

Análisis de riesgo por inundación aplicando metodología de modelación sistema de información geográfico en el municipio de Ibagué, Tolima.

Yenifer Robles Cortes yroblesc@unadvirtual.edu.co

Helen Valentina González Suárez hvgonzalezs@unadvirtual.edu.co

Nelson Giovanni Tintin Cruz ngtintinc@unadvirtual.co

Directora: Evangelina Parra Perez, Evangelina.parra@unad.edu.co

Resumen

El propósito principal de este trabajo es llevar a cabo un análisis sobre los riesgos de inundación en el municipio de Ibagué, Tolima, utilizando un enfoque de análisis multicriterio. Por medio del software ArcGIS Pro, se caracterizaron las zonas según su nivel de riesgo utilizando capas ráster a vectorial y cálculo de geometría, se generó un mapa detallado que clasifica las áreas en cinco categorías: riesgo muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto. Los resultados obtenidos se analizaron, con el fin de identificar las zonas críticas más vulnerables a inundaciones. Este análisis es esencial para planificar medidas de mitigación en el municipio, especialmente en zonas de mayor riesgo. Los resultados permiten comprender la distribución del riesgo y el impacto potencial en los tolimenses y el ecosistema de la región.

Palabras claves: Riesgo, inundación, geoprocésamiento, multicriterio, geoespacial, Ibagué.

Introducción

El uso de los Sistemas de Información Geográfica ha sido de gran ayuda en este proceso de modelamiento, tratamiento, análisis y representación de datos espaciales mediante el uso de mapas y escenas en 3D. Esta tecnología permite abordar de manera precisa y eficaz los desafíos asociados al análisis territorial, como es el caso del estudio del riesgo de inundación. En este estudio, el objetivo es representar de forma concreta los tipos de riesgo a los que está expuesta una zona, específicamente el municipio de Ibagué, Tolima. A través de la clasificación cualitativa obtenida durante el análisis multicriterio, buscamos identificar las áreas críticas con mayor riesgo de inundación, considerando el

cálculo de geometría y la simbología asociada. Este enfoque nos permite seleccionar la mejor alternativa entre diversas opciones, facilitando la comparación de criterios difíciles de evaluar directamente. Además, los resultados obtenidos pueden ser aplicados en diferentes contextos para medir variables como los impactos ambientales, permitiendo integrar estos datos en un análisis global que informe decisiones de planificación territorial. En el caso de Ibagué, el uso de esta metodología es fundamental para relacionar y unificar las áreas del municipio con mayor riesgo de inundación y comprender la afectación tanto en las áreas urbanas como en las rurales, así como su impacto socioeconómico. El análisis multicriterio (AMC) y los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son herramientas esenciales

para la gestión del riesgo de inundaciones a nivel municipal, ya que juntos permiten integrar información diversa y tomar decisiones más efectivas. Los SIG tienen aplicaciones clave en el análisis y manejo de este tipo de riesgos, desde la regionalización de datos de precipitación, el estudio de la peligrosidad y la delimitación de áreas inundables, hasta la adopción de medidas de mitigación predictivas, preventivas o correctivas. Además, los avances recientes en su conexión con modelos hidrológicos e hidráulicos, así como con plataformas en línea, han mejorado su accesibilidad y precisión, convirtiéndolos en instrumentos imprescindibles (Isidro, M. L., Herrero, A. D., & Huerta, L. L., 2009).

Por su parte, el AMC complementa esta capacidad al priorizar acciones y estrategias basadas en criterios ambientales, sociales y económicos. Este enfoque fomenta la participación de actores locales y permite la integración de datos cualitativos y cuantitativos, garantizando soluciones adaptadas a las características específicas del territorio. La combinación de los SIG y el AMC no solo optimiza los recursos, sino que también promueve una gestión más objetiva, sostenible y alineada con las necesidades locales frente al riesgo de inundaciones. Dicho lo anterior, este estudio busca representar de forma concreta y visual el tipo y los niveles del riesgo al que está expuesta una zona, en este caso el municipio de Ibagué-Tolima.

