

## **Cálculo del riesgo de inundación y análisis de áreas vulnerables en Pacho, Cundinamarca.**

Flood risk calculation and analysis of vulnerable areas in Pacho, Cundinamarca.

Alejandro Campos Mendoza “Estudiante” [acamposm@unadvirtual.edu.co](mailto:acamposm@unadvirtual.edu.co)

John Anderson Cárdenas Serrato “Estudiante” [jacardenasse@unadvirtual.edu.co](mailto:jacardenasse@unadvirtual.edu.co)

Kevin Nicolas González Rincón “Estudiante” [kngonzalezr@unadvirtual.edu.co](mailto:kngonzalezr@unadvirtual.edu.co)

Yettersson Arley Serrato Velosa “Tutor asesor” [yettersson.serrato@unadvirtual.edu.co](mailto:yettersson.serrato@unadvirtual.edu.co)

### **Resumen**

El objetivo de la presente investigación es calcular el porcentaje de área con riesgo muy alto de inundación durante la principal época de lluvias en Pacho Cundinamarca, con el fin de determinar las Zonas Potencialmente Inundables (ZPI). Se empleó el software ArcGIS Pro, en el cual se realizó un análisis multicriterio que fusionó datos de elevación digital, pendientes, coberturas de tierras, precipitaciones y distancia entre drenajes. Los resultados arrojaron que el 35% del territorio del municipio presenta un riesgo alto de inundación, seguido por un 25% con riesgo medio, 16% con riesgo bajo, 17% con riesgo muy alto y 7% con riesgo muy bajo, las zonas que presentan mayor riesgo se ubican principalmente en la parte media baja del municipio, sobre la cuenca del Río Negro.

**Palabras claves:** inundación, precipitación, sistema de información geográfica, cuenca fluvial, mapa.

### **Abstract**

The objective of this research is to calculate the percentage of areas with very high risk of flooding during the main rainy season in Pacho Cundinamarca, to determine the Potentially Floodable Zones (ZPI). The ArcGIS Pro software was used, in which a multicriteria analysis was performed that merged digital elevation data, slopes, land cover, precipitation and distance between drains. The results showed that 35% of the municipality's territory has a high risk of flooding, followed by 25% with medium risk, 16% with low risk, 17% with very high risk and 7% with very low risk, the areas that present the highest risk are located mainly in the lower middle part of the municipality, on the Río Negro basin.

**Keywords:** flood, precipitation, geographic information system, river basin, map.

## **Introducción**

Esta investigación se centra en el alto riesgo de inundaciones que impacta a las veredas contiguas al Río Negro, del municipio de Pacho, Cundinamarca.

En el pasado, en esta zona se han presentado situaciones de inundación que han generado afectaciones a la infraestructura y la economía local. Dejando pérdidas significativas por afectación en los cultivos de hortalizas sembrados en la intemperie.

Según la Unidad nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD, 2022) “Se presentó una emergencia en el municipio tras el desbordamiento del río Negro y varias quebradas por cuenta de las fuertes lluvias que azotaban esa parte del país, la cual habría inundado varias casas aledañas al afluente”. El diario El Espectador también reportó:

El desbordamiento del Río Negro, en el corregimiento de Pasunchá, y de la quebrada Amarilla, a la altura de la vereda La Esmeralda. Estos hechos fueron vinculados a las fuertes lluvias que se presentaron en el mes de noviembre en la zona (EE, 2021).

Según las bases de datos del Geovisor Colombia en Mapas, Geodata Colombia y el archivo del IDEAM, se establecieron los cálculos de riesgos por inundación con ayuda del programa ArcGIS Pro.

## **Objetivos**

### **General**

Calcular el riesgo de inundación y las áreas vulnerables en Pacho, Cundinamarca, durante la principal época de lluvias, determinando las Zonas Potencialmente Inundables (ZPI) mediante el uso de técnicas de análisis de datos en el software ArcGIS Pro

### **Específicos**

- Diseñar el mapa de riesgo por inundación del municipio de Pacho Cundinamarca
- Determinar las veredas donde se ubican las Zonas Potencialmente Inundables (ZPI), mediante análisis visual del mapa de riesgo
- Establecer posibles alternativas de solución para minimizar el riesgo por inundación.

### **Identificación del caso de estudio**

Colombia es un país que por su ubicación geográfica y su topografía quebrada presenta una gran diversidad climática. Esto genera que haya zonas en donde las precipitaciones sean más frecuentes y abundantes, y otras donde las precipitaciones son muy escasas. Esta variabilidad se refleja en la estacionalidad climática del país enmarcada en ciclos bimodales, monomodales o intraestacionales. El conocimiento de dicha estacionalidad climática permite estimar, por un lado, las

temporadas de más y menos lluvias en el país, y por otro, la frecuencia y los patrones de fenómenos climáticos como El Niño y La Niña. Sin embargo, por efectos del cambio climático, los patrones y la intensidad de estos fenómenos pueden verse alterados, lo que puede generar situaciones de alto riesgo para la población civil (UNGRD, 2020).

En Colombia, el IDEAM ha identificado un área de 19.693.500 ha, con predisposición a inundaciones, lo que representa cerca de un 17% del área continental del país (IDIGER, 2024). Asimismo, alrededor de un 31% de esa área total con potencial inundable corresponde a la Orinoquía (UNGRD, 2020). En el caso de Cundinamarca, las Zonas Potencialmente Inundables (ZPI) se ubican en las provincias del Alto, Medio y Bajo Magdalena, sumando entre las tres provincias un área de 1.127.100 ha con potencial inundable (UNGRD, 2020).

