

Modelación Y Definición De Manchas De Inundación Quebrada La Mielita

Modeling and Definition of Quebrada La Mielita Flood Stains

Carlos Eduardo Patiño Granada¹, Juan Sebastián Rodríguez Giraldo², Edwin Andrés Mancilla Rico³.

Resumen

La gestión del riesgo por desbordamiento es paso importante en el cuidado y la protección de las zonas urbanas y comunidades vulnerables aledañas a cuerpos de agua, los cuales se ven excedidos en sus capacidades y en sus niveles típicos de flujo a raíz de los efectos del cambio climático y las amplias zonas de aferencia que se encargan de colectar los flujos de aguas pluviales. Además de esto, la evaluación del riesgo es un elemento clave para el desarrollo territorial, la toma de decisiones acertadas, en los diferentes ámbitos sociales, de inversión pública, ordenamiento urbano y estrategias de mitigación y respuesta en los casos más críticos. Basado en el enfoque cuantitativo de la investigación se tiene el objetivo de modelar el comportamiento hidráulico en 2 dimensiones de la quebrada La Mielita mediante el software Iber, definir un mapa en el cual se representen las posibles manchas de inundación en los periodos de estudio determinados teniendo en cuenta los estudios pluviométricos de la zona, a su vez la investigación cuenta con una parte cualitativa que permitirá a futuro el establecimiento de planes de gestión del riesgo sobre la zona y las diferentes intervenciones que allí se puedan realizar. Teniendo como resultado los mapas que definen las zonas de inundación de la quebrada la Mielita y su influencia sobre las áreas aprovechables de la Universidad Libre.

Palabras Clave: Escorrentía, Hidráulica, Inundación, Mapas de inundación, Tiempo de retorno.

Abstract

Risk management for flooding is an important step in the care and protection of urban areas and vulnerable communities adjacent to bodies of water, which may exceed their capacities and typical flow levels due to the effects of climate change and the extensive catchment areas that collect rainfall runoff. In addition, risk assessment is a key element for territorial development, making informed decisions in various social aspects, public investment, urban planning, and mitigation and response strategies in the most critical cases. Based on a quantitative research approach, the objective is to model the hydraulic behavior in two dimensions of the La Mielita creek using the Iber software, defining a map that represents possible flood areas during specified

¹ Estudiante del Programa de Ing. Civil, Universidad Libre Seccional Pereira. carlose-patinog@unilibre.edu.co

² Estudiante del Programa de Ing. Civil, Universidad Libre Seccional Pereira. Juans-rodriguez@unilibre.edu.co

³ Docente del Programa de Ing. Civil, Universidad Libre Seccional Pereira. edwin.mancillar@unilibre.edu.co

study periods, taking into account rainfall studies in the area. Furthermore, the research includes a qualitative component that will enable the future development of risk management plans for the area and various interventions that can be carried out there, resulting in maps that define the flood zones of La Mielita stream and their influence on the usable areas of Universidad Libre.

Keywords: Flood, Flood Maps, Hydraulic, Return Period, Runoff.

1. Introducción

La modelación de inundaciones es un aspecto crucial en la ingeniería civil, especialmente cuando se trata de la evaluación y mitigación de los riesgos asociados a eventos extremos de precipitación (Dawei, 2011). En este contexto, las quebradas y afluentes representan un escenario particularmente desafiante debido a su naturaleza topográfica y la rápida respuesta hidrológica que presentan. La precisión en la predicción y representación de las manchas de inundación en estas áreas se ha convertido en un objetivo primordial para garantizar la seguridad de las comunidades circundantes y la infraestructura urbana.

Las quebradas son ubicaciones geográficas especialmente generadoras de riesgo debido a sus inundaciones repentinas en los casos de ciertas situaciones, lo que puede poner en peligro a las comunidades circundantes y la infraestructura aledaña a la zona (Bates et al. 2008). Dado que estas áreas suelen estar densamente pobladas debido al poco ordenamiento territorial, es fundamental comprender, evaluar y mitigar los riesgos asociados a las inundaciones en este tipo de zonas. La modelación precisa de manchas de inundación en cualquier afluente es crucial para la gestión de riesgos, la toma de decisiones en la planificación urbana y el establecimiento de planes de mitigación en casos críticos. Los resultados de esta investigación serán útiles para los diferentes organismos de gestión del riesgo, ambientales, planeación y administraciones municipales al momento de tomar decisiones y conocer en mayor detalle la zona además de los profesionales de la ingeniería civil que pueden dar continuidad a este tipo de investigaciones en la zona.

La topografía y la dinámica de flujo en las quebradas son particularmente complejas ya que suelen caracterizarse por una topografía variada y abrupta, lo que dificulta la representación precisa de sus comportamientos e interacción con los diferentes componentes de la zona (Ruales, 2020). La modelación hidráulica en estos entornos se convierte en una herramienta que permite facilitar la inclusión de los diferentes parámetros que se pueden llegar a pasar por alto en investigaciones tradicionales que requieren enfoques especializados y avanzados.

La gestión de inundaciones es un conjunto de estrategias y acciones planificadas destinadas a minimizar los impactos negativos de las inundaciones, que pueden ser causadas por diversas razones. (Tingsanchali, 2012) plantea que las causas de las inundaciones se deben a factores naturales y a factores humanos como fuertes lluvias, grandes inundaciones y mareas altas, factores como bloqueo de canales o agravamiento de canales de drenaje, uso inadecuado del suelo, deforestación en regiones de cabecera, etc. La gestión de inundaciones se centra en la prevención, la preparación, la respuesta y la recuperación frente a estos eventos.

Los peligros relacionados con las inundaciones se están incrementando a nivel global como resultado del aumento demográfico, la expansión urbana y las consecuencias del cambio climático (Bates et al. 2008), por ello se da el creciente esfuerzo de aplicar todas las bases de la gestión del riesgo de inundaciones buscando salvaguardar estas zonas urbanizadas y continuar con una sociedad desarrollada. Además de lo mencionado anteriormente se deben incluir discusiones sobre la necesidad de una gobernanza resiliente del riesgo de inundaciones ante el aumento de los riesgos de inundaciones. Se enfatiza la importancia de la diversificación, coordinación y alineación de las estrategias de gestión del riesgo de inundaciones, así como una gobernanza efectiva y legítima del riesgo de inundaciones (Driessen et al., 2016).

Cada vez que se realizan los estudios de los cursos de agua se da la principal carga de culpa a los efectos climatológicos directos o al calentamiento global, no obstante, hay que tener en cuenta los fenómenos internos de funcionamiento para darles una perspectiva completamente diferente y que se menospreciaba por lo general. Entre estos parámetros se encuentran las capacidades de transporte que tiene el afluente, la sedimentación y su comportamiento con la geomorfología sobre la cual recorre su camino. (Sofia & Nikolopoulos, 2020).

Al ser este un riesgo bastante evidente las naciones han dirigido su camino en la búsqueda del establecimiento de nuevas políticas que faciliten los estudios, estrategias y equipos para poder afrontar este tipo de emergencias. Estas políticas tienen como objetivo tanto la mitigación del cambio climático como la adaptación a sus efectos, salvaguardar las vidas y la economía de las zonas afectadas y mejorar la resiliencia urbana de dichos lugares (Eijgenraam et al., 2017; Etinay et al., 2018). (Komurlu et al., 2015; Rubinato et al., 2019; Szalińska et al., 2021) realizan el planteamiento sobre la importancia de la construcción sostenible y la necesidad de normas que sean adecuadas a las condiciones locales, la planificación proactiva del uso del suelo, desarrollar un marco de riesgos múltiples para monitorear y evaluar estos peligros con el fin de apoyar una mejor gestión y el desarrollo sostenible de las ciudades.

