

Evaluación de los niveles de riesgo de inundación, utilizando ArcGIS Pro y un análisis multicriterio (AMC), con el fin de identificar las áreas más vulnerables en el municipio de Altos del Rosario, Bolívar, Colombia.

Jesús David Villareal Amaris, jdvillareala@unadvirtual.edu.co

Sergio Luis Barreto Gonzales, bsegiol@unadvirtual.edu.co

Docente asesor: Evangelina Parra Pérez, evagemlina.parra@unad.edu.co

Resumen

El estudio realizado en el municipio de Altos del Rosario, Bolívar, aborda el riesgo de inundaciones en áreas agropecuarias mediante el uso de ArcGIS Pro y un Análisis Multicriterio (AMC). El objetivo principal es evaluar los niveles de riesgo en la región, afectada por intensas lluvias para el mes de Noviembre. El análisis se enfoca en la identificación de zonas vulnerables que puedan ser afectadas negativamente por las inundaciones, lo que impacta directamente en la economía local, particularmente en la agricultura y ganadería.

El AMC considera factores como la pendiente, precipitación, cobertura de tierras, distancia entre drenajes y el modelo de elevación digital, generando un mapa de riesgo para guiar la planificación de medidas preventivas. Los resultados identifican áreas con riesgos muy bajos a muy altos, con los humedales y ríos siendo las más afectadas. Además, se destaca que las zonas de riesgo medio y alto impactan gravemente los cultivos y actividades pecuarias.

Como conclusiones, se recomienda la implementación de un ordenamiento agroambiental que considere la conservación de ecosistemas naturales, el uso de prácticas agroecológicas y la aplicación de tecnologías SIG para la gestión de las categorías de riesgo. La capacitación de la población local sobre adaptación al cambio climático es crucial para mejorar la resiliencia del municipio.

Palabras claves: Inundación, Riesgo, ArcGIS Pro, Análisis Multicriterio, Agropecuario

Introducción

El municipio de Altos del Rosario se encuentra ubicado en el Departamento de Bolívar al sur de las Zonas de las Lobas. Es un municipio con una población estimada en 15 987 habitantes, con una superficie territorial de 304,00 Km² y una densidad poblacional de 52,6 hab./Km² (*Municipio y alcaldía de Colombia*, (s.f)).

Los riesgos de inundaciones del municipio son bastante alto dado su topografía y geografía.

Para (*IDIGER*, 2024), define el riesgo de inundación como: “exceso de agua, invadiendo áreas que en condiciones normales están secas”.

Para el municipio, la causa principal de la inundaciones son por las lluvias intensas y frecuentes entre los meses más lluviosos octubre y noviembre. En segunda instancia causal están los rompimientos de los jarillones que este depende directamente de la causal principal.

Lo anterior, induce a unos efectos adversos negativos para la economía del municipio dado que la producción agropecuaria (cultivos agrícolas y ganaderías extensiva), se ven afectadas de forma directa con este cambio climático variable, geografías y ubicación del municipio, trayendo encasos de recursos naturales y materias primas en masa...

Por otro lado, la falta de un diagnóstico detallado sobre las áreas más vulnerables a este fenómeno impide una planificación adecuada para mitigar los impactos de las inundaciones, que pueden afectar a la población, la

infraestructura y el entorno natural agropecuario.

Por eso, en este estudio se analizará la identificación precisa de los niveles de riesgo de inundación es esencial para implementar medidas de prevención y respuesta oportunas para los sectores agropecuarios, los cuales son los más afectados.

En cuanto a su alcance, se tiene como objetivo principal evaluar los diferentes niveles de riesgo de inundación en Altos del Rosario mediante el uso de herramientas tecnológicas avanzadas como ArcGIS Pro y un análisis multicriterio (AMC).

Así mismo, se delimitará al análisis de los factores geoespaciales y ambientales que inciden en el riesgo de inundación, proporcionando una visión integral del municipio, donde se van a identificar mediante mapas las zonas de mayor vulnerabilidad, lo cual servirá de base para futuros estudios de políticas públicas agroambientales territorial del municipio en la gestión del riesgo.

Objetivos

Objetivo general

Evaluar los niveles de riesgo de inundación, utilizando ArcGIS Pro y un análisis multicriterio (AMC), con el fin de identificar las áreas más vulnerables en el municipio de Altos del Rosario, Bolívar.

Objetivos Específicos

- Analizar los factores geoespaciales y ambientales que contribuyen al riesgo

de inundación en el municipio de Altos del Rosario.

- Aplicar un análisis multicriterio (AMC) para determinar las zonas de mayor vulnerabilidad frente a inundaciones, considerando variables como pendientes, precipitaciones, distancia drenaje, DEM y Land Cover.
- Proporcionar recomendaciones basadas en los resultados del análisis del AMC para la implementación de estrategias y medidas preventivas en las áreas identificadas de alto riesgos del municipio.

Identificación del caso de estudio

En cuantos a las condiciones Geo_Climaticas el Municipio presenta una variación de temperaturas entre 24 °C a 38 °C. Los meses más caluroso van de enero a abril y los más frescos van de septiembre a diciembre. El mes más nuboso es Mayo, con un 92% del tiempo y el de menos es enero ([Weather Spark](#), s.f).

Para la precipitación, la época más mojada va desde abril hasta noviembre con un 30% más respecto a los otros meses, promedios de lluvia 116 mm/añual y el mes más bochornos es octubre ([Weather Spark](#), s.f). Así mismo, el caso en estudio se trabajó con el mes de noviembre ya que este es uno de lo más lluvioso para la zona sur de Bolívar.

En relación a su topografía, el municipio de Altos del Rosario cuenta con los siguiente:

En un área en un radio de 3 kilómetros de Altos del Rosario está cubierta de *pradera* (33 %), *árboles* (29 %), *agua* (21 %) y *arbustos* (12 %), en un radio de 16 kilómetros de *árboles* (42 %)

y *agua* (23 %) y en un radio de 80 kilómetros de *árboles* (43 %) y *pradera* (22 %) ([Weather Spark](#), s.f).