El municipio de Pacho, Cundinamarca, se ubica en la Provincia del Rionegro, a 5°07'50" N y 74°09'30" O, a una altura de 1905 msnm. Se caracteriza por su topografía quebrada, dado que la Cordillera Oriental atraviesa su territorio, formando bifurcaciones conocidas como cordilleras del Guayacán, La Piñuela, Las Delicias, El Tábano, El Mosco, Loma Larga, Guacamayas, San Jerónimo y Santuario. Esto genera que el municipio se divida en cuatro pisos térmicos, páramo, frío, templado y cálido.

Políticamente, se divide en 72 veredas, las cuales suman un área total de 40.068 ha, de las cuales 39.698 son rurales y 370 urbanas. Para el año 2020 su densidad poblacional fue de 25.803 habitantes (Plan de desarrollo municipal pacho somos todos, 2020).

En cuanto a las variables climáticas del municipio, de acuerdo con la Figura 1, se determinó que la temperatura media anual es de 18,02 °C, la precipitación anual promedio es de 1692,63 mm, la humedad relativa promedio es de 80,02% y el brillo solar mensual promedio de 130,34 horas luz. Por consiguiente, de acuerdo con la información climática adaptada en la Figura 1 de estaciones meteorológicas (Tabla 1) del SICLICA (Sistema de Información Climatológica e Hidrológica) de la CAR (2020), se determinó que, en 13 años, el mes con mayor precipitación promedio fue noviembre, lo cual se ve reflejado en las otras variables como las bajas temperaturas, la alta humedad relativa y el bajo brillo solar en dicho mes.

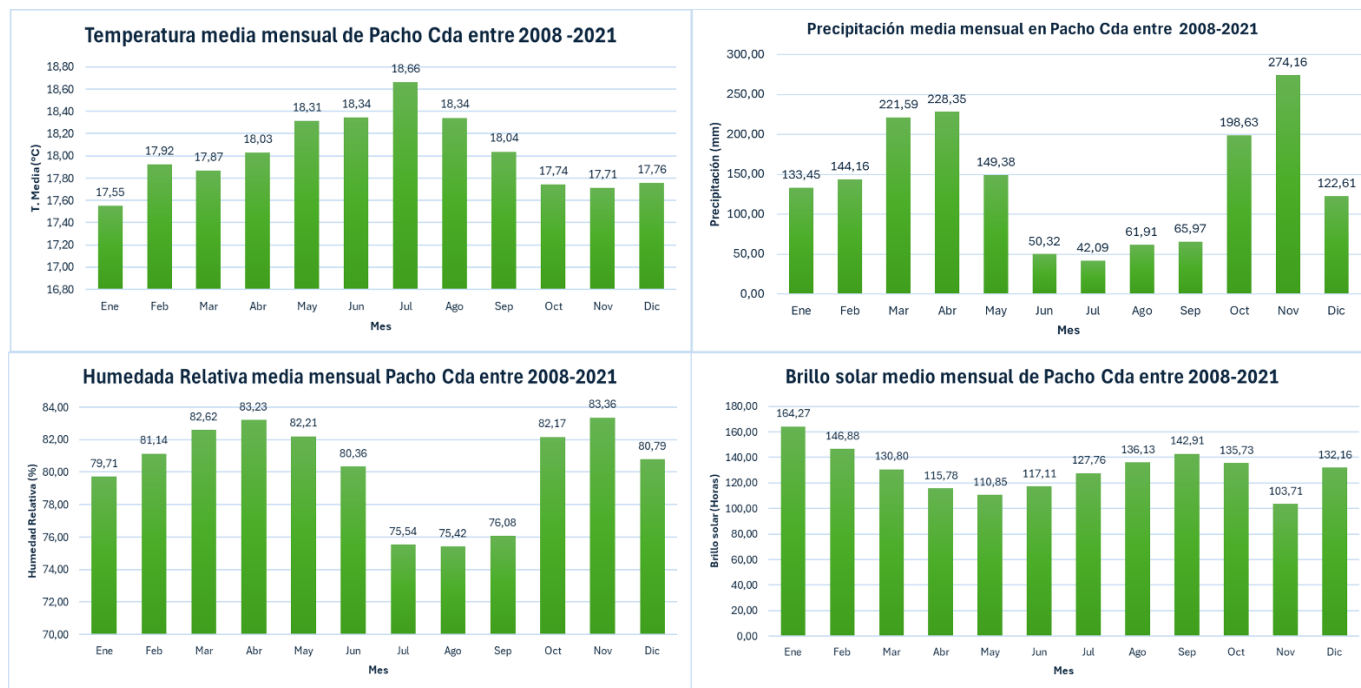
**Tabla 1.** *Estaciones meteorológicas consultadas*

Código	Nombre	Ubicación	
2306507	ESC	5° 9' 31,2" N	74° 7' 43,7" W
	VOCACIONAL PACHO		
2306308	NEGRETE	5° 5' 48,2" N	74° 9' 14,5" W

Nota. Elaboración propia adaptando datos de (CAR, 2020).

