



Implementación de técnicas geoespaciales para el análisis del riesgo por inundaciones en La Mojana: caso de estudio en el municipio de Achí.

Edinson De Jesús Restrepo Ochoa

Artículo presentado para optar el título de Especialista en Manejo y Gestión del Agua.

Asesor

José Andrés Posada Marín

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería
Especialización en Manejo y Gestión del Agua
Medellín, Antioquia, Colombia

2024

Cita	(Restrepo Ochoa, 2024)
Referencia	Restrepo Ochoa, E. (2024). <i>Implementación de técnicas geoespaciales para el análisis del riesgo por inundaciones en La Mojana: caso de estudio en el municipio de Achí</i> . [Trabajo de grado especialización]. Universidad de Antioquia, Seleccione ciudad UdeA (A-Z).
Estilo APA 7 (2020)	



Especialización en Manejo y Gestión del Agua, Cohorte XII.



Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Resumen:

Las zonificaciones de inundación son insumos de vital importancia para el desarrollo del ordenamiento territorial, la gestión del riesgo y la gestión ambiental de las cuencas en los territorios propensos a estos fenómenos. Por lo tanto, en el presente trabajo se realizó un análisis para la zonificación de las áreas de inundación por medio de imágenes SAR utilizando Google Earth Engine; se aplicó a un caso de estudio en Colombia: municipio de Achí en el departamento de Bolívar teniendo en cuenta la proximidad del río Cauca al municipio. El análisis se desarrolló para el evento relacionado con el rompimiento del Jarillón Cara de Gato en un periodo de tiempo comprendido entre el 26-08-2021 – 25-08-2023. Este artículo tiene como objetivo principal proporcionar información que ayude a mitigar el impacto de futuras inundaciones, facilitando la planificación del territorio y considerando la vulnerabilidad a la que están expuestos los habitantes del municipio, principalmente, aquellas comunidades que se encuentran cercanas a fuentes superficiales y en zonas de altitud baja.

Palabras Claves: Imágenes SAR, inundación, gestión del riesgo, Achí, zonificación.

Abstract

Flood zonings are vitally important inputs for the development of land use planning, risk management and environmental management of watersheds in territories prone to these phenomena. Therefore, in the present work an analysis was carried out for the zoning of flood areas by means of SAR images using Google Earth Engine; it was applied to a case study in Colombia: municipality of Achí in the department of Bolívar taking into account the proximity of the Cauca river to the municipality. The analysis was developed for the event related to the breakup of the Jarillón Cara de Gato in a time period between 26-08-2021 - 25-08-2023. The main objective of this article is to provide information that will help mitigate the impact of future floods, facilitating territorial planning and considering the vulnerability to which the inhabitants of the municipality are exposed, mainly those communities that are close to surface sources and in low altitude areas.

Key words: SAR images, flooding, risk management, Achí, zoning.

Introducción:

Las inundaciones representan una amenaza natural de creciente preocupación a nivel global, cuya intensidad y frecuencia podrían incrementarse debido a los efectos del cambio climático (IPCC, 2014). Estas inundaciones tienen una importancia significativa no solo por su impacto ambiental, sino también por sus repercusiones sociales y económicas. A nivel mundial, se estima que las crisis naturales causan en promedio más de 300.000 millones de dólares en pérdidas directas de activos anualmente; esta estimación aumenta a 520.000 millones de dólares si se tienen en cuenta las pérdidas de bienestar (o consumo) (Hallegatte, 2017).

En la región de La Mojana, en Colombia, las inundaciones adquieren una relevancia crítica debido a la presencia de asentamientos humanos ubicados en zonas de alta susceptibilidad hídrica, particularmente en áreas adyacentes a sistemas fluviales de alta montaña que desembocan y se desbordan en extensas llanuras aluviales. Un ejemplo prominente es el río Cauca, cuyo régimen hidrológico está caracterizado por fluctuaciones estacionales y eventos de creciente que exacerban el riesgo de inundaciones (IDEAM, 2022). La Mojana, una región caracterizada por un fuerte desequilibrio social y ambiental, y un complejo sistema hídrico, se presentan frecuentes inundaciones de gran magnitud asociadas a cambios en el sistema de drenaje, en los usos del suelo, y al cambio cultural en el manejo del agua (Rojas, 2011).