Es un municipio donde sus ingresos provienen mayormente del área agropecuario (ganaderías y cultivos agrícolas), dado su espacio territorial propicio y apto. En este estudio, se van a identificar los niveles de riesgo por inundación que presenta el municipio actualmente debido a su ubicación geográfica, patrones climáticos y la planificación de los riesgos hídricos nefasto.

Para abordar este desafío, se realizó un análisis detallado utilizando el programa ArcGIS Pro, Herramientas de GeoProceso y combinado con un análisis multicriterio (AMC), con el fin de identificar los niveles de riesgo de inundación del municipio.

Es importante recordar que el AMC permite: “evaluar diversas posibles soluciones a un problema determinado, en el cual se usan herramientas que tienen múltiples criterios para facilitar la toma de decisiones y llegar a una solución óptima” (MASTERGIS, 2022).

Por lo cual, este estudio permite comprender mejor las áreas más vulnerables y proporcionar una base de medidas preventivas para la mitigación y la gestión de los niveles de riesgos para la planificación y decisiones a futuro.

Metodología

Se realizo una Análisis Multicriterio (AMC), con el programa ArcGIS Pro para el caso de estudio del Municipio de Altos del Rosario, Bolívar, con el único fin de identificar y evaluar aquellas áreas en producción agropecuarias que son o están propensas a diferentes riesgos de Inundación y otros factores de interés.

De acuerdo con Tobón, W. (2013), describe que “El análisis multicriterio es una herramienta de apoyo en toma de decisiones durante el proceso de planificación que permite integrar diferentes criterios de acuerdo a la opinión de actores en un solo marco de análisis para dar una visión integral” (p.4).

Es decir, la visión del marco integral es identificar los niveles de riesgos de inundación mediante los cinco criterios del AMC como la pendiente, precipitación, modelo de elevación digital, cobertura de tierras y distancia entre drenajes.

En otras palabras, podemos describir el análisis multicriterio como:” todo aquel proceso analítico que permite identificar diversas soluciones ante un problema, utilizando principalmente variables cartográficas como datos de partida” (GIS & Beers, 2020).

Por último, se tomó este criterio de análisis porque nos permitió entre otras cosas:

- Tomar varios criterios de análisis para una mejor validez en consideración de múltiples variables como factores ambientales, socioeconómicos e infraestructuras
- Identificar y priorizar aquellas áreas críticas propensas a inundaciones. Por ejemplo, distancia entre drenajes, precipitaciones, etc.
- Facilitar la toma de decisiones dado que integra en su criterios múltiples análisis técnicos, económicos y sociales
- Nos permite a futuro evaluar diferentes escenarios en campos dado como el

cambio climático, manejos de cuentas... al modelar estos escenarios a futuro modificaríamos los riesgos de inundaciones y medidas de recomendaciones.

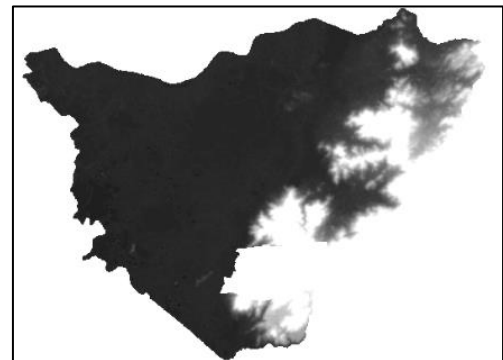
A continuación, se describen los procesos metodológicos que se llevaron a cabo en el Municipio de Altos del Rosario, bajo el Análisis Multicriterio y el programa de ArcGIS Pro.

Paso 1.

1. Se llevo a cabo en primer momento un Modelo de elevación digital (DEM).

Figura 1.

Mapa de modelo de elevación digital

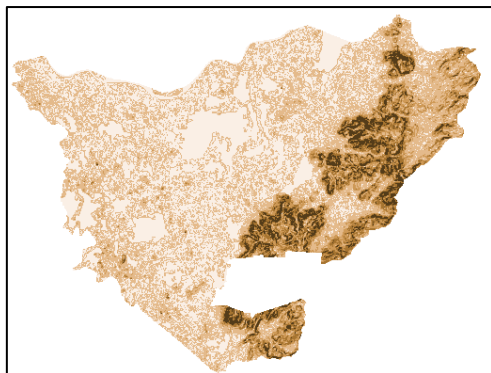


Fuente: Autoría propia, 2024.

2. Ráster de pendiente: Se utilizó para representar las inclinaciones del terreno.

Figura 2.

Mapa de Ráster de Pendiente

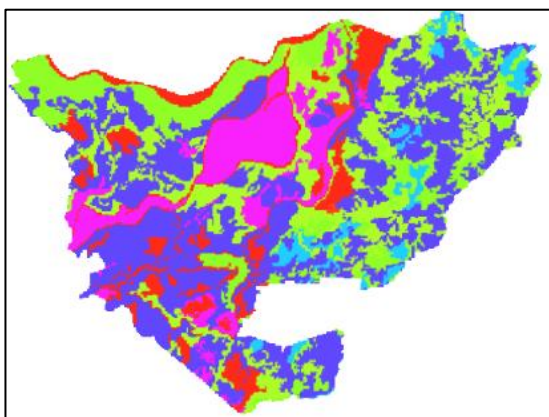


Fuente: Autoría propia, 2024.

3. Capa cobertura de tierras (Land cover): Se utilizó para representar las diferentes categorías de uso y cobertura del suelo en Altos del Rosario. Por ejemplo: Zonas urbanas, Bosques, áreas húmedas, áreas agrícolas, ...

Figura 3.

Mapa de cobertura de tierra (Land Cover).