**Figura 1.**

*Variables climáticas de Pacho Cundinamarca entre 2008-2021*



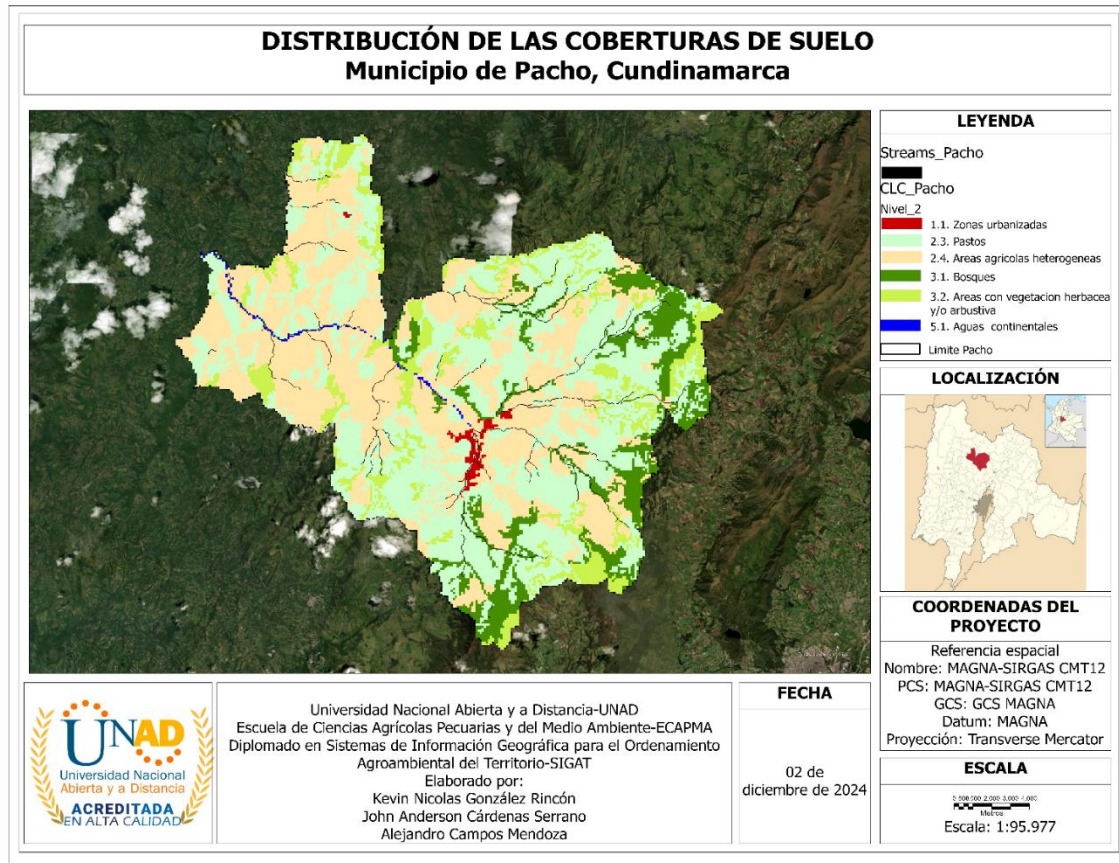
Fuente. Elaboración propia adaptando datos de (CAR, 2020).

La economía del municipio se basa principalmente de la agricultura, destacando cultivos como el café, la naranja (por la cual el municipio es conocido como la capital nacional de la naranja), el plátano, el aguacate, las pasifloras, la caña panelera, la mora, las hortalizas y otros cultivos transitorios, que son el sustento de las familias que habitan en el municipio (Plan de desarrollo municipal pacho somos todos, 2020).

Asimismo, del área total del municipio, según se observa en la Figura 2 y 3, las áreas agrícolas heterogéneas representan la segunda mayor cobertura de suelo en el municipio de Pacho, con 15426,21 ha, que equivalen al 38,36% del total del territorio, luego de los pastos, esto resalta la importancia del sector agrícola en este municipio.

**Figura 2.**

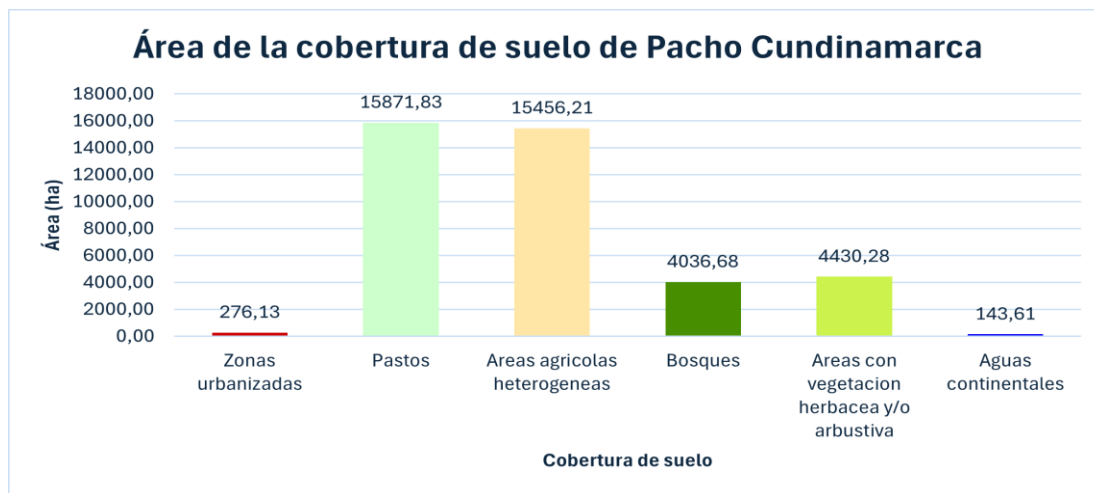
*Distribución de las coberturas de suelo en el municipio de Pacho Cundinamarca*



Fuente. Elaboración propia, 2024.

**Figura 3.**

*Área de las coberturas de suelo de Pacho Cundinamarca*



Fuente. Elaboración propia, 2024.

