



Propuesta de obra para el control de inundaciones en la cuenca baja del río Portoviejo, sector el Horcón - Ceibal, cantón Rocafuerte - Manabí – Ecuador

Work proposal for flood control in the lower basin of the Portoviejo river, Horcón - Ceibal sector, Rocafuerte canton - Manabí – Ecuador

Proposta de trabalho para o controle de inundações na bacia inferior do rio Portoviejo, setor Horcón - Ceibal, cantão Rocafuerte - Manabí – Equador

Hugo Renán Santana-Sornoza ^I
hsantana3129@utm.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-2958-9977>

Paulina Rosana Lima-Guamán ^{II}
prlima@uce.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-1375-2936>

Correspondencia: hsantana3129@utm.edu.ec

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículos de investigación

***Recibido:** 16 de julio de 2021 ***Aceptado:** 30 de agosto de 2021 *** Publicado:** 23 de septiembre de 2021

- I. Ingeniero Civil, Instituto de Postgrado Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Manabí, Ecuador.
- II. PHD en filosofía en la escuela de ingeniería civil, Facultad de Ingeniería, Ciencias Físicas y Matemática Universidad Central del Ecuador, Quito, Pichincha, Ecuador.

Resumen

En la última década, los desastres naturales se han venido presentando con mayor intensidad, hechos que se consideran en buena parte, como consecuencia a las actividades antrópicas indiscriminadas. Entre esos eventos, destacan las inundaciones, fenómenos desarrollados en todo el planeta que ocasionan cuantiosas pérdidas materiales y humanas, que son el resultado del crecimiento acelerado de la población, aunado a la desorganización y falta de urbanismos planificados, los que, sumados a la contaminación de los cauces, vertedero de desechos sólidos y deforestación en las cuencas y cabeceras de los ríos, ocasionan riesgos de inundaciones. El presente artículo tiene como principal objetivo proponer el diseño de una obra para el control de posibles eventos de inundación en la cuenca baja del río Portoviejo, sector el Horcón – Ceibal del cantón Rocafuerte de la provincia de Manabí, mediante la proyección para la construcción de un muro de gavión que sirva de soporte, resista los impactos de las crecidas, de estabilidad a los terrenos y áreas aledañas a los márgenes del río, evitando de esta manera, perjuicios como la destrucción de sembríos, pérdida de animales, derrumbe de casas y socavamiento del terreno o de las estructuras. Para ello, se desarrolló un estudio de campo con un diseño documental apoyado en la observación cómo técnica. Se concluyó que el diseño propuesto es factible y funcional para el área sugerida, los materiales representan el 75% de los gastos, y por su flexibilidad, permeabilidad, facilidad de construcción y bajo costo es sugerido como una solución de estabilidad, lo que ayuda a prevenir la erosión, el socavamiento y crea una barrera de masa de suelo, permitiendo controlar el riesgo de deslizamiento.

Palabras clave: Inundación; cuenca; gavión; cauce.

Abstract

In the last decade, natural disasters have been occurring with greater intensity, events that are considered largely as a consequence of indiscriminate anthropic activities. Among these events, floods stand out, phenomena developed throughout the planet that cause considerable material and human losses, which are the result of accelerated population growth, coupled with disorganization and lack of planned urban planning, which, added to pollution of the channels, solid waste dumps and deforestation in the basins and headwaters of the rivers, cause risks of flooding. The main objective of this article is to propose the design of a work for the control of possible flood events

in the lower basin of the Portoviejo river, the Horcón - Ceibal sector of the Rocafuerte canton of the Manabí province, by means of the projection for the construction of a gabion wall that serves as a support, resists the impacts of floods, stability to the land and areas adjacent to the river banks, thus avoiding damages such as the destruction of crops, loss of animals, collapse of houses and undermining the ground or structures. For this, a field study was developed with a documentary design supported by observation as a technique. It was concluded that the proposed design is feasible and functional for the suggested area, the materials represent 75% of the expenses, and due to its flexibility, permeability, ease of construction and low cost, it is suggested as a stability solution, which helps to prevent erosion, undermining and creates a soil mass barrier, allowing control of the risk of landslide.

Keywords: Flood; basin; gabion; channel.

Resumo

Na última década, os desastres naturais vêm ocorrendo com maior intensidade, eventos que são considerados em grande parte como consequência de atividades antrópicas indiscriminadas. Dentre esses eventos, destacam-se as enchentes, fenômenos desenvolvidos em todo o planeta que causam consideráveis perdas materiais e humanas, decorrentes do acelerado crescimento populacional, aliado à desorganização e à falta de planejamento urbano planejado, que, somados à poluição dos canais, são sólidos os aterros e o desmatamento nas bacias e cabeceiras dos rios, geram riscos de inundações. O objetivo principal deste artigo é propor o desenho de uma obra para o controle de possíveis inundações na bacia inferior do rio Portoviejo, setor Horcón - Ceibal do cantão Rocafuerte da província de Manabí, por meio da projeção para a construção de um muro de gabião que serve de suporte, resiste aos impactos de enchentes, estabilidade do terreno e áreas adjacentes às margens dos rios, evitando assim danos como destruição de lavouras, perda de animais, desabamento de casas e desabamento de solo ou estruturas. Para isso, foi desenvolvido um estudo de campo com desenho documental apoiado na observação como técnica. Concluiu-se que o projeto proposto é viável e funcional para a área sugerida, os materiais representam 75% dos gastos, e por sua flexibilidade, permeabilidade, facilidade de construção e baixo custo, é sugerido como solução de estabilidade, o que auxilia para prevenir a erosão, prejudica e cria uma barreira de massa do solo, permitindo controlar o risco de escorregamento.

Palavras-chave: Inundação; bacia; gabião; canal.

Introducción

Desde hace tiempo, la influencia antrópica en el comportamiento de las inundaciones se ha convertido en un problema a escala global, originado por diversas causas como son las prácticas forestales, el flujo de desechos y la sedimentación de las actividades de deforestación. Los impactos ambientales y climáticos ocasionados por fenómenos meteorológicos como El Niño se están convirtiendo en centro de atención para la comunidad científica porque se ha demostrado que su impacto global es la relación entre el calentamiento inusual de las aguas superficiales (Adams y Flores, 2016).

El Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (Inamhi) dio a conocer que, entre 1960 y 2006, en Ecuador se registró un incremento tanto en la temperatura promedio anual como en la intensidad y frecuencia de anomalías meteorológicas que causan impacto en sequías e inundaciones (Ayala et al., 2018). La provincia Manabí ha sido afectada por inundaciones, destacando el evento sucedido en abril de 2002 donde fallecieron 26 personas, 10.713 viviendas afectadas y 26 destruidas totalmente (Burgos et al., 2019).

En los últimos años las lluvias han sido constantes en la provincia de Manabí. En abril del 2017 más de 1.500 viviendas fueron afectadas por las inundaciones y deslaves en los cantones Portoviejo y Rocafuerte, por lo que alrededor de 500 personas fueron evacuadas (El Comercio, 2017). Pacheco (2018) afirma que la crecida en la cuenca baja del río Portoviejo y del río Chico puso en riesgo a 14 comunidades, entre ellas: San Pedro, Valle Hermoso, Valdez, Resbalón, La Morlaca, Los Pocitos, Puerto Loor, Tierras Amarillas, La Jagua, El Horcón y El Ceibal.

