

Identificación de posibles riesgos de inundaciones en el municipio de Cáqueza – Cundinamarca, con el uso de Sistemas de Información geográfica

Luis Guillermo Ángel López lgangell@unadvirtual.edu.co

Ximena Limey Hernández Sánchez xlhernandezs@unadvirtual.edu.co

Docente asesor: Yetfersson Arley Serrato Velosa yetfersson.serrato@unad.edu.co

Resumen

Este estudio pretende identificar los posibles riesgos de inundación en el municipio de Cáqueza (Cundinamarca), con el fin de contribuir a la construcción del plan de gestión de riesgos del municipio, para realizar el estudio de vulnerabilidad del municipio de Cáqueza en cuanto a inundaciones se utilizó el método Análisis multicriterio, el cual es un instrumento de apoyo para la toma de decisiones y que en combinación con los SIG son adecuados para la optimización del ordenamiento territorial ya que permite la toma de decisiones más acertadas, y de esta manera apoyar la evaluación y desarrollo de planes alternativos. Los valores de área por cada rango de amenaza para el municipio de Cáqueza, en donde el rango de riesgo medio es el que predomina con un 31,43 % del área total, seguido por amenaza riesgo alto que abarca el 27,26%, el riesgo bajo con 20,36%, el riesgo muy bajo con un 14,47% por último riesgo muy alto con un 6,49% del área total de análisis.

Palabras claves – Desastres, Inundaciones y Planeación

Introducción

Diversas investigaciones han señalado que los desastres suelen ser el resultado de procesos de desarrollo deficientes que incrementan la vulnerabilidad tanto de las comunidades como de las estructuras físicas, un fenómeno conocido como la construcción social del riesgo. Entre los principales factores antropogénicos que contribuyen a esta problemática destacan el acelerado incremento demográfico, las prácticas insostenibles en el manejo ambiental y un desarrollo industrial desregulado, los cuales generan impactos significativos y persistentes a nivel global (Naciones Unidas CEPAL, 2021)

El municipio de Cáqueza está ubicado en el departamento de Cundinamarca, Colombia, su historia está marcada por algunos eventos de inundaciones que se asocian a su topografía, su localización geográfica y sus condiciones climáticas. La topografía de Cáqueza es montañosa y es atravesada por el río Negro, que históricamente ha provocado desbordamientos en época de lluvias intensas (Alcaldía de Cáqueza, 2024).

Durante el año 2021, el fenómeno de La Niña afectó al departamento de Cundinamarca, Cáqueza por fuertes lluvias, generando la pérdida de cultivos, deslizamientos de tierra,

bloqueando las vías terrestres principales. Por otra parte, se tienen referencias que indican que algunas comunidades de Cáqueza enfrentaron desbordamientos del río Negro y problemas asociados con deslizamientos de tierra en sus áreas rurales, exacerbados por lluvias continuas en el año 2022 (Acacias WEB, 2021)

Estas afectaciones han generado grandes pérdidas a nivel económico en los habitantes del municipio ya que con estas inundaciones generaron daños a cultivos como café, maíz y frutales, principales fuentes de sustento en la región, a nivel social, también, se vieron afectadas algunas viviendas, desplazamiento de familias y problemas de acceso a servicios básicos, finalmente a nivel ambiental esto produjo proceso de erosión del suelo y contaminación de fuentes de agua.

Objetivos

General

Identificar los posibles riesgos de inundación en el municipio de Cáqueza (Cundinamarca) mediante análisis multicriterio, con el fin de contribuir a la construcción del plan de gestión de riesgos del municipio.

Específicos

Analizar las condiciones geográficas del municipio mediante la herramienta SIG, con el fin de identificar los diferentes niveles de riesgo en el área.

Aplicar la metodología de análisis multicriterio para la obtención de un mapa de riesgo, con el objetivo de apoyar la toma de decisiones.

Realizar el análisis de los resultados con el propósito de generar acciones y/o

recomendaciones para lograr una mitigación o alerta temprana en el escenario de los posibles riesgos.

Identificación del caso de estudio

El municipio de Cáqueza se encuentra ubicado en la provincia de Oriente del departamento de Cundinamarca, Colombia, en una región montañosa de los Andes centrales. Su territorio en superficie es de aproximadamente 110 km² y se encuentra a una altitud promedio de 1,600 metros sobre el nivel del mar, esto puede variar debido a su irregularidad geográfica (Alcaldía de Cáqueza. , 2024).