En un contexto de creciente conciencia ambiental, se destaca la importancia de los sistemas de distribución de agua en la ingeniería, su diseño y desafíos de implementación, así como el papel clave de la tecnología para su mejora. Paralelamente, se presenta la plataforma FEWprint, que cuantifica las emisiones de carbono relacionadas con el consumo de alimentos y recursos en áreas urbanas, subrayando la variabilidad en emisiones entre distintas comunidades y la necesidad de una gestión sostenible de recursos. Además, se aborda el impacto del transporte de sedimentos en la geometría de ríos y niveles de inundación, evidenciando su relevancia en la gestión del riesgo de inundaciones. Por último, se enfatiza el uso de sistemas de micro humedales urbanos en la gestión de aguas pluviales y desbordamientos de aguas residuales, destacando su contribución al desarrollo sostenible y la mejora de la calidad del agua mediante un diseño y gestión adecuada (Akter et al., 2020)(Kaposztasova et al., 2014)(ten Caat et al., 2022) (Chang & Ab. Ghani, 2022)(Dou et al., 2017).

A medida que estos fenómenos naturales intervienen en los diferentes entornos en los cuales tienen influencia se abordan diversas propuestas de soluciones relacionadas con la gestión y la sostenibilidad ambiental en entornos urbanos, se presenta un estudio sobre el rendimiento hidrológico de un jardín de lluvia en Polonia, destacando su eficacia en la captura y retención de agua de lluvia, ofreciendo información similar valiosa para futuros diseños. Además, explora los

desafíos y enfoques para integrar principios ecológicos en proyectos de diseño urbano, identificando tres marcos emergentes y analizando casos de estudio para promover una mayor armonía entre el desarrollo urbano y la salud de los ecosistemas. Además, se resalta la importancia de sistemas de agua eficientes y sostenibles en el desarrollo urbano y se enfatiza la necesidad de una planificación adecuada para una gestión efectiva de los recursos hídricos (Burszta-Adamiak et al., 2023)(Basdeki et al., 2016; Blanco et al., 2022).

(Luo et al., 2022) propone una idea para reducir el volumen de la escorrentía que es tributada a cierto afluente provocando posteriormente inundaciones. Esta idea se basa en la utilización de materiales que poseen una mayor capacidad de absorción de agua, un mejor rendimiento de almacenamiento de agua y pueden reducir el escurrimiento superficial y el flujo máximo durante eventos de tormenta.

La variedad de temas relacionados con la gestión de inundaciones y sistemas de alerta temprana, así como el impacto del cambio climático en la planificación urbana y la ingeniería civil se compara con el rendimiento de cuatro modelos hidráulicos 2D en la generación de mapas de inundaciones en una cuenca de un río de montaña en Ecuador, destacando que Iber 2D tuvo el mejor desempeño. Seguidamente, se analiza el diseño de un sistema de alerta temprana de inundaciones para el río Arauca en Colombia, donde se concluye que los modelos basados en relaciones de poder y redes neuronales artificiales son eficaces en la predicción de inundaciones. Además, se eso se investiga el impacto del cambio climático en los sistemas de drenaje urbano en Bucarest y sugiere soluciones de adaptación. Luego, se menciona la importancia del desarrollo sostenible en la planificación urbana y la ingeniería civil, con énfasis en la aplicación de tecnologías de diseño sostenible en ingeniería. Finalmente, se aborda la cartografía de áreas inundadas a lo largo del río Fetam en Etiopía, utilizando SIG y el modelo HEC-RAS para analizar el riesgo de inundaciones y la vulnerabilidad en la cuenca del río Fetam, recomendando medidas de protección de zonas vulnerables (Desalegn & Mulu, 2021; Stancu et al., 2017; Suripin et al., 2017).

La importancia en un mundo lleno de una inmensa variedad de tecnologías permite la utilización de diferentes equipos especializados en la medición de las diferentes variaciones climatológicas, que de una u otra forma afecten los diferentes tipos de cursos hídricos. Estos tipos de información recolectada a su vez sirven como una base de datos regional de las zonas a las cuales haga referencia el cauce en investigación y se pueda generar un control y estudio conjunto entre las diferentes partes que se encuentren en esta labor. También al tener en cuenta que las principales variables que afectan los caudales son las precipitaciones, entonces si se implementan estaciones que al generar proyecciones ya sean lineales o exponenciales con respecto a la afectación del caudal en base a las precipitaciones en dicho momento se pueden brindar sistemas de predicción con cierto grado de precisión. Estas alternativas sistemáticas brindarían una mayor seguridad y confianza tanto en las personas como en los entes de control e investigativos para continuar con las labores de estudios y verificaciones de los comportamientos desde un gran río hasta la más pequeña quebrada.(Balatonyi & Zwęgliński, 2021; Cheong, 2012; Vides-herrera et al., 2022).

La tecnología que ha venido tomando parte en la mayoría de los procesos humanos hace también parte importante de este tipo de investigaciones ya sea como lo propone (Özcan & Özcan,

2021) mediante el uso de UAV para el monitoreo de los cauces hasta la toma de los modelos digitales del terreno o en un enfoque hacia la presentación de información mediante el uso de sistemas GIS en unión con las bases hidrológicas facilitando su uso y comprensión para los diferentes entes interesados (Pradeep & Wijesekera, 2020).

El modelado hidráulico en Iber demuestra un mejor rendimiento en la simulación de los periodos de retorno para el establecimiento de los niveles del agua en comparación de otros softwares como HEC-RAS, Flood Modeller y PCSWMM (Pinos & Timbe, 2019). A su vez cabe resaltar la importancia de la implementación de los sistemas de alertas tempranas, estos sistemas han ido evolucionando como lo plantea (Parvaze et al., 2022) mediante la implementación de inteligencia artificial y uso de redes neuronales que dan un rendimiento superior a modelos convencionales al momento de predecir estas situaciones de riesgo, también se establecen nuevas mejoras en el rendimiento en base a actualizaciones en tiempo real brindando una mayor eficiencia a los sistemas de alerta temprana (Farid et al., 2022). No obstante, la implementación de nuevas tecnologías genera una alta demanda computacional para generar modelos de calidad lo cual se establece como nuevos obstáculos para lograr la mejora de dichos sistemas, allí se plantea la utilización de maquinaria híbrida de aprendizaje para mantener el equilibrio entre resultados y gasto computacional (Keller, 2023). También del lado no tan eficiente de los modelos hidrodinámicos se están explorando fuentes de incertidumbre como simplificaciones de los modelos y la gran incertidumbre del comportamiento como obstáculos extraños y su comportamiento en zonas urbanas (Paquier et al., 2015).

Además, la rugosidad del lecho y la vegetación pueden influir en el coeficiente de rugosidad de Manning. Doncker et al. (2009) realizaron mediciones en los ríos Aa y Biebrza para determinar la variación del coeficiente de Manning debido a la vegetación (Doncker et al., 2009). A su vez (Sanz-Ramos et al., 2018) también estudiaron el comportamiento del coeficiente de rugosidad de los macrófitos en experimentos numérico-experimentales.

Este estudio contribuirá al avance del conocimiento científico en el campo de la ingeniería hidráulica y la modelación de inundaciones. Los hallazgos podrán utilizarse como base para investigaciones futuras y el desarrollo de mejores prácticas en la gestión de inundaciones en quebradas y afluentes de poca envergadura que no han sido muy incluidos en estudio recientes debido a su complejidad. La investigación ayudará a fortalecer la resiliencia de las comunidades frente a eventos de inundación al proporcionar información precisa para la planificación de medidas de adaptación y mitigación. En resumen, este artículo de investigación se justifica por su relevancia en la mitigación de riesgos de inundación en quebradas, su contribución al conocimiento científico y su impacto en la seguridad y resiliencia de las comunidades que enfrentan amenazas de inundación en estos entornos específicos.

La necesidad de comprender y modelar los entornos aledaños a la quebrada la Mielita con el fin de establecer principalmente su riesgo de inundación, áreas vulnerables, aprovechamiento de las zonas aledañas y la puesta a prueba de un software como Iber que es principalmente utilizado en grandes afluentes y que en este caso en particular se verá enfrentado a la alta variabilidad y complejidad del comportamiento de una quebrada.