Objetivos

General

Analizar los riesgos por inundación aplicando metodología de modelación sistema de

información geográfico en el municipio de Ibagué, Tolima

Específicos:

- Realizar transformación de la capa ráster de riesgo de inundación en una capa vectorial utilizando las herramientas de conversión de ArcGIS Pro.
- Analizar los resultados obtenidos y generar un mapa de riesgo de inundación para Ibagué, identificando las zonas más críticas y proponiendo medidas de mitigación.
- Caracterizar las condiciones del territorio mediante un análisis preciso que sirva como base para que las autoridades tomen decisiones adecuadas frente a las necesidades locales.

Identificación del caso de estudio

Ibagué, la capital del departamento del Tolima, se ubica en el centro de Colombia, en la región andina, con coordenadas geográficas aproximadas de 4.438° N y 75.223° W. Es una ciudad de gran relevancia para la economía y cultura del país, con una población estimada de 500,000 habitantes según las últimas proyecciones del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) (2023). La ciudad se extiende por un área de 1.702 km², lo que incluye tanto su núcleo urbano como áreas rurales que la rodean.

El clima de Ibagué es tropical de sabana, con temperaturas medias anuales cercanas a los 24°C. Este tipo de clima se caracteriza por una estación de lluvias bastante marcada, con los meses de mayor precipitación siendo entre abril y junio, así como octubre, que se seleccionó para este análisis debido a su relevancia

histórica en términos de lluvias intensas. Según el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) (2024), el mes de octubre suele presentar altos niveles de precipitación, lo cual incrementa el riesgo de inundaciones, especialmente en zonas cercanas a los ríos principales de la ciudad, como el Coello y el Combeima.

Ibagué se encuentra atravesada por diversas cuencas hidrográficas, lo que aumenta la vulnerabilidad de ciertas áreas del municipio ante eventos de inundación. Durante las temporadas de lluvias intensas, el caudal de estos ríos puede superar su capacidad, afectando tanto las zonas urbanas como las rurales cercanas a sus cauces. Según el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) de Ibagué (2023), las áreas más susceptibles a estos riesgos son aquellas cercanas a los cuerpos de agua, y la ciudad ha sido testigo de diversos eventos de inundación en el pasado, lo que resalta la necesidad de medidas de gestión del riesgo.

En este estudio, el propósito es analizar las áreas más vulnerables de Ibagué ante el riesgo de inundaciones, utilizando un enfoque basado en un análisis multicriterio de las precipitaciones ocurridas en octubre de 2024. A través de este análisis, se busca identificar las zonas con mayor probabilidad de sufrir inundaciones, con el fin de establecer estrategias de mitigación y mejorar la resiliencia de la población ante estos eventos.

A través del uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y datos de instituciones como el IGAC y el IDEAM, se puede diseñar un modelo para analizar el potencial agrícola de las zonas, representándolo en mapas temáticos que apoyan a las comunidades rurales en la organización y el desarrollo económico del municipio, de igual forma se puede hacer en el

caso del riesgo de inundaciones pues estas herramientas permiten la caracterización del municipio de tal forma que se pueden prevenir estos riesgos y mejorar la calidad de vida de los habitantes de Ibagué (Espinosa, L. S., Reyes, R. & Useche, S. L., 2024).

