

Determinación de Áreas Inundables con Enfoque Multicriterio y Herramientas SIG, en municipio de Manizales, Caldas.

Diana Fernanda Sánchez, dfsanchezcasa@unadvirtual.edu.co
Luz Katherine Torres, lktorrea@unadvirtual.edu.co
Adrian Alexander Morales García, aamoralesga@unadvirtual.edu.co
Tutor: Evangelina Parra Perez /Evangelina.parra@unad.edu.co

Resumen

El estudio es identificar las áreas inundables en el municipio de Manizales utilizando un enfoque multicriterio y herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG). Se consideran factores como el modelo digital de elevación, las pendientes, la distancia entre drenajes, la cobertura del suelo y la precipitación. Este análisis tiene como fin cuantificar las áreas de riesgo e implementar un ordenamiento territorial apropiado para mitigar los efectos de las inundaciones.

Palabras claves: Precipitación, Ordenamiento territorial, Riesgo de inundación.

Introducción

La identificación y gestión de áreas inundables es un aspecto crucial para la planificación y el ordenamiento territorial en ciudades propensas a fenómenos climáticos extremos, como las inundaciones. En el caso del municipio de Manizales, ubicado en una región montañosa con características geográficas complejas, el riesgo de inundaciones se ve influenciado por diversos factores naturales y antrópicos. Para abordar esta problemática, es necesario contar con herramientas y metodologías que permitan analizar y mapear las zonas vulnerables. En este contexto, el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y un enfoque multicriterio ofrecen una solución eficaz al integrar diferentes variables, tales como el modelo digital de elevación, las pendientes del terreno, la proximidad a drenajes, la cobertura del suelo

y los patrones de precipitación. Este enfoque permite no solo identificar las áreas de riesgo, sino también establecer un ordenamiento territorial más adecuado para mitigar los efectos de las inundaciones, protegiendo así la infraestructura, los recursos naturales y la seguridad de la población.

Objetivos

Determinar las Áreas Inundables con Enfoque Multicriterio y Herramientas SIG, en municipio de Manizales, Caldas.

Específicos:

Identificar los factores para el análisis de riesgo por inundación Municipio Suarez.

Integrar factores por medio del análisis multicriterio y es usos del SIG

Generar un mapa final de áreas inundables mediante herramientas SIG, que permita la cuantificación precisa de las zonas de riesgo.

Identificación del caso de estudio

Manizales, la capital del departamento de Caldas en Colombia, es conocida por su ubicación privilegiada en la Cordillera Central de los Andes y su clima templado. Una de las características más distintivas de Manizales es su clima, que se clasifica como tropical de altitud, con temperaturas promedio que oscilan entre los 14 °C y los 22 °C. La ciudad experimenta una temporada de lluvias considerable, especialmente en los meses de octubre y noviembre. Durante noviembre, las precipitaciones pueden alcanzar hasta 200 mm, lo que representa uno de los periodos más lluviosos del año (IDEAM, 2022).

Además de su clima, Manizales se destaca por su rica biodiversidad y paisajes montañosos. La ciudad está rodeada de montañas y valles, lo que contribuye a su belleza escénica y a la variedad de microclimas dentro del municipio. La economía local se basa principalmente en la agricultura, el café y el turismo, siendo el café un pilar fundamental en la cultura y economía manizaleña. La ciudad también es reconocida por su patrimonio cultural e histórico, con una arquitectura que refleja su desarrollo a lo largo del tiempo, incluyendo la famosa Catedral Basílica Metropolitana (Gutiérrez et al., 2019).

Metodología

El análisis multicriterio (AMC) es un enfoque de evaluación que combina diferentes factores (criterios) para tomar decisiones o resolver problemas complejos. En un entorno de **Sistemas de Información Geográfica (SIG)**, el AMC se utiliza para integrar datos espaciales y ponderarlos según su importancia relativa, permitiendo realizar análisis detallados y generar mapas de evaluación como los de riesgo, idoneidad o vulnerabilidad (Saaty, 1980).