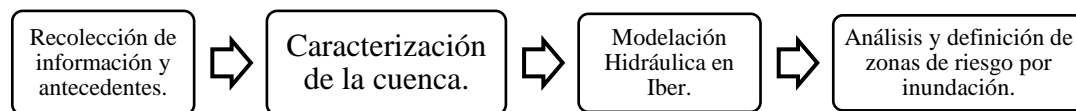
2. Materiales y métodos

La literatura científica consultada anteriormente define las inundaciones como un fenómeno natural que ocurre cuando una zona se ve afectada por la acumulación excesiva de agua debido a diversas causas, como lluvias intensas, desbordamiento de ríos, desbordamiento de embalses, tormentas tropicales o ciclones, entre otros. Las inundaciones pueden variar en intensidad y duración, desde inundaciones repentinas y locales hasta inundaciones más extensas y prolongadas, todo esto dependiendo de diferentes factores como la topografía, los sistemas de drenajes, la absorción del suelo etc. (Velis, et al., 1991).

El proceso que se llevó a cabo para la realización del análisis de riesgo y la definición de manchas de inundación de la quebrada La Mielita abarcó el desarrollo paso a paso de las diferentes etapas mencionadas a continuación en la figura 1 donde se aprecia el relacionamiento con las variables de estudio y los alcances de la investigación.

Figura 1

Diagrama de flujo de la Metodología para la definición de manchas de inundación



Fuente: Los autores

En la fase inicial de la investigación se realiza la búsqueda y obtención de información mediante fuentes bibliográficas y se solicitan los datos hidrometeorológicos a entidades públicas, como el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) y al Aeropuerto Internacional Matecaña. Una vez recolectada la información de interés de la zona se procede con la estimación y cálculo de las precipitaciones de diseño por el método de las curvas de intensidad, duración y frecuencia (Curvas IDF) de la estación Aeropuerto Internacional Matecaña para obtener los hietogramas de precipitación y la preparación de los datos para la utilización en el modelo.

La segunda fase de la investigación se compone de la caracterización de la cuenca mediante visitas de campo a los tramos del cauce con la finalidad de identificar el recorrido, composición, topografía, importantes a la hora de establecer los parámetros geométricos de la quebrada y así ejecutar de manera acertada las modelaciones respectivas.

Una vez obtenidos los datos base se realiza modelación hidrodinámica en Iber – 2D teniendo como fuente el procesamiento de datos hidrológicos, datos topográficos, la generación de la malla topográfica, la identificación de rugosidades, entre otros. Iber requiere los parámetros de caudal (Q) expresados en [m³/segundo] como principal condición de contorno del modelo hidrodinámico, correspondiente al caudal tributado de la escorrentía superficial directa, y tiempo (T), expresado en [segundos] por lo cual, se requiere de la aplicación de un modelo lluvia escorrentía para obtener

el caudal de escorrentía superficial de la zona utilizando los datos de precipitación suministrados por el IDEAM de la estación Aeropuerto Matecaña, se transforman a caudal por medio del método racional.

Uno de los campos de aplicación más importante de IBER es el cálculo hidráulico de red de canales en lámina libre, conjunto con análisis de procesos de sedimentación y erosión. Este hace uso de un método de volúmenes finitos para el cálculo de caudal, turbulencias y sedimentos, resolviendo cada ecuación con claros esquemas descentrados, haciéndolo bastante útil y eficaz para flujos críticos o discontinuos según (Bladé et al., 2014) “El módulo hidrodinámico de Iber resuelve las ecuaciones de St. Venant bidimensionales, incorporando los efectos de la turbulencia” (p.2).

Cabe aclarar que los coeficientes de escorrentía (C) usados en el método racional son tomados con base en los estándares utilizados en el Manual de Drenaje para Carreteras del INVIAS (2009), acorde a los coeficientes de escorrentía se presentan los valores que se aplican teniendo en cuenta sus variaciones en cada periodo de retorno en estudio.

Por último, en la fase final se realiza el análisis del riesgo y el establecimiento de las zonas críticas en base a los resultados obtenidos en la modelación para así plantear posibles soluciones y exponer los escenarios que puedan ser mejorados mediante la gestión del riesgo.

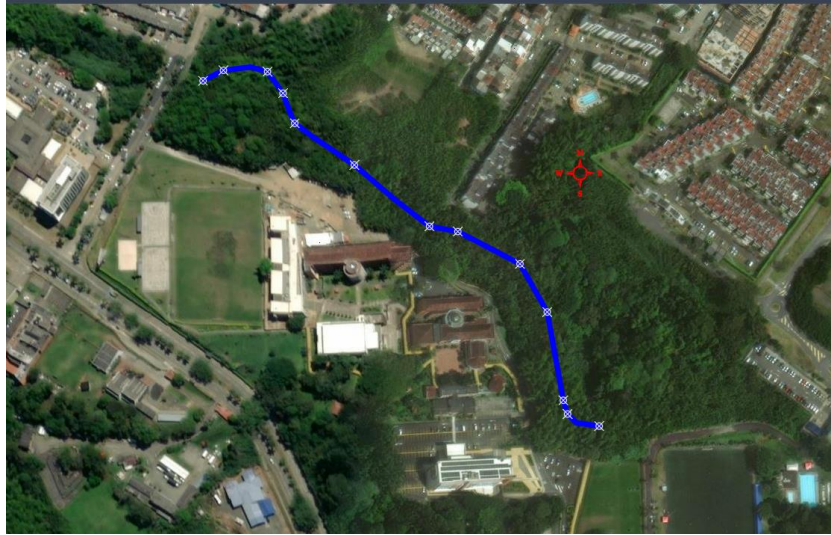
3. Resultados y discusión

A través del seguimiento del proceso metodológico previamente establecido que incluyó el análisis de datos pluviométricos de la zona y una modelación del terreno en el software Iber, se ha recopilado y analizado un extenso conjunto de resultados. Dichos resultados no solo proporcionan una visión detallada de las complejidades inherentes en la modelación de quebradas y sus manchas de inundación, sino que también ofrecerán perspectivas que pueden informar futuras investigaciones y decisiones en este campo específico.

3.1 Caracterización de la quebrada la Mielita

La Quebrada la Mielita se sitúa en el municipio de Pereira, Risaralda teniendo una alta influencia en su paso por la Universidad Libre como se muestra en la figura 2. Esta microcuenca se ve principalmente tributada por las aguas lluvia o escorrentía de las zonas aledañas como lo son los sectores de Belmonte y la Villa Olímpica. La quebrada cuenta con una longitud de 460,43 m en su paso por la Universidad Libre y un área de influencia de 55,34 Ha.

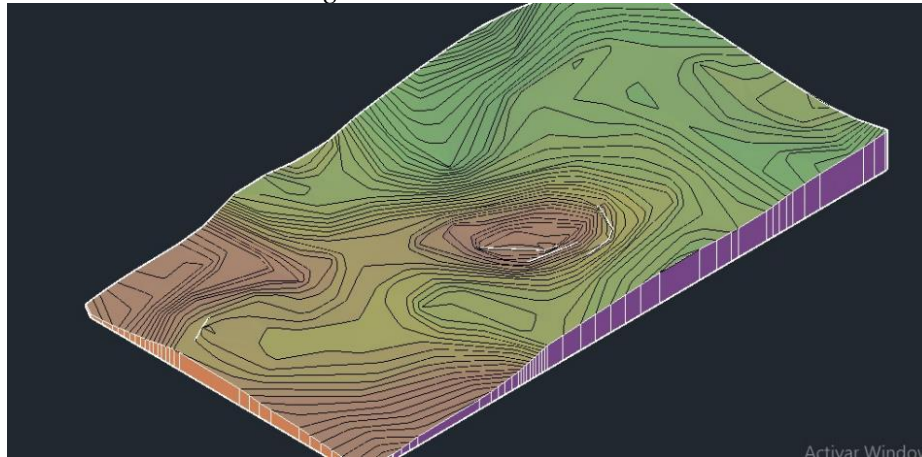
Figura 2
Vista satelital quebrada La Mielita



Fuente: Google Earth 2023

Una vez establecida la ruta de la quebrada y la toma de información como coordenadas, profundidades, reconocimiento de la zona y sus tipologías se continua con la transformación de esta información haciendo uso de diferentes softwares como Global Mapper para la obtención de las curvas de nivel y Civil 3D para procesar las imágenes satelitales y para generar un Modelo Digital de Terreno (MDT) de la zona de estudio como se muestra a continuación en la figura 3.