La ONU ha generado diferentes reportes desde el 27 agosto de 2021, tras el rompimiento del Jarillón de Cara de Gato, el ingreso de grandes cantidades de agua a la subregión de La Mojana ha impactado profundamente los estándares de vida de las comunidades de los 11 municipios de cuatro departamentos que conforman la subregión. Entre el 2021 y 2023 se han afectado más de 166.000 personas (39.000 familias), la mayoría ubicadas en la zona rural y de difícil acceso de los municipios. De los 11 municipios de la subregión, 6 de ellos presentaron una afectación en más del 50% de su población, incluidos municipios con afectación entre el 97 y 100%, tales como San Benito Abad y Sucre, respectivamente (OCHA, 2023). En La Mojana, en los últimos 20 años se han registrado aproximadamente 500 eventos de origen hidrometeorológico, los que en su mayoría hacen referencia a inundaciones, crecientes súbitos y avenidas torrenciales, dejando a su paso, afectaciones en términos de vidas humanas y daños en viviendas. (UNGRD, 2020).

En Colombia, se han implementado diversas estrategias para mitigar el riesgo de inundaciones, incluyendo la creación de sistemas de alerta temprana y la construcción de infraestructuras de

protección. Proyectos como el Plan Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres han sido fundamentales para mejorar la resiliencia de las comunidades afectadas (UNGRD, 2020). Además, estudios realizados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) han identificado áreas de mayor riesgo y han desarrollado planes de acción específicos para estas zonas (IDEAM, 2022).

La comunidad académica Colombiana también ha realizado estudios enfocados en la gestión del recurso hídrico que van desde la construcción y aplicación de modelos hidrodinámicos enfocados en la evaluación y análisis de la vulnerabilidad y el riesgo en zonas de inundación. Un ejemplo de esto es la tesis de maestría de Parra-Jiménez (2017), en la cual se realiza un análisis de la incertidumbre en la estimación de las zonas inundables con descriptores geomorfométricos derivados de Modelos digitales de elevación (MDE) y modelos hidrodinámicos, entre los resultados obtenidos se concluye que los MDE de alta resolución combinados con modelos hidrodinámicos simplificados suponen una ventaja con respecto a los modelos robustos ya que las salidas pueden ser fácilmente calibradas y/o validadas a partir de diferentes fuentes de información, la eficiencia computacional es mucho mayor y el dominio computacional es un problema que en la mayoría de los casos se puede simplificar (Parra-Jiménez, 2017).

Pérez-Mesa (2014), en su tesis de maestría valida los métodos de teledetección, delimitando las zonas de inundación de un área determinada por medio de imágenes satelitales. El autor concluye que para el uso de estos métodos se necesita que la imagen corresponda temporalmente a la fecha en la que ocurrió la inundación para poder así realizar una identificación de coberturas y posteriormente la extracción de las zonas inundadas. La ventaja de emplear métodos de teledetección es el poder delimitar manchas reales debido a que se están identificando zonas que realmente se inundaron en la imagen satelital (Pérez-Mesa, 2014).

Los SIG son un aliado en la gestión del riesgo de inundaciones, ya que, a partir del análisis geoespacial de los recursos, se crean políticas y se estudia la exposición al peligro, el ritmo de la urbanización y la incidencia de la ocupación de áreas de riesgo (López-Ortiz, 2020). Por otra parte, dependiendo de la magnitud del evento, algunas zonas se vuelven inaccesibles, y es allí donde las imágenes satelitales de una región se vuelven estratégicas para determinar la magnitud y los impactos de las inundaciones (Syifa y otros, 2019). En este artículo implementamos como metodología el procesamiento de información de radar para estimar áreas inundadas en un periodo de tiempo de 2 años desde 2021 a 2023 en el municipio de Achí, Bolívar.