Justificación del problema

Es inminente la necesidad de resolver la problemática, debido a que este tema es de vital importancia para las comunidades del Horcón - Ceibal de Rocafuerte; es un eslabón de constituye una gran ayuda a las personas que habitan cerca del sector. contradicción fundamental, la que se da por la necesidad de realizar la respectiva investigación para evitar posibles eventos de inundaciones, proponiendo una obra adecuada de acuerdo a la necesidad que se evidenciará con los cálculos que se realizarán, siendo una alternativa de solución para los posibles eventos sobrenaturales que se presentan cada año.

En concordancia con lo antes expuesto, se realizó un estudio diagnóstico mediante la observación de las zonas afectadas y las que presentan mayor riesgo a inundaciones; la información obtenida

sirvió de aporte para establecer una solución sustentable que técnicamente resuelva las etapas de críticas que se producen en invierno con las fuertes lluvias y crecidas del río Portoviejo en especial en la cuenca baja sector el Horcón – Ceibal, en el cantón Rocafuerte de la provincia de Manabí.

A partir del recorrido y la observación de las zonas susceptibles a inundaciones, se pudo entender el fenómeno que se presenta, sirviendo esta actividad como punto de partida al planteamiento para la solución a la problemática. En ese sentido, se propuso la construcción de un muro de gavión, estructura que servirá de soporte, protección para evitar que el cauce salga de su curso en momentos de crecida, y dar estabilidad a los terrenos ubicados en los márgenes del río Portoviejo a la altura del sector el Horcón – Ceibal. El muro ayudará a proteger las zonas afectadas generando condiciones que favorezcan y creen un escenario de riesgo mínimo en cuanto a la reducción de las inundaciones que afecten a los sembríos, viviendas, animales y al desarrollo socio económico en gran parte de la población.

El estudio sobre las inundaciones ocasionadas en la cuenca baja del río Portoviejo se basa en entender la naturaleza y la magnitud de la existencia del riesgo, a través de una evaluación de las amenazas y análisis de los escenarios de vulnerabilidad que pueden proceder de la situación de peligro, ocasionando afectaciones personales y al medio ambiente, con la finalidad de proponer una obra para reducir el riesgo de inundación que permita la habitabilidad en normal condición del sector.

Formulación del problema

De acuerdo con los elementos antes planteados y en relación con los resultados evidenciados durante la etapa exploratoria, se formula el siguiente problema científico: ¿Qué propuesta de obra será la más adecuada para el control de inundaciones en la cuenca baja del río Portoviejo sector el Horcón – Ceibal del cantón Rocafuerte, provincia de Manabí - Ecuador?

Objetivos generales y específicos

General

- Proponer el diseño de una obra para el control de posibles eventos de inundación en la cuenca baja del río Portoviejo, sector Horcón – Ceibal, cantón Rocafuerte.

Específicos

- Modelar las características hidráulicas en la cuenca baja del río Portoviejo; Sector el Horcón – Ceibal, cantón Rocafuerte.
- Establecer los posibles eventos de inundaciones para varios periodos de retornos.

- Proponer una obra para las zonas más susceptibles a inundaciones sector Horcón – Ceibal, cantón Rocafuerte.

Materiales y métodos

El presente estudio se basa en analizar y proponer obras para el control de inundaciones con un enfoque cuantitativo de acuerdo con la problemática presentada, sus causas, el origen, el diagnóstico, las consecuencias y los objetivos. Asimismo, se apoya en un diseño documental de campo, con un nivel descriptivo y de tipo no experimental, debido a que el investigador no utilizará grupos o elementos de control para medir las respuestas dadas por el objeto de estudio. Por tal razón, a través del enfoque cuantitativo se quiere determinar el método más adecuado que permita obtener información del contexto de forma imparcial (Neill y Cortez, 2018).

Sumado a ello, se realizó una revisión de la literatura científica en revistas de importancia como Redalyc, Scopus, Dialnet, entre otras, relacionadas con los conceptos básicos de inundaciones y toda la información que sirvieran como soporte teórico, ya que a partir de éste se identifican los factores las causas que conllevan a que se presenten inundaciones y encamine a posibles alternativas para la solución.

Parte de la recopilación de la información se hizo mediante visitas de campo, reuniones con los representantes del Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) de Rocafuerte. La actividad se llevó a cabo ante la consideración de la experiencia y percepción de los actores locales frente a los eventos de inundación ocurridos en la zona de estudio, con la finalidad de que esta investigación sea lo más completa y cercana a la realidad. La información de campo proporcionó un recurso valioso al estudio por ser estos conocimientos una fuente de validación de lo ocurrido respecto a las inundaciones directamente desde la percepción de la población local.

Durante la fase diagnóstica de observación, un aspecto a considerar fue la localización de asentamientos en las zonas ribereñas a los cauces, factores que son atribuidos a la expansión de la ciudad, la necesidad de acceder al agua y la conformación de asentamientos en zonas cercanas a los ríos. Además, se pudo evidenciar que el proceso de crecimiento de la ciudad, así como los hechos ocurridos durante el terremoto de 2016, ha hecho que familias de escasos recursos se movilicen a estas áreas, a lo que se suma el fracaso de las políticas de acceso a la vivienda para

estas personas, aunado a la limitada oferta de vivienda de interés social lo que ha ocasionado su déficit.

Durante la visita de campo que se hizo en las zonas afectadas por las crecidas se encontró la presencia de sedimentos depositados en el lecho del río Portoviejo. Esta situación ocasiona una pendiente menor a la normal reduciendo la velocidad del flujo del cauce, pero influyendo en el aumento de su nivel. Además, se observó en algunos tramos del río, acumulación de material de arrastre conformado por rocas, desechos sólidos, troncos, entre otros. Todo ese amontonamiento de materiales sumado a las reducidas escalas las estructura, impiden el normal desempeño del flujo producido por las lluvias.

Para hacer un seguimiento de las inundaciones del río Portoviejo se realizó la topografía en las secciones iniciales y finales del sitio tomando en consideración las alturas de las áreas para su respectivo estudio, además se usaron imágenes satelitales de Google Earth Engine (GEE) con el propósito de realizar la teledetección de las áreas inundables y no inundables reduciendo algunas limitaciones asociadas con la gestión de datos de las modelaciones elaboradas. Luego, a través de un texto se hizo la fotointerpretación del sector que más se inunda cuando ocurre un evento de precipitación de gran intensidad (Barbosa et al., 2020). Sumado a esto, se realizaron cálculos de precipitaciones, tiempo de concentración, hietogramas, caudales con HEC – HMS y modelaciones hidráulicas con HEC-RAS, ArcGis, GeoRas, para determinar las características hidráulicas del río y los periodos de retorno establecidos para eventos de 10, 25 y 50 años obteniendo los mapeos de inundaciones en los sectores estudiados.

