

PLAN DE ACCIÓN PARA MITIGAR LOS RIESGOS OCASIONADOS POR INUNDACIÓN EN EL SECTOR DEL PUENTE DE LA VEREDA LA TRINIDAD - DUITAMA

Yared Lizeth González Acevedo y Angie Alexandra Espitia Mesa

Ingeniero Ambiental

Universidad Antonio Nariño

ygonzalez98@uan.edu.co y aespitia06@uan.edu.co

Duitama / Colombia

Resumen

Este proyecto de investigación tiene como objetivo formular un plan de acción que permita mitigar los efectos generados por las inundaciones en la comunidad de la zona del puente de la vereda Trinidad-Duitama, por ello; a partir de información recopilada de las bases de datos del IDEAM, IGAC y la UNGRD se procedió a delimitar y georreferenciar la zona de estudio, realizando un análisis de variables climatológicas que inciden en los procesos de inundación como precipitación, caudal y temperatura con base en ésta; se realizó un modelo de inundación con uso de software ArcGIS y HEC-RAS delimitando la zona afectada en la cual se aplicaron encuestas a la comunidad para determinar el grado de conocimiento y actuación frente a una inundación.

Lo anterior evidenció, que no se ha realizado ningún estudio de inundación en la zona y la planificación necesaria para evitar construcciones dentro del área de influencia del río. Por lo cual, se propuso un plan de acción como punto de partida para mitigar las afectaciones identificadas garantizando la seguridad de la comunidad.

Palabras clave Inundación, ArcGIS, variable hidrológica, riesgo, hidrograma, HEC -RAS.

Abstract

This research project aims to formulate an action plan to mitigate the effects generated by floods in the community of the bridge area of the Trinidad-Duitama village, therefore, based on information collected from the databases of IDEAM, IGAC and UNGRD, we proceeded to delimit and georeference the study area, conducting an analysis of climatological variables that affect flooding processes such as precipitation, flow and temperature based on this; A flood model was made using ArcGIS and HEC-RAS software, delimiting the affected area, and surveys were applied to the community to determine the degree of knowledge and action in the event of a flood.

This showed that no flood study has been carried out in the area and the necessary planning to avoid construction within the river's area of influence. Therefore, an action plan was proposed as a starting point to mitigate the identified damages and guarantee the safety of the community.

Key words: Flooding, ArcGIS, hydrological variable, risk, hydrograph, HEC -RAS.

Introducción

Las inundaciones son fenómenos relacionados con el agua, que a nivel mundial están de primeras en la lista de desastres en los últimos 50 años. De las 10 principales catástrofes registradas, las inundaciones han presentado una mayor cantidad de víctimas que se

aproximan a 58.700 personas, de acuerdo al Atlas de la ONU; se habla de mortalidad y pérdidas económicas debido a los fenómenos meteorológicos, climáticos e hidrológicos extremos presentados entre 1970-2019.

Conforme al “Atlas de Riesgo de Colombia: Los desastres están presentes en los departamentos que presentan mayor pérdida anual por inundaciones, los cuales serían Antioquia, Bolívar, Santander, Magdalena y Boyacá, por lo cual; el consolidado de atención de emergencias de la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD, 2020) y el Inventario Histórico Nacional de Desastres relaciona que entre el 15 de noviembre 1914 y el 31 de diciembre de 2019 se han presentado aproximadamente 20.085 inundaciones, lo que equivale al 30% del total de catástrofes siendo el fenómeno con el mayor número de eventos registrados

En el municipio de Duitama, se declaró alerta amarilla en los años 2010 y 2011 ya que al interior del Municipio existen siete quebradas, la cuales en temporada alta de lluvias tienden a desbordarse. En la Vereda la Trinidad, se identificaron once puntos afectados por el fenómeno de inundación presentado 2010-2011 evidenciando pérdidas de tipo material. Por lo cual, se genera la necesidad de implementar acciones que mitiguen las afectaciones presentadas.