Metodología:

Zona de estudio

La región de la Mojana es una de las grandes zonas aluviales inundables del mundo que comprende una gran planicie aluvial constituida por los sedimentos de los ríos de la región y abarca un gran número de ciénagas, brazos, caños antiguos y recientes, activos y taponados que generan una intrincada red de drenaje conocida como el Delta Interior del Río Cauca (PAHO, 2007). El municipio de Achí se encuentra en el departamento de Bolívar, en la región norte de Colombia (Figura 1). Está situado en la subregión de La Mojana, una vasta llanura aluvial caracterizada por la confluencia de los ríos Magdalena, Cauca y San Jorge (Alcaldía Municipal De Achí, 2024). Esta área es conocida por su alta vulnerabilidad a las inundaciones debido a la geomorfología del terreno y la dinámica hídrica de los ríos que la atraviesan.

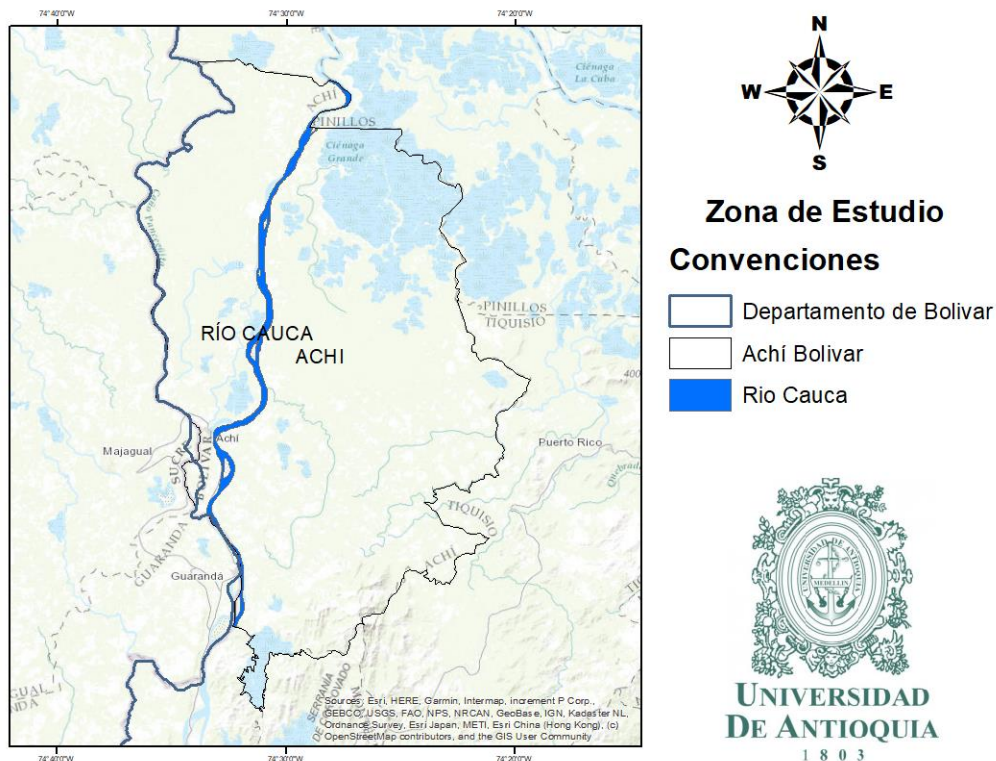


Figura 1. Zona de estudio - municipio de Achí departamento de Bolívar.

Fuente: Elaboración Propia

Fuentes de datos

Los satélites de la misión Sentinel son parte del programa Copernicus de la Agencia Espacial Europea (ESA), diseñados para suministrar datos de observación del planeta Tierra con alta resolución y frecuencia temporal. Hay varios satélites Sentinel, cada uno cuenta con diferentes capacidades para distintos tipos de observación terrestre.

Para este artículo se trabajó con datos e imágenes descargadas desde Copernicus Sentinel 1.

Copernicus Sentinel-1

La misión Sentinel-1, desarrollada por la Agencia Espacial Europea (ESA) en el marco del programa Copernicus, es una constelación compuesta por 2 satélites posicionados en el mismo plano orbital a una altitud de 693 km. El instrumento principal a bordo de ambos satélites Sentinel-1 es un radar de apertura sintética (SAR) de banda C denominado C-SAR. El tamaño de píxel resultante es de 10 m x 10 m, su resolución temporal es de 12 días. Los niveles de procesamiento son el nivel 0 SAR, Single Look Complex (SLC) de nivel 1, Ground Range Detected (GRD) de nivel 1 y Ocean (OCN) de nivel 2, se eligió el producto GRD en lugar del SLC porque ya tiene correcciones geométricas y reducción del ruido moteado y volumen de datos, se obtiene datos precisos sin aumentar demasiado el tiempo computacional. Por último, Sentinel-1 está diseñado específicamente para proporcionar imágenes para una respuesta rápida a desastres como inundaciones y terremotos (ESA, 2021).