Por otro lado, el Rio Negro representa la principal cuenca hidrográfica del municipio, alimentado por 6 subcuencas distribuidas por el territorio, para luego desembocar en el Rio Magdalena. Debido a la dinámica fluvial de la cuenca, esta constituye una amenaza sobre la principal vía de comunicación de la parte media-baja del municipio y de los municipios aledaños con la capital del país, debido a que la infraestructura vial se ubica en la ribera del

### Metodología

Este estudio tuvo como objetivo evaluar el riesgo por inundación en el municipio de Pacho Cundinamarca, utilizando una metodología de análisis multicriterio que integra un enfoque base en la toma de decisiones, con técnicas de Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Al utilizar SIG se generan diferentes mapas de acuerdo con cada indicador, para logro de este se implementó una metodología con diferentes pasos, como se muestra en la Figura 4.

El paso inicial (1) implicó realizar una revisión de literatura y de las plataformas del IGAC, Colombia en Mapas, USGS y el IDEAM, como fuente para identificar y extraer la información necesaria para realizar la evaluación.

Luego en el paso 2 se emplearon los indicadores obtenidos para construir las respectivas capas y

curso de agua (Alcaldía Municipal de Pacho, 2000).

Teniendo en cuenta todo lo anterior, con el desarrollo de este trabajo se pretende calcular cual es el porcentaje de área con riesgo muy alto de inundación durante la principal época de lluvias en Pacho Cundinamarca, junto con las veredas donde se ubican dichas Zonas Potencialmente Inundables

matrices, teniendo en cuenta los criterios de la tabla 2, posteriormente utilizadas en el paso 3.





**Tabla 2.** *Criterios de análisis para riesgo de inundación*


Factor	Porcentaje
Modelo de elevación digital (DEM)	10%
Pendientes	15%
Coberturas de tierras	10%
Precipitación	35%
Distancia entre drenajes	30%
<b>Total</b>	<b>100%</b>

Fuente. Adaptada de Guía de actividades y rubrica de evaluación, fase 4 (UNAD, 2024).

En el paso 3 se hizo una reclasificación para estimar los pesos de interacción de una forma homogénea, aplicando los niveles presentados en la tabla 3.

**Tabla 3.** Reclasificación de riesgo por inundación

Clasificación cualitativa	Valores	Simbología
Riesgo muy bajo	1	
Riesgo bajo	2	
Riesgo medio	3	
Riesgo alto	4	

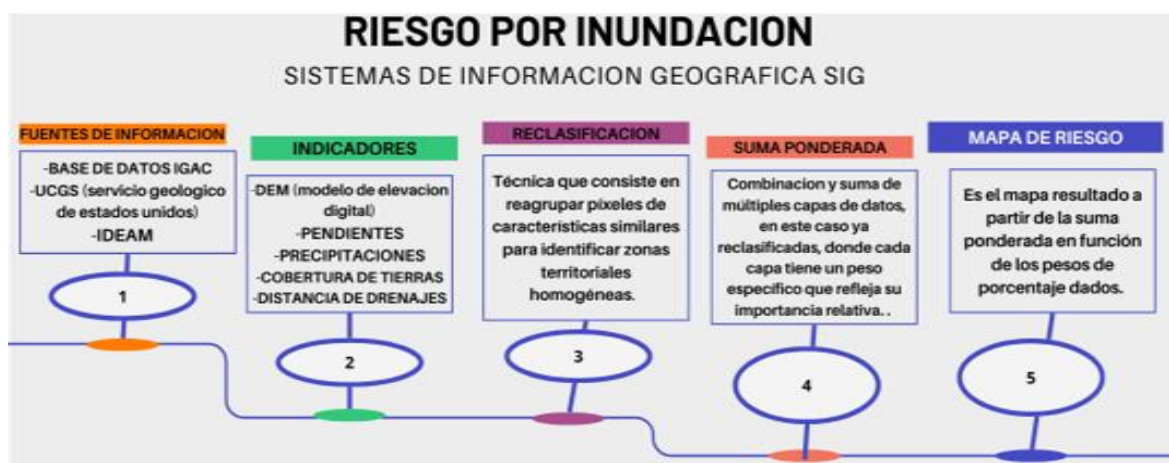
Riesgo muy alto	5	
-----------------	---	---

Fuente. Adaptada de Guía de actividades y rubrica de evaluación, fase 4 (UNAD, 2024).

Como paso final se procedió a realizar el diseño de mapa de riesgo por inundación para el municipio de Pacho Cundinamarca (Figura 8), culminando así el procesamiento de los datos.

**Figura 4.**

Modelo analisis multicriterio utilizado



Fuente. Elaboración propia, 2024

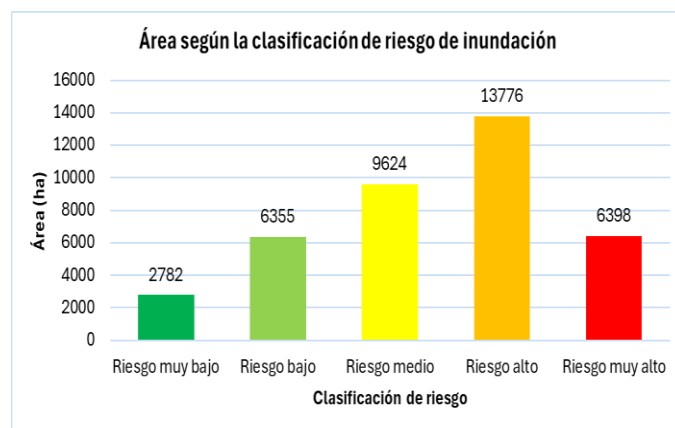
**Resultados**

**Mapa de riesgo**

De acuerdo con la figura 8 en donde se ilustra el riesgo por inundación de Pacho Cundinamarca y con la figura 5, en donde se gráfica la cantidad de área por cada clasificación de riesgo, se puede apreciar que la mayoría de del municipio presenta un riesgo alto de inundación, cubriendo 13.776 ha. Le sigue un riesgo medio, con 9.398 ha, un riesgo bajo, con 6.355 ha, un riesgo muy alto, con 6.398 ha, y por ultimo, un riesgo muy bajo, con 2.782 ha.