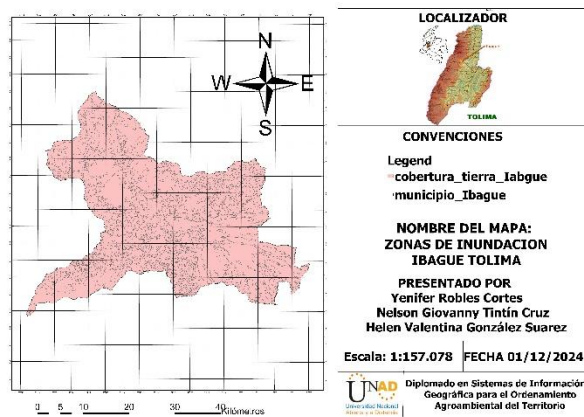
Metodología de análisis multicriterio

El presente estudio utilizó el **Análisis Multicriterio (AMC)** como herramienta metodológica para identificar las áreas con mayor riesgo de inundación en el municipio de Ibagué. Este método permite integrar diferentes variables relacionadas con el riesgo (criterios) y ponderarlas para obtener un modelo final que facilite la toma de decisiones. A continuación, se describe el proceso:

Recolección de Información

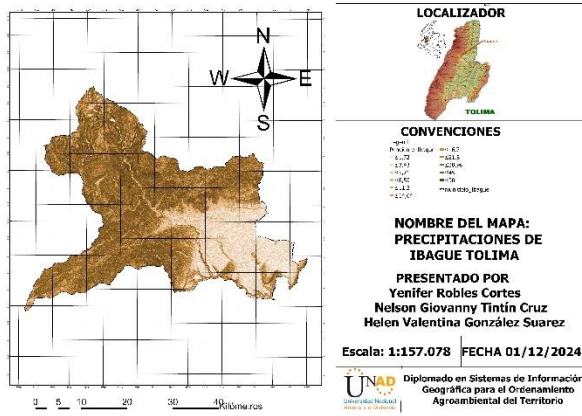
Inicialmente, se recopilieron datos espaciales y climáticos del municipio de Ibagué, Tolima como los siguientes:

Mapa 1 cobertura del suelo de Ibagué.



Fuente: Autoría propia, 2024.

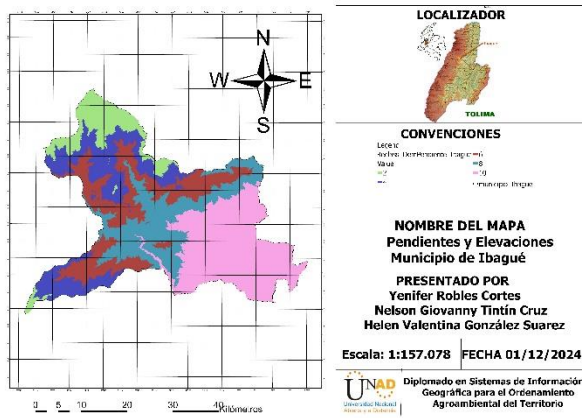
Información de precipitación correspondiente a octubre de 2024, proporcionada por el IDEAM. Mapa 2 Precipitaciones de Ibagué.



Fuente: Autoría propia, 2024.

Datos topográficos (pendientes y elevaciones) derivados de modelos digitales de elevación (MDE).

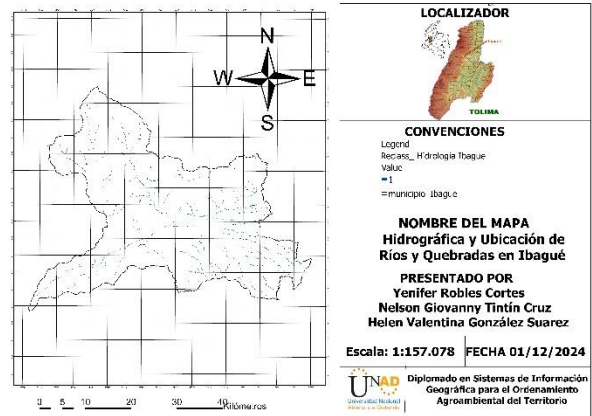
Mapa 3 Pendiente y Elevación de Ibagué.



Fuente: Autoría propia, 2024.

Datos hidrográficos, como ubicación de ríos y quebradas, obtenidos de fuentes oficiales.