Generalidades del río Portoviejo

El río Portoviejo en su trayectoria atraviesa la capital de la provincia de Manabí. En su valle se encuentra un depósito de suelos aluviales, de espesor entre 10 y 40 m. En la intersección entre el valle y las colinas se ubican depósitos coluviales que contienen partes de lutitas y limonitas tobáceas. Las laderas están constituidas por capas de suelo residual, y en las zonas más empinadas se pueden encontrar gruesos depósitos coluviales. Las capas de suelo están conformadas por lutitas tobáceas y lutitas calcáreas de la formación Charapotó (Chávez et al., 2008).

El cauce del río está constituido por una gruesa capa de sedimentos limo-arenosos y arenosos, con presencia de gravilla. Motivado a los cambios del cauce, los sedimentos viejos situados en sus bordes son erosionados por las crecidas (Chávez-Moncayo 2003; Chávez et al., 2008). Cabe señalar que la precipitación promediada al año es de 429 mm, y que durante los fenómenos meteorológicos

conocidos como El Niño y La Niña estas aumentan elevando el flujo de los cauces, trayendo como consecuencia inundaciones en la cuenca baja del río Portoviejo.

En la cuenca baja del río Portoviejo existen asentamientos humanos que se han ido desarrollando como producto de la actividad agrícola y expansión humana. Por lo tanto, las cuencas hidrográficas son importantes para la permanencia de los cauces de agua que satisfacen las necesidades de los habitantes. Los procesos naturales que ocurren en la cuenca ayudan a absorber agua incluso en condiciones secas y abastecen del importante líquido a los canales a través de la interacción del agua, el suelo, el clima y la vegetación (Giler, 2019).

Las inundaciones y sus repercusiones

Las inundaciones son procesos naturales en los valles aluviales de grandes ríos que cada día se hacen más constantes como producto de la invasión de los cauces de agua producto de las actividades humanas. Estos fenómenos responden a una dinámica de las cuencas hidrográficas, su ocurrencia está mediada entre las condiciones climatológicas y las características de la cuenca (Figura 1). Generalmente, las inundaciones se miden por intensidad y frecuencia, variando desde los desbordes de grandes ríos que afectan grandes extensiones de terreno hasta pequeñas inundaciones por desbordes de cauces secundarios o intermitentes (Arreguín et al., 2016).

En diferentes regiones los ríos y sus riveras son garantía de agua y posibilidades de pesca, riego para cultivos agrícolas, navegabilidad para facilitar el intercambio comercial y hasta para el desarrollo de actividades de ocio (Alfie y Castillo, 2016). Las inundaciones son fenómenos que las civilizaciones han percibido a lo largo de la historia, para que estas no generen un riesgo a los asentamientos humanos se puede reducir la vulnerabilidad, haciendo un manejo eficiente de las cuencas hidrográficas, a partir de la regulación de los usos del suelo o la protección de los cauces de los ríos, y la construcción de obras estructurales que minimicen el riesgo de desbordamiento del cauce (Andrade del Cid et al., 2017).

Figura 1: factores que influyen en la ocurrencia de inundaciones

Causas meteorológicas	Causas hidrológicas	Acciones antrópicas que aumentan el riesgo de inundación
Precipitación	Nivel de humedad del suelo	▪ Cambios en el uso de suelo que incrementan el escurrimiento y acumulación de sedimentos.
Tormentas ciclónicas	Nivel freático previo a la tormenta	▪ Ocupación de la planicie de inundación obstruyendo el flujo.
Tormentas pequeñas	Nivel de infiltración de la superficie	▪ Falta de mantenimiento de la infraestructura.
Temperatura	Presencia de cubierta impermeable	▪ Efectos del cambio climático en el régimen de precipitación e inundaciones.

Elaborado: Santana (2021) Fuente: World Meteorological Organization (2008); Pacheco (2018)

Las crecidas en los cauces de agua de los ríos son flujos relativamente altos que cruzan bordes naturales o artificiales en cualquier parte del arroyo. En los márgenes, el agua se derrama sobre la llanura aluvial y generalmente afecta los asentamientos humanos cuando estos están muy cerca del lecho del río (Varón y Vargas, 2019). Para describir una inundación, es necesario conocer los siguientes parámetros en un tramo particular de río: caudal máximo instantáneo, caudal total, duración de la crecida. La primera y la tercera idea dan una idea simple de su tamaño. La relación entre estos parámetros y su probabilidad de ocurrencia es necesaria para estimar la magnitud de los daños causados por las inundaciones (Castillo, 2020).

Ubicación y elementos físicos del área de estudio

Ubicación

La cuenca hidrográfica del río Portoviejo se encuentra situada en la provincia de Manabí, está conformada geográficamente por los cantones Portoviejo 45%, Santa Ana 27 %, Rocafuerte 11 %, 24 de mayo y Jipijapa 17 %, limita al norte con la cuenca del Río Chone al sur con las cuencas del río Jipijapa, Bravo y Manta, al este con la demarcación del Guayas y al oeste con el océano pacífico y las cuencas del río Jaramijó y pajonal, (Gobierno provincial de Manabí, 2014), en el presente estudio de investigación se realizó en el río Portoviejo desde el sector Horcón (X=559163.40; Y=

9896972.16), hasta el sector Ceibal (X=558861.05 Y= 9898115.5927) con un área de influencia de 1763.86 Km² valor determinado con ArcGIS.

Figura 2: Ubicación de la cuenca del río Portoviejo



Fuente: Santana (2021)

Clima

Dentro de la cuenca del río Portoviejo se presenta un clima cálido-húmedo en la temporada invernal y seco en el periodo que no presentan precipitaciones, tiene la característica cambiante debido a su ubicación ya que influye el clima oceánico caracterizado por la presencia de la corriente cálida del niño, dentro del área de influencia de la cuenca del río de Portoviejo presenta una temperatura promedio de 26°C.

Topografía

La topografía es definida como “La ciencia que estudia el conjunto de procedimientos para determinar las posiciones de los puntos sobre la superficie de la tierra, por medio de medidas según los 3 elementos del espacio. Estos elementos pueden ser: dos distancias y una elevación, o una distancia, una dirección y una elevación”, (Fuentes, 2021). La altura de la cuenca del río Portoviejo oscila desde 7 m.s.n.m. a 721 m.s.n.m.

Suelos

Dentro del área de influencia de la cuenca del río Portoviejo morfológicamente está caracterizado por contar con pendientes moderadas lo que permite contar con suelo profundos y moderadamente superficiales con texturas medias, moderadamente gruesas y de fertilidad moderada lo que ha

conllevado a realizar prácticas para la conservación de los suelos dentro de estos se realiza la explotación con pastos y con cultivos de semi bosque, especialmente café, plátano y frutales, en las vegas veraneras frejoles plantas enredaderas y de ciclo corto, cuenta también con franjas de bosques secundarios son escasas y se limitan a las partes altas y las quebradas.