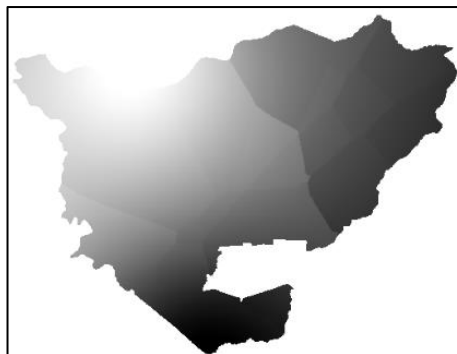


Fuente: Autoría propia, 2024.

4. Precipitaciones: Se aplicó este criterios para el análisis de modelación de inundación, el estudio hidrológico y zonas secas.

Figura 4.

Mapa de precipitación

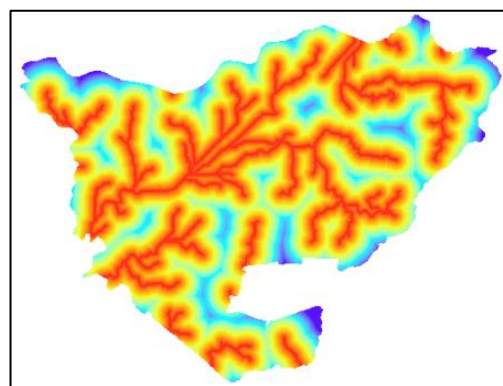


Fuente: Autoría propia, 2024.

5. Distancia euclidiana a 30 metros: este criterio nos permitió calcular la distancia para cada celda de acuerdo a su origen más cercano en línea recta.

Figura 5.

Mapa de distancia euclidiana a 30 metros...



Fuente: Autoría propia, 2024.

En resumen, en la tabla 1 se describe de forma concisa los 5 criterios que se utilizaron para el AMC y su porcentaje de influencia para evaluar el riesgo de inundación.

Tabla 1.

Criterios de análisis para riesgo de inundación bajo el análisis AMC

| Factor | Porcentajes |
|---------------------------------|-------------|
| Modelo de elevación digital DEM | 10% |

| | |
|-----------------------------------|-------------|
| Pendientes | 15% |
| Cobertura de tierras (Land cover) | 10% |
| Precipitación | 35% |
| Distancia entre drenajes | 30% |
| Total | 100% |

Fuente: Autoría propia, 2024.

Paso 2.

Criterios de reclasificación y suma ponderada

MODELACION RIEGO POR INUNDACION

En la siguiente tabla 2, se muestra las variables cualitativas de los niveles de riesgos y su valor numérico.

Tabla 2.

Valores de clasificación de orden cuantitativo y cualitativo

| Variable cualitativa | Valores |
|----------------------|---------|
| Riesgos muy bajo | 2 |
| Riesgo bajo | 4 |
| Riesgos medio | 6 |
| Riesgos alto | 8 |
| Riesgo muy alto | 10 |

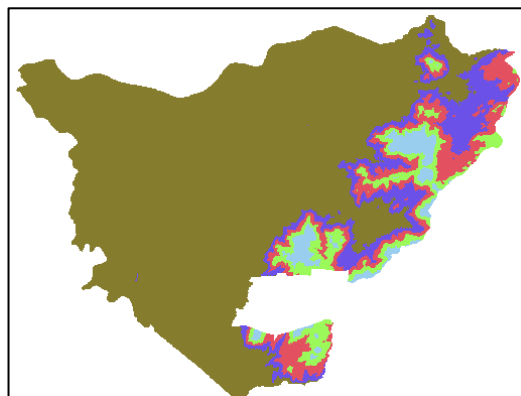
Fuente: Autoría propia, 2024.

En contexto de modelación, la reclasificación es una “herramientas que cambia o reclasifican los valores de las celdas a valores alternativos mediante diversos métodos” (ESRI, 2024). Cada color diferente dada en la reclasificación representa los niveles de riesgos para cada criterio evaluado, es decir 2 nivel bajo y 10 muy alto.

A continuación, se brindan los pasos de forma ascendentes de los GeoProceso de la reclasificación del AMC anterior del paso 1.

Figura 6.

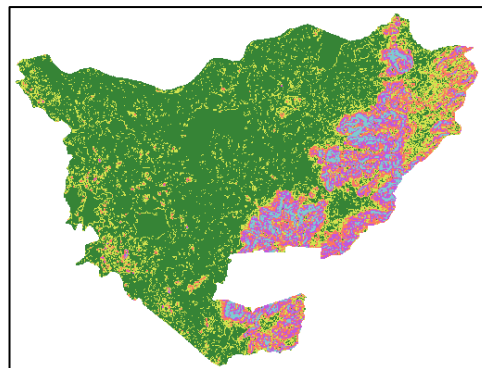
1. Reclasificación del modelo de elevación (DEM), Altos del Rosario.



Fuente: Autoría propia, 2024.

Figura 7.

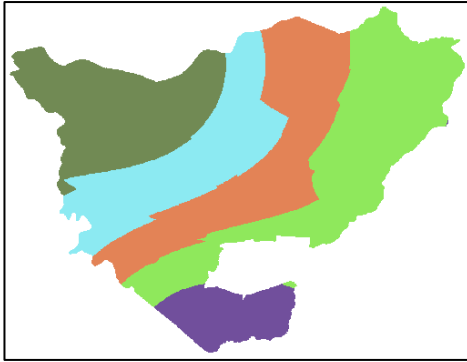
2. Reclasificación de Pendiente



Fuente: Autoría propia, 2024.

Figura 8.

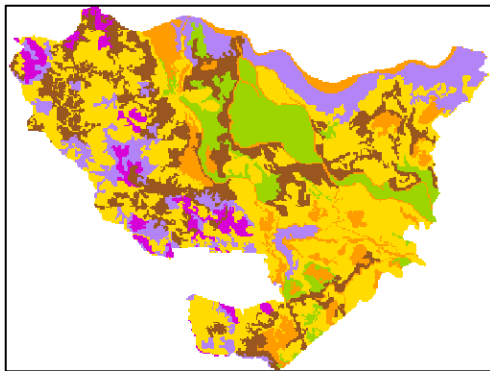
3. Reclasificación de precipitaciones



Fuente: Autoria, propia, 2024.