Mapa 4. Hidrográfica y Ubicación de Ríos y Quebradas en Ibagué.



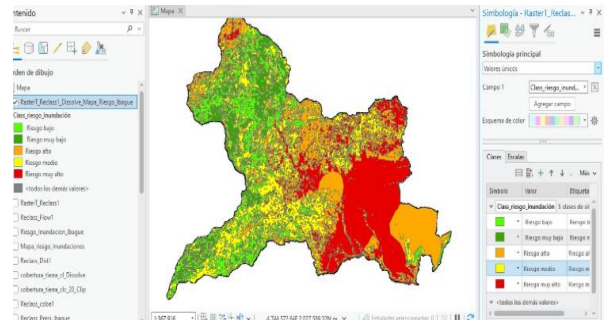
Fuente: Autoría propia, 2024.

Además, se utilizó la suma ponderada para combinar los criterios en un único modelo de riesgo. Los pesos asignados a cada criterio reflejaron su importancia relativa en el análisis, definidos de la siguiente manera:

- Pendiente: 30%
- Proximidad a cuerpos de agua: 40%
- Uso del suelo: 20%
- Precipitación: 10%

Generación del Modelo de Riesgo, teniendo en cuenta lo informado anteriormente se realizó el mapa de Riesgos de Inundación del municipio de Ibagué.

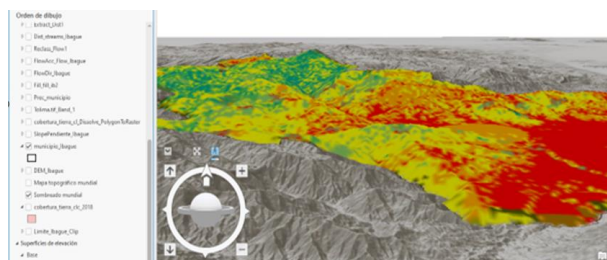
Figura 5 Niveles de Inundación en Ibagué.



Fuente: Autoría propia, 2024.

Se realizó el mapa de riesgo en 3D, para visualizar las pendientes de inundación.

Mapa 6 Niveles de Inundación en Ibagué en 3D.



Fuente: Autoría propia, 2024.

Resultados

En el presente estudio, se identificaron las áreas del municipio de Ibagué clasificadas en cinco niveles de riesgo de inundación. Estas categorías cualitativas permiten entender la distribución del riesgo en el territorio y priorizar las acciones necesarias para reducir los impactos asociados a este fenómeno.



Fuente: Autoría propia, 2024.

Identificación de Áreas Críticas

Zonas con mayor riesgo:

Las áreas clasificadas como de **riesgo muy alto** representan una extensión de 337 km². Estas áreas están relacionadas con factores como la cercanía a cuerpos de agua, la poca capacidad de infiltración de los suelos y las actividades humanas intensivas.

Las áreas de **riesgo alto**, con 336 km², también están distribuidas en regiones vulnerables, principalmente cercanas a quebradas y zonas urbanas densamente pobladas.

Zonas con menor riesgo:

Las zonas clasificadas como de **riesgo muy bajo** suman 109 km² y corresponden a regiones

rurales o con mayor altitud. Estas áreas se benefician de una topografía que favorece el drenaje natural y de una menor presión antrópica.

Los Impactos

Las inundaciones en Ibagué generan diversos impactos:

Infraestructura urbana: Viviendas, vías y servicios básicos como alcantarillado y energía en zonas densamente pobladas pueden sufrir daños severos.

Áreas rurales: Las actividades agrícolas en áreas de riesgo medio y alto podrían enfrentar pérdidas económicas debido al exceso de agua.

Ecosistemas: La erosión y sedimentación alteran hábitats ribereños, afectando la biodiversidad y los servicios ambientales.

Aspectos sociales: Las comunidades vulnerables, ubicadas en zonas de mayor riesgo, son las más afectadas, enfrentando daños materiales y problemas de salud.