El presente proyecto tiene como objeto formular un plan de acción para mitigar los riesgos presentados por inundación en la zona sector del puente a partir de seis fases las cuales consisten en: recopilación de información de las bases de datos del IDEAM, IGAC y la UNGRD; delimitación y georreferenciación de la zona de estudio; análisis de variables climatológicas que inciden en los procesos de inundación como precipitación, temperatura y caudal; modelación de inundación con uso del software ArcGIS y HEC-RAS; aplicación de encuestas a la comunidad y formulación del plan de acción.

Metodología

Para la ejecución del plan de acción para mitigar de Riesgo el Inundación sector el puente de la Vereda La Trinidad se desarrollará por medio seis fases, donde se recopila la información de la base de datos del IDEAM, IGAC, UNGRD. Se Delimita y georreferencia la zona de estudio, seguido un análisis que inciden en los procesos de inundación, como precipitación, temperatura y caudal, continua con una modelación de inundación con uso del software Arc- GIS y HEC-RAS, procede a una aplicación de encuestas en la comunidad la Vereda la Trinidad y terminando con la formulación del plan de mitigación de riesgo de inundación.

Fases I: Recopilación de información

Inicialmente se realizará una recopilación de información para identificar y seleccionar el tramo del río a evaluar asociado al sector el puente, con la información de las bases de datos del IDEAM, IGAC y la UNGRD

Fase II: delimitación y georreferenciación de la zona de estudio

Con el programa Google Earth se realizará la delimitación específica del sector el puente, para georreferenciar los sitios que se ha evidenciado riesgo de inundación.

Fase III: Análisis climatológico

Se realizará análisis de la indagación de las bases del IDEAM en un período aproximado de 30 años desde 1991-2021, se toma los datos mensuales de precipitación y temperatura mínima y máxima de las estaciones meteorológicas e hidrometereológicas continuas a la zona de estudio.

Fase IV: Modelación de inundación

Se modelará por medio de ArcGIS el área de estudio, con la respectiva georreferenciación de las casas que se localizan cercanas al puente y pueden verse afectadas por el riesgo de inundación identificando la huella de inundación; con la idea de establecer las zonas de inundación y el alcance de avenidas torrenciales en escenarios extremos en periodos de retorno de 2, 3, 5, 10, 25, 50 y 100 años con el uso del modelo hidrológico HEC-RAS.

Fase V: Aplicación de encuestas

Se aplicarán encuestas a la comunidad que está expuesta al riesgo por inundación en la zona de estudio, de manera que se pueda evaluar los daños o afectaciones que han asumido en el transcurso del tiempo y la preparación que tienen para actuar ante la emergencia.

Fase VI: Formulación del plan de riesgo de inundación

Para la etapa final se formula el plan de riesgo de mitigación por inundación, estableciendo actividades específicas que se podrán implementar para la reducción del impacto generado por la inundación.

Resultados

Recopilación de información

Recopilando de información acerca de los fenómenos de inundación presentados en la vereda La Trinidad, sector el puente, se realizó por medio de los datos del IDEAM a través de las estaciones hidrológicas Surbata-Bonza y Trinidad. Además, mediante la consulta y uso, de la base de datos de herramientas bibliográficas de la UAN, artículos y visitas técnicas al sector del puente.

A través del IDEAM se obtuvieron 19.386 datos que permitieron conocer los resultados de temperatura diaria máxima y mínima, para proceder

a realizar la estimación de los datos promedio mensuales y su respectiva variación anual en un período de 30 años; a partir los datos obtenidos de precipitación mensual cuya totalidad de datos fue 361 se estableció la variación anual para el lapso de tiempo mencionado anteriormente.

En la base de datos del IGAC se obtuvo la cartografía básica de la zona, para proceder a delimitar y georreferenciar el área con ayuda de la herramienta Google Earth, además con el uso del software ArcGIS se realizó el modelo de elevación digital y la localización de la zona.

Mediante el uso del software HEC-RAS se identificaron las cotas máximas de inundación presentadas en escenarios extremos con periodos de retorno de 2, 3, 5, 10, 25, 50 y 100 años; además con el uso de la herramienta RAS Mapper se digitalizó el cauce del río Surba, usando imágenes satelitales; Se tomó una referencia de 50 metros aguas arriba y 50 metros aguas abajo.