**Figura 5**

Área según la clasificación de riesgo

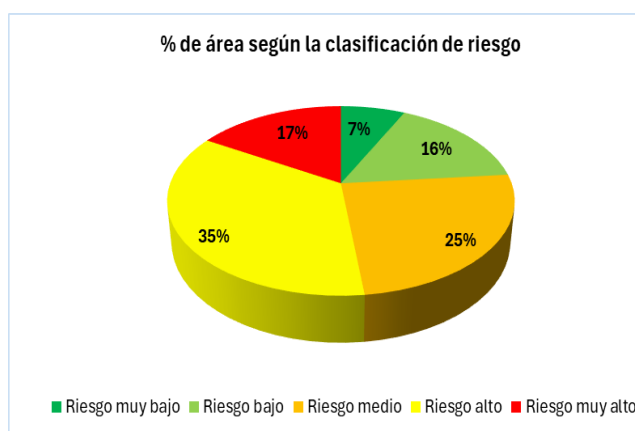


Nota. Elaboración propia, 2024.

Asimismo, con base en la figura 6 se puede estimar que el riesgo alto de inundación cubre el 35% del territorio del municipio, el riesgo medio un 25%, el riesgo bajo un 16%, el riesgo muy alto un 17%, y finalmente, el riesgo muy bajo un 7%

### Figura 6

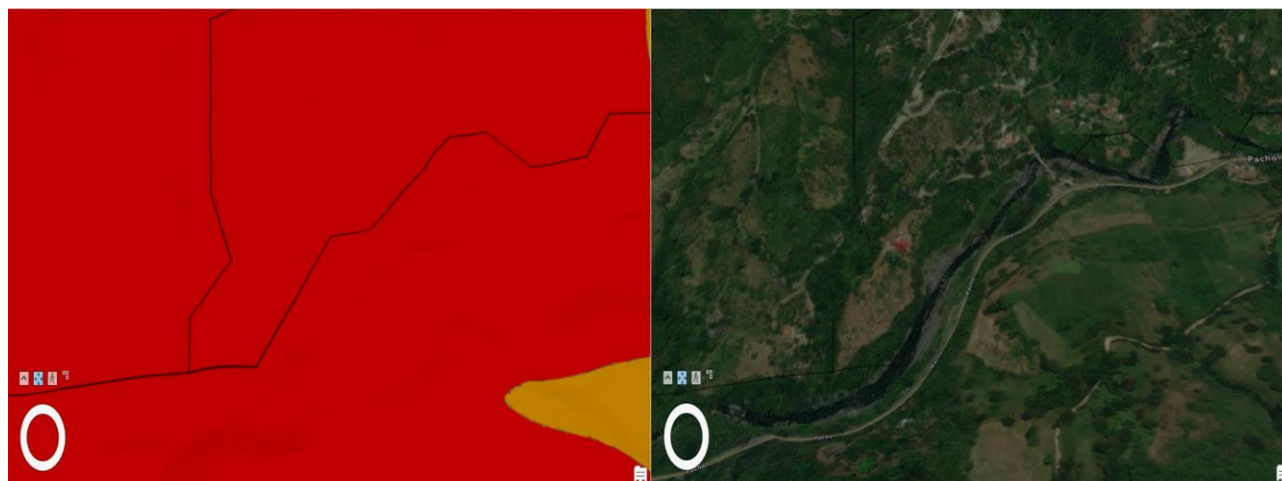
*Porcentaje de área que abarca cada clasificación de riesgo*



Nota. Elaboración propia, 2024.

### Figura 7

*Barrido en ArcGIS de la vista 3D de una zona con riesgo muy alto de inundación (ZPI)*