Más del 75% de los desastres naturales que ocurren en todo el mundo implican inundaciones. La capacidad inherente del SAR para observar durante la nubosidad y las frecuentes visitas de Sentinel-1 lo hacen ideal para el monitoreo de inundaciones. Se puede utilizar para evaluar la extensión de las áreas inundadas y el impacto en pérdidas humanas, económicas y ambientales. Además, los modelos digitales de elevación (DEM) de alta resolución generados a través de los modos interferométricos de Sentinel-1 se pueden utilizar para realizar análisis de escorrentía e inundación en áreas que anteriormente carecían de datos de elevación (ESA, 2021).

Las superficies de aguas abiertas en calma aparecen planas cuando reciben la radiación SAR de banda C, y la radiación se dispersa lejos del sensor del satélite. En consecuencia, la energía recibida (medida como retrodispersión) es baja y muestra un alto contraste con las superficies terrestres generales. En general, el principio subyacente de los métodos de mapeo de inundaciones basados en SAR es identificar mediciones de baja retrodispersión donde se espera

tierra en condiciones normales. Se requieren dos polarizaciones SAR (VV y VH) para permitir la detección de vegetación inundada (ESA, 2021).

El Sentinel-1 proporciona imágenes por radar diurnas y nocturnas en cualquier condición meteorológica para los servicios terrestres y oceánicos. Los satélites gemelos Sentinel-1A y Sentinel-1B se lanzaron el 3 de abril de 2014 y el 25 de abril de 2016, respectivamente. (Copernicus, 2024).

Análisis de los datos

El procesamiento de las imágenes se realizó por medio del editor de código de la plataforma Google Earth Engine (GEE), para este proceso se ajustaron una serie de algoritmos publicados por Erika Podest como resultado se obtiene una serie de imágenes para realizar la comparación y fotointerpretación de la inundación en el área de estudio. Este algoritmo fue tomado del Programa de Entrenamiento de Teledetección Aplicada (ARSET) que ayuda con información actualizada y generada en la NASA para el desarrollo de investigaciones, liberado por la NASA el 6 de diciembre del 2019. (NASA, 2019)

La metodología bajo la cual se obtienen los resultados plasmados en este artículo se basa en la ruta que se describe a continuación:

1. **Visualización de los datos Sentinel-1 en Google Earth Engine:** Iniciar sesión y cargar los datos de Sentinel-1 en Google Earth Engine.
2. **Selección del área de interés:** Definir el área geográfica específica a analizar.
3. **Selección espacial de los datos Sentinel-1:** Filtrar los datos espaciales que cubren el área de interés.
4. **Selección temporal de los datos Sentinel-1:** Elegir las fechas específicas para el análisis (antes y después de las inundaciones) Antes (26-08-2021; 31-12-2021) – Después (25-08-2023; 31-12-2023).
5. **Visualización de los datos seleccionados de Sentinel-1:** Ver los datos en Google Earth Engine para asegurarse de que son correctos.
6. **Selección temporal y creación de un mosaico para los períodos a comparar:** Crear un mosaico de imágenes para los períodos seleccionados Antes (26-08-2021; 31-12-2021) – Después (25-08-2023; 31-12-2023).
7. **Visualizar en RGB (rojo – verde – azul):** Configurar la visualización de los datos en una combinación de colores RGB.
8. **Aplicar un filtro "Speckle":** Usar un filtro para reducir el ruido en las imágenes SAR.

9. **Calcular la diferencia entre antes y después de las inundaciones:** Analizar los cambios en las imágenes para detectar diferencias significativas.
10. **Aplicación de umbral para identificar áreas inundadas:** Definir y aplicar un umbral para identificar las áreas afectadas por inundaciones.
11. **Superponer con imagen SAR:** Superponer las imágenes SAR procesadas con los datos iniciales para visualizar las áreas inundadas. (NASA, 2019).