Finalmente, de la UNGRD se consultaron las guías para la elaboración de planes municipales de gestión de riesgo mediante las cuales se priorizan las acciones para realizar los métodos de mitigación y disminuir el riesgo por los impactos causados por diferentes fenómenos naturales.

Delimitación y georreferenciación de la zona de estudio

Se seleccionó el sector del puente de la vereda la Trinidad-Duitama, donde presentan mayor riesgo por inundación y vulnerabilidad a las familias que viven cerca al sector; tomando como referencia 100 metros del puente, 50 metros aguas arriba y 50 metros aguas abajo como se observa en las ilustraciones 1 y 2

Ilustración 1.
Ubicación de la zona en estudio



Nota: Elaboración propia por medio de Google Earth.

Ilustración 2.
Ubicación sector del puente



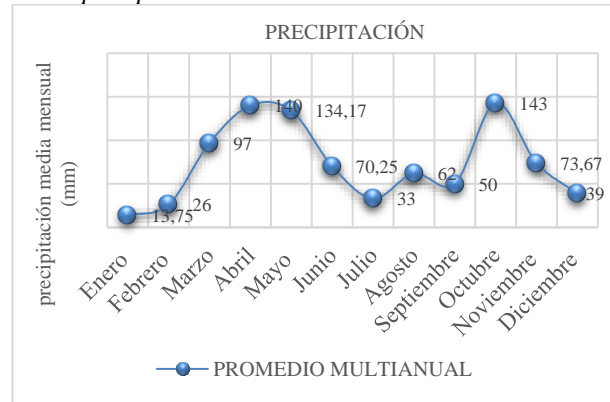
Nota: Elaboración propia por medio de Google Earth.

Análisis climatológico

La precipitación es importante para las predicciones de las amenazas naturales del área a estudiar, es uno de los principales factores que ligan el proceso de desbordamiento e inundaciones, para esto es transcendental poseer información sobre las precipitaciones presentadas en años anteriores; por ello, se realizó un análisis de precipitación en el área de estudio con los datos obtenidos por medio del IDEAM, en la estación Surbata-Bonza de treinta años atrás desde enero de 1991 hasta diciembre de 2021, se estableció un promedio multianual de los treinta años atrás, determinando un promedio mensual para dicho lapso de tiempo.

Identificando que los meses con mayor precipitación son mayo, octubre, mientras que enero y junio fueron los meses con menor precipitación, registrando para esta zona un régimen bimodal.

Grafica 1.
Datos precipitación

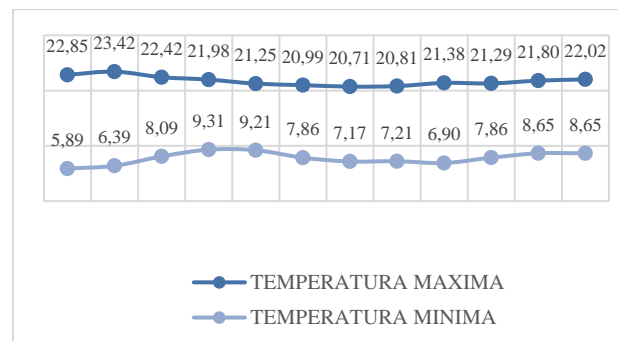


Los datos de temperatura máxima y mínima se tomaron de la base de datos del IDEAM, de la estación Surbata-Bonza, no se encontró información mensual; La información disponible de la estación hidrológica fue diaria, por ello se procedió a tabular los datos diarios para obtener el promedio mensual y anual.

Donde se alcanzó un promedio multianual de la temperatura máxima y mínima, deduciendo que los valores picos, en la temperatura mínima se presentan en los meses de mayo a abril, en los meses posteriores se evidencia que la temperatura disminuye hasta el mes de noviembre.

En la temperatura máxima, su valor pico se evidenció en el mes de febrero, a partir del mes de marzo a octubre la temperatura se mantuvo constante; De noviembre a diciembre la temperatura incrementó.

