

Análisis del riesgo de inundación mediante Sistemas de Información Geográfica en el municipio de Anolaima Departamento de Cundinamarca

Pedro Alexander Correa Fajardo- pacorreaf@unadvirtual.edu.co

Michael Stiven Rodríguez Cespedes – msrodriguez@unadvirtual.edu.co

Luis Arnoldo Martin Rodríguez - lamartin@unadvirtual.edu.co

Director del Proyecto -Luis Alejandro Ospina Sánchez- luisa.ospina@unad.edu.co

Resumen

Los sistemas de información geográfica (SIG) son una herramienta fundamental para la prevención de desastres naturales, ya que permiten evaluar las condiciones geográficas, ambientales, sociales, culturales, económicas, demográficas entre otras, en el presente documento se desarrolló un mapa de riesgo de inundación para el municipio de Anolaima Cundinamarca el cual fue realizado con el software de SIG ARCGIS empleando el método de Análisis Multicriterio donde se logró identificar las zonas que representan un alto, medio y bajo riesgo de inundación. Adicionalmente se identifica de manera cuantitativa en términos de hectáreas (ha) y porcentaje (%) de cada uno de estos respectivamente. Lo que permite prever las zonas de mayor vulnerabilidad con el fin de mitigar los riesgos asociados a este fenómeno y proponer acciones preventivas.

Palabras claves: Riesgo, prevención, inundación.

Introducción

El municipio de Anolaima se encuentra ubicado en el departamento de Cundinamarca, a 46 km de Bogotá. Cuenta con una población de 13312 habitantes en una superficie de 122 km², en su cabecera municipal presenta una altura de 1593 MSNM y coordenadas geográficas Latitud 4.76333, longitud - 74.4647. limita con los municipios de Guayabal de Siquima, Facatativá, Quipile y Cachipay. (Municipios de Colombia, n.d.).

El municipio ha tenido que enfrentar alertas por riesgos de inundaciones como las presentadas

el pasado 12 de enero de 2023 ocasionadas por la ola invernal que afectó varios municipios de Cundinamarca, para este periodo normalmente se presentan días soleados, no obstante, el cambio climático ha generado fuertes lluvias, deslizamientos, crecientes súbitas, granizadas e inundaciones. colocando en alerta roja a las Unidades de Gestión del Riesgo. El IDEAM, La CAR y los organismos de atención y socorro, (Gobernación de Cundinamarca, 2023).

La variabilidad climática en el país está muy marcada por la dinámica de los océanos pacífico y Atlántico y a su vez por la cuenca de los ríos Amazonas y Orinoco lo que resulta ser

una compleja respuesta a los fenómenos hidrológicos, en la región andina se presenta una tendencia bimodal. mientras que en la región caribe es unimodal. Los efectos del fenómeno del niño y la niña causan afectaciones considerables en términos porcentuales, siendo el fenómeno de la niña el principal responsable del aumento de los caudales en la zona andina presentando un incremento entre el 60 y 70 %. (García et al., junio 2012,).

El desarrollo de un mapa de riesgo de inundación para el municipio de Anolaima pretende ser una herramienta para la prevención de este fenómeno, identificando las zonas de mayor vulnerabilidad aportando para la toma de decisiones y acciones preventivas con el fin de mitigar las posibles afectaciones al territorio.

Objetivos

General

Generar un mapa de riesgo de inundación desarrollando geoprocesos utilizando la metodología de análisis multicriterio para el municipio de Anolaima Cundinamarca

Específicos.

Identificar de forma cualitativa las zonas que presentan riesgos de inundación.

Delimitar las áreas que presentan riesgos de inundación y su porcentaje (%) de ocupación de acuerdo a su clasificación Alto, medio y bajo.

Aplicar los sistemas de información geográfica incentivando la discusión académica en cuanto a las medidas de mitigación, las alertas tempranas y monitoreo.