SOBRE TABLAS Y FIGURAS

Tabla 1. Número promedio de áreas clasificadas según el riesgo de inundación en Ibagué, Tolima.

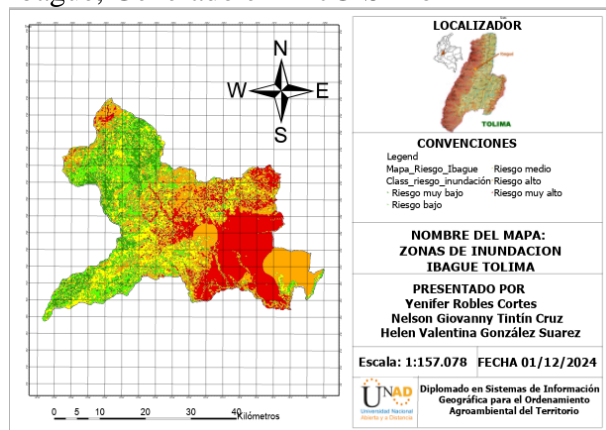
GRIDCODE	CLASS_RIESGO _INUNDACIÓN	ÁREA_KM2
1	Riesgo muy bajo	109
2	Riesgo bajo	245
3	Riesgo medio	338
4	Riesgo alto	336
5	Riesgo muy alto	337
TOTAL		1364

Elaboración propia 2024.

Nota: Esta tabla presenta las áreas clasificadas según el nivel de riesgo de inundación en Ibagué, con información generada mediante el uso de ArcGIS Pro, como se describe en el documento técnico correspondiente.

Fuente: Autoría propia, 2024.

Mapa 7 Mapa de Riesgo de Inundación en Ibagué, Generado en ArcGIS Pro



Fuente: Autoría propia, 2024

Nota: Este mapa ilustra las zonas clasificadas por niveles de riesgo de inundación en la ciudad de Ibagué, elaborado con datos procesados mediante ArcGIS Pro.

Conclusiones

Identificación de zonas críticas: El análisis permitió determinar que las áreas cercanas a los ríos y quebradas, especialmente en sectores urbanos y rurales con alta actividad antrópica y limitada capacidad de infiltración de suelos, son las más vulnerables a inundaciones.

Herramientas SIG y AMC: La combinación de Sistemas de Información Geográfica y el Análisis Multicriterio fue efectiva para integrar diversas variables en la caracterización del riesgo, facilitando decisiones más informadas y específicas para el municipio.

Impactos potenciales: Las inundaciones no solo afectan la infraestructura y las actividades económicas, sino que también generan consecuencias sociales y ambientales, como la

degradación de ecosistemas ribereños y riesgos para la salud pública en comunidades vulnerables.

Planificación territorial: Este estudio resalta la importancia de integrar análisis geoespaciales en la planificación municipal, asegurando que las áreas de alto riesgo sean prioritarias para las medidas de mitigación y adaptación.

Desarrollo sostenible: La implementación de estrategias sostenibles, como la reforestación y la creación de humedales urbanos, puede reducir significativamente el riesgo de inundaciones y promover la resiliencia frente a eventos climáticos extremos.

Recomendaciones

Como estudiante de la tecnología en saneamiento ambiental, propongo algunas recomendaciones para contribuir al ordenamiento agroambiental del municipio de Ibagué, Tolima, todo en busca de mitigar los riesgos de inundación y promover un desarrollo sostenible en la región como la implementación de áreas verdes y humedales urbanos, especialmente en las riberas de los ríos Coello y Combeima. Estas zonas ayudarían a regular las inundaciones, absorbiendo el sobrante de agua en los períodos de lluvia, protegiendo los ecosistemas ribereños y reduciendo la presión sobre las infraestructuras urbanas de drenaje. También, sería muy útil incentivar prácticas como la rotación de cultivos, la agricultura de conservación y el uso de barreras vegetales para mejorar la capacidad de los suelos de infiltrar agua. Esto no solo reduciría la erosión, sino que también aumentaría la retención de agua en las áreas rurales, disminuyendo así el riesgo de inundaciones.