Grafica 2.
Datos Temperatura máxima y mínima



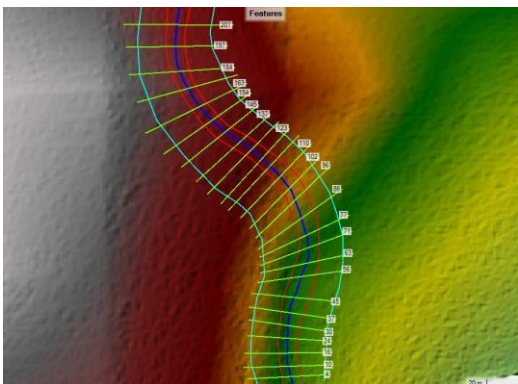
Nota: Elaboración propia con base a los datos obtenidos por el IDEAM

Diseño de la modelación

Como parte inicial, con ayuda del software Google Earth y las herramientas de geoprocésamiento del software ArcGIS, se procedió a realizar el modelo de Elevación Digital (DEM, por sus siglas en inglés) y establecer la zona de influencia donde realizar el modelamiento hidrológico. Es importante destacar, que este método fue seleccionado al no tener información a pequeña escala. Las imágenes satelitales disponibles en los datos abiertos, en especial, las imágenes ráster tomadas por el satélite Alos Palsar tienen un alcance de 12,5 metros.

Posteriormente, implementando la herramienta RAS Mapper se digitalizó el cauce del río utilizando una imagen satelital exportada de la plataforma Bing, los bancos del cauce tomando como referencia una distancia de 50 m aguas arriba y 50 m aguas abajo del puente localizado en la vereda la Trinidad del municipio de Duitama, se crearon 26 seccionestransversales, de las cuales toman como referencia la información presentes en el modelo de elevación digital (Ilustración, digitalización del cauce Río Surba)

Ilustración 3.
Digitalización del cauce Río Surba



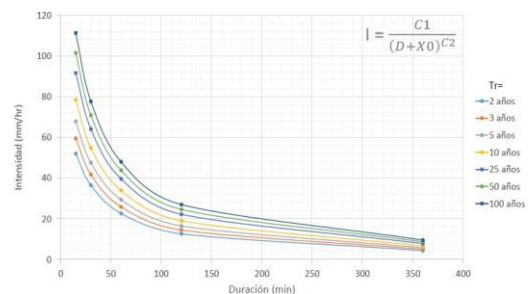
Digitalización del río Surba
Base Modelo de elevación Digital



Digitalización del río Surba
Base imagen satelital Bing

Ahora bien, para la determinación de los caudales máximos en los periodos de retorno anteriormente mencionados, se tomó como referencia las curvas Intensidad, Duración, Frecuencia – IDF, calculadas por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) para la estación meteorológica Surbata Bonza (Duitama), la información de la subcuenca del río Surba contemplada en el diagnóstico y la cartografía del Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río Alto Chicamocha.

Grafica 3.
Curvas de intensidad-Duración-Frecuencia (IDF)



Nota: Elaboración propia a partir de (IDEAM, 2017)

En este sentido, se procedió a calcular la intensidad de los periodos de retorno determinados, en el tiempo de concentración para la duración de estos eventos, y, por último, realizar el cálculo de los caudales máximos, por el método racional.

$$I = \frac{C1}{(D + XO)^{C2}}$$

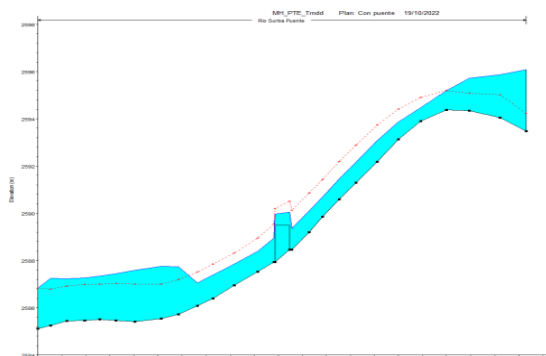
Ecuación 1: Ecuación de intensidad

Los resultados obtenidos al realizar el modelo de inundación para el tramo evaluado, permite identificar en primera instancia un aumento en la velocidad donde el cauce presenta una curva, siendo este, el lugar previo al puente vehicular; el cual se comporta como una barrera que permite aguas abajo, reducir substancialmente el flujo.