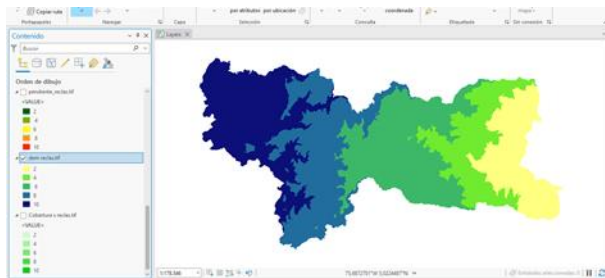
Una vez recopilados y analizados los datos, los resultados deben ser interpretados en función del contexto específico del problema, considerando posibles sensibilidades ante cambios en los criterios. Finalmente, es crucial comunicar los hallazgos de manera clara a las partes interesadas mediante visualizaciones efectivas. Este enfoque no solo mejora la calidad del análisis, sino que también fomenta una mayor participación y aceptación por parte de todos los involucrados, asegurando decisiones más informadas y sostenibles

El AMC en SIG se basa en:

- **Criterios Espaciales:**
Variables que representan características relevantes del área de estudio, como pendientes, cobertura del suelo, proximidad a infraestructuras, entre otros.
- **Jerarquización:**
Asignar pesos a cada criterio según su influencia relativa en el fenómeno estudiado.
- **Integración:**
Combinación matemática de los datos ponderados mediante álgebra de mapas o herramientas de SIG.

- Normalización:
Escalar los valores para que los criterios sean comparables.
Procedimientos para generación de mapa de índice de riesgo de inundación.
- Recolección de Datos:
Modelo Digital de Elevación (MDE): se utilizó un modelo digital de elevación para generar diferencias de altitud y pendientes.

Figura 1. Factor MDE.



Fuente: Autoría propia, 2024

Pendiente: Se derivó un mapa de pendientes a partir del MDE utilizando herramientas de análisis espacial del SIG.

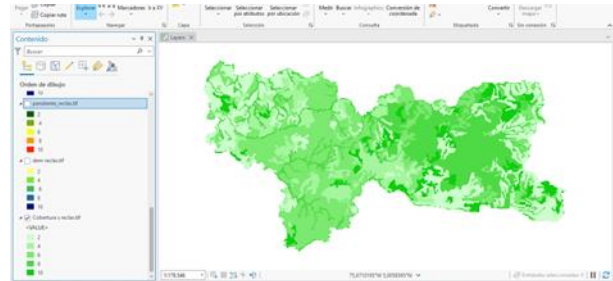
Figura 2. Factor Pendiente.



Fuente: Autoría propia, 2024

Cobertura del Suelo: Obtener una clasificación de la cobertura del suelo (Land Cover 2018) y reclasificar las clases según su influencia partiendo de la clasificación del nivel 2.

Figura 3. Factor Cobertura del suelo.



Fuente: Autoría propia, 2024

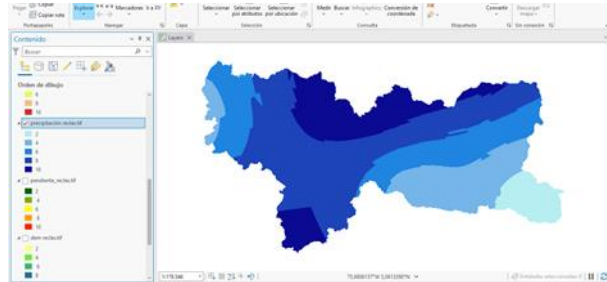
Datos de Precipitación: se usaron datos de precipitación en formato ráster con resolución espacial y temporal compatible con los demás factores utilizando el mes de noviembre más lluvioso para el municipio Manizales, estos datos se extrajeron del IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales) que es una entidad gubernamental de Colombia encargada de realizar estudios e investigaciones relacionados con la hidrología, meteorología.

Los datos de precipitación son fundamentales para la planificación y gestión ambiental en municipios como Manizales, donde las condiciones climáticas pueden influir significativamente en diversas actividades humanas y en el ecosistema. En este contexto, se utilizaron datos de precipitación en formato ráster, con resolución espacial y temporal adecuada, centrándose en noviembre, que es el mes más lluvioso del año para el municipio. Esta elección es crucial, ya que noviembre puede representar un desafío para la

infraestructura urbana y los sistemas de drenaje debido a las intensas lluvias (IDEAM, 2022).