El clima en Cáqueza es de tipo templado-húmedo, con temperaturas que oscilan entre los 14 °C y 20 °C durante todo el año, esto depende directamente de la altura y la exposición. Su régimen pluvial está condicionado por los patrones climáticos de los Andes y los fenómenos atmosféricos globales como El Fenómeno del Niño y El Fenómeno de la Niña, los cuales afectan de manera significativamente la intensidad y la distribución de las precipitaciones (Meteoblue, 2024).

El régimen pluviométrico en Cáqueza se caracteriza por dos períodos de lluvias principales, la primera temporada de lluvias se da en los meses de abril a junio y la segunda temporada de lluvias se ubica en los meses de septiembre a noviembre.

El mes con la mayor cantidad de precipitaciones generalmente es octubre, con valores promedio superiores a 120 mm. Este es un mes crítico en los análisis de inundaciones, ya que las precipitaciones continuas e intensas aumentan significativamente los caudales de los ríos y quebradas, en especial el del río Negro, el cual es uno de los principales

afluentes hídricos que cruza el municipio (Meteoblue, 2024).

Partiendo de la información detallada líneas arriba, se puede decir que los factores asociados a las inundaciones, es una combinación de altas precipitaciones en octubre, así como también suelos saturados, y una de las características más representativas de este municipio su topografía asociada a laderas empinadas, lo cual genera un alto nivel de aumento del riesgo de inundaciones y deslizamientos de tierra en esta región. No obstante, es clave referenciar que la deforestación y el cambio en el uso del suelo, asociado a malas prácticas del sector agropecuario han reducido la capacidad de absorción del terreno, intensificando la recurrencia y severidad de estos eventos (Gobernación de Cundinamarca., 2022).

Para el presente análisis se emplearon los datos climáticos del mes de octubre los cuales fueron suministrados por el tutor, siendo este el mes de más representativo a nivel de precipitaciones ya que se representa el periodo de lluvias más intenso, con base a esto, se logra analizar de una forma más explícita las diferentes dinámicas hidrológicas y su relación con los eventos más recientes de inundaciones en Cáqueza mencionados anteriormente.

Metodología

Para realización del estudio de vulnerabilidad del municipio de Cáqueza en cuanto a inundaciones se utilizó el método **Análisis multicriterio**. El cual es un instrumento de apoyo para la toma de decisiones y que en combinación con los SIG son adecuados para la optimización del ordenamiento territorial ya que permite la toma de decisiones más acertadas, y de esta manera apoyar la

evaluación y desarrollo de planes alternativos, así mismo es apropiado para la toma de decisiones críticas ya que, los datos utilizados están relacionados específicamente con el área analizada.

Se analizo la información de las diferentes estaciones climatológicas operadas por el IDEAM teniendo en cuenta el mes con mayor precipitación el municipio que para este caso de análisis es octubre, se utilizó la capa de cobertura de tierras (Land cover) del geo portal del IGAC – Colombia en mapas (Mapa de Cobertura de la Tierra. Adaptación Corine Land Cover. República de Colombia. Escala 1:100.000. Periodo 2018.

Para el **análisis multicriterio** se aplicaron diferentes factores para determinar los riesgos de inundación para el municipio como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1 Criterios de análisis para riesgo de inundación

Factor	Porcentaje
Modelo de elevación digital DEM	10%
Pendientes	15%
Cobertura de tierras (Land cover)	10%
Precipitación	35%
Distancia entre drenajes	30%
Total	100%

Fuente: Guía de actividades y rúbrica de evaluación – Fase 4 Modelación agroambiental del territorio – UNAD, Adaptada por: Luis y Ximena, 2024

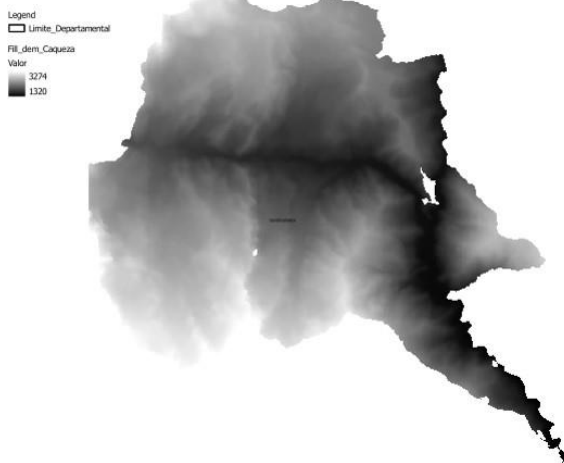
El límite municipal y la capa de drenajes fueron tomados del banco de datos oficial como el IGAC.