De manera general, se observa un ensanchamiento del cauce, dirigido en sentido de la zona central de la vereda; No obstante, como se pudo apreciar en el diagnóstico social, y en los resultados expuestos en la ilustración, las viviendas en este tramo no se ven afectadas en los diferentes escenarios propuestos.

De este modo, el riesgo asociado a la inundación en este tramo, está enfocado en la estructura del puente, ya que el potencial con la que se va generando la inundación, sumado a la presencia de flujos turbulentos de remoción de masas y flujos laminares de mayor potencial (Alcántara & Castro, 2021)., pueden generar un desgaste en el puente, teniendo en cuenta que al revisar el perfil longitudinal del puente, en cada periodo de retorno, este funge como una pantalla que retiene el flujo y disminuye la velocidad; así mismo, los materiales acumulados en las márgenes del del río pueden generar un ensanchamiento del cauce y provocar en zonas de laderas inestables derrumbes.

*Grafica 4.
Curvas de intensidad (IDF)*

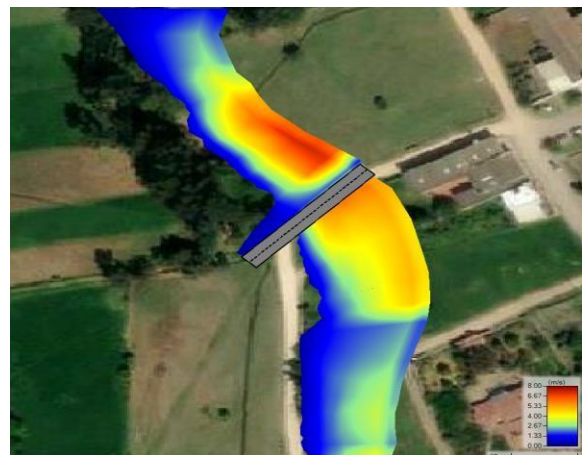


Nota: Elaboración propia por medio del software HEC-RASS

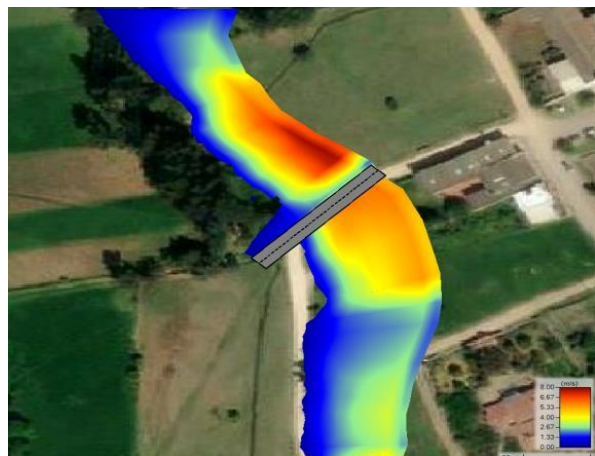
Por lo tanto, la vulnerabilidad presente en el puente vehicular depende de diferentes componentes implicados durante el proceso de construcción como en su uso y ocupación, una mayor vulnerabilidad aumenta el riesgo de las edificaciones civiles a sufrir daños, e inclusive colapsar, ante la ocurrencia de eventos intensos como fenómenos de remoción en masa o inundación, afectando de esta manera la comunicación vial de la población de la vereda La Trinidad.