Figura 3
Modelo Digital del Terreno a estudiar



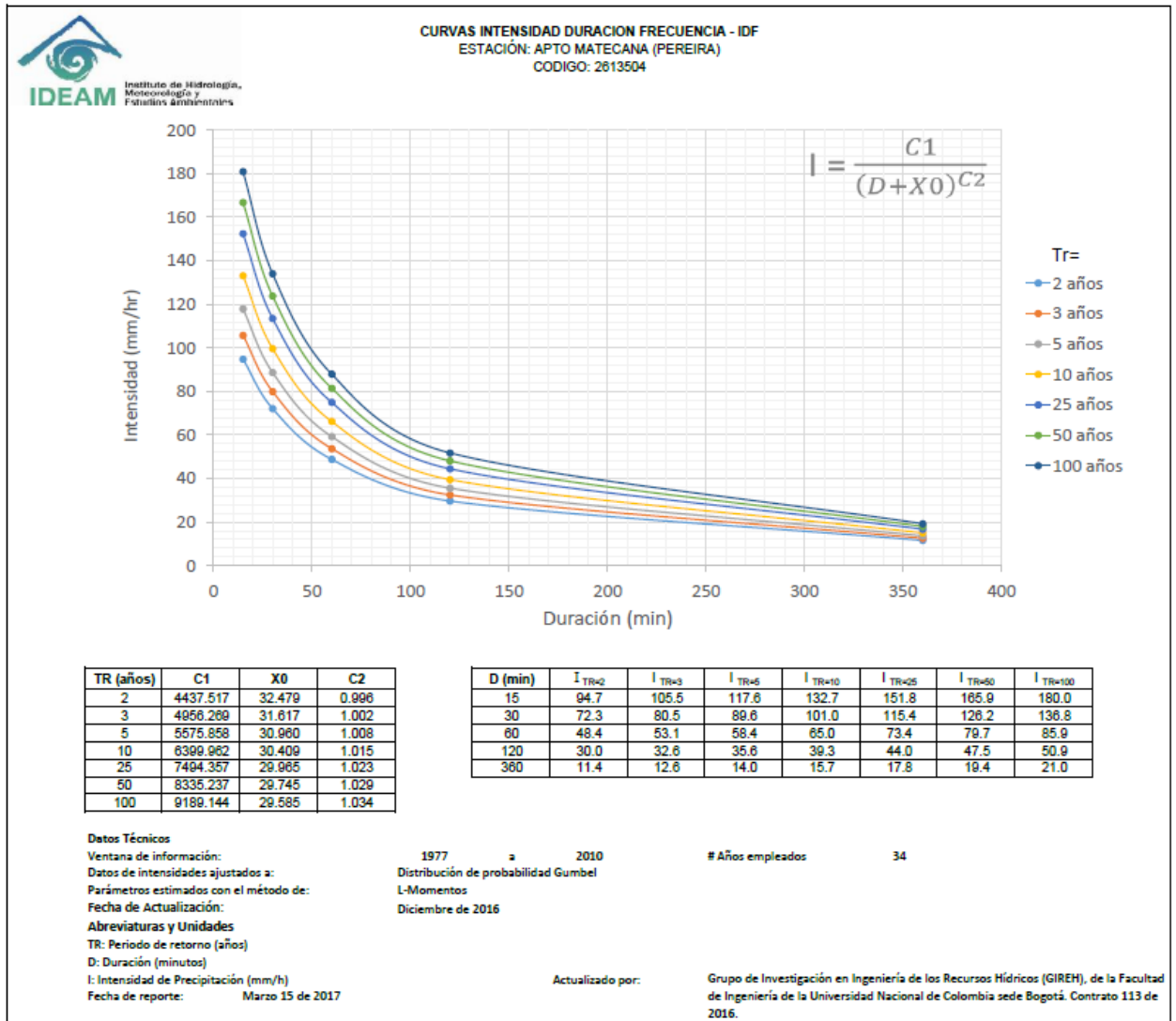
Fuente: Los autores

La creación de la malla topográfica en la zona que abarca el proyecto se llevó a cabo mediante la utilización de las curvas de nivel extraídas de un Modelo Digital del Terreno (MDT) utilizando el software Global Mapper en conjunto con Qgis. Estas superficies son creadas en Iber como NURBS (Non Uniform Rational B-Splines), proporcionando mallas de mejor calidad que permiten modelos con cálculos más precisos.

3.2 Definición de las manchas de inundación

Todos estos elementos requirieron principalmente los datos pluviométricos pues como se había mencionado anteriormente la principal fuente de esta quebrada son las aguas lluvias. Para esto se obtuvieron los datos del pluviómetro ubicado en el Aeropuerto Internacional Matecaña y las curvas IDF con la cuales realizar los diferentes cálculos de caudales tributados a esta microcuenca figura 4.

Figura 4
Curvas IDF Estación Aeropuerto Internacional Matecaña



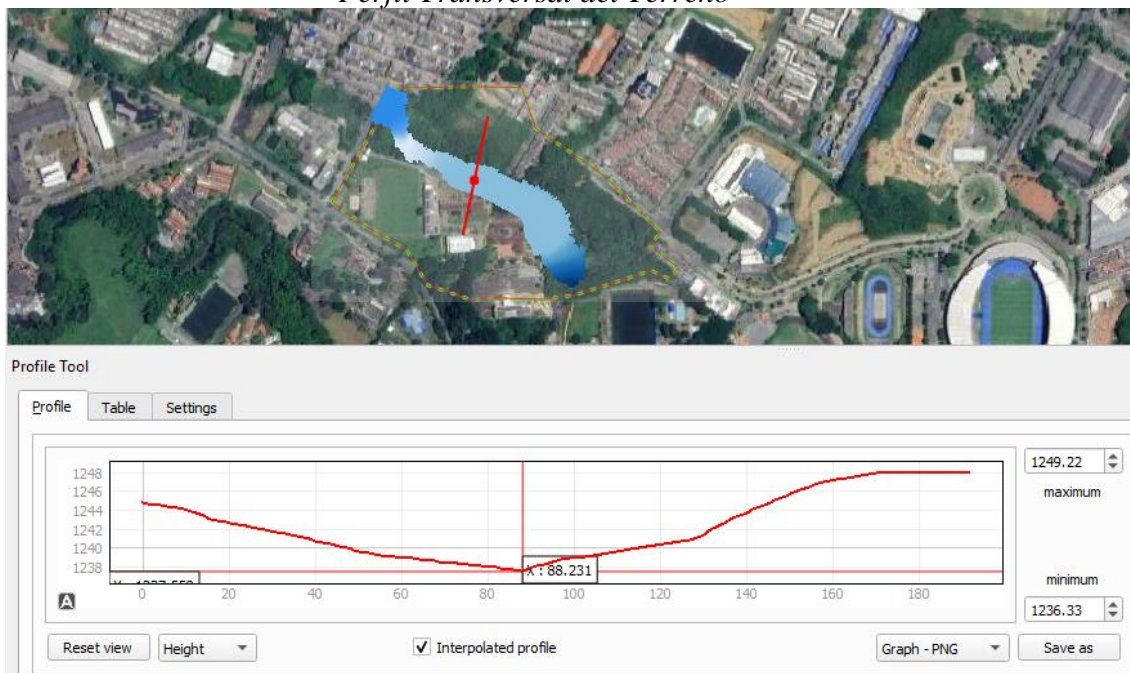
Fuente: IDEAM 2017

Para la construcción de este modelo, se identificaron las entradas y salidas en la superficie, lo que posibilita la asignación del comportamiento que se seguirá en dicha superficie. Se empleó el método racional para el cálculo de los caudales de escorrentía, el cual es adecuado para cuencas

con áreas inferiores a 25 Km². A partir de los caudales obtenidos, se utilizó el modelo bidimensional en Iber para cada uno de los escenarios de cambio climático.