Figura 9.

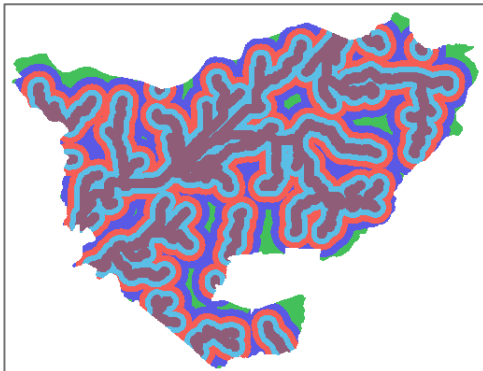
4. *Reclasificación cobertura de tierras (CLC)*



Fuente: Autoria propia, 2024.

Figura 10.

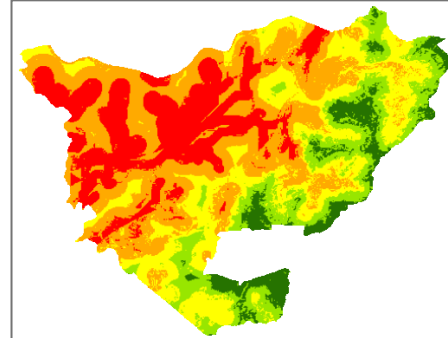
5. *Reclasificación distancia de Drenaje*



Fuente: Autoria propia, 2024.

Figura 11.

6. *Reclasificación riesgo de inundación de Altos del Rosario. (Suma ponderada de las 5 reclasificaciones anteriores).*



Fuente: Autoria propia, 2024.

En resumen, la reclasificación de estos criterios en el contexto del Análisis Multicriterio (AMC), nos permitió combinar de manera efectiva variables geoespaciales clave que influyen en el riesgo de inundación del municipio de Altos del Rosario.

Al integrar estos factores en ArcGIS Pro, se pudo generar un mapa de riesgo que no solo identifica las áreas más vulnerables, sino que también nos ayuda en la planificación de medidas de mitigación, y la priorización de intervenciones agropecuarias en Altos del Rosario.

MAPIFICACIÓN DEL RIESGO DE INUNDACIÓN

Análisis y Resultados

El municipio de Altos del Rosario es una zona donde mayormente su geografía y topografía es altamente plana con pequeñas ondulaciones. A continuación, se identifica la localización geoespacial del municipio para su mejor análisis.

Figura 12.

Ubicación del municipio Altos del Rosario



Fuente: (Osorio, 2024). La estancia de Altos del Rosario

A continuación, se detallan los valores dados de los diferentes riesgos de inundación que se evaluaron en el Municipio, en cuanto a las coberturas del suelos y su valor de riesgo de inundación.

Tabla 3.

Clasificación de coberturas del suelo del Municipio de Altos del Rosario (CLC)

| Simbología | Valores de riesgos | Nivel 2 |
|-------------|--------------------|---|
| Verde | 2 | Zonas de extracción mineras y escombreras |
| Verde claro | 4 | Bosques |
| Amarillo | 5 | Áreas agrícolas heterogenia |
| Amarillo | 6 | Zonas urbanizadas y áreas con vegetación herbácea y arbustiva |
| Amarilla | 7 | Pastos |
| Naranja | 8 | Área humedales |
| Rojo | 10 | Aguas continentales (ríos). |

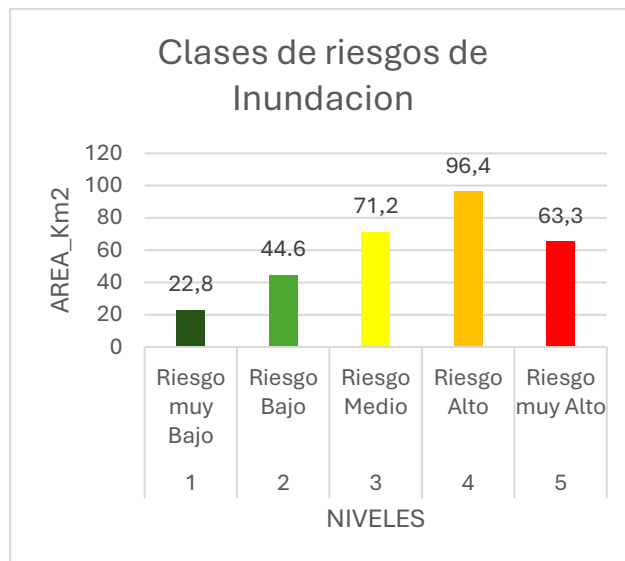
Fuente: Autoría propia, 2024.

De acuerdo a la tabla 3, se obtuvieron los siguientes resultados de variables

cuantitativa y cualitativa en lo que respecta a las cantidad total de las áreas para cada clase o categoría de los niveles de riesgos de inundación. En la figura 2, se muestra en detalles estas áreas y su nivel de riesgo.

Figura 13.

Categorías de riesgos de inundación y áreas/totales en Km².



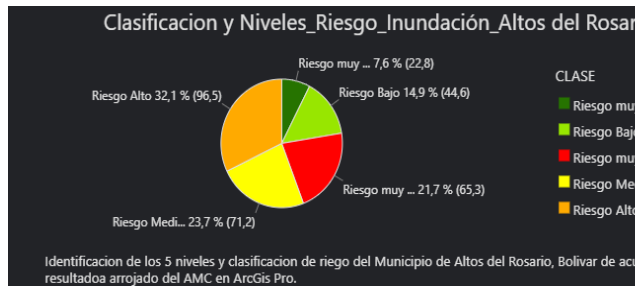
Fuente: Autoría propia, 2024.

Es importante recordar que estos valores de las áreas y su relación con los niveles de riesgos pueden variar considerablemente de acuerdo al valor agregado a cada categoría.