Resultados y Discusión:

Tras el rompimiento del Jarillón de Cara de Gato presentado en el año 2021, los diferentes municipios de la Mojana han presentado situaciones realmente complejas desde todo análisis de tipo social, económico, ambiental. En la Figura 2, se muestra un análisis geoespacial determinado a partir de imágenes satelitales donde se identifican en color rojo las zonas o áreas inundadas debido al rompimiento del Jarillón Cara de Gato, además, estas áreas se distribuyen a lo largo del cauce del río Cauca y sus afluentes, mostrando una clara propensión a la inundación en las proximidades del río. Las zonas de inundación se extienden principalmente en las áreas bajas y llanuras aluviales, que son típicamente más susceptibles a las crecientes del río, en estas zonas se encuentran ubicados pequeños asentamientos rurales e incluso el casco urbano del municipio.

La red hídrica en azul ilustra los ríos, arroyos y caños que atraviesan el municipio. La densidad de la red hídrica nos da a entender que Achí es un municipio con una riqueza hídrica realmente importante que además se encuentra interconectada con complejos cenagosos, lo que puede agravar la situación durante eventos de lluvias intensas o crecientes del río Cauca. Los afluentes menores también contribuyen a la dispersión del agua durante inundaciones, aumentando el alcance de las áreas afectadas.

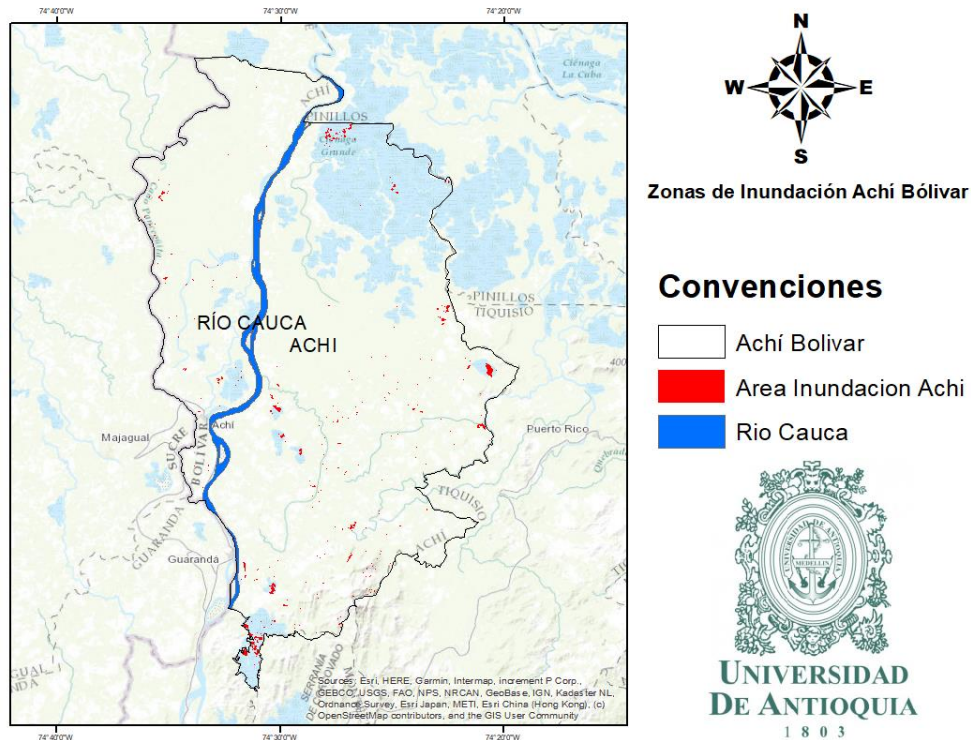


Figura 2. Áreas de Inundación determinadas a partir de la información de radar.

Fuente: Elaboración Propia

En términos generales las áreas bajas se encuentran completamente expuestas a las inundaciones debido a distintos factores. Por ejemplo, (Youssef, 2016) y (Dawod, 2012) llevaron a cabo un análisis detallado de las causas de las inundaciones repentinas en la ciudad de Yeddah e identificaron factores como las fuertes lluvias, la topografía, el efecto del cambio climático y las características de las redes de drenaje de la ciudad, esto significa que durante fuertes lluvias, el agua se acumula en las partes más bajas del terreno. La proximidad de estos cuerpos de agua a los asentamientos humanos destaca la necesidad de estrategias de manejo de inundaciones específicas para proteger a las comunidades vulnerables.