Tras la creación de la malla topográfica y la posterior introducción el Iber se establecen los perfiles del terreno como se muestra en la figura 5, con la representación del perfil transversal de la microcuenca que denota un menor nivel de su borde sur hacia la universidad siendo este factor crucial en el comportamiento del agua al superar dicho nivel establecido.

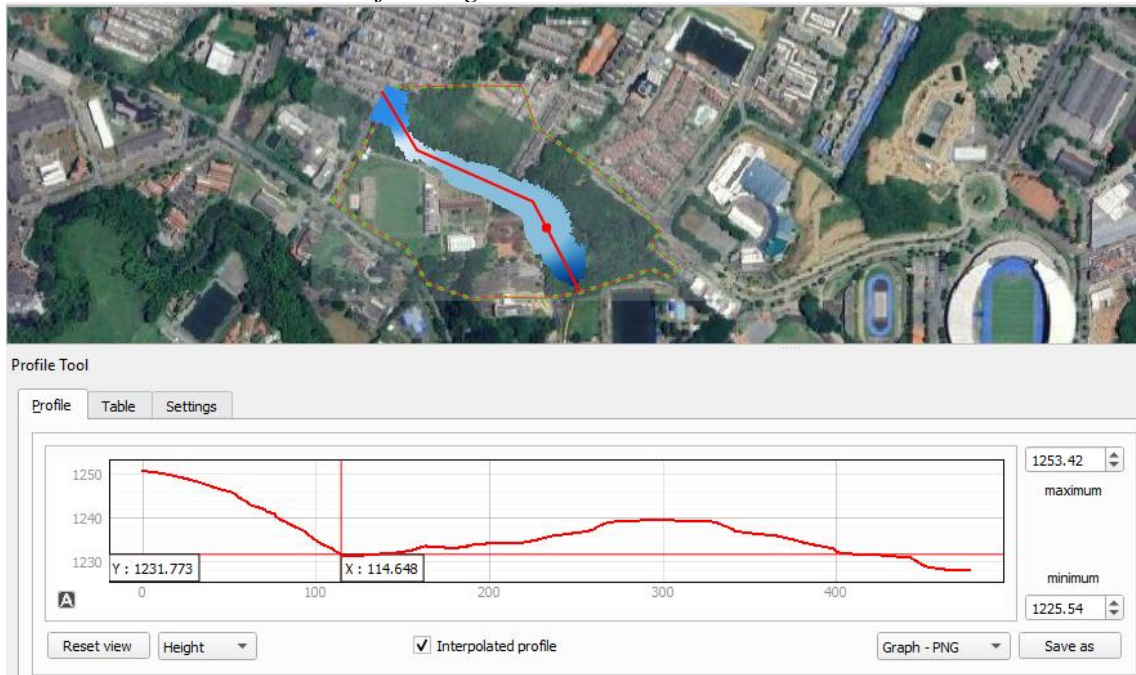
Figura 5
Perfil Transversal del Terreno



Fuente: Los autores

En cuanto al perfil longitudinal del afluente se presenta una predisposición del terreno para el estancamiento del agua en un accidente topográfico de considerable magnitud y profundidad, tal como se presenta en la figura 6. Siendo esta una posible desviación debido a la intervención humana en la zona o un cambio en su recorrido, a su vez se logra apreciar la retoma de su comportamiento debido a la memoria histórica del cauce y su búsqueda de la ruta más efectiva.

Figura 6
Perfil Longitudinal del Terreno



Fuente: Los autores

3.3 Periodos de retorno

El coeficiente de rugosidad de Manning es un parámetro utilizado en la modelización hidráulica para representar la resistencia al flujo en ríos y canales. Se utiliza en la ecuación de Manning, que relaciona la velocidad del flujo con la pendiente y el área mojada de la sección transversal del flujo (Lyra et al., 2010). Para ello con la caracterización de las zonas aledañas se pudieron establecer 3 tipos de ambientes por los cuales intervendría el aumento del cauce de la quebrada, dando como resultado sus respectivos coeficientes de rugosidad para modelar el comportamiento adecuado del agua en cada una de estas zonas como se muestra en la Tabla 1. Cabe aclarar que la rugosidad es coeficiente adimensional.

Tabla 1
Coeficiente de rugosidades de la zona de estudio

Tipología	Manning (n)
Quebrada	0.016
Vegetación	0.02
Zona Urbana	0.15

Fuente: Los autores

Una vez establecidos los parámetros en el software se realizó la introducción de los datos hidrológicos que fueron base fundamental para la evaluación del comportamiento del afluente, estos caudales de entrada fueron calculados mediante el método racional. Estos caudales que se

muestran en la Tabla 2 se utilizaron como materia prima para correr el modelo y determinar su comportamiento en los respectivos periodos de diseño.

Tabla 2
Datos de Comportamiento

Tiempo (s)	Q Entrada (m ³ /s)	Q Salida (m ³ /s)
600.00	0.000	0.000
1200.04	9.889	0.000
1800.04	8.190	0.000
2400.08	6.984	0.000
3000.07	6.085	0.458
3600.05	5.388	1.279
4200.09	4.833	1.821
82800.08	3.976	3.684
83400.14	4.003	3.712
84000.13	4.031	3.740
84600.03	4.058	3.768
85200.01	4.085	3.796
85800.05	4.113	3.824
86400.05	4.140	3.852

Fuente: Los autores

De acuerdo con los datos introducidos y después de la modelación se establecen los rangos de profundidades en los cuales se comporta el modelo como se muestra en la Tabla 3.

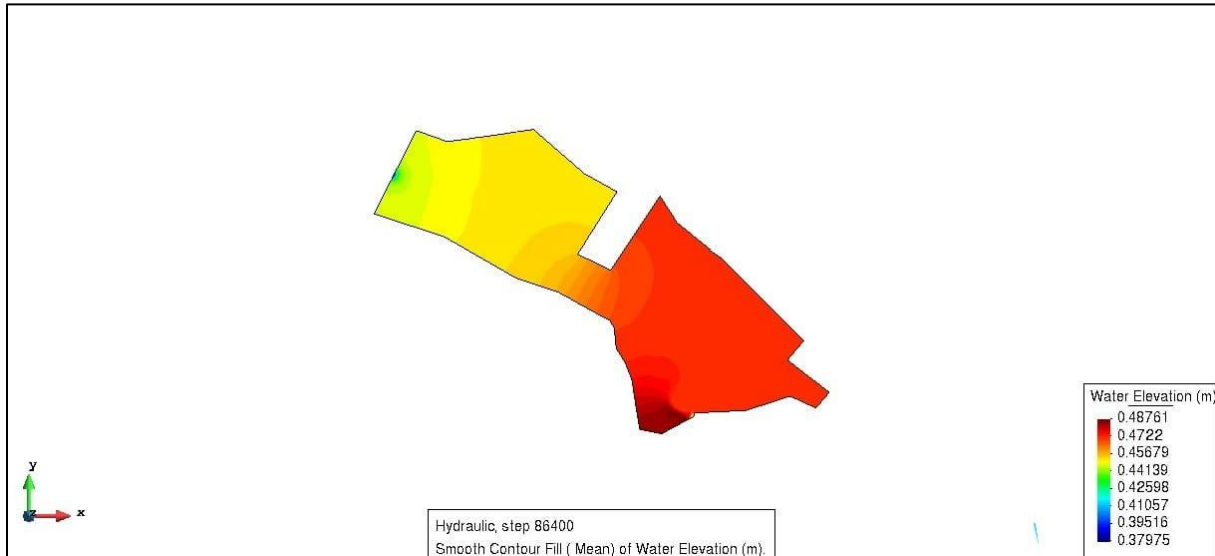
Tabla 3
Resultados de tiempo y profundidad a 100 años