Para este estudio se requirió la obtención y utilización de las capas DEM del municipio, Ráster de pendientes, Capa cobertura de tierras

(Land cover), Capa precipitación y capa de distancia entre drenajes.

Para la obtención de la capa de distancia entre drenajes se realizaron tres procesos al Ráster DEM_Caqueza, el primero consiste en rellenar las depresiones del DEM_Caqueza para asegurar que el flujo de agua sea continuo, el cual se realizó mediante la herramienta “Relleno” obteniendo la capa Ráster Fill_DEM_Caqueza.

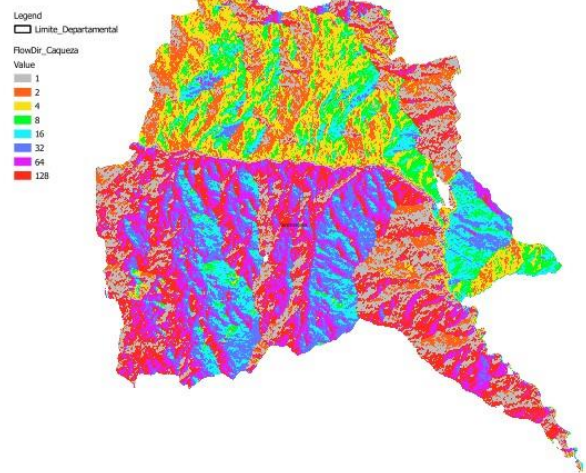
Figura 1 Fill_DEM_Caqueza



Fuente: Autoría propia, 2024

Teniendo en cuenta el resultado anterior podemos Generar el Ráster de flujo de dirección, que permite calcular la dirección de flujo de agua en cada píxel/celda, mediante la herramienta “Dirección del flujo” aplicado a la capa Fill_DEM_Caqueza, obtenemos la capa Ráster FlowDir_Caqueza.

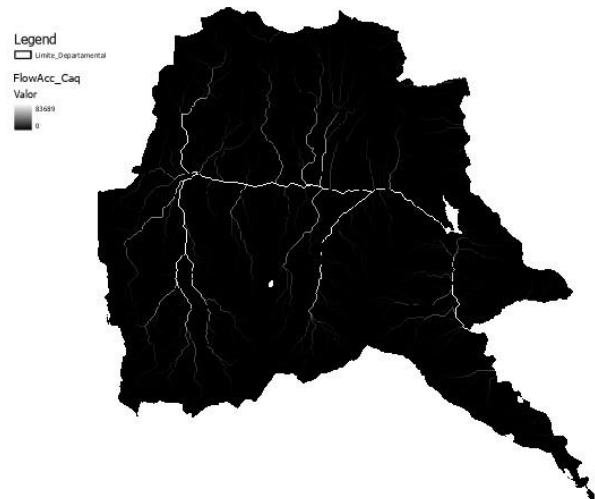
Figura 2 FlowDir_Caqueza



Fuente: Autoría propia, 2024

Una vez obtenemos el Ráster FlowDir_Caqueza, podremos generar el Ráster de acumulación de flujo, mediante la herramienta “Acumulación de flujo” este geoproceto calcula cuántas celdas fluyen hacia cada celda, Obteniendo como resultado el Ráster FlowAcc_Caqueza.

Figura 3 FlowAcc_Caqueza



Fuente: Autoría propia, 2024

Seguido a estos tres procesos podremos generar la capa de Distancia entre canales, para esto se deben identificar los drenajes principales, aquellos ríos y quebradas de importancia en el municipio, verificamos el valor máximo de

acumulación de flujo, y realizamos un cálculo para determinar el 1% del flujo de acumulación, tomamos el valor máximo y lo dividimos en 100, el resultado será redondeado a un número entero. Por ejemplo, si el resultado es 50,35 se redondea a 50. Y realizamos una reclasificación del Ráster de flujo de acumulación en dos clases, mediante la herramienta “Reclasificar”.

Teniendo estos insumos, realizaremos la Modelación riesgo por inundación, reclasificamos los factores de la Tabla 1 para que todas las capas tengan una escala común para poder modelar, empleamos los valores de la siguiente tabla para que las capas Ráster tengan una reclasificación común.