Estimación del número de la curva SCS (Soil Conservation Service)

El número de curva SCS (Soil Conservation Service) es un parámetro primordial para la estimación de la escorrentía potencial que puede ocurrir en una cuenca hidrológica, misma que está determinada mediante las características físicas de la cuenca en análisis como son el tipo de suelo características de la cobertura, así como también el grupo hidrológico del suelo mismo que es conocido como la clasificación hidrológica del suelo. (Chow, Maidment, & Mays, 2000)

El uso del suelo del área de drenaje de la cuenca en análisis y el tratamiento del mismo describen el tipo y la condición de la cobertura vegetal que esta tiene, y la condición hidrológica se refiere a la capacidad de la superficie de la cuenca la misma que puede ayudar u obstaculizar el escurrimiento directo de la cuenca, (Figueroa J. M. 2019)

De acuerdo al estudio realizado por el Gobierno Provincial de Manabí se estableció que la cuenca del rio Portoviejo está constituido por un área de bosque del 15 %, el pasto natural o pajonal en un 45 %, la vegetación arbustiva baja de la pradera en un 10 % y cultivos en una extensión del 30 %. Para estos valores el número hidrológico es: CN= 87.

Tiempo de concentración

El tiempo de concentración es conocido como el tiempo que transcurre desde el instante que finaliza la lluvia hasta el final de la escorrentía directa es decir que es la representación del tiempo que tarda en llegar al aforo la última gota de la lluvia que cae en el extremo más alejado de la cuenca y que circula por escorrentía directa, en el presente estudio se procedió a realizar el cálculo del tiempo de escorrentía mediante la siguiente ecuación:

$$TC = 0.066 \left(\frac{L}{i_s^{0.55}} \right)^{0.77} \text{ donde:}$$

Tc= Tiempo de concentración

Is= Pendiente media de la cuenca

L= Longitud del cauce

Mediante procesamiento de datos mediante el software Arc-gis con el uso de archivos en formato Shape se obtuvo los valores de Longitud de cauce y Pendiente media de la cuenca:

$I_s = 0,26 \text{ m/m}$

Longitud del cauce = 121,17 km Reemplazando los valores en la fórmula anterior se obtiene el valor del T_c dando un valor de 4.48 horas.

Intensidad de lluvia

En el año del 2019 El INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA (INAMHI) realiza una actualización de las ecuaciones para el cálculo de intensidades máximas de precipitación en el cual establece que para la cuenca del río Portoviejo se pueden utilizar la siguiente ecuación.

$$i = 461,74 * id_{tr} * t^{-0.842}$$

Donde:

i = intensidad de precipitación

id_{TR} = valor determinado del gráfico de intensidades máximas diarias de precipitación

t = tiempo de concentración en minutos

a continuación, se presentan las curvas IDF para los periodos de retorno de 10, 25 y 50 años respectivamente.

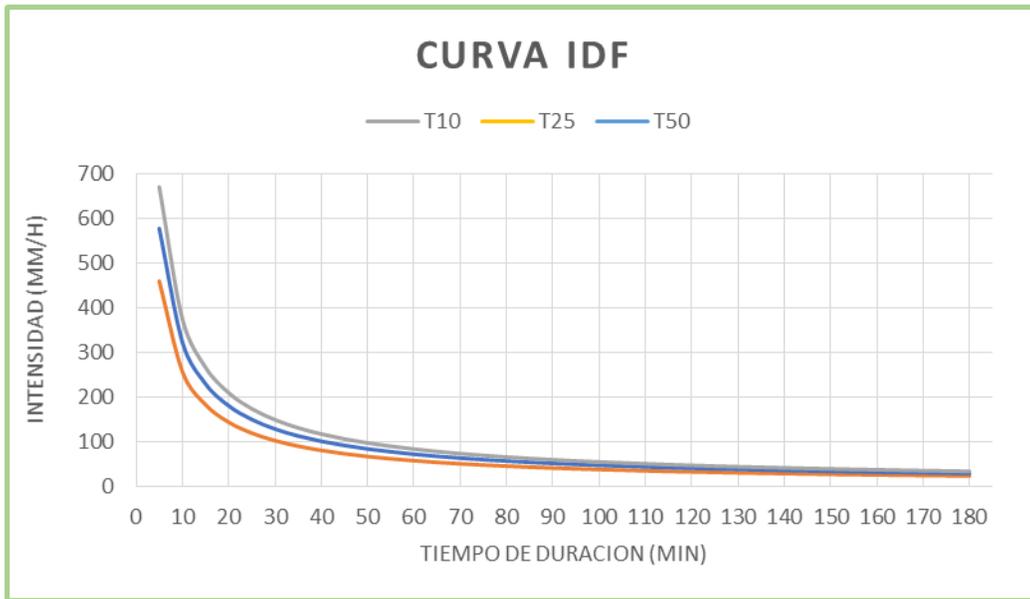
De acuerdo con la actualización del estudio de lluvias intensas realizadas por el Instituto Nacional de Meteorología e hidrología INAMHI los valores de id_{TR} para los diferentes periodos de retorno son los siguientes.

$id_{TR \ 10 \text{ años}} = 3.85$

$id_{TR \ 25 \text{ años}} = 4.84$

$id_{TR \ 50 \text{ años}} = 5.62$

Figura 3: Curvas IDF



Fuente: Santana, (2021)

Los valores de intensidad en un tiempo de concentración de 4.48 horas dentro de la cuenca en estudio para los diferentes periodos de retorno son las siguientes:

I10 años = 16.01mm/h

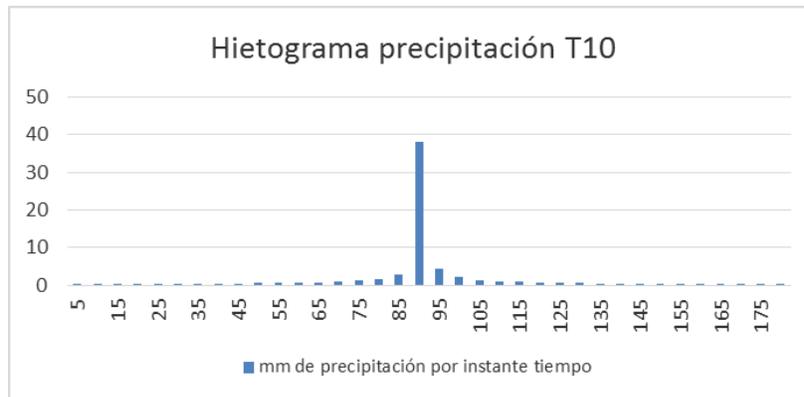
I25 años = 20.12 mm/h

I50 años = 23.36 mm/h

Hietogramas

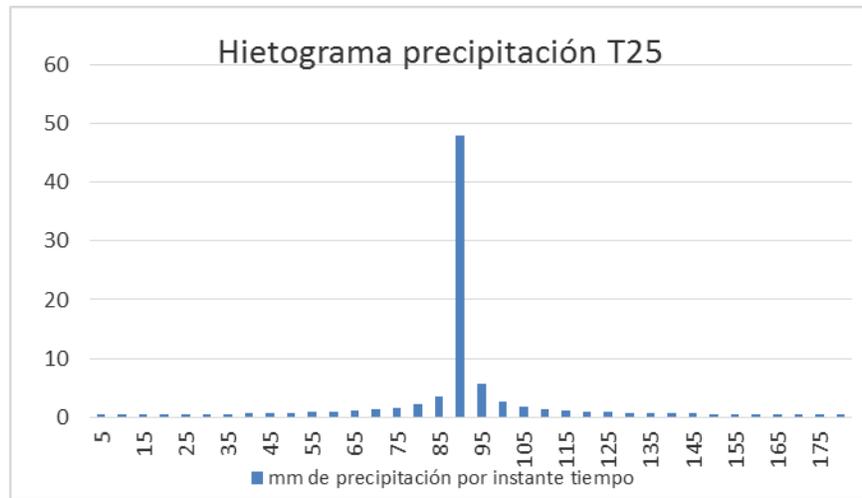
Los Hietograma son denominado como la intensidad de lluvia durante todo su tiempo de duración (Casanova, 2017). Dentro del área de análisis se pudo estimar los siguientes hietogramas para los diferentes periodos de retorno:

Figura 4: Hietograma de precipitación T 10 años



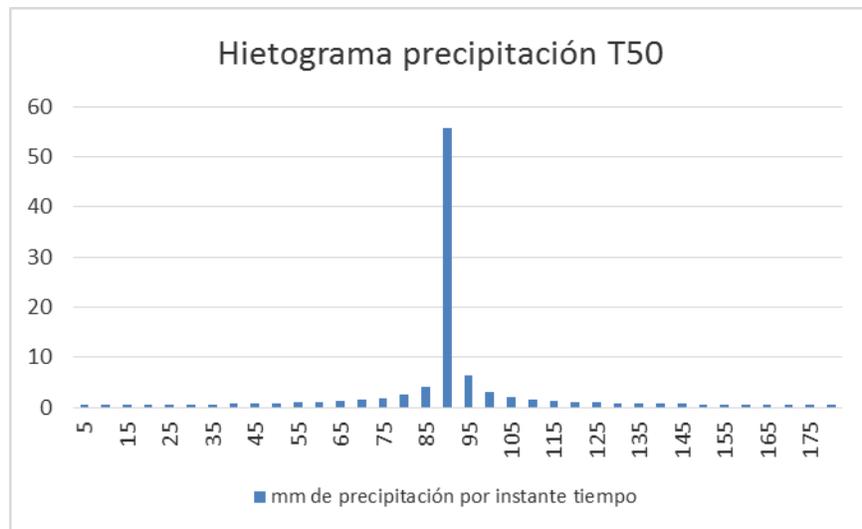
Fuente: Santana (2021)

Figura 5: Hietograma de precipitación T 25 años



Fuente: Santana (2021)

Figura 6: Hietograma de precipitación T 50 años



Fuente: Santana (2021)

Determinación de caudales máximos mediante Hec-HMS

La determinación de los caudales máximos fue determinada mediante una modelación hidrológica e hidráulica con el uso del software Hec-HMS aplicando los parámetros necesarios como son los números de curva (CN) y los cálculos de precipitación determinados a base de las curvas de intensidad y los Hietogramas de diseño, a continuación, se presentan los caudales máximos para los periodos de retorno de 10, 25 y 50 años.

Figura 7: Caudales máximo

Tiempo de retorno	Caudal pico (m3/s)	Precipitación (mm)	Perdida (mm)	Escorrentía (mm)	
10 años	3841,00	93,44	42,39	51,05	HMS
25 años	5629,30	117,86	45,46	72,40	
50 años	7120,80	136,52	47,24	89,28	

Fuente: Santana (2021)

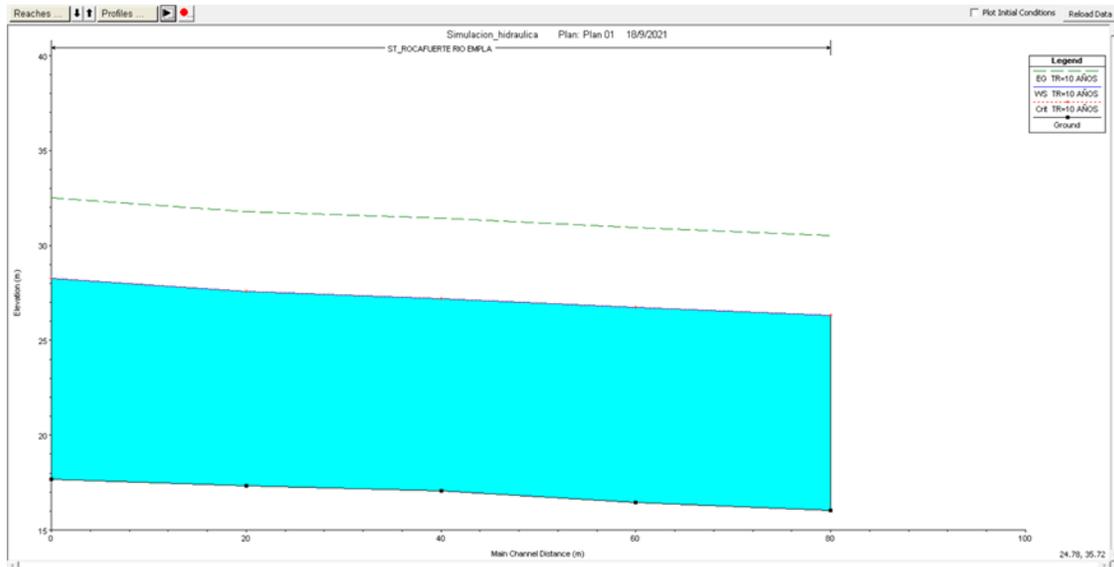
Determinación de zonas inundables mediante una modelación hidráulica usando hec-ras y hec-georas

Para la modelización hidráulica en el río Portoviejo desde el sector Horcón hasta el sector el Ceibal se procedió a realizar el uso de la aplicación HEC-RAS la cual permite por medio de los caudales máximos en los diferentes periodos de retorno obtener el comportamiento hidráulico dentro del tramo de estudio para realizar este trabajo se necesitan 3 parámetros fundamentales los cuales se detallan a continuación.

1. Geometría del cauce obtenida por medio de un trabajo de campo mediante una batimetría.
2. Caudales máximos obtenidos mediante la aplicación de la fórmula del método racional
3. Coeficiente de rugosidad Manning: determinado mediante el tipo de canal, al tratarse de un río se puede estimar el valor de 0.025.