Tiempo (s)	Profundidad Máx. (m)
600	0,01
86400	9,82

Fuente: Los autores

Al momento de terminar el modelado de los diferentes comportamientos en sus respectivos periodos de retorno se pudo establecer el rango en el cual se comportó la quebrada en un periodo de retorno de 100 años, obteniendo los datos mostrados en la Tabla 3 en los cuales se aprecia la altura considerable de 9,82 m de altura de la lámina de agua. Esta profundidad bastante significativa en cuanto al factor de riesgo que le generaría a la Universidad, debido a que esta profundidad de lámina de agua excedería el costado sur de la quebrada dando como resultado un desbordamiento hacia las edificaciones.

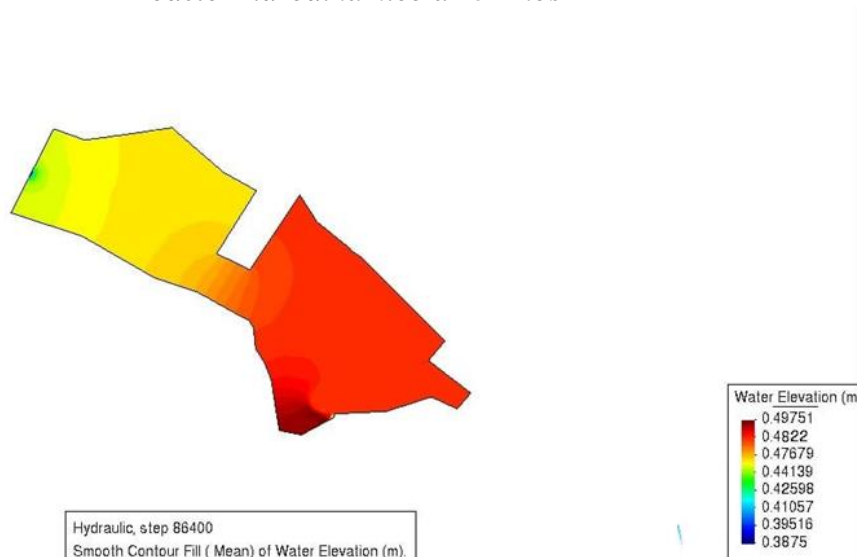
Figura 7
Modelo Hidrodinámico a 5 Años



Fuente: Los autores

En el periodo de 5 años que se representa en la figura 7 se aprecia un aumento en el nivel de la lámina de agua no mayor a los 0,50 m en la zona principal de influencia de la quebrada por lo cual se puede determinar como un escenario que no representa mayor riesgo para la comunidad aledaña y seguiría estando en los márgenes de la socavación de la quebrada que al momento del estudio se encontraba en una profundidad promedio de 2,15 m.

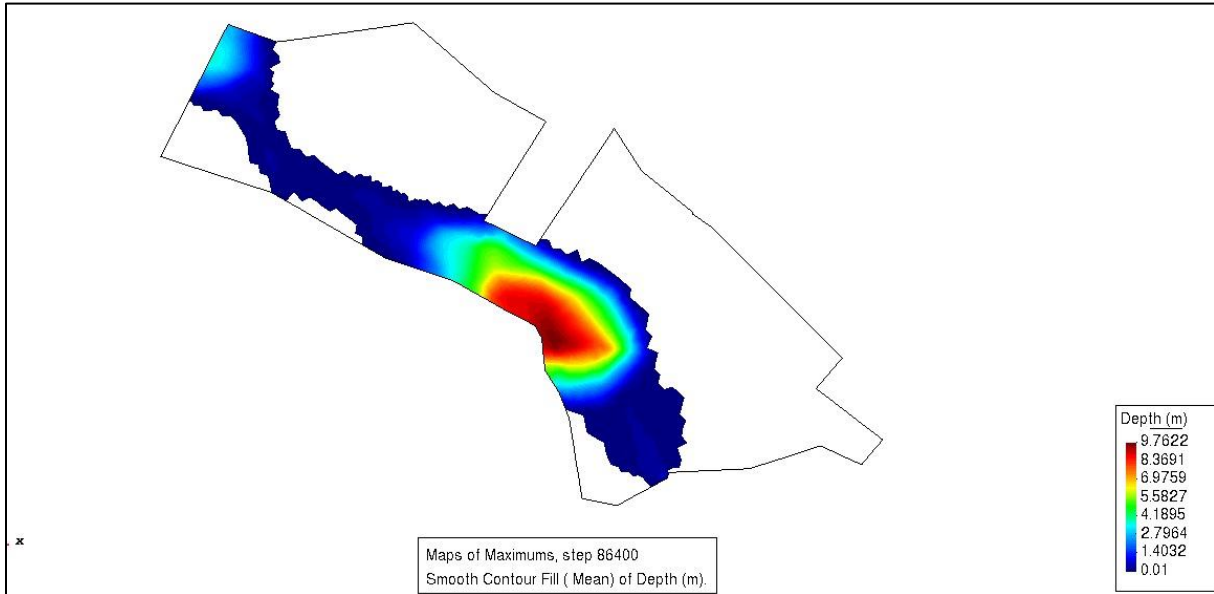
Figura 8
Modelo Hidrodinámico a 25 Años



Fuente: Los autores

En el periodo de 25 años que se representa en la figura 8 se aprecia un aumento en el nivel de la lámina de agua de 0,01 m con respecto a la modelación del periodo de 5 años con lo cual se establece que es un periodo poco útil para la investigación debido a la poca información que brinda y al considerarse un escenario del mismo riesgo que el de 5 años.