Tabla 2 Estimación de clasificación cualitativa y cuantitativa

Clasificación cualitativa	Valores
Riesgo muy bajo	2
Riesgo bajo	4
Riesgo medio	6
Riesgo alto	8
Riesgo muy alto	10

Fuente: Guía de actividades y rúbrica de evaluación – Fase 4 Modelación agroambiental del territorio – UNAD, Adaptada por: Luis y Ximena, 2024

Mediante la herramienta “Reclasificar” Asignaremos los valores necesarios, realizaremos este geoproceso a cada una de las siguientes capas:

- DEM_Caqueza
- Pendientes
- Precipitaciones
- Cobertura de tierras
- distancia de drenajes

Una vez tenemos reclasificados los factores generamos el Mapa de riesgo de inundaciones a partir de la suma ponderada en función de los pesos de porcentaje dados en la

Tabla 1, La suma ponderada es una técnica comúnmente utilizada para combinar múltiples capas de datos, donde cada capa tiene un peso específico que refleja su importancia relativa. Por último, procedemos a hacer una reclasificación con 5 clases de acuerdo con a la siguiente tabla.

Tabla 3 Reclasificación de riesgo por inundación

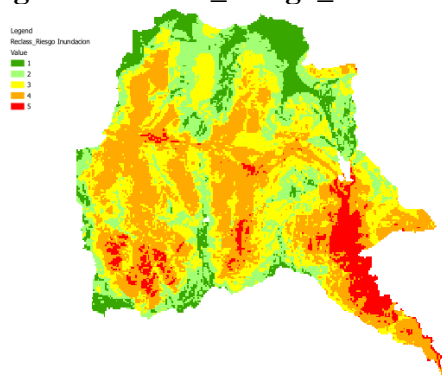
Clasificación cualitativa	Valores	Simbología
Riesgo muy bajo	1	Verde
Riesgo bajo	2	Verde claro
Riesgo medio	3	Amarillo
Riesgo alto	4	Naranja
Riesgo muy alto	5	Rojo

Fuente: Guía de actividades y rúbrica de evaluación – Fase 4 Modelación agroambiental del territorio – UNAD, Adaptada por: Luis y Ximena, 2024

Nota: La tabla muestra la clasificación del riesgo de inundación en cinco niveles y utiliza un código de colores para su identificación.

Finalmente realizaremos una nueva reclasificación al DEM_Riesgo_inundacion_Caqueza, con el fin de tener 5 clases y ajustar la simbología para ajustar a los colores de la Tabla 3, lo que nos dará los insumos necesarios para generar la salida grafica o mapa final y de esta manera realizar los análisis pertinentes para el estudio y toma de decisiones finales.

Figura 4 Reclass_Riesgo_Inundacion



Fuente: Autoría propia, 2024.

Resultados

Para el análisis de los resultados es factible tener claro conceptos asociados a inundaciones, es de aclarar que estas pueden ser fluviales, pluviales, costeras o de otros tipos. Las inundaciones tipo fluviales son inundaciones producidas por el flujo excedente de agua y sedimentos transportados por corrientes (ríos, quebradas), esto ocasiona el desbordamiento de la capacidad de transporte del cauce. En otro sentido, se tiene que las inundaciones fluviales pueden ser lentas y repentinas. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014).