Identificación del caso de estudio

El municipio de Anolaima se encuentra al occidente del departamento de Cundinamarca en Colombia, ubicado en el piedemonte de uno de los brazos de la cordillera oriental, en la parte Norte limita con el municipios de Facatativá donde se alcanzan alturas de hasta los 3000 MSNM y se encuentran bosques húmedos altoandinos, un poco más al occidente limita con los municipios de Albán y guayabal de Síquima, Bituima y Quipile donde se encuentra la cordillera de Cabrera la cual oscila entre los 1200 y 1550 MSNM, y el alto de goteras a 2800 MSNM hacia la parte oriental encontramos el municipio de Zipacón que presenta una altura promedio entre los 2700 y 2900 MSNM y hacia el sur con el municipio de Cachipay que presenta una altura entre los 1300 a 1500 MSNM, ubicado a 1 hora y 30 minutos de Bogotá, temperatura promedio de 20°C, Humedad relativa 80%, suelos arcillosos.

Anolaima, es conocido también como la capital frutícola de Colombia gracias a la gran variedad de frutos que de este municipio se logran obtener, ya que cuenta con tres pisos térmicos, suelos fértiles, y abundante agua proporcionada por la cuenca de dos ríos principalmente: La Cuenca del río Bahamón ubicado al oriente en el cerro de Peñas Negras de gran importancia ya que de allí se abastecen los acueductos de la cabecera municipal y parte urbana de la inspección de la Florida, entre otras.

La cuenca del río curí también ubicada en el oriente del municipio en el cerro de Peñas Blancas, el cual abarca gran parte del municipio por lo que tiene una gran importancia económica ya que de este se alimenta varios acueductos Inter veredales y a la vez es una de las principales fuentes de agua para los cultivos frutales, de pan coger y del café.

Adicionalmente el municipio cuenta con cerca de treinta quebradas donde sobresalen la quebrada del Agualauta, la Miquita, Canta Gallo, Caloncho, Doña Juana, El Amarillo, El Resguardo, La Pesquera, El Loro, Chinata, La Mugrosa, Santo Domingo entre otras, al igual de gran importancia ya que de estas se alimentan los acueductos veredales y regionales y a su vez son de gran importancia para la producción agrícola y pecuarias.

Durante el año el municipio presenta variaciones extremas muy ligadas a un sistema bimodal es decir presenta un periodo seco y un periodo de lluvias siendo este último el más prolongado. Abril es el mes con mayor cantidad de precipitaciones en el año registradas históricamente, por ende, el mes con mayor riesgo de inundaciones. (WeatherSpark, n.d.). Estas condiciones y características mencionadas representan un riesgo inminente de inundación por lo cual se desarrolla el presente mapa de riesgo.

Metodología

La metodología fue implementada a partir de actividades en la preparación de datos vectoriales y ráster, de foto interpretación, analizando sus criterios, Corine Land cover y la gama de colores RGB, para detallar las características espaciales donde se integran diferentes coberturas de suelos, como rastrojos, pastos limpios, bosques naturales, zonas urbanas entre otras, en el software ArcGIS pro.

El sistema debe estar configurado con coordenadas MAGNA-SIRGAS CMT12 que corresponden a Colombia origen nacional, a partir de ahí se creó la edición de puntos líneas y polígonos con su respectiva tabla de atributos dándole un nombre a cada elemento, una simbología y su respectiva gama de colores.

Continuando con el geoprocesamiento fue indispensable la edición del formato ráster Modelo de elevación digital DEM, de cada municipio, a partir de la página web del geoportal USGS (Servicio Geológico de Estados Unidos) que permiten descargar el archivo ráster tipo (TIFF)

En el cargue de capas se utilizaron los shapefiles de municipios descomprimidos para el cargue de la capa ráster DEM para posteriormente hacer el recorte y se extrae por máscara el municipio seleccionado, en este se crearon las pendientes a través de la caja de herramientas, superficie, pendiente (sople) configurando los parámetros, ráster de entrada DEM del municipio, y un ráster de salida, denominado pendientes en grados.