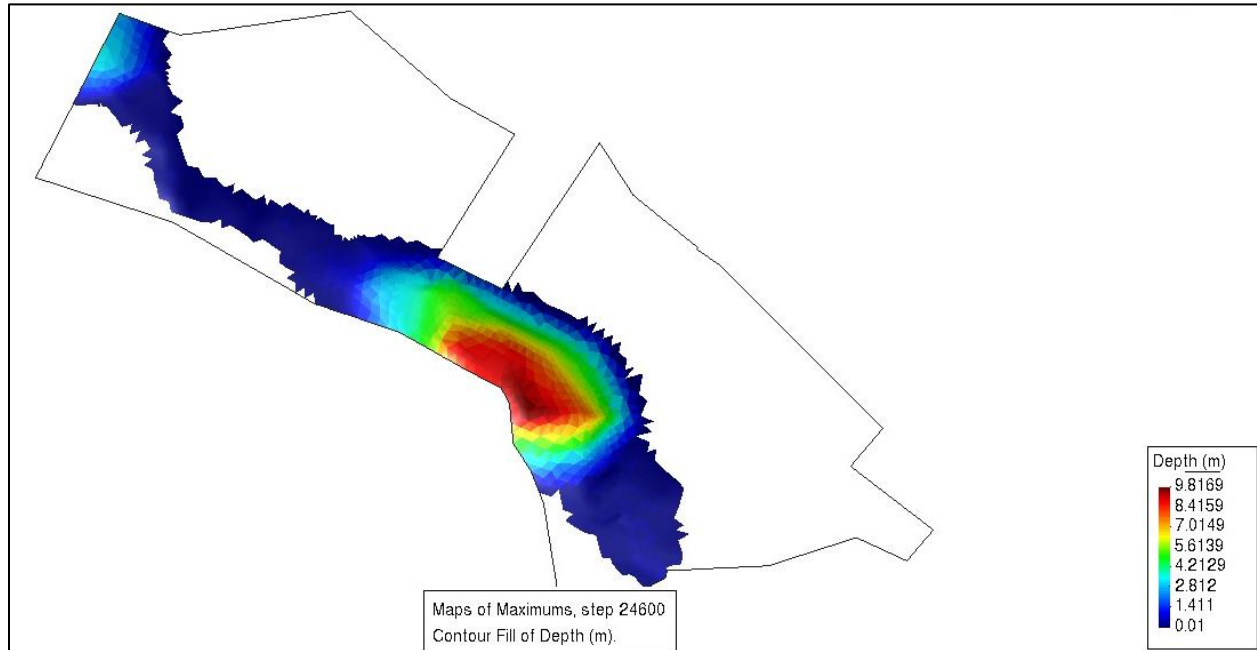
Figura 9
Modelo Hidrodinámico a 50 Años



Fuente: Los autores

En el periodo de 50 años que se representa en la figura 9 se aprecia un aumento en el nivel de la lámina de agua que alcanza 9,76 m en su zona más profunda, la cual coincide con la zona cóncava que presenta el terreno. A su alrededor se extiende a una profundidad promedio de 1,5 en el sentido del cauce.

Figura 10
Modelo Hidrodinámico a 100 Años



Fuente: los autores

En el periodo de 100 años que se representa en la figura 10 se aprecia un aumento en el nivel de la lámina de agua que alcanza 9,82 m en su zona más profunda demostrando un aumento poco significativo respecto al periodo de retorno de 50 años. Se puede establecer como escenario límite de las modelaciones hidrodinámicas de la quebrada La Mielita siendo escenario de repetición en caso de considerarse periodos de diseño a más años.

3.4 Delimitación de áreas aprovechables

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos es apreciable que en un periodo de retorno de 50 las zonas aledañas y de posible expansión de la Universidad Libre se verán afectadas por la crecida en los niveles de la lámina de agua, en la figura 11 se puede apreciar de forma más precisa las zonas en las cuales se verán afectadas por la crecida del afluente. Es determinante la forma en la que la quebrada cambia su ruta establecida en gran parte debido a la topografía que se expuso anteriormente con el perfil longitudinal de la misma, en donde destaca la búsqueda del agua del punto más bajo para continuar su recorrido.

Figura 11
Zonas Definidas a 50 Años



Fuente: Los autores

En un periodo de retorno a 100 años se representa la homogeneidad en la lámina de agua y un estancamiento en el crecimiento de esta en un nivel determinado por las características topográficas de la microcuenca en la cual se permite el correcto drenaje y salida de los caudales tributados tal como se muestra en la figura 12. Persiste el cambio de curso de la quebrada debido a los accidentes topográficos que se encuentra en su recorrido longitudinal.

Figura 12
Zonas Definidas a 100 Años



Fuente: Los autores

4. Conclusiones

El cambio climático ha aumentado la frecuencia e intensidad de las inundaciones en muchas regiones debido a patrones climáticos más extremos, como lluvias intensas y eventos meteorológicos inusuales, la adaptación se vuelve esencial. Los enfoques tradicionales de control de inundaciones deben combinarse con estrategias de adaptación que consideren las condiciones climáticas cambiantes y busquen reducir la vulnerabilidad de las comunidades. En resumen, la gestión del riesgo de inundaciones en el contexto del cambio climático es un desafío complejo que requiere una planificación y acción cuidadosa a nivel global, nacional y local. La adaptación, la resiliencia y la cooperación son clave para reducir los impactos de las inundaciones en un mundo en constante cambio climático.

Con relación a la modelación hidráulica de la quebrada la Mielita se prevén los aumentos en el nivel de la lámina de agua por encima de los límites de las secciones transversales de la misma. Evento que es fuente generadora de riesgo en cuanto a la integridad de la infraestructura aledaña y las personas que hacen uso de estas en su vida cotidiana.

Se obtiene unos niveles hasta de 9 m de profundidad en la zona más crítica en la cual se encuentra un accidente topográfico que facilita la acumulación de gran parte del exceso de agua e impide que la zona peligre a mayor escala. Se pueden sugerir medidas de mitigación y protección de las laderas y zonas de amortiguación que permitan el correcto mantenimiento del ciclo del agua, el aprovechamiento de las aguas lluvia de la Universidad Libre disminuyendo el caudal tributado al afluente y así establecer políticas de mayor conciencia del estado de riesgo futuro que se corre en caso del descuido de los sistemas de alerta temprana. Una recomendación importante es considerar la reforestación y mantenimiento del bosque aledaño, obras de conservación de suelo en las zonas altas de la cuenca como alternativas de prevención a la erosión, el debido retiro de amortiguamiento que deben tener las urbanizaciones aledañas y un debido manejo de las aguas lluvia y su descole en la quebrada.

Es importante tener en cuenta al momento de intervenir el mobiliario urbano la integración con el ambiente y su inclusión de manera atractiva y ambientalmente consciente para evitar futuras catástrofes. La memoria histórica de los cauces demuestra como a pesar del desvío o canalización de un afluente este siempre tendería a recobrar su espacio de influencia, siendo esto perjudicial para las intervenciones de infraestructura aledaña.

Se propone realizar la modelación hidrodinámica en conjunto con los entes gubernamentales y de gestión del riesgo local, generando mayores escenarios e información para ampliar el análisis de la información de la zona. Se da también la necesidad de la generación de un plan de gestión del riesgo de inundaciones por parte de la Universidad Libre, una debida concientización y difusión de los escenarios obtenidos para así generar consciencia en la comunidad aledaña de la importancia de los escenarios de riesgo.

Referencias

- Akter, A., Tanim, A. H., & Islam, M. K. (2020). Possibilities of urban flood reduction through distributed-scale rainwater harvesting. *Water Science and Engineering*, 13(2), 95–105. <https://doi.org/10.1016/j.wse.2020.06.001>
- Balatonyi, L., & Zwęgliński, T. (2021). Flood Forecasting and Disaster Risk Management – a Case Study of Danube River. *Zeszyty Naukowe SGSP*, 2(80), 109–124. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0015.6472>
- Basdeki, A., Katsifarakis, L., & Katsifarakis, K. L. (2016). Rain Gardens as Integral Parts of Urban Sewage Systems-A Case Study in Thessaloniki, Greece. *Procedia Engineering*, 162, 426–432. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.084>
- Bladé, E., Cea, L., Corestein, G., Escolano, E., Puertas, J., Vázquez-Cendón, E., Dolz, J., & Coll, A. (2014). Iber: herramienta de simulación numérica del flujo en ríos. *Revista Internacional de Metodos Numericos Para Calculo y Diseno En Ingenieria*, 30(1), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.rimni.2012.07.004>
- Blanco, E., Raskin, K., & Clergeau, P. (2022). Reconnecting neighbourhoods with ecosystem functioning: Analysis of solutions from six international case studies. *Sustainable Cities and Society*, 77(April 2021), 103558. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103558>
- Burszta-Adamiak, E., Biniak-Pieróg, M., Dąbek, P. B., & Sternik, A. (2023). Rain garden hydrological performance – Responses to real rainfall events. *Science of the Total Environment*, 887(April). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164153>
- Chang, C. K., & Ab. Ghani, A. (2022). Quantifying the effects of sediment transport on river channel geometry and flood level—a case study of the December 2014 flood. *International Journal of River Basin Management, December 2014*. <https://doi.org/10.1080/15715124.2022.2138408>
- Cheong, T. S. (2012). Development of Decision Support System for Flood Disaster Risk Management. *Climate Change Research, National Disaster Management Institute*, 1(2), 198–206. <https://doi.org/10.6057/2012TCRR02.12>
- Dawei Han, " Flood Risk Assessment and Management ", Bentham Science Publishers (2011). <https://doi.org/10.2174/97816080504751110101>
- Desalegn, H., & Mulu, A. (2021). Mapping flood inundation areas using GIS and HEC-RAS model at Fetam River, Upper Abbay Basin, Ethiopia. *Scientific African*, 12, e00834. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2021.e00834>
- Dou, T., Troesch, S., Petitjean, A., Gábor, P. T., & Esser, D. (2017). Wastewater and Rainwater Management in Urban Areas: A Role for Constructed Wetlands. *Procedia Environmental Sciences*, 37, 535–541. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2017.03.036>
- Doncker, L., Troch, P., Verhoeven, R., Bal, K., Meire, P., & Quintelier, J. (2009). Determination of the manning roughness coefficient influenced by vegetation in the river aa and bieberza river. *Environmental Fluid Mechanics*, 9(5), 549-567. <https://doi.org/10.1007/s10652-009-9149-0>
- Driessen, P. P. J., Hegger, D. L. T., Bakker, M. H. N., van Rijswijk, H. F. M. W., & Kundzewicz, Z. W. (2016). Toward more resilient flood risk governance. *Ecology and Society*, 21(4). <https://doi.org/10.5751/ES-08921-210453>
- Eijgenraam, C., Brekelmans, R., Den Hertog, D., & Roos, K. (2017). Optimal strategies for flood prevention. *Management Science*, 63(5), 1644–1656. <https://doi.org/10.1287/mnsc.2015.2395>