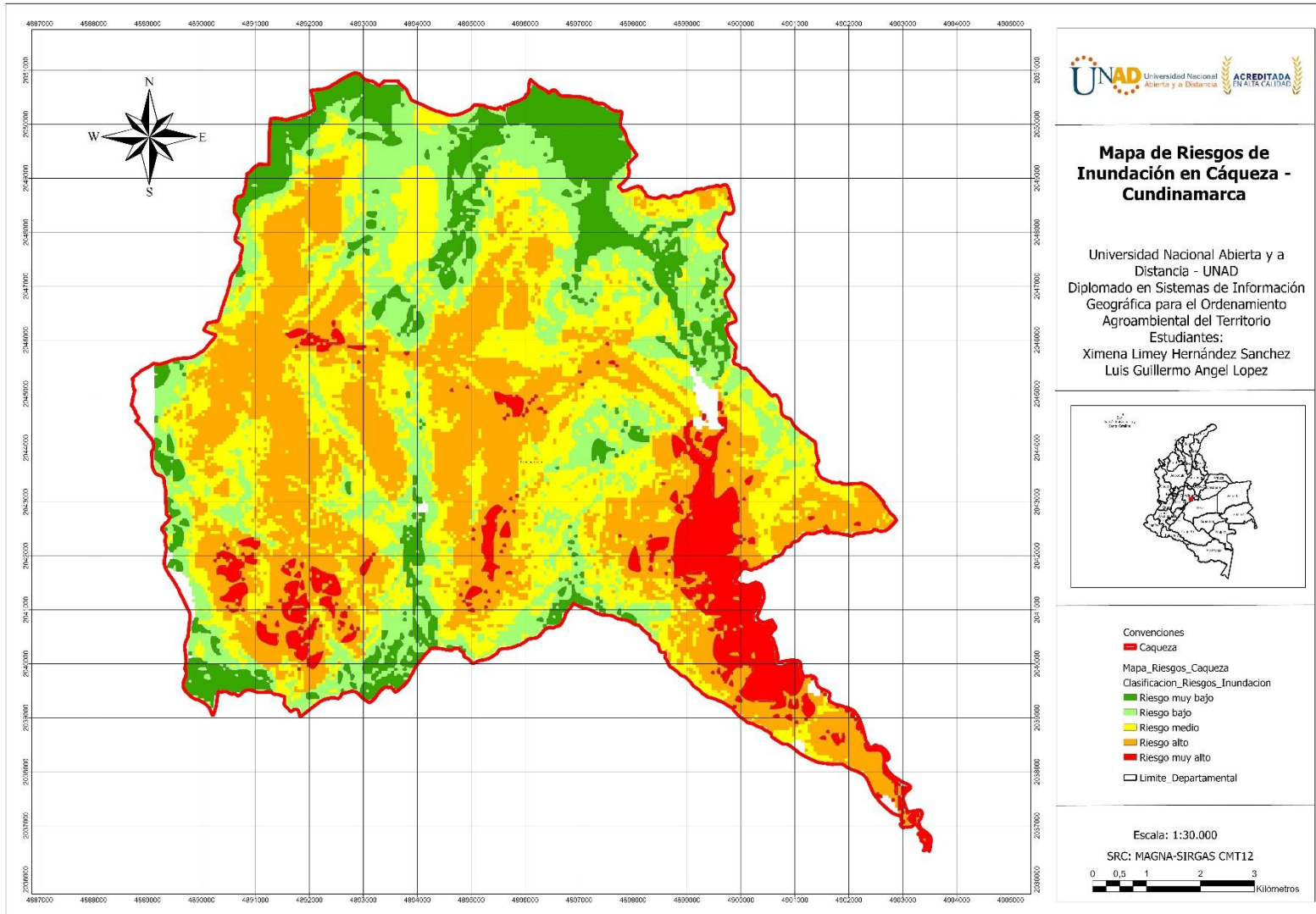
No obstante, las inundaciones fluviales lentas son producidas normalmente por precipitaciones prolongadas, pero también pueden ser producidas por huracanes, ciclones tropicales, deshielo, entre otras causas. Las inundaciones fluviales repentinas son producidas normalmente, por precipitación convectiva, pero también pueden ser producidas por la movilidad de grandes volúmenes de flujos provenientes de glaciares, movimientos en masa, escombros o represas. Finalmente, tenemos que las inundaciones pluviales se producen por: la acumulación de agua precipitada en una determinada superficie (generalmente plana o cóncava) sin que esta provenga del desbordamiento del cauce; también puede ser producida por la incapacidad de los sistemas de alcantarillado o canales de desagüe en eventos de lluvia de gran magnitud o intensidad (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014)

Según los resultados obtenidos, como se muestra en la Figura 5, se logra apreciar que el municipio tiene una mayor proporción de superficie en la categoría de riesgo medio con

un área de 34,16 km², seguido de un riesgo alto con un área de 29,63 km² del total que es 108,7 km², estos niveles de riesgos se pueden asociar a la ubicación del municipio sobre la Cordillera Oriental de Colombia, por donde fluye la cuenca del Río Negro, así mismo, se identifican los ríos Cáqueza, y el Río Palmar, que son vitales para el desarrollo económico de la región, basado en la agricultura, ganadería, pesca y minería, así como el turismo.

Es importante tener presente, que para la elaboración del mapa y los reportes asociados a los procesos de inundación se trabajó con el raster de precipitación del mes de octubre del municipio, ya que en este se presentan mayores niveles de precipitación y son óptimos para desarrollar un buen análisis.