La información que proporciona el mapa es de gran utilidad para la planificación y ejecución de estrategias de mitigación de riesgos. Identificar las áreas más vulnerables permite priorizar intervenciones, recursos económicos e incluso proteger la vida de las diferentes especies y seres humanos que habitan en la región. Las pérdidas humanas, daños a la infraestructura y la interrupción de actividades económicas son consecuencias directas de estas inundaciones. Esta constante situación de riesgo clama urgentemente la implementación de programas integrales para su gestión, que incluyan la reubicación de las comunidades asentadas en áreas de alto

riesgo y sin dejar de lado la educación comunitaria sobre medidas de prevención y respuesta a desastres.

En la Figura 3 nos permite realizar un análisis de las áreas propensas a inundaciones en el municipio de Achí. Este mapa, destaca en color rojo las zonas más amenazadas a las inundaciones, brindando una herramienta vital para la gestión de riesgos ambientales. La escala de colores, que varía de verde a rojo, representa las diferentes elevaciones del terreno, donde el verde indica las áreas más bajas y el rojo las más altas. La mayor concentración de áreas rojas en el mapa sugiere que las zonas de menor altitud, especialmente aquellas cercanas a cuerpos de agua, son las más propensas a sufrir inundaciones.

El análisis geográfico muestra una notable concentración de áreas de riesgo en el sur del municipio y algunas dispersas en el centro del mapa. La presencia de múltiples lagos y ríos en la región, claramente visibles en el fondo del mapa, contribuye de forma directa al riesgo y exposición a eventos relacionados con las inundaciones. La orientación y las escalas proporcionadas permiten una comprensión detallada de la extensión geográfica y la distancia entre las diferentes áreas afectadas, facilitando la planificación y la implementación de acciones preventivas. Este mapa no solo es una herramienta para la gestión del riesgo de desastres, sino que también resalta la importancia y utilidad de métodos como el que se emplea en este artículo como una alternativa económicamente viable para los municipios de escasos recursos.

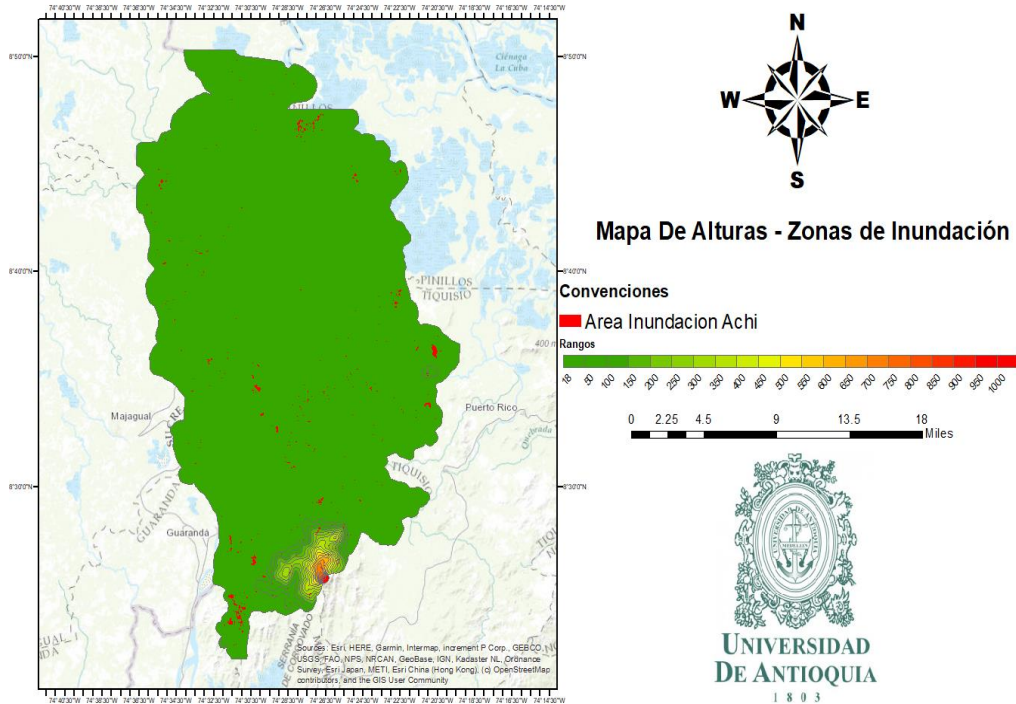


Figura 3. Mapa de Alturas y Zonas de Inundación.