Desde su campo de formación tecnológico o profesional de recomendaciones que le aporten al ordenamiento agroambiental del territorio en el municipio seleccionado.

Como Ingeniera Ambiental, propongo las siguientes recomendaciones para el municipio de Ibagué, Tolima:

Reforestación y protección de cuencas para prevenir la contaminación de fuentes hídricas. Creación de áreas verdes y humedales urbanos para controlar inundaciones y mejorar el drenaje.

Capacitación a los tolimenses en prácticas sostenibles y gestión de riesgos.

Referencias bibliográficas

Alberdi, R., y Erba, D. (2022). Capítulo 1. Introducción a la cartografía. En R. Alberdi (Ed), Introducción a los Sistemas de Información Geográfica (SIG) aplicados al catastro. Universidad Católica de Santa Fe. <https://research-ebSCO-com.bibliotecavirtual.unad.edu.co/linkprocessor/plink?id=4d217b0a-43ac-30cb-8625-f32cec47a4b5>

Beltrán, M., & González, P. (2021). Estrategias de gestión para la reducción de residuos sólidos en zonas urbanas: un enfoque sostenible. Repositorio Institucional Universidad El Bosque. Recuperado de <https://repositorio.unbosque.edu.co/items/93c4967d-3bef-49fb-884a-e77c6bb0e9de>

Banco Mundial. (2008). Agriculture for Development: World Development Report 2008. Banco Mundial. Recuperado de <https://www.bu.edu/gdae/>

Celemin, J. P. (2014). El proceso analítico jerárquico en el marco de la evaluación multicriterio: Un análisis comparativo. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/17466>

CORTOLIMA. (26 de enero de 2016). CORTOLIMA. Obtenido de CORTOLIMA reglamenta las rondas hídricas urbanas en el Tolima: <https://www.cortolima.gov.co/boletinesprensa/cortolima-reglamenta-rondas-h-dricas-urbanas-tolima>

CORTOLIMA. (20 de febrero de 2018). CORTOLIMA. Obtenido de Inició la primera etapa del "censo" en el cañón del Combeima: <http://www2.cortolima.gov.co/boletines-prensa/iniciprimera-etapa-censo-ca-n-combeima>

DNP. (2009). Estrategias de mitigación del riesgo en la cuenca del río Combeima para garantizar el abastecimiento de agua en la ciudad de Ibagué. Documento Conpes, 3570, 54. <https://doi.org/http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Efraimidou, E., Spiliotis, M. (2024). A GIS-Based flood risk assessment using the decision-making trial and evaluation laboratory approach at a regional scale. Environmental Process. No. 11, Article:9. <https://doi.org/10.1007/s40710-024-00683-w>

Escuela Colombiana de Ingeniería. (2019). Análisis de la utilización de sistemas de información geográfica (SIG) en el manejo de recursos naturales. Repositorio Escuela Colombiana de Ingeniería. <https://repositorio.escuelaing.edu.co/handle/001/1030>

Espinosa, L. S., Reyes, R. & Useche, S. L. (2024). Análisis de zonas aptas para cultivo agrícola en el municipio de Ibagué, Tolima a partir de sistemas de información geográfica (SIG). [Diplomado de profundización para grado]. Repositorio Institucional UNAD. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/62337>

González Valencia, J. (2006). Propuesta metodológica basada en un análisis multicriterio para la identificación de zonas de amenaza por deslizamientos e inundaciones. Revista Ingenierías Universidad de Medellín, Vol. 5(8), pp. 59–70. <https://research-ebSCO->

com.bibliotecavirtual.unad.edu.co/linkprocessor/plink?id=7d5a99fe-dbcf-33b6-943e-dd92eebf52b6