**Figura 5 Mapa de inundación
municipio de Cáqueza Cundinamarca**



Fuente: Autoría propia, 2024

En la Tabla 4 se muestran los valores de área para cada rango de amenaza para el municipio de Cáqueza, en donde el rango de Riesgo Medio es el que predomina con un 31,43% del área total, seguido por el rango de amenaza Riesgo Alto que abarca el 27,26%, el Rango Riesgo Bajo tiene un valor del 20,36%, el rango Riesgo muy Bajo con un valor del 14,47%, y por último el rango Riesgo muy Alto con un valor del 6,49% del área total del municipio.

Tabla 4 Distribución de amenaza por inundaciones

Rangos	Área (km2)	Área (%)
Riesgo muy bajo	15,73	14,47%
Riesgo bajo	22,13	20,36%
Riesgo Medio	34,16	31,43%
Riesgo Alto	29,63	27,26%
Riesgo muy alto	7,05	6,49%
Total	108,7	100%

Fuente: Autoría propia, 2024

Así las cosas, podemos determinar que el municipio se encuentra propenso en un nivel de Riesgo Medio de probabilidad de ocurrencia de una amenaza de inundación, en los meses lluvias más intensas, exactamente en el mes de octubre con una precipitación promedio de 115mm. Donde se pueden ver afectadas las actividades diarias de los pobladores y las diferentes coberturas terrestres asociadas, como por ejemplo las áreas de Protección, el área para producción, zonas urbanas y áreas Prioritarias, por esta razón es de vital importancia actualizar el plan de gestión del riesgo del municipio para poder actuar de manera eficaz ante cualquier

eventualidad de riesgo de inundación que se pueda generar.

Todo esto, partiendo de que la estimación de probabilidad de ocurrencia, se relaciona con la cantidad de veces por unidad de tiempo que el evento amenazante se puede manifestar en el municipio, en las zonas más vulnerables. En la Tabla 5 se puede ver la escala de probabilidad de ocurrencia mencionada anteriormente.

Tabla 5 Escala de probabilidad de ocurrencia de las amenazas

PUNTOS	GRADO	PROBABILIDAD	DESCRIPCIÓN	OCURENCIA CASOS
5	Muy Alta	Frecuente	Posibilidad de ocurrencia alta reiterativamente	Más de 1 evento al mes
4	Alta	Probable	Posibilidad de ocurrencia media, se presenta algunas veces	Hasta 1 evento cada 6 meses
3	Media	Ocasional	Posibilidad de ocurrencia media, se presenta algunas veces	Hasta 1 evento al año
2	Baja	Remoto	Posibilidad de ocurrencia baja, se presenta esporádicamente	Hasta 1 caso cada 5 años
1	Muy Baja	Improbable	Posibilidad de ocurrencia baja, se presenta en forma excepcional	Hasta 1 caso cada 10 años o más

Fuente: Formato ECP-DRI-F-045 Matriz de Valoración de Riesgos – RAM- ECOPETROL, adaptada por Luis y Ximena, 2024

Conclusiones

Es importante realizar este tipo de análisis con la información más actualizada y por medio de la herramienta SIG de manera periódica (anual), teniendo en cuenta los posibles cambios geográficos y/o atmosféricos que puedan presentarse, con el fin de desarrollar planes de la gestión del riesgo para tomar decisiones más asertivas de acuerdo con los resultados obtenidos.

El análisis multicriterio (AMC) se ha convertido en una herramienta fundamental en la evaluación y gestión de inundaciones, teniendo en cuenta la capacidad para lograr integrar diversos factores y perspectivas en un solo proceso de toma de decisiones. Durante el análisis de este estudio, se observó que el AMC

permite no solo evaluar los riesgos de inundación de manera más comprensiva, sino que también facilita la identificación de soluciones optimizadas considerando diferentes aspectos ambientales, así, logra ofrecer un enfoque más amplio y preciso para la gestión de desastres naturales.

Este tipo de análisis se debe realizar con datos de alta calidad, actualizados y una correcta ponderación de los criterios a estudiar, para de esta manera evitar que la información sea herrada y se dé un concepto equivocado. Además, la consulta de información secundaria debe realizarse en fuente oficiales como los geoportales del estado o instituciones especializadas en esto ejemplo el IGAC, al igual que la disponibilidad de tecnologías adecuadas y la implementación de políticas públicas deben ser componentes clave para la efectividad del proceso.