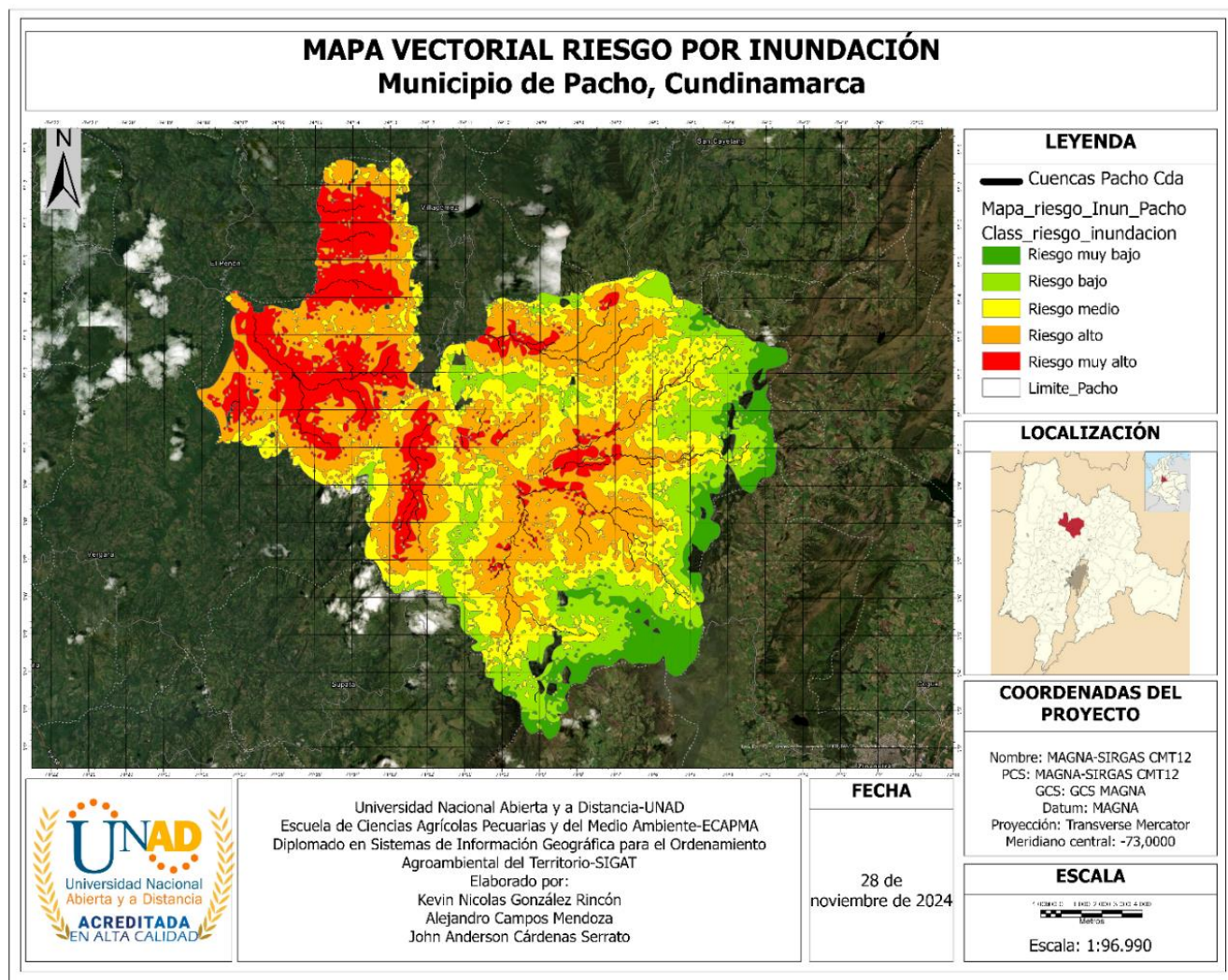
Fuente. Elaboración propia, 2024.

Por otro lado, en la figura 8 se observa que las zonas con un riesgo muy alto de inundación se ubican principalmente en la parte media baja del municipio, sobre la cuenca del Rio Negro, en donde esta comienza a ganar fuerza dado su nacimiento en la parte alta del municipio, en el páramo de Guerrero.

De igual forma, en la capa definitiva una vez efectuados todos los geoprocesamientos correspondientes se realizó un barrido, como se observa en la figura 7, determinando que en las zonas con riesgo muy alto de inundación se ubica la troncal del Rionegro, principal vía de comunicación de Pacho con los municipios aledaños. Mosaicos de cultivos como el café y los cítricos. Y viviendas familiares, como las ubicadas en la vereda Pan de Azucar.

**Figura 8**

*Modelo de riesgo por inundación en el municipio de Pacho Cundinamarca*



Nota. Elaboración propia, 2024.

### ***Veredas con Zonas Potencialmente Inundables (ZPI)***

Luego de observar la figura 9 y con base en la Tabla No 2 del Plan Básico de Ordenamiento Territorial para el municipio de Pacho, expuesto por Alcaldía Municipal de Pacho (2000), y tomando como Zonas Potencialmente Inundables (ZPI) aquellas zonas cuyo territorio

se vea cubierto en un 50% por un riesgo de inundación muy alto, se determinó que las veredas que constituyen las ZPI del municipio de Pacho Cundinamarca son: San Jerónimo, Aguachentales, Venadillo, Pasuncha, El Palmar, Alto Yasal, Bajo Yasal, La Mona, Serrezuela, San José y Pan de Azúcar, amenazadas por la subcuenca de la Quebraba

Honda. La cuesta, La Bruja, La Hoya y Guayacán, amenazadas por el Rio Veraguas. Sabanillas, Santa Inés, El Carbón, Marco Tunja, Timona, Mortiño Occidental, Capitán, Balconcitos, La Moya, El Gavilán y La Máquina, amenazadas por el Rio Amarillo. Pajonales, amenazada por el Rio Patasia. Y finalmente, Llano de la Hacienda, amenazada por el Rio el Batan.