Fuente: Elaboración Propia

El análisis de las estadísticas proporcionadas para las áreas de inundación en Achi revela varias particularidades significativas sobre la distribución de estas áreas. Con un total de 797 áreas identificadas, el tamaño de las zonas inundadas varía ampliamente. El área mínima registrada es de 0.000006 km², mientras que el área máxima alcanza los 43.67 km², indicando una diferencia considerable en la extensión de las áreas afectadas. La suma total de todas las áreas inundadas es de 563.8 km², con un promedio de aproximadamente 0.707352 km² por área.

El análisis del histograma de distribución de frecuencias revela que la mayoría de las áreas inundadas son de tamaño relativamente pequeño, con una alta concentración de áreas en los rangos inferiores de la escala (Figura 4). Esto se demuestra por observación que la gran mayoría de las zonas inundadas tienen tamaños significativamente menores que el valor máximo registrado, con muy pocas áreas superando los 5.6 km². Este patrón sugiere que las inundaciones tienden a dispersarse en múltiples áreas pequeñas, lo cual puede complicar los esfuerzos de mitigación. Una estrategia de gestión de inundaciones en esta región debe ser dispersa y detallada, abordando individualmente cada zona afectada. Además, la presencia de algunas áreas de inundación significativamente grandes indica que existen puntos críticos que requieren atención prioritaria para la gestión eficaz del riesgo de inundación. Estos puntos críticos

demandan una intervención más focalizada para minimizar el impacto de las inundaciones en la región.

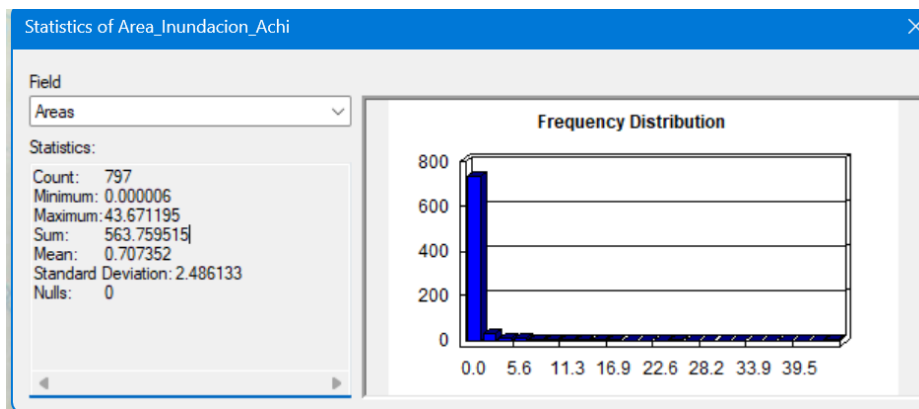


Figura 4. Análisis Estadístico de las áreas inundadas en el municipio de Achí.

Fuente: Elaboración Propia

Conclusiones:

Es imperativo abordar de manera integral las estrategias de mitigación y adaptación frente a las inundaciones en el municipio de Achí, Bolívar. Para reducir el impacto de futuras inundaciones, se debe fortalecer las infraestructuras existentes, tales como jarillones y diques, y considerar la construcción de nuevas estructuras de contención y canales de desvío. Estas mejoras estructurales son esenciales para disminuir significativamente el riesgo de desbordamientos y proteger de manera más efectiva a las comunidades vulnerables. Su diseño debe contemplar la influencia del cambio climático sobre el régimen hidrológico de la región. Además, la implementación de sistemas de alerta temprana y planes de evacuación es vital para la protección de las poblaciones locales. El uso de tecnologías avanzadas de monitoreo y predicción permite emitir advertencias precisas y oportunas, brindando a las personas el tiempo necesario para evacuar y, en consecuencia, salvar vidas y bienes materiales.