Recomendaciones

Utilizar los sistemas de información geográfica (SIG) para realizar un mapeo preciso e identificar las áreas vulnerables a inundaciones en el municipio de Cáqueza. La integración de datos topográficos, climáticos y de uso del suelo permitirán identificar las zonas con mayor riesgo y contribuirán en la planificación de medidas de prevención, como la reforestación de cuencas y la construcción de infraestructuras de drenaje adecuadas.

Fomentar prácticas de agricultura de conservación en áreas con un alto riesgo de inundaciones, como el uso de cultivos de cobertura, rotación de cultivos y la siembra directa. Con esto se logrará reducir la erosión y mejoran la estructura del suelo, además de

mejorar la infiltración del agua y contribuye a la estabilidad del ecosistema agrícola, evitando la pérdida de tierras cultivables por inundaciones.

Promover el uso de sistemas agroforestales en las áreas agrícolas de Cáqueza, como la silvopastura y el cultivo intercalado de árboles con cultivos agrícolas. Esto ayudara a mejorar la retención de agua en el suelo, reducir la erosión y promover la biodiversidad, lo cual es prioritario para mitigar los efectos de las inundaciones. Así mismo, contribuye a la mejora de la fertilidad del suelo y a la disponibilidad de carbono, lo cual es clave en un contexto de cambio climático.

Implementar una estrategia integral de manejo de cuencas hidrográficas en Cáqueza que considere la restauración de áreas degradadas, la reforestación de áreas ribereñas y la conservación de los recursos hídricos. Esto reducirá el riesgo de inundaciones, mejorará la calidad del agua y aumentará la capacidad del suelo para retención de esta. Las fuentes hídricas deben gestionarse de manera sostenible, teniendo en cuenta tanto los beneficios ambientales, agrícolas y las necesidades ecológicas.

Referencias bibliográficas

Acacias WEB (2021). El río Negro tiene en emergencia a Guayabetal y el piedemonte llanero.

<https://www.acaciasweb.gov.co/nacionales/el-rio-negro-tiene-en-emergencia-a-guayabetal-y-el-piedemonte-llanero/>

Alcaldía de Cáqueza (2024). Información general del municipio de Cáqueza. <https://www.caqueza-cundinamarca.gov.co/municipio/nuestro-municipio>

Geodatos. (2022). Cáqueza, Cundinamarca - Ubicación y datos básicos. <https://www.geodatos.net/ciudades/caqueza>

Geoportal del IGAC - Colombia en mapas. (s.f). Mapa de Cobertura de la Tierra. Adaptación Corine Land Cover. República de Colombia. Escala 1:100.000. Periodo 2018. <https://www.colombiaenmapas.gov.co/?e=-87.16746204101494,-6.104797239469344,-61.32761829102181,15.995902326488112,4686&b=igac&u=0&t=43&servicio=881>

Gobernación de Cundinamarca. (2024). Municipio de Cáqueza - Información territorial y cartografía. <https://mapas.cundinamarca.gov.co>. <https://mapas.cundinamarca.gov.co/apps/623f05f7dc9e49829337b27dc77d0581/explore>

IDEAM. (s.f). Consulta y Descarga de Datos Hidrometeorológicos. <http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>

Meteoblue, (2006-2024) Datos climáticos y meteorológicos históricos simulados para Cáqueza. https://www.meteoblue.com/es/tiempo/history-climate/climatemodelled/c%C3%A1queza_colombia_3687476

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2014). Protocolo para la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenación y

manejo de cuencas hidrográficas. <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/Anexo-26.-Protocolo-para-la-incorporacion-de-la-gestion-del-riesgo-en-los-POMCA.pdf>

Naciones Unidas CEPAL (2021), Desastres y desigualdad en una crisis prolongada. <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/dd010520-af35-4c2d-b8c7-5c4fb869ca6b/content>

Salamanca-González, K. D., Valencia-Ariza, K. L., & Fuentes-Rojas, E. Á. (2019). Desarrollo del sistema de gestión de riesgo de desastres del municipio de Cáqueza, Cundinamarca, basado en una metodología de análisis integral de riesgos. *Iteckne*, 16(1), 7–18.

http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-17982019000100029

Enlace de sustentación:

<https://youtu.be/Glt5esJVWhQ>.