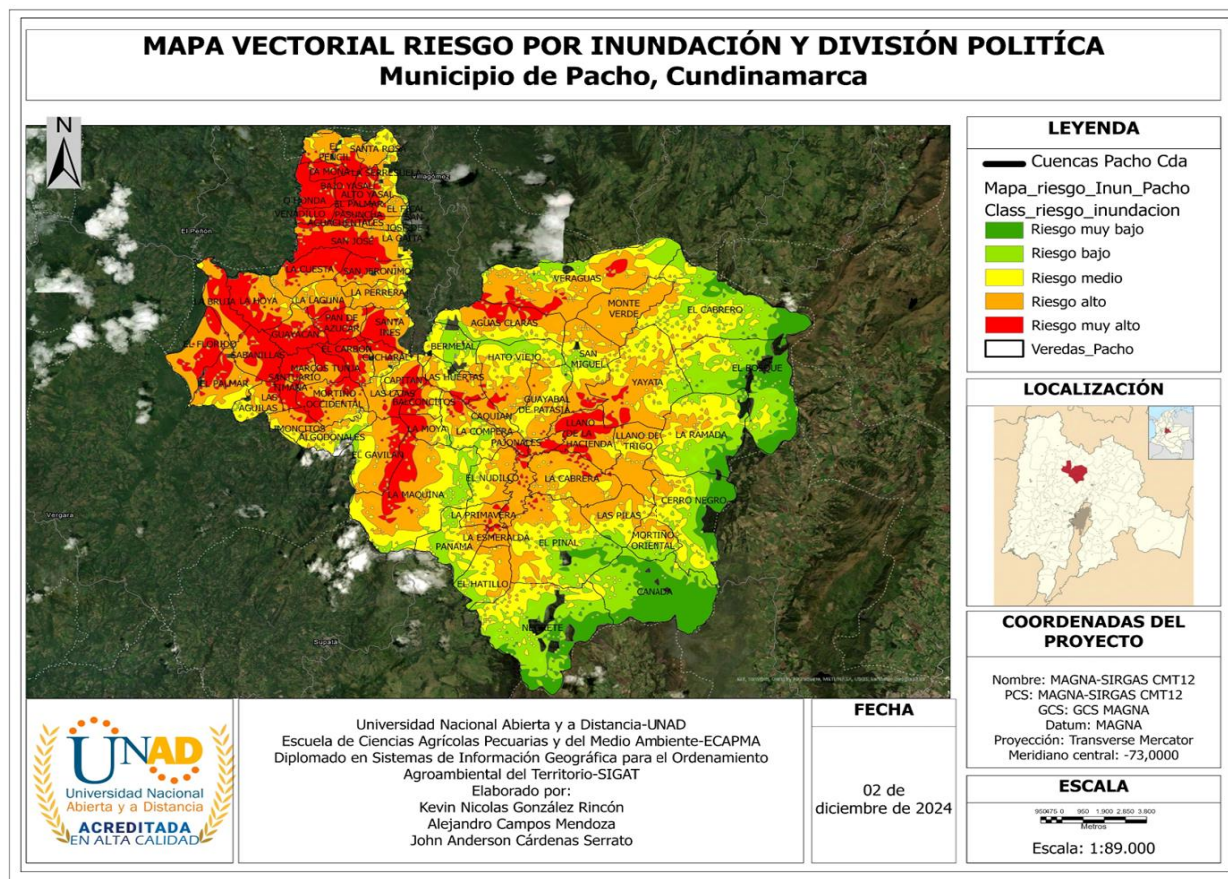
Lo anterior permite inferir que las subcuencas Rio Amarillo y Quebrada Honda representan

las principales amenazas de un riesgo de inundación muy alto, al contener el mayor número de veredas con ZPI del municipio.

Asimismo, cabe mencionar, de acuerdo con la figura 7, que las ZPI se ubican principalmente en los valles interandinos de las bifurcaciones de la cordillera que pasa por el municipio, por lo tanto, las pendientes juegan un papel esencial en el flujo y divorcio de las aguas, influyendo en el caudal de los drenajes cuando las precipitaciones son altas.

### Figura 9

*División política y riesgo de inundación en Pacho Cundinamarca*



Nota. En el mapa se puede observar, de acuerdo con la rosa de los vientos, que las veredas amenazadas por la subcuenca de la Quebrada Honda se ubican entre el Noroeste (NO) y el

Nornoroeste (NNO). Las veredas amenazadas por el Rio Veraguas se ubican hacia el Oesnoroeste (ONO). Las veredas amenazadas por el Rio Amarillo se ubican entre el Oesnoroeste (ONO) y el Suroeste (SO). Las veredas amenazadas por el Rio Patasia se ubican hacia el Sureste (SE). Y finalmente, las veredas amenazas por el Rio Batan se ubican hacia el Este (E). Fuente. Elaboración propia, 2024.

### ***Alternativas de solución para minimizar el riesgo por inundación***

Teniendo en cuenta la investigación realizada por la facultad del medio ambiente y recursos naturales de la Universidad Francisco José de Caldas, en su propuesta sobre las cuencas hídricas del Rio Batan, fue de gran ayuda para este articulo tener muy presente este estudio realizado ya que este diseño se puede aplicar en otras fuentes que surten de agua el Rio Negro, Gualdrón y Murillo indican que:

La determinación de ancho ideal de la faja con lo cual el agua de esorrentía no llegue directamente al cauce, sino que se infiltre antes de su llegada. Además, incluye el diseño silvicultural en donde se establecen las especies idóneas para plantar, la distribución espacial de cada una de ellas, así como las especificaciones de los procesos de siembra y mantenimiento (2019, p. 6).

### **Conclusiones**

Gracias al geoprocasamiento de datos en ArcGIS Pro se logró calcular el porcentaje de área con riesgo muy alto de inundación en

Es de gran importancia establecer un plan de capacitación para lograr una concientización ambiental y para el desarrollo rural; donde se integre “múltiples características como: culturales, sociales, políticas, institucionales, económicas, físicas y ambientales; las cuales tienen que ser estudiadas y analizadas de manera integral, con un enfoque global y con la participación de los actores locales” (Duque *et al*, 2009); con el objetivo de ir cambiando, la estructura del suelo y lograr conservar las especies nativas como roble, cedros, balsos, nacederos y vainillos; ya que estas permiten regular los ciclos del agua, protegiendo suelos y mitigar el impacto pro residuos agrícolas “eutrofización”, esto se puede con ayuda de la comunidad que rodea las cuencas hídricas del rio.