- Etinay, N., Egbu, C., & Murray, V. (2018). Building Urban Resilience for Disaster Risk Management and Disaster Risk Reduction. *Procedia Engineering*, 212, 575–582. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2018.01.074>
- Farid, M., Pratama, M. I., Kuntoro, A. A., Adityawan, M. B., Rohmat, F. I. W., & Moe, I. R. (2022). Flood Prediction due to Land Cover Change in the Ciliwung River Basin. *International Journal of Technology*, 13(2), 356–366. <https://doi.org/10.14716/ijtech.v13i2.4662>
- Kaposztasova, D., Vranayova, Z., Markovic, G., & Purcz, P. (2014). Rainwater harvesting, risk assessment and utilization in Kosice-City, Slovakia. *Procedia Engineering*, 89, 1500–1506. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.11.439>
- Keller, J. (2023). Why are decentralised urban water solutions still rare given all the claimed benefits, and how could that be changed? *Water Research X*, 19. <https://doi.org/10.1016/j.wroa.2023.100180>
- Komurlu, R., Gurgun, A. P., & Arditi, D. (2015). Evaluation of LEED Requirements for Site Properties in Developing Country-Specific Certification. *Procedia Engineering*, 118, 1169–1176. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.460>
- Kundzewicz, Z. W., editor. 2012. Changes in flood risk in Europe. IAHS, Wallingford, UK. <http://dx.doi.org/10.1201/b12348>
- Kundzewicz, Z. W., V. Krysanova, R. Dankers, Y. Hirabayashi, S. Kanae, F. F. Hattermann, S. Huang, P. C. D. Milly, M. Stoffel, P. P. J. Driessen, P. Matczak, P. Quevauviller, H.-J. Schellnhuber. 2016. Differences in flood hazard projections in Europe - their causes and consequences for decision-making. *Hydrological Science Journal*. 1-14. <http://dx.doi.org/10.1080/02626667.2016.1241398>
- Luo, P., Liu, L., Wang, S., Ren, B., He, B., & Nover, D. (2022). Influence assessment of new Inner Tube Porous Brick with absorbent concrete on urban floods control. *Case Studies in Construction Materials*, 17. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01236>
- Lyra, G., Cecílio, R., Zanetti, S., & Lyra, G. (2010). Coeficiente de rugosidade de manning para o rio paracatu. *Revista Brasileira De Engenharia Agrícola E Ambiental*, 14(4), 343-350. <https://doi.org/10.1590/s1415-43662010000400001>
- Özcan, O., & Özcan, O. (2021). Multi-temporal UAV based repeat monitoring of rivers sensitive to flood. *Journal of Maps*, 17(3), 163–170. <https://doi.org/10.1080/17445647.2020.1820387>
- Paquier, A., Mignot, E., & Bazin, P. H. (2015). From hydraulic modelling to urban flood risk. *Procedia Engineering*, 115, 37–44. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.07.352>
- Parvaze, S., Khan, J. N., Kumar, R., & Allaie, S. P. (2022a). Flood forecasting in Jhelum river basin using integrated hydrological and hydraulic modeling approach with a real-time updating procedure. *Climate Dynamics*, 59(7–8), 2231–2255. <https://doi.org/10.1007/s00382-022-06206-3>
- Pinos, J., & Timbe, L. (2019a). Performance assessment of two-dimensional hydraulic models for generation of flood inundation maps in mountain river basins. *Water Science and Engineering*, 12(1), 11–18. <https://doi.org/10.1016/j.wse.2019.03.001>
- Pradeep, R. M. M., & Wijesekera, N. T. S. (2020). Incorporating stakeholder concerns in Land Information Systems for urban flood management. *Array*, 8, 100037. <https://doi.org/10.1016/j.array.2020.100037>
- Rubinato, M., Nichols, A., Peng, Y., Zhang, J. min, Lashford, C., Cai, Y. peng, Lin, P. zhi, & Tait, S. (2019). Urban and river flooding: Comparison of flood risk management

- approaches in the UK and China and an assessment of future knowledge needs. *Water Science and Engineering*, 12(4), 274–283. <https://doi.org/10.1016/j.wse.2019.12.004>
- Sanz-Ramos, M., Castellet, E., Niñerola, D., & Palau-Ibars, A. (2018). Evaluación numérico-experimental del comportamiento histórico del coeficiente de rugosidad de los macrófitos. *Ingeniería Del Agua*, 22(3), 109. <https://doi.org/10.4995/ia.2018.8880>
- Sedano Cruz, R. K. (2013). Gestión integrada del riesgo de inundaciones en Colombia. <http://hdl.handle.net/10251/27223>
- Sofia, G., & Nikolopoulos, E. I. (2020). Floods and rivers: a circular causality perspective. *Scientific Reports*, 10(1), 1–18. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-61533-x>
- Stancu, M., Cheveresan, M., Zaharia, V., & Poienariu, T. (2017). Climate change adaptation in urban areas. Case study for the Tineretului area in Bucharest. *Procedia Engineering*, 209, 188–194. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.11.146>
- Suripin, Pujiastuti, R., & Widjonarko. (2017). The Initial Step for Developing Sustainable Urban Drainage System in Semarang City-Indonesia. *Procedia Engineering*, 171, 1486–1494. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.01.478>
- Szalińska, W., Otop, I., & Tokarczyk, T. (2021). Local urban risk assessment of dry and hot hazards for planning mitigation measures. *Climate Risk Management*, 34. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2021.100371>
- ten Caat, P. N., Tenpierik, M. J., Sanyal, T., Tillie, N. M. J. D., van den Dobbelsteen, A. A. J. F., Thün, G., Cullen, S., Nakayama, S., Karanisa, T., & Monti, S. (2022). Towards fossil free cities – Emission assessment of food and resources consumption with the FEWprint carbon accounting platform. *Cleaner Environmental Systems*, 4(November 2021), 100074. <https://doi.org/10.1016/j.cesys.2022.100074>
- Tingsanchali, T. (2012). Urban flood disaster management. *Procedia Engineering*, 32, 25–37. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.01.1233>
- Velis, L., & Campos, N. (1991). Desastres por actividad hidrometeorologica. In *Desastres por actividad hidrometeorológica* (pp. 87-87).
- Vides-herrera, C. A., Pardo-garcía, A., & Pardo-garcía, A. (2022). *Sistema de alerta temprana de inundaciones para el río Arauca basado en técnicas de inteligencia artificial Early flood warning system for the Arauca river based on artificial intelligence techniques*. 12, 315–326.