Para el análisis de operaciones espaciales fue necesario la investigación de geoportales o visores SIG, que permiten la visualización, consulta, análisis y descarga de datos geoespaciales, entre los más comunes, página del IGAC Colombia en mapas, y Mapa de clasificación de las tierras por su oferta ambiental a escala 1:100.000 del IGAC.

Modelación agroambiental del territorio

La modelación y aplicación del ordenamiento agroambiental nos permite, mejorar la toma de decisiones, como el apoyo y evaluación de planes alternativos de manejo de uso de la tierra, evaluación de las pendientes y los riesgos de las cuencas entre otras.

En este estudio se evaluaron los riesgos por inundación de los municipios, teniendo en cuenta los factores de análisis de riesgo de inundación y su porcentaje.

Tabla 1,
factores análisis de riesgo ArcGIS_Pro

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

Martin L (2024)

Para transformar el vectorial de coberturas del suelo en un ráster, se utilizó la caja de herramientas, de polígono a ráster seleccionado la capa de coberturas del municipio, dándole un valor de Nivel 2, con nombre al archivo de salida, Land cover – municipio. Se ejecuta el proceso para ver en el panel de contenido.

La capa de precipitación de igual forma se realiza el descargue, en Geovisor IGAC, donde encontramos (6) carpetas de ráster de precipitación nacional por departamentos por mes para su descarga, realizamos la descarga y seleccionamos el departamento con el municipio deseado, procedemos a hacer la extracción por máscara con el nombre pre_municipio.

La capa de distancia entre drenajes se toma a partir de la delimitación de una cuenca hidrográfica hasta obtener el ráster de acumulación de flujo del municipio, FlowAcc_municipio, a partir de esta se toma el valor más alto donde se le hace un cálculo para determinar el 1% de acumulación, para posteriormente realizar una reclasificación en el ráster de flujo, denominado (streams_municipio)

La Distancia Euclidiana, nos permite para cada celda, calcular la distancia hasta el origen más cercano, para este se realiza el geoproceto en la caja de herramientas, distancia euclidiana, con

los siguientes ráster de entrada, ráster streams mun, y salida, Dist Streams se ingresa a la pestaña entorno y selecciona el DEM del municipio, se procede a ejecutar,

Modelación del riesgo de inundación

El proceso de modelación permite la clasificación cualitativa y cuantitativa del riesgo con su valor numérico correspondiente.

Tabla 2
Clasificación cualitativa ArcGIS_Pro

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

Martin L (2024)

Para estos modelos se realizaron 5 reclasificaciones como

- Reclasificación DEM del municipio.
- Reclasificación pendiente.
- Reclasificación precipitaciones.
- Reclasificación cobertura de tierra.
- Reclasificación distancia entre drenajes.

Para esta reclasificación se ingresa a la caja de herramientas, reclasificar, se selecciona el DEM del municipio, se selecciona el método de rupturas naturales (Jenks) para que pueda cambiar las Clases a 5 para cambiar los valores de 2,4,6,8,10 de acuerdo con la tabla de clasificación, ráster de salida: reclas_dem. Así sucesivamente con las otras reclasificaciones.

Mapa de riesgo inundaciones

Teniendo reclasificado todos los factores se crea el mapa de riesgo de inundaciones del municipio a partir de la suma ponderada en función de los pesos, donde cada capa tiene un peso específico que refleja su importancia relativa.




Para este proceso seleccionamos la caja de herramientas, superposición, suma ponderada, ráster de entrada seleccionamos los 5 ráster reclasificados (DEM, slope, landcover, precipitación y distancia drenajes), colocamos el peso de acuerdo con tabla 2. Los valores en porcentajes divididos en 100. Ráster de salida: Riesgo de inundación.