La extracción de estos datos del IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales) es especialmente relevante, ya que esta entidad gubernamental colombiana se encarga de realizar investigaciones precisas sobre fenómenos hidrológicos y meteorológicos. La información proporcionada por el IDEAM permite a los planificadores urbanos y ambientalistas anticipar y mitigar los riesgos asociados con inundaciones y deslizamientos de tierra, fenómenos comunes en áreas montañosas como Manizales (IDEAM, 2022). Además, estos datos son esenciales para desarrollar estrategias efectivas de manejo del agua, conservación del suelo y planificación del uso del suelo, promoviendo así un desarrollo urbano sostenible que considere las condiciones climáticas locales.

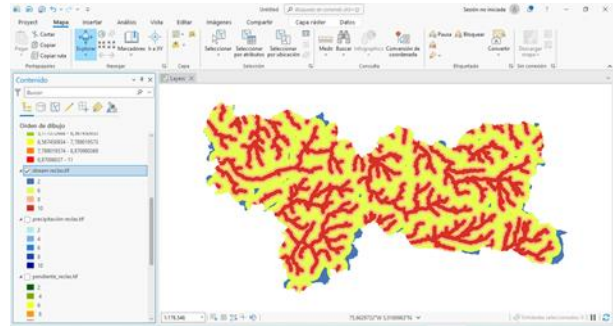
Figura 4. Factor precipitación mes Noviembre.



Fuente: Autoría propia, 2024

Distancia a Drenajes: se creó un mapa de distancia a la red de drenaje utilizando herramientas de análisis de distancia del SIG (Distancia Euclidiana).

Figura 5. Distancia drenajes.



Fuente: Autoría propia, 2024

2. Rasterización y Reclasificación:

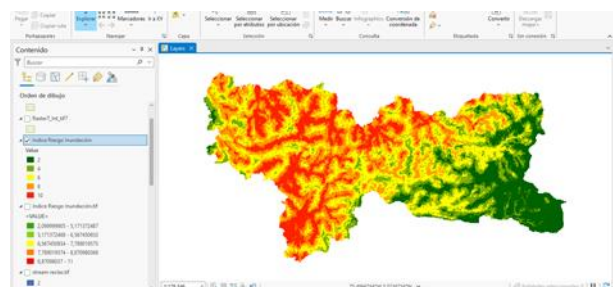
Reclasificación: Asignar valores de 10 a 2 a cada celda de los rasters según la escala de riesgo definida

Figura 6. Rangos de riesgos.

Reclasificación	Rango
Muy alto	10
alto	8
medio	6
bajo	4
Muy bajo	2

Nota. La tabla muestra la forma cualitativa y cuantitativa que se clasifican los riesgos.

Figura 7. Reclasificación índice de inundación.



Fuente: Autoría propia, 2024

Definición de Pesos: Asignar los siguientes pesos a cada factor basado en su relevancia:

Figura 8. Pesos de cada factor a evaluar.

Factores	pesos
Modelo digital de elevación (MDE)	10%
Pendiente	15%
Cobertura de suelo	10%
Precipitación	35%
Distancia Drenaje	30%

Nota. Muestra los pesos que cada factor tiene para ser usado en la ponderación de capas.

Álgebra de Mapas:

Cálculo del Índice de Susceptibilidad:
Utilizar la herramienta de álgebra de mapas para multiplicar cada raster reclasificado por su peso correspondiente y luego sumar los resultados.

Generación del Mapa de Inundación:
Clasificación: Clasificar los valores del índice de susceptibilidad en categorías de riesgo (muy alto, alto, medio, bajo, muy bajo) .

Vectorización del Raster: Para calcular las áreas que ocupan los diferentes riesgos y los porcentajes finales.

Figura 9. Resultados de áreas y porcentajes Riesgo de inundación.

Clasificación de Riesgos	Área km ²	Porcentaje %
Riesgo muy alto	74957,87	17,19
Riesgo alto	130665,05	29,96
Riesgo medio	207139,7	47,50
Riesgo bajo	17560,72	4,03
Riesgo muy bajo	5762,42	1,32

Nota: Esta tabla muestra las áreas en kilometro cuadrados y los porcentajes de cada riesgo.