Representación del modelo de inundación para los periodos de retorno analizados

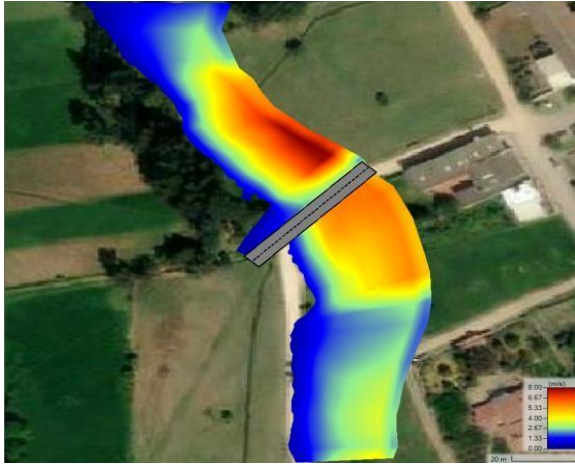
*Ilustración 4.
Representación del modelo de inundación para los periodos de retorno analizados*



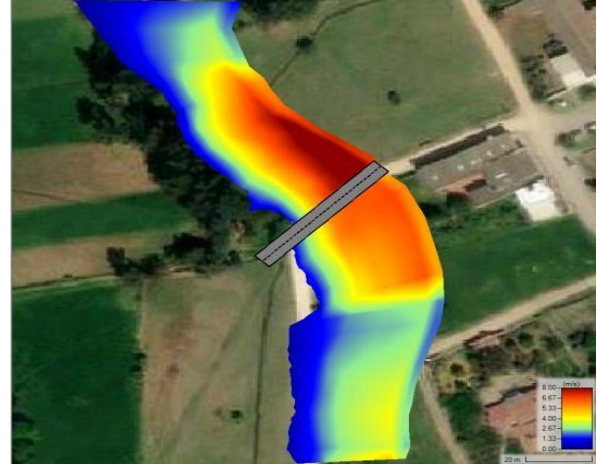
TR:2 años



TR:5 años

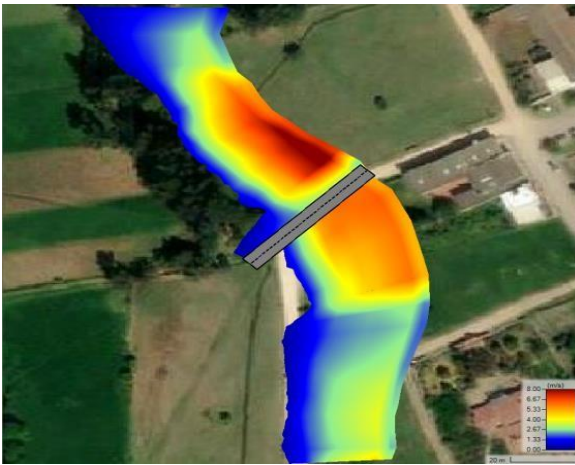


TR:10 años



TR:100 años

Nota: Elaboración propia por medio de HEC-RAS



TR:50 años

Formulación plan de acción

La formulación del plan de acción se realizó una revisión de la investigación y priorización de acciones establecidas por la UNGRD, se establecieron diferentes tipos de medidas que se espera sean adoptadas y desarrolladas en un tiempo de cinco años para mitigar las pérdidas económicas, ambientales de la vereda La Trinidad- Duitama sector el puente por el desbordamiento del río Surba.

Tabla 1.
Plan de acción

Plan de acción	
Medidas de conocimiento del riesgo	<ul style="list-style-type: none"> Realizar capacitaciones referentes a los cuidados del medio ambiente. Capacitar a la comunidad en temas relacionados con construcción en Vereda La Trinidad- Duitama Informar a la comunidad sobre las entidades que prestan el servicio durante de inundación.
Medidas para la advertencia del riesgo	<ul style="list-style-type: none"> Instalar un sistema de alerta temprana para el fenómeno de inundación. Provisionar una alarma durante la emergencia por inundación. Crear convenios para el préstamo de maquinaria.

Plan de acción	
Medidas de reducción de la vulnerabilidad	<ul style="list-style-type: none"> • Realizar inspección a las nuevas construcciones, para el cumplimiento de la norma sismorresistente. • Implementar protección comunitaria en la parte baja de la cuenca hidrográfica o zonas localizadas con riesgo de inundación. • Difundir información técnica del estado de los recursos naturales asociados a las inundaciones.
Medidas conjuntas de amenaza y vulnerabilidad	<ul style="list-style-type: none"> • Implementar mesas de dialogo con la asociación sobre amenaza y riesgo de inundación.