Reclasificación Riesgo inundación municipio

Esta reclasificación nos permite observar las zonas de más alto riesgo de inundación, esta cuenta con cinco niveles y utiliza un código de colores para su identificación

Tabla 3.

Código de colores, ArcGIS_Pro

Clasificación cualitativa	Valores	Simbología
Riesgo muy bajo	1	
Riesgo bajo	2	
Riesgo medio	3	
Riesgo alto	4	
Riesgo muy alto	5	

Martin L (2024)

El procedimiento, caja de herramientas, reclasificar ráster de entrada capa de riesgo inundación verificar que se encuentre en ruturas naturales (Jenks) clases a 5, dejar los valores de 1 a 5, nombre de salida, Reclas_riego, ajustar los colores.

Capa ráster a capa vectorial.

Del resultado obtenido del análisis multicriterio, se transformó la capa en una capa vectorial utilizando la herramienta de (ráster a polígono), luego de ello se realizó un geoproceto adicional de disolver (disolver el grindcore) para simplificar los datos.

Figura 1.

De ráster a polígono (Disolver)



Fuente: Autoría propia, 2024.

Una vez creada la capa vectorial, ingresamos a la tabla de atributos de la capa vectorial, en esta tabla, se agregaron dos columnas: una denominada “Class_riesgo_inundación” y otra denominada “Área”. En la columna de “Class_riesgo_inundación”, se procedió a asignar valores cualitativos de acuerdo con la tabla de riesgos, permitiendo una categorización visual, clara y consistente de las áreas según el nivel de riesgo

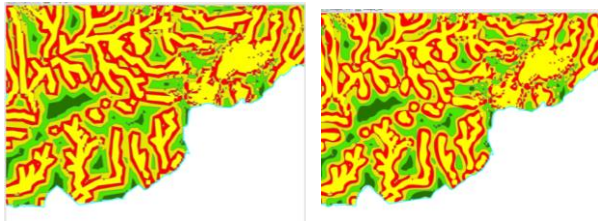
Figura 2.

Resultado del formato vectorial



Fuente: Autoría propia, 2024.

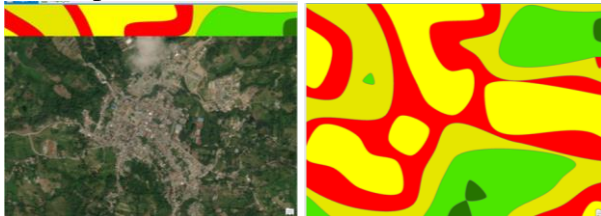
Figura 3.
Proceso de suavizado



Fuente: Autoría propia, 2024

Se realiza una verificación del riesgo de inundación en la cabecera municipal debido a que es allí donde se concentra la mayor cantidad de población civil, por ende, se debe priorizar las acciones de prevención de riesgos, para este geoproceto se usa la herramienta de Barrido

Figura 4.
Verificación por barrido de la cabecera municipal.

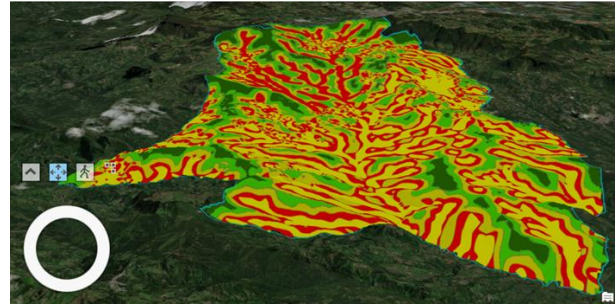


Fuente: Autoría propia, 2024.

Con el fin de realizar una verificación de los resultados obtenidos se genera un mapa en ArcGIS pro 3D2 donde se evidencia que las

partes de mayor altura representan un menor riesgo de inundación mientras que las zonas bajas un riesgo medio y alto. siendo las cuencas las que representan un riesgo alto inminente.