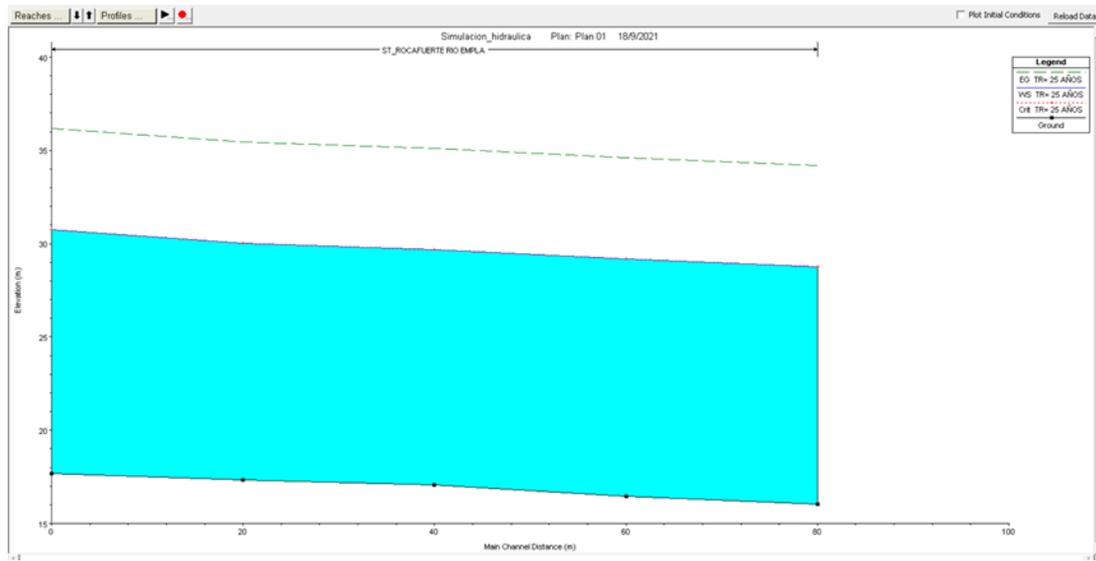
La determinación de la franja de inundación en el río Portoviejo desde el sector el Horcón hasta el sector Ceibal se la realizó mediante un mapeo utilizando los datos del comportamiento hidráulico obtenido de la modelización con el software HEC-RAS, este proceso fue realizado por medio de la aplicación Hec-GeoRAS, la cual es una herramienta de ArcGIS obteniendo los siguientes mapas de inundación, a continuación se presenta los perfiles hidráulicos obtenidos de la modelación hidráulica para los diferentes periodos de retorno.

Figura 8: Perfil hidráulico TR= 10 años



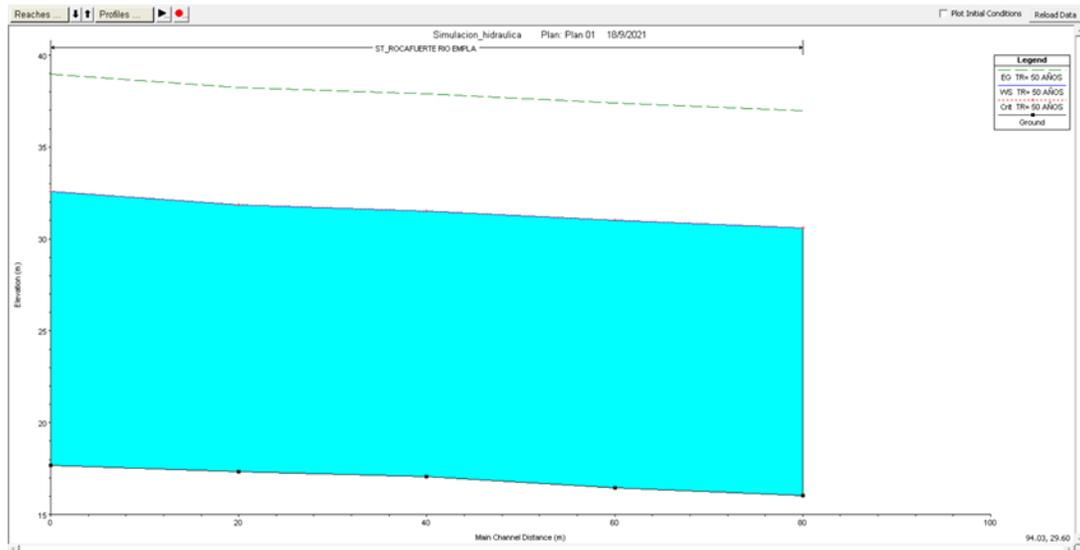
Fuente: Santana (2021)

Figura 9: Perfil hidráulico TR= 25 años



Fuente: Santana (2021)

Figura 10: Perfil hidráulico TR= 50 años



Fuente: Santana (2021)

Figura 11: Zonas de inundación TR= 10 años



Fuente: Santana (2021)

Figura 12: Zonas de inundación TR= 25 años



Fuente: Santana (2021)

Figura 13: Zonas de inundación TR= 50 años

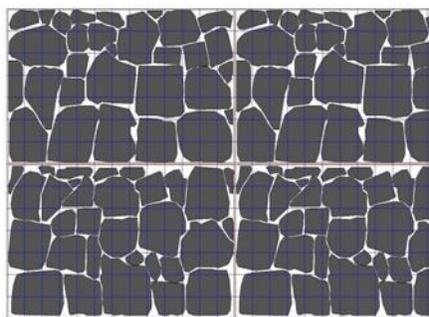


Fuente: Santana (2021)

Muros de gaviones como propuesta de obra

Un gavión es una especie de jaula o caja de forma rectangular o cuadrada, rellenas de piedras fabricada con una malla hecha de alambre galvanizado (Figura 14). Se fabrican con mallas que dan forma a la jaula y se rellenan de rocas con diferentes tamaños. Actualmente los gaviones se usan en la construcción de carreteras, contención de muros elementos decorativos. Ahora bien, las paredes o muros constituidos por gavión, suelen estar conformadas por cestas hexagonales hechas con mallas de acero galvanizado a las que se rellena con rocas de diferentes dimensiones (Aguilera et al., 2015).

Figura 14: Forma de un gavión



Fuente: scribd.com/Diseno-de-Muros-de-Gaviones

Otro uso que se da a los gaviones, y el que se recomienda en este artículo, es el control de ríos por medio de la aceleración del estado de equilibrio del cauce. Además, disminuye las erosiones, transporte de materiales y colapsos de márgenes, controla crecientes salvaguardando a las comunidades contra las inundaciones (Meza, 2019). De esta forma se evitarán fenómenos como los derrumbes y deslizamientos de tierra provocados por cargas externas sobre el suelo y el peso de los fenómenos naturales. Las piezas se apilan para formar un bloque, y cada encofrado es casi en su totalidad un proceso de campo, con cables que se conectan al siguiente encofrado.

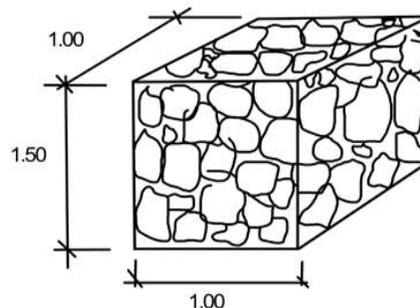
Dimensiones del gavión propuesto

Los gaviones generalmente se fabrican con mallas (de triple torsión y escuadras tipo 8X10 cm) de alambre de acero (con bajo contenido de carbono) de 2,7 mm, al que se le da tres capas de galvanizado con 270 gramos de zinc. Sus aristas se refuerzan con alambre de 3,4 mm. Asimismo, se utiliza alambre para el amarre de las piezas de 2,2 mm.

