(1), 44–55.
<https://doi.org/10.5775/fg.2018.058.i>

SENAMHI. (Julio de 2020). Datos / Datos Hidrometeorológicos. Obtenido de Datos Hidrometeorológicos a nivel nacional: <https://www.senamhi.gob.pe/?&p=estaciones>