Figura 5.
Mapa 3D2

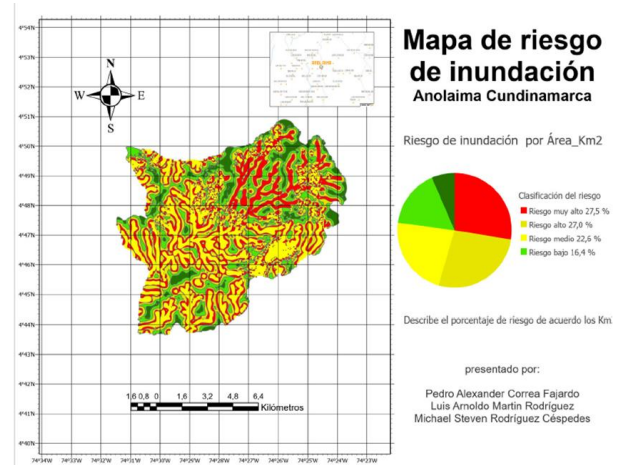


Fuente: Autoría propia, 2024.

Resultados

Los resultados obtenidos luego de realizar la metodología fue un de un mapa de riesgo de inundación en formato vectorial

figura 6.
Mapa de riesgo en formato vectorial.

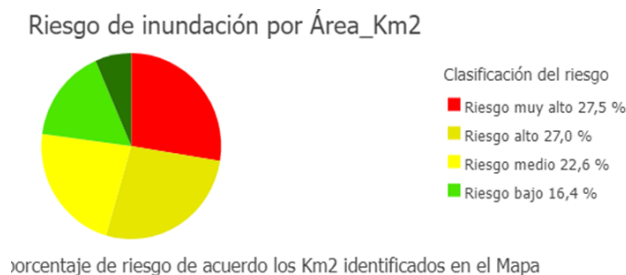


Fuente: Autoría propia, 2024.

En el siguiente gráfico (**Figura 7.**) En el mapa de riesgo de inundación podemos apreciar que el área delimitada de color rojo corresponde a un riesgo muy alto de inundación el cual tiene un 27.5% de riesgo, la zona con mayor amenaza es la zona noroeste del municipio. El porcentaje de riesgo bajo de inundación identificado de

color verde se encuentra en pequeñas zonas en su mayoría la parte noroeste del municipio, este Constituye el 16.4% de riesgo por inundación. El riesgo alto por inundación el cual constituye un 27% y está representado de color amarillo oscuro se encuentra disperso por todo el municipio. Por último, el riesgo medio identificado de color amarillo claro constituye el 22.6% de riesgo por inundación. Lo podemos encontrar en la zona céntrica, en el sur y en el oeste del mapa.

Figura 7.
Porcentaje de Riesgo



Fuente: Autoría propia, 2024.

Teniendo en cuenta los anteriores resultados La zona crítica esta de mayor riesgo corresponde a la zona noroeste del municipio, se debe contar con infraestructura la cual permita el correcto flujo del agua para que no se vean involucrados los bienes materiales de la población, así como la seguridad de los habitantes. Sin dejar de lado las otras zonas del municipio.

Los Impactos Potenciales de los Riesgos de Inundación son:

1. Comunidades:

Efectos Sociales: En las zonas de alto y muy alto riesgo (27% y 27.5%, respectivamente), las comunidades podrían experimentar desplazamientos temporales o permanentes debido a inundaciones recurrentes. Esto genera

pérdida de hogares, afectaciones emocionales, y aumento de la vulnerabilidad social.

Infraestructura Social: Escuelas, hospitales y otras infraestructuras críticas ubicadas en estas áreas se enfrentan a interrupciones en su funcionamiento, impactando el acceso a servicios esenciales.