Resultados

Análisis de Áreas Críticas y Distribución del Riesgo:

Áreas de Mayor Riesgo:

Riesgo muy alto: 17,1% del área total

Riesgo alto: 29,96% del área total

En conjunto, las zonas de alto y muy alto riesgo suman el 47,06% del territorio, lo que indica que casi la mitad del municipio está expuesta a un riesgo significativo de inundación.

Áreas de Riesgo Intermedio:

Riesgo medio: 47,50% del área municipal, representando la categoría más extensa.

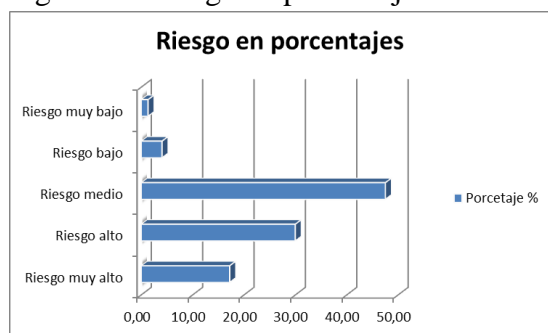
Áreas de Menor Riesgo:

Riesgo bajo: 4,03% del área total

Riesgo muy bajo: 1,32% del área total

Las zonas de bajo y muy bajo riesgo suman apenas el 5,35% del territorio, lo que sugiere que una porción muy pequeña del municipio se considera relativamente segura frente a inundaciones.

Figura 10. Riesgo en porcentaje.



Fuente: Autoría propia, 2024

Características Físico-Naturales y Propensión a Inundaciones:

Según (Gil, 2019) Manizales se caracteriza por su topografía montañosa, al estar ubicada en la Cordillera Central de los Andes colombianos. Sin embargo, la alta propensión a inundaciones puede explicarse por varios factores:

Pendientes pronunciadas: Facilitan el rápido escurrimiento del agua durante lluvias intensas.

Suelos volcánicos: Pueden saturarse rápidamente, aumentando el riesgo de deslizamientos e inundaciones repentinas.

Alta pluviosidad: La región experimenta altos niveles de precipitación, especialmente durante las temporadas de lluvia.

Urbanización en zonas de riesgo: El crecimiento urbano en áreas de laderas y cerca de cauces de ríos aumenta la vulnerabilidad.

Deforestación: La pérdida de cobertura vegetal en las cuencas altas puede aumentar la escorrentía y el riesgo de inundaciones en las partes bajas.

Interpretación y Potenciales Impactos:

Comunidades:

Casi la mitad de la población podría estar viviendo en zonas de alto o muy alto riesgo, lo que implica una necesidad urgente de planes de evacuación y medidas de mitigación.

La gran extensión de áreas de riesgo medio (47,50%) sugiere que una parte significativa de la población vive en zonas que podrían volverse de alto riesgo con cambios en las condiciones climáticas o de uso del suelo.

Infraestructuras:

Con solo 5,35% del área en zonas de bajo y muy bajo riesgo, es probable que gran parte de la infraestructura crítica (carreteras, puentes, escuelas, hospitales) esté en zonas de riesgo medio a muy alto.

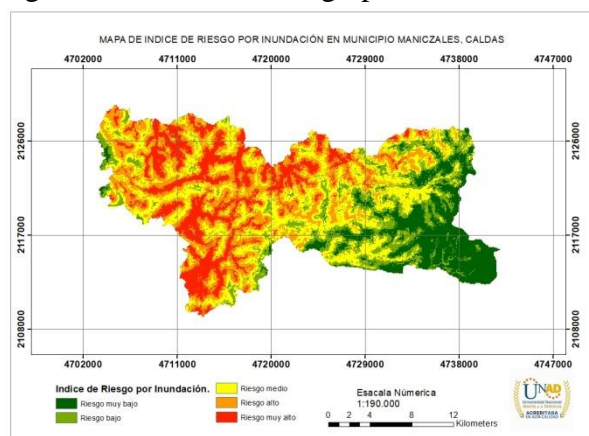
Se requiere una evaluación detallada y posibles refuerzos o reubicaciones de infraestructuras esenciales.

Sistemas Agropecuarios:

Aunque Manizales es principalmente urbana, las áreas rurales y periurbanas dedicadas a la agricultura (especialmente café) podrían estar en riesgo.