Conclusiones

Para llevar a cabo la investigación, se definió como zona de estudio el tramo del Puente de la vereda La Trinidad Duitama, con la indagación recolectada en visitas técnicas realizadas y se complementó con la búsqueda de fuentes verídicas como artículos, tesis y bases de datos de instituciones como el IGAC, IDEAM y UNGRD. De lo anterior se conocieron los problemas e impactos generados en la zona de estudio por eventos hidrológicos anteriores, además se evidenció la falta de estudios técnicos.

Por medio de las visitas técnicas realizadas en el sector del puente de la Vereda – La Trinidad, se identificaron los principales componentes de riesgo en la zona, de los cuales se destaca la construcción de viviendas a una distancia mínima de la orilla del río Surba, lo que ocasiona una amenaza constante; En el estudio climatológico evidenciando que en los meses de mayo y octubre se presentan altas precipitaciones lo que significa un aumento en el caudal que podría originar en estos periodos inundaciones afectando a dicha población.

El plan de acción se elaboró en base a la priorización de medidas que establece la UNGRD

formulando acciones para conocimiento y advertencia del riesgo, reducción de la vulnerabilidad, y control de amenaza y vulnerabilidad. Por ello la ejecución del mismo, se fijó en un período de 5 años teniendo en cuenta las necesidades del riesgo a las que se encuentran vulnerables las cinco familias que viven cerca a este puente el cual se espera sea implementado en un lapso de tiempo por las entidades responsables.

Por medio de los softwares ArcGIS se georreferenció la zona de estudio, posteriormente en HEC RAS se realizó la modelación de riesgo de inundación, evidenciando que para los distintos periodos de retornos no se presenta riesgos en las viviendas, si no en las vías aledañas al Rio, afectando a la población en el paso tanto vehicular y peatonal de este sector.

Recomendaciones

Es importante evidenciar el riesgo de inundación que se presenta en este sector del puente en la Vereda- la Trinidad, por lo cual se recomienda que las edificaciones efectúen el Reglamento Técnico Colombiano Sismo resíentete (NSR-10).

Por medio de la alcaldía se realicen estudios al río Surba incluyendo la priorización junto con entidades como CORPOBOYACÁ para llevar a cabo lo que dice el POMCA e incluir las determinantes ambientales dentro del POT del Municipio, debido que este presenta un impacto importante en los municipios de Duitama y Paipa, con respecto al riesgo que presenta por inundación en la zona de la inundación.

Se debe de tener presente que la población debe ser capacitada para eventos de inundación, en cuanto al saber actuar y hacer. Algunas medidas de mitigación del plan de riesgo a la inundación están sujetas a políticas locales y regionales, ya que para la construcción de gaviones y mantenimiento en la infraestructura pública es decisión del ente gubernamental.

En posteriores investigaciones utilizar la aplicación de un modelo hidrológico acorde al tamaño de la cuenca de acuerdo con la literatura y las buenas prácticas de ingeniería.