En la siguiente figura 3, se muestra la relación tanto de los niveles de riesgos, categorías y su porcentaje correspondiente para su mayor comprensión específicas en la identificación de los niveles de riesgo.

Figura 14.

Clasificación, niveles y porcentajes de Riesgo de inundación



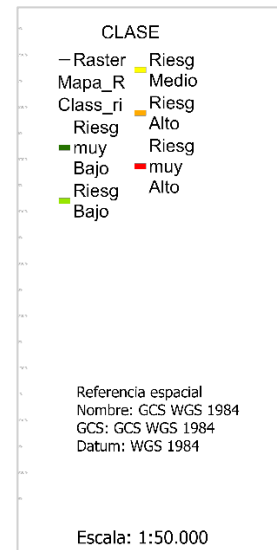
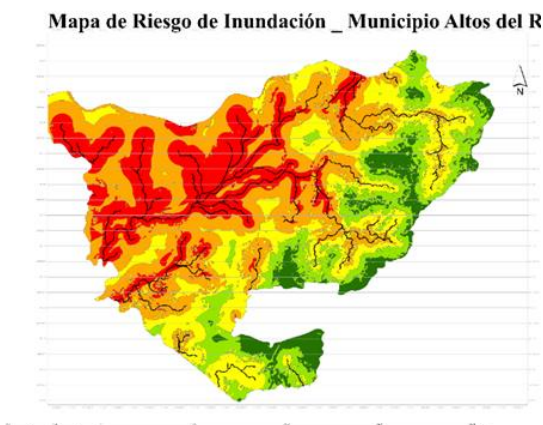
Fuente: Autoría propia, 2024.

Evaluación de resultados: Evaluación de los niveles de riesgo de inundación en Altos del Rosario, Bolívar.

De acuerdo a lo anterior, el análisis realizado sobre los niveles de riesgo de inundación en el municipio de Altos del Rosario, Bolívar, se utilizó el programa ArcGIS Pro y un análisis multicriterio (AMC) para identificar las áreas más vulnerables y proporcionar información clave para la gestión del riesgo.

A continuación, se presenta un análisis detallado de los datos proporcionados anteriormente descrito:

Figura 15.
Mapificación de los niveles de Riesgo de Inundación del municipio de altos del Rosario



Fuente: Autoría propia, 2024.

Distribución del riesgo de inundación en el municipio

Zonas de extracción minera, montañas y escombreras (Verde - Riesgo muy bajo)

- Área: 22 km²
- Porcentaje del total: 7,6%
- Nivel de riesgo: Muy bajo

Análisis: Estas áreas representan una porción relativamente pequeña del municipio, con un riesgo de inundación muy bajo. Este tipo de terreno, probablemente por su elevación, no se ve afectado en gran medida por fenómenos de lluvias.

Bosques (Verde claro - Riesgo bajo)

- Área: 44,6 km²
- Porcentaje del total: 14,9%
- Nivel de riesgo: Bajo

Para Balvanera, P. (2012), “Los servicios ecosistémicos son los beneficios que

las sociedades obtienen de los ecosistemas” como los bisques.

Análisis: Los bosques cubren una parte significativa del municipio y presentan un riesgo bajo de inundación. Los ecosistemas forestales pueden servir como barreras naturales contra las inundaciones, ayudando a la absorción del agua y a la prevención de deslizamientos de tierra...

Áreas agrícolas heterogéneas, zonas urbanizadas y vegetación herbácea y arbustiva (Amarillo - Riesgo medio)

- Área: 71,2 km²
- Porcentaje del total: 23,7%
- Nivel de riesgo: Medio

De acuerdo con CORTOLIMA (s.f), define las áreas agrícolas heterogéneas como “las áreas que contienen cultivos agrícolas, pastos y espacios naturales fragmentados como bosques, rastrojos, arbustos, etc” (p.2).

Análisis: Esta categoría cubre una gran parte del municipio, representando el 23,7% del área total. Las zonas urbanizadas y las áreas agrícolas heterogéneas son más susceptibles a las inundaciones, especialmente en épocas de fuertes lluvias.

Humedales (Naranja - Riesgo alto)

- Área: 96,5 km²
- Porcentaje del total: 31,2%
- Nivel de riesgo: Alto

Análisis: Los humedales, que constituyen el área más extensa dentro del municipio (31,2% del total), presentan un riesgo alto de inundación. Dada su función

natural de almacenamiento de agua y regulación de los flujos hídricos, los humedales están más propensos a inundarse durante lluvias intensas.

Ríos (Rojos - Riesgo muy alto)

- Área: 65,3 km²
- Porcentaje del total: 21,6%
- Nivel de riesgo: Muy alto

Análisis: Los ríos que rodean el municipio constituyen un área significativa con un nivel de riesgo muy alto de inundación. Las aguas continentales son una fuente clave de inundaciones en la región, especialmente en épocas de crecidas.

Resultados de profundización en los sistemas agropecuarios.

Según (Angulo, 1998, citado en Pardo, 2020, p. 2) definen “Los sistemas agropecuarios son un conjunto de componentes físicos y socioeconómicos que se interrelacionan, de forma que actúan como una unidad, o como un todo, para responder a una demanda de productos del sector rural”.

Los sistemas agropecuarios en Altos del Rosario, especialmente los cultivos agrícolas (Yuca, maíz, arroz, plátano...) y pecuarios (ganaderías, zonas de pastoreos...), están distribuidos en áreas que abarcan zonas de riesgo medio y bajo, pero también se superponen en áreas de riesgo alto (como en los humedales).

Lo anterior implica que las actividades agropecuarias enfrentan diferentes niveles de

vulnerabilidad dependiendo de su localización y las condiciones del terreno mismo.

Por otro lado, de acuerdo con (Valero Fajardo, 2022), describe “El riesgo de inundación es producto de la amenaza y vulnerabilidad, estas variables podrían aparecer de distintas formas dentro de un determinado territorio, dependiendo de la magnitud con la que se presenten, será la influencia en el riesgo de inundación” (p.3).