Los gaviones pueden tener diferentes aspectos, es muy frecuente encontrarlos con forma de cajas, cestas o hexagonales que pueden tener largos de 1,5; 2; 3 y 4 m, un ancho de 1m y una altura de

0,5 ó 1m. los cuales proveen de estabilidad estructural a un sector que este propenso a riesgos naturales como una inundación. En cuanto a la propuesta se estima que los gaviones estarán hechos de cajas metálicas de alambre de hierro galvanizado (Figura 15), que se rellenará con piedra o grava y el tejido metálico para conformar la malla será de triple torsión con un diámetro superior a 2mm. De acuerdo con el estudio, se propone diseñar un sistema de muros de gaviones en el sector estudiado. En ese sentido, se recomienda técnicamente que las alturas de estos muros sean entre 5 y 6 metros dependiendo del área que se disponga a proteger, y que sus dimensiones estén entre de 1.00 m. 1.50 m 1.00 m. (Figura 15). Asimismo, se propone que los primeros muros de gavión que servirán de base en el terreno, sean ubicados con una excavación hasta la mitad de la altura del bloque o mínimo 0.50 m, diseñados con distintas longitudes lineales al borde del río de acuerdo al sector requerido, con el fin de proteger contra los eventos de inundación las viviendas habitadas y evitar la erosión de este sector.

Figura 15: Gavión propuesto



Fuente: scribd.com/Diseno-de-Muros-de-Gaviones

Para obtener los parámetros necesarios y poder realizar el diseño de las dimensiones del gavión propuesto, se realizó la toma de datos en puntos accesibles desde las imágenes ofrecidas por el software de Google Earth y así poder definir las condiciones en las que se encuentra el cauce en diferentes tramos, al igual que las características hidráulicas de las secciones correspondientes como tirante, ancho de canal, talud, entre otros.

De acuerdo a esto, y a las condiciones del terreno, así como las áreas de la ribera del río Portoviejo margen derecho en el sector El Horcón coordenadas (X= 559225.62; Y= 9897109.22) que conecta a un camino vecinal en trayectoria a Rocafuerte, se proyectó construir un muro de gavión con una altura de 6 metros y una longitud de 120.00 metros lineales entre las abscisa 0+040.00 hasta

0+160.00 al borde de la cuenca para prevenir la erosión y los eventos de inundación, así como los riesgos a la comunidad (Figura 16), lo que minimizará el riesgo de inundación.

Figura 16: Muro de gavión 1



Fuente: Santana (2021)

Es necesario destacar que en la ribera del río margen izquierdo aldeaña al sector El Horcón ($X= 559197.25$; $Y= 9897093.50$) se encuentran casas habitadas con riesgos a inundaciones. Por tal motivo, se propone diseñar un muro de gavión con una altura de 6 metros y una longitud de 120.00 metros lineales entre la abscisa 0+000.00 hasta 0+120.00 al borde de la cuenca para prevenir la erosión y eventos de inundaciones que puede causar daños materiales y pérdidas humanas en dicho sector (Figura 17).

Figura 17: Muro de gavión 2



Fuente: Santana (2021)

Por otro lado, en la ribera del río margen derecho del sector Ceibal ($X= 558915.56$; $Y= 9898047.31$) se encuentran construcciones y hogares habitados con alto riesgo, además, existe un camino vecinal que enlaza a la vía estatal en dirección a Rocafuerte. En ese sentido, se propone

diseñar un muro de gavión con una altura de 5 metros y una longitud de 26.81 metros lineales entre la abscisa 1+640.00 hasta 1+666.81 al borde de la cuenca para prevenir la erosión y eventos de inundaciones que puede causar daños materiales y pérdidas humanas en dicho sector (Figura 18), así como la reducción del socavamiento de las laderas del cauce.

Figura 18: Muro de gavión 3



Fuente: Santana (2021)

En otra área ubicada en la ribera del río margen izquierdo hacia el sector El Ceibal ($X= 558894.47$; $Y= 9898057.81$) se pudo observar que el asentamiento es menor al sector El Horcón, aunque existe una estación de bombeo que abastece a los habitantes de la comunidad. Por lo tanto, se propone diseñar un muro de gavión con una altura de 5 metros y una longitud de 26.81 metros lineales entre la abscisa 1+640.00 hasta 1+166.81 al borde de la cuenca para prevenir la erosión y eventos de inundaciones además de evitar que la planta de bombeo que se encuentra en el sector no sufra daños (Figura 19).

Figura 19: Muro de gavión 4



Fuente: Santana (2021)

Aspectos a considerar para los muros de gaviones como manera rápida y eficiente de controlar la erosión en las riberas de los ríos.

Con el levantamiento topográfico se conoció el perfil transversal y longitudinal del cauce del río Portoviejo, el cual permitió trazar el muro de gaviones bajo el relieve de la ribera, con la que se realizó la propuesta del mismo. El dimensionamiento del muro fue realizado en base a la topografía existente y al nivel de socavación de acuerdo a criterios técnicos.

El muro propuesto en este trabajo es una necesidad que debe implementarse a la brevedad posible en el sector el Horcón – Ceibal del cantón Rocafuerte, dado a la intensa erosión que con el paso del tiempo va en aumento en este lado de la ribera. En ese sentido, previo a la construcción del muro de gaviones se debe realizar una perforación a fin de verificar la estratigrafía y determinar a profundidad la conformación del suelo, así como la roca madre existente en el sitio propuesto para desarrollar el estudio. Además, para la ejecución de la propuesta y la construcción de los gaviones, se proponen los siguientes criterios:

- Es necesario que el material de relleno de las canastas, alambres con las que están hechas y el geotextil cumplan con las especificaciones y recomendaciones técnicas establecidas.
- Es importante contar con un estudio de suelos previo al diseño de los muros de gaviones, para optimizar la cantidad de recursos y por ende el costo de las estructuras.
- Los bloques de roca (piedra) y las mallas de gavión representan alrededor del 75% del costo total de un proyecto de muro de gaviones.
- Las características propias de los gaviones, como la flexibilidad, permeabilidad, facilidad constructiva y economía, los colocan como una de las soluciones de estabilidad más utilizadas en otros países.
- El empleo de productos de malla hexagonal a doble torsión es una alternativa importante en las obras de ingeniería civil, dado su rendimiento y variedad de usos.
- La falla de los muros de gaviones puede ocurrir por cualquiera de los siguientes factores: deslizamiento de la base, volcamiento, rotura del suelo de fundación, inestabilidad global e inestabilidad interna.
- En muros de gaviones, los asentamientos diferenciales excesivos podrían afectar la serviciabilidad de las estructuras colocadas sobre el terraplén.

Conclusión

- Las características hidráulicas e hidrográficas dentro de la cuenca del área de influencia de la presente investigación fueron esenciales para la determinación de caudales máximos producido dentro de los tiempos de retorno de 10, 25 y 50 años respectivamente los cuales fueron obtenidos mediante el software Hec-HMS.
- Las zonas de inundación determinadas mediante la modelización hidráulica en el río Portoviejo desde el sector El Horcón hasta el sitio el Ceibal, evidenciaron que existen afectos negativos tanto en los predios como en las edificaciones que se encuentran cerca de las riberas del río esto debido al estrangulamiento ocasionado por el caudal producido en los periodos de retorno de 10, 25 y 50 años.
- De acuerdo a lo observado durante el estudio, y a los cálculos hechos respecto a la intensidad de la lluvia que cae en el sector, el caudal del río, y las zonas inundables, los gaviones son considerados como una obra de relevancia que ayudará a reducir las inundaciones del sector, así como el socavamiento del lecho del río y el deterioro de otras estructuras.