Pacho, Cundinamarca, los resultados mostraron que el 17% del territorio del municipio esta expuesto a un riesgo muy alto de inundación, esto influenciado por el relieve irregular de la

zona. Lo que a su vez permitió identificar de forma precisa las Zonas Potencialmente Inundables (ZPI).

Asimismo, se diseñó el mapa de riesgo por inundación, en el cual se observa claramente las distintas zonas de riesgo que posee el municipio. Este diseño de mapa puede constituir un insumo elemental para las autoridades locales en cuanto a la planificación y gestión del riesgo, facilitando la toma de decisiones estratégicas a la hora de mitigar los efectos de las inundaciones.

Del mismo modo, por medio del análisis visual del mapa de riesgo y la división política, se pueden identificar las veredas con riesgo muy alto de inundación. San Jerónimo, Aguachentales, Venadillo, Pasuncha, El Palmar, Alto Yasal, Bajo Yasal, La Mona, Serrezuela, San José y Pan de Azúcar, La cuesta, La Bruja, La Hoya, Guayacán, Sabanillas, Santa Inés, El Carbón, Marco Tunja, Timona, Mortiño Occidental, Capitán, Balconcitos, La Moya, El Gavilán, La Máquina, Pajonales y Llano de la Hacienda, fueron catalogadas como Zonas Potencialmente Inundables (ZPI), lo que resalta la importancia de implementar medidas preventivas específicas para estas áreas.

Finalmente, se propusieron distintas alternativas de solución para reducir el riesgo de inundación, abarcando el levantamiento de

defensas ribereñas, la implementación de sistemas de alerta temprana y la reforestación utilizando especies nativas en los afluentes. La implementación de estas medidas con base en el análisis de las zonas más vulnerables, son fundamentales tanto para reducir el impacto de las inundaciones a nivel de infraestructura vial, agrícola y económico como para proteger a las comunidades de los alrededores.

### **Recomendaciones**

Establecer planes de acción integrados, basado con la información del mapa de riesgo generado con la herramienta de trabajo ArcGIS Pro, donde se evidencia las veredas con alto riesgo por inundación en el municipio de Pacho, Cundinamarca, en las épocas donde se genera mayor precipitación del Año.

Realizar un plan de siembra de las especies, nativas que puedan rodear la cuenca hídrica del río Negro, desde la plantación, desarrollo fisiológico de la plántula y trasplante de las especies, garantizado un manejo adecuado edafológico del suelo y un programa de fertilización.

Establecer planes de capacitación y concientización a la población involucrada en la conservación de la cuenca hídrica donde se traten temas como la importancia de la conservación de las cuencas hídricas, un manejo adecuado de los residuos, manejo y conservación del suelo, importancia de siembra

de especies nativas para evitar las inundaciones y que hacer en caso de emergencia.

### Referencias bibliográficas

Alcaldía Municipal de Pacho. (2000). Plan Básico de Ordenamiento Territorial para el municipio de Pacho. Repositorio Institucional CDIM.

<https://repositoriocdim.esap.edu.co/bitstream/handle/20.500.14471/14434/14509-1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

CAR. (2020). Histórico de series hidrometeorológicas. Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR. <https://www.car.gov.co/vercontenido/2524>

Duque, A., Fiquitiva, A., Mora, A. y Sanchez, G. (2009). Propuesta de acción comunitaria para la conservación hídrica en la subcuenca el río rute la piñuela vereda Canadá, municipio de pacho, Cundinamarca [Trabajo de Investigación Universidad de Ciencias Aplicadas]. Repositorio UDCA; <https://repository.udca.edu.co/server/api/core/bitstreams/b7385648-cc85-4a4d-b804-31288d14420f/content>

El Espectador. (2021). Emergencia por desbordamiento del río negro en Cundinamarca. *El Espectador*. <https://www.elespectador.com/colombia/emergencia-por-desbordamiento-del-rio-negro-en-cundinamarca/>

Gualdrón, R. y Murillo, D. (2019). Propuesta de diseño de faja forestal hidro reguladora para la microcuenca del Río Batán, en el municipio de Pacho, Cundinamarca [Trabajo de grado Universidad Distrital francisco José de Caldas]. Repositorio Institucional UDFJC. <https://repository.udistrital.edu.co/items/5a50d752-08a6-43bd-a95f-0a5b47946703>

IDIGER. (2024). Caracterización General del Escenario de Riesgo por Inundación. Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático.

<https://www.idiger.gov.co/rinundacion>

Plan de desarrollo municipal pacho somos todos. (2020). Alcaldía del Municipio de Pacho Cundinamarca.

<https://www.pachocundinamarca.gov.co/noticias/plan-de-desarrollo-municipal-pacho-somos-todos>

UNAD. (2024). Guía de actividades y rúbrica de evaluación-Fase 4 Modelación agroambiental del territorio. Diplomado en sistemas de información geográfica para el ordenamiento agroambiental del territorio.

UNGRD. (2020). ¿Cuál es el riesgo por inundaciones en Colombia? Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres. <https://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Paginas/Noticias/2020/Cual-es-el-riesgo-por-inundaciones-en-Colombia.aspx>

UNGRD. (2022) Desbordamiento *del Rio Negro en pacho Cundinamarca*. Unidad nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres

<https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/browse?type=subject&value=Desbordamiento%2>

[0del%20r%C3%ADo%20Negro--Pacho%20\(Cundinamarca\)](#)

**Enlace de sustentación:**

<https://youtu.be/ookkIweqzq4>