A continuación, se realizó una interpretación detallada de cómo el riesgo de inundación puede impactar a los sistemas agropecuarios, especialmente en relación con los cultivos agrícolas y las actividades pecuarias:

Zonas de riesgo medio (Áreas agrícolas heterogéneas, urbanizadas y con vegetación herbácea y arbustiva)

- Área: 71,2 km² (23,7% del municipio)
- Nivel de riesgo: Medio

Impacto en sistemas agropecuarios:

Las áreas agrícolas, que incluyen tanto cultivos de transitorios como perenne en el municipio, están localizadas principalmente en zonas de riesgo medio.

Podemos catalogar que el riesgo medio de inundación puede tener un impacto directo sobre estos sistemas, principalmente en términos de pérdida de cultivos, erosión del suelo y desplazamiento de animales.

- **Cultivos agrícolas:** Los cultivos transitorios, como el maíz y la yuca, son especialmente vulnerables a las

inundaciones debido a que los suelos se encharcan fácilmente por su topografía.

- **Impacto en la cosecha:** En casos de lluvias intensas, como **noviembre**, la saturación de los suelos puede retrasar la cosecha o reducir los crecimientos.
- Por otro lado, está el **desbordamiento de los ríos** que podría afectar cultivos cercanos, especialmente aquellos que se localizan en tierras bajas o cerca de las cuencas hídricas que rodea el municipio indiferentes al cambio climático.
- **Pecuario:** En las zonas de pastoreo o en los sistemas agropecuarios donde se combinan actividades agrícolas y ganaderas, el **riesgo de inundación** puede afectar tanto a los cultivos como a los animales. Las inundaciones pueden hacer que los pastos sean inaccesibles o muerto, reduciendo la disponibilidad de forraje, desplazamiento y expuesto a enfermedades.

Zonas de riesgo alto (Humedales)

- Área: 96,5 km² (31,2% del municipio)
- Nivel de riesgo: Alto

Impacto en sistemas agropecuarios:

según (Fernández, 2019), describe “Los humedales son todos aquellos ecosistemas cuyos suelos aparecen permanente o periódicamente inundados”.

En otras palabras, las zonas de humedales son cruciales en la regulación hídrica, pero también son muy vulnerables a las inundaciones.

Por otro lado, “en cuanto a su valor dentro del mundo antrópico, los humedales

sirven en numerosas ocasiones como áreas destinadas a la producción de alimentos que requieren grandes cantidades de agua para su cultivo, como es el caso del arroz” (Fernández, 2019).

Aunque estos ecosistemas cumplen un rol clave en la gestión del agua, las áreas agrícolas ubicadas cerca de los humedales pueden verse severamente afectadas y pueden generar impactos **negativos** tanto en los cultivos como en las actividades pecuarias.

- **Nivel Pecuario:** Los **sistemas ganaderos** también pueden sufrir grandes pérdidas en áreas de humedales, ya que las inundaciones pueden inundar los pastos y el terreno bajo, reduciendo el área disponible para el pastoreo y afectando el bienestar animal. .
- **Desplazamiento y enfermedad del animal:** La inundación también puede resultar en el desplazamiento de animales hacia áreas más altas o en el aislamiento de ciertas zonas de pastoreo, lo que podría aumentar la competencia por recursos limitados. Así mismo, las aguas estancadas pueden convertirse en un foco de enfermedades, como infecciones bacterianas o parasitarias, que pueden afectar a los animales.

Por último, “El cambio climático afectará al sector ganadero a lo largo de toda la cadena de suministro de alimentos, desde la producción agrícola hasta el consumo humano” (Godde et al., 2021).

Zonas de riesgo muy alto (Ríos)

- Área: 65,3 km² (21,6% del municipio)
- Nivel de riesgo: Muy alto

Impacto en sistemas agropecuarios:

Las zonas ribereñas del municipio y los cursos de los ríos son las más expuestas a inundaciones intensas, especialmente durante las crecidas del mes de noviembre y octubre. En estas áreas, aunque son cruciales para el abastecimiento de agua, tienen un alto potencial de daño para los sistemas agropecuarios, dado su desbordamiento.

- **Cultivos agrícolas:** Los cultivos cercanos a los ríos tienen un alto riesgo de inundación, que puede destruir los cultivos si las aguas desbordan el cauce. Del mismo modo, la erosión del suelo y la sedimentación también pueden alterar las condiciones del suelo y dificultar la siembra en años posteriores...
- **Pecuario:** Las actividades ganaderas en zonas cercanas a los ríos pueden experimentar graves daños, no solo afectando el acceso al pastoreo, sino que también ponen en riesgo la seguridad del ganado.

Para la (FAO, 2024), describe “La ganadería es un factor clave para el desarrollo sostenible en la agricultura. Ésta contribuye a la seguridad alimentaria, la nutrición, el alivio de la pobreza y el crecimiento económico”.

4. Zonas con bajo riesgo (Bosques y Zonas de Extracción Minera)

- Área: 66,6 km² (22,5% del total)
- Nivel de riesgo: Bajo

Impacto en sistemas agropecuarios:

Las zonas de bosques y zonas de extracción minera tienen un bajo riesgo de inundación, pero esto no significa que no estén sujetas a otros tipos de impacto ambiental que puedan afectar indirectamente a los sistemas agropecuarios.

- **Cultivos agrícolas:** En las zonas forestales, el riesgo de inundación es nulo, pero la deforestación y el cambio de uso de suelo para la agricultura pueden contribuir a la alteración de los patrones hídricos, aumentando el riesgo de inundaciones en las áreas circundantes.
- **Pecuario:** En estas áreas, las actividades pecuarias pueden desarrollarse con menor riesgo de inundación, pero es fundamental gestionar las zonas de pastoreo para evitar la degradación del ecosistema forestal, que podría llevar a la pérdida de áreas de pastoreo disponibles a largo plazo.