Paralelamente, es fundamental educar y preparar a la población local en procedimientos de emergencia, rutas de evacuación y suministrar de recursos esenciales, lo cual es clave para minimizar el riesgo de pérdidas humanas y materiales.

El análisis del mapa de inundaciones de Achí resalta la significativa amenaza de la región a eventos de inundación, exacerbada por el rompimiento del Jarillón Cara de Gato y la compleja red hídrica existente. Estos factores subrayan la urgencia de implementar medidas preventivas y de respuesta adecuadas, que incluyan tanto la mejora de infraestructuras como la capacitación

comunitaria. La adopción de estas medidas permitirá enfrentar de manera efectiva los desafíos que plantean los eventos de inundación en esta área, asegurando una gestión sostenible y resiliente del recurso hídrico.

Referencias:

- Alcaldía Municipal De Achí. (2024). *Achí Bolívar*. <https://www.achi-bolivar.gov.co/>
- Copernicus. (2024). *Copernicus*. <https://www.copernicus.eu/es/sobre-copernicus/infraestructura/estos-son-nuestros-satelites>
- Agencia Espacial Europea. ESA. (2021). *SentiWiki*. <https://sentiwiki.copernicus.eu/web/s1-applications#S1Applications-OilPollutionMonitoring>
- Hallegatte, S. V.-S. (2017). *Unbreakable: Building the Resilience of the Poor in the Face of Natural Disasters*. Banco Mundial.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. IDEAM. (2022). *Estudio Nacional del Agua*. Bogotá.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. IDEAM. (2022). *Estudio Nacional Del Agua*. Bogotá.
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. IPCC. (2014). *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Ginebra.
- López-Ortiz, M. I.-A. (2020). *Riesgo de inundación en España: análisis y soluciones para la generación de territorios resilientes*. Madrid: Universidad de Alicante.
- NASA. (2019). *SAR para el Mapeo de Inundaciones Utilizando Google Earth Engine*.
- NASA. (Abril de 2021). *NASA Ciencia*. <https://ciencia.nasa.gov/gente-de-la-nasa/erika-podest-cientifica-de-la-tierra/>
- Oficina de Naciones Unidas para la Coordinación de Asuntos Humanitarios. OCHA. (2023). *Inundación a gran escala en La Mojana*. Montería, Córdoba.
- Organización Panamericana de la Salud. PAHO. (2007). *Informe Zona De La Mojana, Sur De Bolívar Y Departamento De Córdoba*. Montería, Córdoba.
- Parra Jiménez, J. D. (2017). *Análisis de la incertidumbre en la estimación de las zonas inundables con descriptores geomorfométricos derivados de MDE y modelos hidrodinámicos*. Repositorio Institucional Universidad Nacional.
- Pérez Mesa, G. J. (2014). *Propuesta metodológica para la estimación de zonas de inundación con información escasa por medio de descriptores geomorfométricos derivados de modelos digitales de elevación*. Repositorio Institucional Universidad Nacional.
- Rojas, A. F. (2011). *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO CONCEPTUAL PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DEL AGUA Y LOS USOS DEL SUELO EN LA REGIÓN DE LA MOJANA*. Bogotá.
- Syifa, M., Parque, S., Achmad, A., & Lee, C.-W. (2019). Mapeo de inundaciones usando imágenes de teledetección y técnicas de inteligencia artificial: un estudio de caso en Brumadinho, Brasil. *Costa J. Res.*
- Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres. UNGRD. (2020). *Plan Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres*. Bogotá.

Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres. UNGRD. (2020). *Consolidado Anual de Emergencias*. Bogotá.

Dawod, G. M.-G. (2012). Estimación basada en SIG de los impactos del riesgo de inundaciones en la red vial de la ciudad de La Meca, Arabia Saudita. *Environmental Earth Science*, 2205–2215.

Youssef, A. S. (2016). Análisis de las causas de las inundaciones repentinas en la ciudad de Yeddah (Reino de Arabia Saudita) de 2009 y 2011 utilizando datos de teledetección multisensorial y SIG. *Geomática, peligros naturales y riesgos*, 1018 - 1042.