Bibliografía

- Aldo Stephano. (2018, march 10). *¿para qué sirve hec-ras? – arcux*. <https://arcux.net/blog/hec-ras-software/>
- Arc-GIS resources. (2022, September 20). *¿qué es Arc-GIS? | Arc-GIS resource center*. <https://resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n00000014000000.htm>
- Caracol Tunja. (2017, march 1). *caos en Duitama por fuertes lluvias: caos en Duitama por fuertes lluvias | Tunja | Caracol radio*. https://Caracol.com.co/emisora/2017/03/01/Tunja/1488371654_558889.html
- Caracol Tunja. (2021, April 14). *alerta naranja Duitama Boyacá lluvias temporada inundaciones alerta naranja en Duitama por inundaciones en temporada de lluvias : alerta naranja en Duitama por inundaciones en temporada de lluvias*. https://caracol.com.co/emisora/2021/04/14/tunja/1618430416_948874.html
- Caracol Tunja. (2022, august 6). *distrito destinará \$ 1.000 millones para apoyar a recicladores de la ciudad*. <https://caracol.com.co/2022/10/13/distrito-destinara-1000-millones-para-apoyar-a-recicladores-de-la-ciudad/>
- Cesar Eduardo carrera Saavedra. (2016, may 24). *capitulo 6 hidrograma*. <https://es.slideshare.net/angelaroquipa/capitulo-6-hidrograma>
- enciclopedia etecé. (2013). *concepto de riesgo - tipos, prevención, diferencia con el peligro*. <https://concepto.de/riesgo/#ixzz7iryntgmy>
- Estupiñan Pedraza Lorena Andrea. (2014, September 15). *panorámica de la provincia en Boyacá: unidad territorial, histórica y funcional de planificación en la gestión del desarrollo regional endógeno, 2004-2011 | apuntes de cenas*. <https://revistas.uptc.edu.co/index.php/cenes/article/view/3106/5114>
- Gobernación de Boyacá. (2022, August). *Boyacá - Gobernación de Boyacá*. <https://www.Boyaca.gov.co/>
- IDEAM. (2011). *memoria descriptiva mapas de inundación departamento del atlántico*. 12–27. [www.ideam.gov.co](http://www.ideam.gov.co/www.ideam.gov.co)
- José Lozano picón, r., Gonzalo Murcia García, u., fotografías la caratula Néstor javier Martínez -IDEAM
- Uriel Gonzalo Murcia, s. de, Jorge Luis Ceballos Liévano -IDEAM, s., & Cristina Mayorga Ulloa -IDEAM diseño diagramación Víctor Manuel Riveros Lemus, n. y. (2010). *Carlos costa posada ministro de ambiente, vivienda y desarrollo territorial Claudia Patricia Mora Pineda viceministra de ambiente editores Néstor Javier Martínez Ardila-IDEAM publicación aprobada por el comité de comunicaciones y publicaciones del IDEAM*. https://www.researchgate.net/publication/303960063_1eyenda_nacional_de_coberturas_de_la_tierra_metodologia_corine_land_cover_adaptada_para_Colombia_escala_1100000
- ley 1523. (2012, april 24). *ley 1523*. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=47141>
- Millan, p. r., Alberto, e., Moreno, s., Carlos, j., Martín, m., de educación, s., Fernando, o., Blanco, b., Lozano, m. m., delegada en Bogotá, s., Rodriguez, z., & Privada, s. (2011). *gabinete Departamental 2011 José Rozo Millán Gobernador Departamento de Boyacá secretarios del despacho gubernamental Luz Aida Ballesteros Valencia secretaria de desarrollo humano José Ricardo Bautista Pamplona secretaria de cultura y turismo Rafael Humberto Rosas Caro secretaria de hacienda Yully Maribel Figueredo meneses secretaria de participación y democracia Alexandra Forero Quiñones secretaria de fomento agropecuario*. 10–38.
- noticias onu. (2021, july 22). *sequías, tormentas e inundaciones: el agua y el cambio climático dominan la lista de desastres | noticias onu*.

<https://news.un.org/es/story/2021/07/1494632>

Romero Herrera Jorge. (2022, abril 18). *defensoría alerta por reclutamiento forzado de menores en antioquia y córdoba.*

<https://www.wradio.com.co/2022/10/13/defensoria-alerta-por-reclutamiento-forzado-de-menores-en-Antioquia-y-Cordoba/>

siete7edias. (2022, abril 16). *río surba se creció y provocó emergencia en la vereda La Trinidad en Duitama – Boyacá 7 días.*

<https://boyaca7dias.com.co/2022/04/16/rio-surba-se-crecio-y-provoco-emergencia-en-la-vereda-La-Trinidad-en-Duitama/>

ungrd. (2020). *boletín n° 091 ¿cuál es el riesgo por inundaciones en Colombia?* 1–6.

<http://fews.ideam.gov.co/Colombia/mapaestacionesColombiaestado.html>