CONCLUSIONES FINALES DE LA INVESTIGACIÓN

Evaluación de los Niveles de Riesgo de Inundación en Altos del Rosario, Bolívar

Distribución del Riesgo de Inundación

En el análisis realizado en el municipio de Altos del Rosario, Bolívar, revela una distribución espacial desigual de los niveles de riesgo de inundación, con áreas de riesgo bajo, medio, alto y muy alto. La mayor parte del territorio presenta un riesgo medio o alto, especialmente en zonas como los humedales y

los ríos, que son más vulnerables a las inundaciones.

Impacto en los Sistemas Agropecuarios

Las zonas de riesgo medio y alto son las más relevantes para los sistemas agropecuarios, ya que las inundaciones afectan negativamente a los cultivos agrícolas y las actividades ganaderas.

La saturación del suelo, la erosión, la pérdida de cosechas y la destrucción de pastos son las principales amenazas para los agricultores y ganaderos. Así mismo, las áreas de humedales y las zonas ribereñas tienen un impacto particularmente alto, lo que exige una gestión adecuada de estas zonas para proteger las fuentes de agua y los recursos agrícolas.

Relevancia del Ordenamiento Agroambiental

La necesidad de implementar un ordenamiento agroambiental que integre la gestión de riesgos y la conservación de los ecosistemas naturales es clave. También, el uso sostenible de las tierras agrícolas y la preservación de los humedales no solo ayudan a mitigar el impacto de las inundaciones, sino que también fortalecen la resiliencia de los sistemas agropecuarios ante futuros eventos climáticos.

Tecnologías de Información y Planificación Eficiente

El uso de herramientas como los Sistemas de Información Geográfica (SIG), especialmente ArcGIS Pro, es crucial para realizar un monitoreo constante y una planificación eficiente del territorio. Estas herramientas tecnológicas nos permiten identificar áreas vulnerables, modelar

escenarios de inundación y tomar decisiones informadas sobre la distribución de las actividades agropecuarias.

RECOMENDACIONES

El trabajo concluye la importancia de adoptar un enfoque multidisciplinario que involucre a las autoridades locales, comunidades y expertos en el manejo de riesgos para el municipio.

Es necesario implementar medidas preventivas, como la restauración de ecosistemas naturales, la mejora de la infraestructura de drenaje y el monitoreo climático constante.

Recomendaciones para el Ordenamiento Agroambiental del Territorio en Altos del Rosario desde una mirada profesional

Desde una perspectiva agroambiental, el ordenamiento territorial debe ser una herramienta clave para la gestión sostenible de los recursos naturales y la reducción de los riesgos de inundación.

El ordenamiento agroambiental busca integrar la producción agrícola y ganadera con la conservación de los ecosistemas naturales, lo que es esencial para mitigar los efectos del cambio climático y proteger los medios de vida de la población. A continuación, se presentan algunas recomendaciones específicas:

Integración de la gestión del riesgo en el ordenamiento del territorio

Recomendación

Es fundamental incorporar el análisis de riesgos de inundación en el planeamiento territorial agropecuario del municipio. Las zonas de riesgo alto (humedales y ríos) deben

estar exclusivamente reservadas para actividades de conservación ecológica o agroecológicas, mientras que las áreas con riesgo medio pueden destinarse a cultivos sostenibles o sistemas agropecuarios resistentes a las inundaciones.

Los principios de ordenamiento agroambiental, los cuales, según Moreno & Rojas Salazar (2013), “son una herramienta de planeación, que concreta los proyectos de ordenación y de manejo del territorio, desde un enfoque comunitario”.

Justificación: Un adecuado ordenamiento agroambiental promueve la sostenibilidad al garantizar que las actividades humanas no sobrepasen los límites naturales del territorio.

El análisis multicriterio (AMC) es esencial para tomar decisiones informadas sobre qué áreas pueden ser utilizadas para la agricultura intensiva y cuáles deben ser destinadas a la conservación.

Fomento de prácticas agrícolas sostenibles y agroecológicas

De acuerdo con RAPAN (s.f), sostiene que:

“La agroecología combina la investigación científica con la experimentación nativa y de comunidades locales, poniendo el énfasis en las tecnologías e innovaciones que conllevan el uso intensivo de conocimientos, que son de bajo costo y fácilmente adaptables por los pequeños y medianos productores” (p.1).

Recomendación: Implementar prácticas agroecológicas como el uso de cultivos intercalados, agricultura de conservación (uso de labranza mínima) y sistemas agroforestales en áreas de riesgo medio y alto.

Justificación: La agricultura de conservación contribuye a la mejora de la calidad del suelo, la retención de agua y la reducción del riesgo de inundaciones. Por otro lado “La agricultura de conservación es un sistema de cultivo que puede prevenir la pérdida de tierras cultivables y a la vez regenerar las tierras degradadas” (FAO, 2024).

Conservación de los ecosistemas naturales y restauración de humedales

“Se llama restauración de ecosistemas al proceso que busca volver un ecosistema dañado, alterado o degradado, a su condición original, o por lo menos, a un estado cercano a como era antes de haber sufrido el daño” (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, s.f).

Recomendación: Restaurar y conservar los humedales y otras áreas ecológicamente importantes en el municipio, asegurando que las zonas de riesgo alto (humedales y ríos) sean gestionadas con fines de protección ambiental...

Justificación: Los humedales actúan como esponjas naturales que absorben el exceso de agua durante las lluvias, protegiendo las áreas circundantes de las inundaciones...

Uso de tecnologías de información geográfica (SIG) para la planificación y monitoreo

Para (GeoInnova, 2017), “La tecnología de los GIS (Sistemas de Información Geográfica) tiene muchísimos ámbitos de aplicación, y uno de ellos es la detección y/o gestión de las catástrofes naturales”.

Así mismo, destaca tres factores claves para abordar cada problema, como fase inicial la prevención y la planificación, mitigación y recuperación temprana.