Las zonas de cultivo en laderas podrían contribuir al riesgo de deslizamientos e inundaciones si no se manejan adecuadamente.

Figura 11. Índice de riesgo por Inundaciones.



Fuente: Autoría propia, 2024

Conclusiones

El análisis multicriterio y el uso de las herramientas SIG fueron empíricamente suficientes para alcanzar los objetivos proyectados del estudio, alcanzando la identificación, integración y representación gráfica de las áreas inundables en el municipio de Manizales. Por otra parte, se sintetizan las conclusiones, conforme a cada uno de los objetivos:

Identificación de factores para el análisis de riesgo por inundaciones:

Se identificaron factores relevantes, que muestran influencia sobre el riesgo de inundación: el modelo digital de elevaciones, las pendientes, la distancia a drenajes, la cobertura del suelo y las características de la precipitación.

La importancia relativa de cada uno de los factores fue arrojada a partir de la ponderación jerarquizada, resaltando así la precipitación (35%) y la distancia a drenajes (30%) como los factores más relevantes. De este modo, nos permite establecer que los eventos de precipitación máxima e

inmediatamente de los drenajes son determinantes de la vulnerabilidad de la zona.

Integración de factores mediante el análisis multicriterio y SIG:

La metodología desde el álgebra de mapas permitió integrar los factores anteriormente mencionados en un índice de susceptibilidad. La metodología empleada facilitó la definición, desde un enfoque sistemático que permitía una evaluación objetiva de las áreas inundables, alcanzando la coherencia entre las variables.

La normalización y reclasificación de los datos permitieron que los factores fueran equivalentes, mejorando la precisión del análisis y la representación del mapa final.

Creación de un mapa final de áreas inundables y cuantificación de zonas de riesgo

Se elaboró un mapa exhaustivo que clasifica las áreas del municipio en cinco niveles de riesgo (muy bajo a muy alto). Las zonas de riesgo alto y muy alto son el 47,06% de la superficie, lo que pone de manifiesto la necesidad de poner en marcha estrategias de reducción del riesgo en estas zonas y, sin embargo, también se ha demostrado que casi la mitad del municipio queda expuesta a un riesgo significativo y que sólo el 5,35% del territorio presenta un riesgo bajo o muy bajo, lo que pone de manifiesto la alta vulnerabilidad de la región en general.

La aportación de esta primera etapa también se contextualiza en un Impacto Global y en el hecho de que la combinación de SIG y de análisis multicriterio sea una herramienta muy útil para la planificación y la gestión del territorio; las conclusiones del trabajo son, precisamente, las que permiten la realización de una toma de decisiones anclada en la promoción de actuaciones preventivas, de infraestructuras resilientes y estrategias de planeamiento territorial sostenibles.

Las conclusiones de este trabajo, por lo tanto, constituyen la base para futuras investigaciones y actuaciones que busquen la protección de la población y la protección de los recursos del municipio frente a los efectos adversos de las inundaciones.

Recomendaciones

Desarrollo de Mapas de Riesgo: Crear y actualizar regularmente mapas de riesgo de inundación utilizando los datos obtenidos del análisis multicriterio. Estos mapas deben estar disponibles para la comunidad y las autoridades locales, facilitando la identificación de áreas vulnerables.

Integración en la Planificación Territorial: Incorporar los resultados del análisis en los planes de ordenamiento territorial. Esto incluye establecer restricciones para el desarrollo en áreas de alto riesgo y promover un uso sostenible del suelo que minimice la exposición a inundaciones.

Mejora de Infraestructura de Drenaje: Priorizar la inversión en infraestructura de drenaje eficiente, especialmente en zonas críticas identificadas por el análisis. Esto puede incluir la construcción de canales, pozos de absorción y sistemas de drenaje pluvial.

Programas de Educación y Conciencia: Implementar campañas educativas dirigidas a la comunidad sobre los riesgos de inundación y las medidas preventivas que pueden tomar. Fomentar una cultura de prevención puede reducir significativamente el impacto durante eventos climáticos extremos.

Simulacros y Capacitación: Realizar simulacros periódicos para preparar a la comunidad y a las autoridades locales para responder ante inundaciones. La capacitación en gestión del riesgo es esencial para una respuesta efectiva.