Recomendaciones

- Realizar un análisis de las características hidráulicas e hidrográficas de toda la cuenca del río Portoviejo con la finalidad de obtener el máximo caudal producido dentro de la misma y así obtener un análisis completo de esta, para determinar con mayor precisión la condición estructural del muro de gavión.
- Realizar una modelación hidráulica de todo el río para determinar las zonas de inundación de todo el cauce principal de la cuenca del río Portoviejo, especialmente en la cuenca baja donde se encuentran ubicado el sector El Horcón – Ceibal.
- Los muros de gaviones deben cumplir con las características de diseño y las dimensiones mencionadas, además, se debe considerar el caudal determinado a 10, 25 y 50 años tomando en consideración los fenómenos meteorológicos como El Niño y La Niña.
- Según los estudios realizados a través de los cálculos de modelaciones y periodos de retornos de 10, 25 y 50 años, se puede visualizar los lugares propensos a inundaciones de los dos sectores estudiados Horcon – Ceibal y se propone elaborar un Plan de Gestión de

Riesgo para la reubicación de estas viviendas a otros sectores y posteriormente evitar construcciones de viviendas a futuro en estos sectores evadiendo así eventos de inundación y desastres naturales.

Referencias

1. Adams, D. y Flores, D. (2016). Influencia de El Niño Oscilación del Sur en la disponibilidad y abundancia de recursos hidrobiológicos de la pesca artesanal en Ica, Perú. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 51(2),265-272. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=47946774005>
2. Aguilera, J., Sánchez, N., y Morassutti, G. (2015). Evaluación de la ingeniería básica de canalización de cauces de ríos adyacentes a urbanismos. *Revista INGENIERÍA UC*, 22(3),62-70. <https://www.redalyc.org/pdf/707/70745268007.pdf>
3. Alfie, M. y Castillo, O. (2016). “Con el agua al cuello”. Riesgo por inundación, vulnerabilidad socioambiental y gobernanza en el municipio de Cuautitlán. *Quivera. Revista de Estudios Territoriales*, 18(2),55-84. ISSN: 1405-8626. <https://www.redalyc.org/pdf/401/40152906004.pdf>
4. Andrade del Cid, P., Flores, R. y Mendoza, F. (2017). Fenómenos naturales y desastres humanos en la prensa impresa de México. De la información a la representación social. *Global Media Journal*, 14(27),125-147. <https://www.redalyc.org/pdf/687/68753898007.pdf>
5. Arreguín, F., López, M. y Marengo, H. (2016). Las inundaciones en un marco de incertidumbre climática. *Tecnología y Ciencias del Agua*, VII (5),5-13. <https://www.redalyc.org/pdf/3535/353549829001.pdf>
6. Ayala, M., Carrera, D. y Tierra, A. (2018). Relación espacio-temporal entre estaciones utilizadas para el relleno de datos de precipitación en Chone, Ecuador. *Revista Geográfica Venezolana*, 59(2),298-313. <https://www.redalyc.org/jatsRepo/3477/347760473005/347760473005.pdf>
7. Barbosa, J., Araújo, J. y dos Anjos, S. (2020). Análisis multitemporal del uso y cobertura de la tierra de la ciudad de Conceição do Araguaí-Pará a través del Google Earth Engine. *Revista Cerrados (Unimontes)*, vol. 18, núm. 02 <https://www.redalyc.org/jatsRepo/5769/576962806015/index.html>

8. Burgos, B., Cartaya, S. y Mero, D. (2019). Análisis de la vulnerabilidad a inundaciones de la parroquia Santa Ana de Vuelta Larga, provincia de Manabí, Ecuador. Investigaciones Geográficas. N° 98. <http://www.scielo.org.mx/pdf/igeo/n98/2448-7279-igeo-98-3.pdf>
9. Casanova, H. (2017). Graficación Estadística y Visualización de Datos. Ingeniería, 21(3),54-75. <https://www.redalyc.org/pdf/467/46754522005.pdf>
10. Castillo, A. (2020). Umbrales de precipitación basados en intensidad para crecidas torrenciales en la quebrada Manizales, Colombia. Revista EIA, vol. 17, núm. 33. <https://www.redalyc.org/journal/1492/149263063003/html/>
11. Chávez, M., Blanco, R. y Watson, R. (2008). Estabilización de taludes en el río Portoviejo, Ecuador. Minería y Geología, 24(3),1-9. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223515948003>
12. Giler, A., Zambrano, X., Chila, J., Arcentales, D., Guadamud, J., Félix, J., Caicedo, M. y Alarcón, J. (2019). Análisis del comportamiento hidrológico de cuencas hidrográficas tropicales utilizando índices: estudio de caso en la región costa del Ecuador. Terra. Nueva Etapa, vol. XXXV, núm. 58. <https://www.redalyc.org/jatsRepo/721/72164777003/72164777003.pdf>
13. Henríquez, C., Aspee, N. y Quense, J. (2016). Zonas de catástrofe por eventos hidrometeorológicos en Chile y aportes para un índice de riesgo climático. Revista de Geografía Norte Grande, (63),27-43. <https://www.redalyc.org/pdf/300/30045600003.pdf>
14. Meza, Y. (2019). Diseño hidráulico y estructural de defensa ribereña del río Tarma en el sector de Santo Domingo- Palca-Tarma. (Tesis de grado, Universidad Católica Sedes Sapientiae). http://repositorio.ucss.edu.pe/bitstream/handle/UCSS/731/Meza%20Verastegui%20Yahaira%20-%20Hidráulico_Estructural.pdf?sequence=7&isAllowed=y
15. Neill, A. y Cortez, L. (2018). Procesos y Fundamentos de la Investigación Científica. Ecuador: Ediciones UTMACH. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/14232/1/Cap.4-Investigación%20cuantitativa%20y%20cualitativa.pdf>
16. Pacheco, A. (2018). Susceptibilidad a inundaciones por intensas lluvias en el cantón Rocafuerte. (Tesis de grado, Universidad Estatal del Sur de Manabí).

<http://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/1302/1/TESIS%20COMPLETA%20An%20gelo%20Pacheco%202018%20terminada.pdf>

17. Unas 2.500 familias afectadas por inundaciones por lluvia en Manabí. (10 de abril 2017). El Comercio. <https://www.elcomercio.com/actualidad/ecuador/familias-afectados-inundaciones-lluvia-manabi.html>
18. Varón, S. y Vargas, G. (2019). Análisis de la susceptibilidad por inundaciones asociadas a la dinámica fluvial del río Guatiquía en la ciudad de Villavicencio, Colombia. Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía, vol. 28, núm. 1. <https://www.redalyc.org/journal/2818/281857987007/281857987007.pdf>
19. <https://www.scribd.com/doc/16427206/Diseno-de-Muros-de-Gaviones>
20. Chow, V. T., Maidment, D., & Mays, L. (2000). Hidrología aplicada. Bogotá-Colombia: Nomos S.A.,
21. Figueroa, J. M. (2019). Aplicación del Hec Ras para la modelación hidráulica y determinación de zonas de inundación en las riberas del río Jipijapa (UNESUM-BYPASS). Jipijapa. <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/2016>

© 2021 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>)