Gutiérrez, D. F., & Rodríguez, R. (2021). Evaluación del uso de sistemas de información geográfica (SIG) en la gestión ambiental en Colombia. *Revista de Ingeniería, Energía y Medioambiente*, 4(2), 45-62. <https://acofipapers.org/index.php/eiei/article/view/2149>

Hernández, J. D., & Rodríguez, L. M. (2017). Impacto de la educación ambiental en la reducción de residuos sólidos en la región Caribe colombiana. Recuperado de <https://repository.ucc.edu.co/items/60e028a6-6a6c-4d45-a2c5-da294b339a5f>

I., & de, N. (2024). Zonificación de amenazas por inundaciones a escala 1:2000 y 1:5000 en áreas urbanas para 10 municipios del territorio colombiano. *Gestiondelriesgo.gov.co*. <http://hdl.handle.net/20.500.11762/19869>

Instituto Geográfico Agustín Codazzi, & Oficina de informática y telecomunicaciones. (2017). Instituto Geográfico Agustín Codazzi - IGAC - Subdirección de Catastro. Retrieved February 23, 2018, [igac.opendata.arcgis.com/pages/catastro](http://datosabiertos-geoportaligac.opendata.arcgis.com/pages/catastro) from <http://datosabiertos-geoportaligac.opendata.arcgis.com/pages/catastro>

Isidro, M. L., Herrero, A. D., & Huerta, L. L. (2009). Aplicaciones de los SIG al análisis y gestión del riesgo de inundaciones: avances recientes. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*, (29), 29-37. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4245445.pdf>

Martín, F. G. (2009). Gestión del riesgo en inundaciones a través de los SIG. *Cuadernos de*

la Sociedad Española de Ciencias Forestales, (29), 29-37. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/dctes?codigo=328337>

Lira, R., & Vidal, C. (2009). Evaluación de un instrumento para medir el acceso a equipamientos y servicios urbanos: El caso de Concepción. *Actas Del 6º Congreso Sigradi: Urbanismo, Modelos Ambientales Y Sistemas de Información Geográfica*, 101–104. Retrieved from http://cumincades.scix.net/data/works/att/b116_content.pdf

Moreno, J. (2023). Gestión de residuos sólidos en Colombia: Retos y oportunidades para la sostenibilidad. *Avances en Medio Ambiente y Sostenibilidad*, 15(2), 45-60. Recuperado de <https://revistas.unilibre.edu.co/index.php/avances/article/view/8961>

MOLINA, A. M., LÓPEZ, L. F., & VILLEGAS, G. I. (2005). Los Sistemas De Información Geográfica (Sig) En La Planificación Municipal. *Revista EIA*, (4), 21 <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=149216912002>

Plan de Ordenamiento Territorial, M. (2014). EL CURADOR URBANO - Curaduría 1 Ibagué, CURADOR: Arq. Manuel Medina - Retrieved April 2, 2018, <http://www.curaduriaunoibague.com/el-curadorurbano.php>

Rodríguez, J. M. (22 de enero de 2015). Obtenido de La Cuenca del Río Combeima y el abastecimiento de agua en Ibagué amenazadas por la megaminería: <http://www.astracatolima.blogspot.com/2015/01/la-cuenca-del-rio-combeima-y-el.html>

Vianna, S., Victoria, D., Queiroz, G., Bolfe, E., Boffino de Almeida, J., Delgado, E., Fortes de Oliveira, A., Ramos, M., Martha, G., Batistella, M., Barioni, L., Massaru, A., César da Silva, F., y Folegatti, M. (2023). Chapter 3. Agroenvironmental modeling and the digital transformation of agriculture. En S. Masshura., M. Leite., S. Oliveira., C. Meira., A. Luchiari., y E. Bolfe, Digital agriculture: research, development and innovation in production chains pp. 51-70. Embrapa Digital Agriculture. <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1156773>

Enlace de sustentación:
<https://youtu.be/QUepiUMtUAo?si=1eW0n9XCGQqS22eL>