Monitoreo y Evaluación Continua: Establecer un sistema de monitoreo continuo que evalúe no solo la precipitación, sino también otros factores relevantes como el uso del suelo y las condiciones del drenaje. Esta información puede ayudar a ajustar las políticas públicas según sea necesario.

Colaboración Interinstitucional: Fomentar la colaboración entre diferentes entidades gubernamentales, organizaciones no gubernamentales (ONG) y la comunidad para desarrollar estrategias integradas que aborden el riesgo de inundaciones desde múltiples frentes.

Incorporación de Tecnología Avanzada: Explorar el uso de tecnología avanzada, como modelos predictivos y sensores remotos, para mejorar la precisión del análisis y prevenir eventos extremos con mayor antelación.

Referencias bibliográficas

Gil Fernández, E. A., & Jiménez Gómez, C. (2019). Análisis en la relación Desarrollo-Riesgo-Desastre, en la zona urbana del municipio de Manizales. Universidad Nacional de Colombia.

<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/84149>

Aliaga, Gastón. (2006). Juan Peña Llopis. Sistemas de Información Geográfica aplicados a la gestión del territorio. Revista de geografía Norte Grande, (36), 97-101. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022006000200007>

Espinoza-Ramírez, Abraham, Nakano, Mariko, Sánchez-Pérez, Gabriel, & Arista-Jalife, Antonio. (2018). Sistemas de Información Geográfica y su Análisis Aplicado en Zonas de Delincuencia en la Ciudad de México. Información tecnológica, 29(5), 235-244. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642018000500235>

Saaty, T. L. (1980). El proceso de jerarquía analítica: planificación, establecimiento de prioridades, asignación de recursos. McGraw-Hill.

Cabeza García, Pedro Manuel, Razo Cajas, Edgar Fernando, & Cajas Carrión, Ricardo Fernando. (2022). Caracterización de las PYMES del distrito metropolitano de Quito, mediante el sistema de Georeferenciación ArcGIS pro. Revista Universidad y Sociedad, 14(2), 280-290. Epub 02 de abril de 2022. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202022000200280&lng=es&tlng=pt.

Maddio, Rafael Adrián, Dufilho, Ana Cecilia, & Gandini, Marcelo Luciano. (2023). Estimación de la recarga potencial de agua subterránea de un acuífero mediante teledetección y sistemas de información geográfica. Revista de geología aplicada a la ingeniería y al ambiente, (50), 67-80. <https://dx.doi.org/10.59069/24225703e006>

Santovenia Díaz Javier, Tarragó Montalvo Consuelo, Cañedo Andalia Rubén. Sistemas de información geográfica para la gestión de la información. ACIMED [Internet]. 2009 Nov [citado 2024 Dic 09]; 20(5): 72-75. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1024-94352009001100007&lng=es.

IDEAM. (2022.). Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Recuperado de <http://archivo.ideam.gov.co/>.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (2021). Atlas geográfico de Colombia: características físicas y climáticas. Bogotá: IGAC. Recuperado de <https://www.igac.gov.co/>

Gómez, J. C. (2021). Impacto de la precipitación en la planificación ambiental de Manizales. Editorial Universitaria Colombiana.

Parra Saad, A., Sanabria Buitrago, M., Sanabria, R., & Piñeros Dueñas, K. N. (2024). Incorporación de factores socioeconómicos al análisis de vulnerabilidad del riesgo por inundación en vías usando un modelo geoespacial. Investigaciones Geograficas, 81, 201–223. <https://doi->

org.bibliotecavirtual.unad.edu.co/10.14198/IN_GEO.25788

Forero Hernández, A. T. (2024). Análisis de la variación en la amenaza de inundación por efecto del cambio climático; Analysis of the variation in flood hazard due to climate change [Universidad Nacional de Colombia].

<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/86068>

Pava Jiménez, A. (2020). Evaluación de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible para mitigar los efectos de Inundaciones Pluviales en la cuenca Palogrande, ciudad de Manizales. Manizales - Ingeniería y Arquitectura - Maestría en Ingeniería - Recursos Hidráulicos.

<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/79145>

Enlace de sustentación:

<https://youtu.be/efSjkQ3-S94>