Recomendación: Utilizar tecnologías como los Sistemas de Información Geográfica (SIG) para monitorear las zonas de riesgo, planificar el uso del suelo y gestionar el riesgo de inundaciones con el uso de herramientas como ArcGIS Pro, es posible crear modelos predictivos de inundación que permitan tomar decisiones más informadas sobre el uso del territorio.

Capacitación y sensibilización para la gestión del riesgo

Recomendación: Implementar programas de capacitación para agricultores y ganaderos sobre gestión de riesgos y adaptación al cambio climático.

Justificación: Para Giraldo Rincón (2016), “La sensibilización y la capacitación comunitaria son factores fundamentales para la reducción eficaz del riesgo de desastres”.

Por otro lado, sostiene lo siguiente:

“Ambas engloban una serie de acciones cuya meta es dar a conocer los elementos que dan lugar al riesgo de

desastres, lo que a su vez conlleva, por un lado, comprender conceptos como amenaza, exposición, vulnerabilidad y capacidad y, por otro lado, tomar consciencia de la situación existente en la comunidad en relación a los mismos” (Giraldo Rincón, 2016).

Referencias bibliográficas

- Balvanera, P. (2012). Los servicios ecosistémicos que ofrecen los bosques tropicales: . *Ecosistemas*, 21(1-2). Recuperado a partir de <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/33>
- CORTOLIMA (s.f). *ASPECTOS ECONOMICOS Y PRODUCTIVOS*. https://cortolima.gov.co/images/POMC/A/rio_medio_salda%C3%B1a/capitulo_2/3.1_COBERTURA_Y_USO_ACTUAL_DE_LA_TIERRA.pdf
- ESRI (2024). *Dirección del flujo (Spatial Analyst)—ArcGIS Pro / Documentación*. Arcgis.com. <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/flow-direction.htm>
- FAO (2024). La ganadería y el medio ambiente. Organización de las Naciones Unidas para Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org/livestock-environment/es>
- FAO (2024). *¿Qué es la agricultura de conservación? | Agricultura de conservación | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. Fao.org. <https://www.fao.org/conservation-agriculture/overview/what-is-conservation-agriculture/es/>
- Fernández, L. (2019, September 25). *Humedales: qué son, tipos y características*. Ecologiaverde.com; Ecologiaverde.com. <https://www.ecologiaverde.com/humedales-que-son-tipos-y-caracteristicas-2234.html>
- GeoInnova. (2017, June 13). *Uso de los GIS en la detección y gestión de catástrofes naturales*. GeoInnova. <https://geoinnova.org/blog-territorio/gestion-de-catastrofes-naturales/>
- Giraldo Rincón, M. A. (2016). Catálogo de herramientas de formación y capacitación comunitaria en gestión del riesgo de desastres : Cuadernillo 2 : Sensibilización y capacitación comunitaria en gestión de riesgos. *Bvearmb.do*. <https://bvearmb.do/handle/123456789/2341>
- GIS & Beers (2020). *¿Qué son los análisis multicriterio en un SIG?* - <https://www.gisandbeers.com/como-realizar-un-analisis-multicriterio-sig/>
- Godde, C. M., Mason-D’Croz, D., Mayberry, D. E., Thornton, P. K., & Herrero, M. (2021). Impacts of climate change on the livestock food supply chain; a review of the evidence. *Global Food Security*, 28, 100488. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2020.100488>
- IDIGER. (2024). Caracterización General del Escenario de Riesgo por Inundación. Idiger.gov.co. <https://www.idiger.gov.co/rinundacion>

- MASTERGIS (2022). *Métodos para realizar un Análisis Multicriterio en un SIG*. Mastergis. <https://mastergis.com/blog/metodos-analisis-multicriterio-sig>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (s.f). restauración. <https://www.minambiente.gov.co/direccion-de-bosques-biodiversidad-y-servicios-ecosistemicos/restauracion-2>
- Moreno, L. M., & Roja Salazar, L. (2013). Fortalecimiento de las políticas agroambientales en países de América Latina y el Caribe a través del dialogo e intercambio de experiencias nacionales, Caso Colombia. FAO. 240p. <https://www.gov.br/abc/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/documentos/estudio-de-politicas-agroambientales-en-colombia.pdf>
- Municipio y alcaldía de Colombia. (s.f). - *Altos del Rosario en el departamento de Bolívar* Municipio.com.co. <https://www.municipio.com.co/municipio-altos-del-rosario.html>
- Osorio, Á. R. (2024). *La estancia de Altos del Rosario*. PanoramaCultural.com.co. <https://panoramacultural.com.co/pueblos/8263/la-estancia-de-altos-del-rosario>
- PARDO, Y. Y., MUÑOZ, J., & VELASQUEZ, J. E. (2020). Tipificación de sistemas agropecuarios en el piedemonte amazónico colombiano. *Espacios*, 41(47), 213–228. <https://doi.org/10.48082/espacios-a20v41n47p16>
- RAPAN (s.f). *Agroecología y desarrollo sostenible*. Red de Acción en Plaguicidas y sus Alternativas en México <https://www.rapam.org/wp-content/uploads/2015/12/Agroecologia-PAN-IAASTD.pdf>
- Tobón, W. (2013). Análisis multicriterio. Información sobre biodiversidad para la conservación medioambiental. CONABIO. *Análisis multicriterio*
- Valero Fajardo, C. L. (2022). La Caracterización Hidrográfica y su Influencia en la Evaluación del Riesgo de Inundación. *Polo Del Conocimiento: Revista Científico - Profesional*, 7(8), 1575–1594. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/9042736.pdf>
- Weather Spark. (s.f). El clima en Altos del Rosario, el tiempo por mes, temperatura promedio (Colombia) - Weatherspark.com. <https://es.weatherspark.com/y/23420/Clima-promedio-en-Altos-del-Rosario-Colombia-durante-todo-el-a%C3%B1o>

Enlace de sustentación:

<https://youtu.be/3d15cjsa9s>