2. Infraestructuras:

Daños Físicos: Carreteras, puentes, y sistemas de drenaje ubicados en las zonas de riesgo alto y muy alto son propensos a colapsar o quedar inoperativos. Esto interfiere con el transporte de personas y bienes.

Costos de Reconstrucción: El deterioro frecuente incrementa los costos de mantenimiento y reconstrucción, afectando el presupuesto municipal.

3. Sistemas Agropecuarios:

Pérdida de Cultivos: Las áreas agrícolas en las zonas de riesgo medio y alto están en peligro de sufrir pérdidas significativas de cultivos, lo que afecta la seguridad alimentaria y los ingresos de los agricultores.

Ganadería: Las inundaciones pueden provocar la muerte de animales, contaminación del agua para consumo animal, y reducción de áreas de pastoreo.

4. Ecosistemas Presentes:

Alteración del suelo: La saturación de agua y la erosión asociada pueden degradar la calidad del suelo, afectando su capacidad de retener nutrientes.

Contaminación: Las inundaciones pueden arrastrar contaminantes hacia ríos y humedales, alterando la biodiversidad y las funciones ecológicas.

Alteración de hábitats: Las áreas de alto riesgo pueden perder cobertura vegetal, afectando especies dependientes de estos ecosistemas.

Propuestas de Mitigación:

Implementar sistemas de alerta temprana para comunidades en riesgo.

Realizar obras de infraestructura adaptada, como diques y drenajes eficientes.

Desarrollar planes de reubicación para poblaciones en zonas de muy alto riesgo.

Promover prácticas agroecológicas que reduzcan la vulnerabilidad de los sistemas agropecuarios.

Restaurar ecosistemas clave para actuar como barreras naturales contra inundaciones.

Tabla 1.
Clasificación

Gridcode	Class riesgo de inundacion	Area Km2
1	Riesgo muy bajo	7,73
2	Riesgo bajo	19,56
3	Riesgo medio	26,9
4	Riesgo alto	32,15
5	Riesgo muy alto	32,82

Fuente: Autoría propia, 2024

Conclusiones

El análisis y la elaboración del mapa de riesgo de inundación en formato vectorial ha permitido identificar las áreas más vulnerables

del municipio, destacando que la zona noroeste presenta el mayor riesgo (27.5%) con un total de 32,82 km², mientras que otras áreas con riesgos alto (27%) con 32,15 km², medio con 26,9 km²(22,6%), bajo con 19,56 km² (16,4%) están distribuidas de manera heterogénea en el territorio y la zona con muy bajo porcentaje con 7,73 km² está distribuida en la zona noroeste y pequeñas zonas del municipio.

uno de los grandes retos generados por el cambio climático es la capacidad de adaptación a la variabilidad climática.

El desarrollo del mapa de riesgo de inundación para el municipio de Anolaima, utilizando el software ArcGIS y la metodología de análisis multicriterio, constituye una herramienta clave para la gestión integral del riesgo. Este proyecto permitió identificar y delimitar de manera cualitativa y cuantitativa las áreas vulnerables, clasificándolas en términos de bajo, medio y alto riesgo. Además, al caracterizar estas zonas en términos de hectáreas y porcentaje, se proporcionó una base sólida para la toma de decisiones informadas.

El producto final no solo fomenta la implementación de medidas de mitigación, sino que también incentiva campañas educativas, sistemas de monitoreo y alerta temprana, promoviendo una gestión preventiva del riesgo. Asimismo, resalta la necesidad de capacitar a las comunidades sobre el cuidado y manejo de las cuencas hidrográficas como una estrategia esencial para reducir la vulnerabilidad frente a inundaciones futuras. Este enfoque integral no solo contribuye a la seguridad de la población, sino que también refuerza el compromiso con el desarrollo sostenible del municipio.

Recomendaciones

Recomendaciones para el Ordenamiento Agroambiental del Territorio en Anolaima, Cundinamarca, frente a los Riesgos por Inundación

1. Zonificación de Uso del Suelo

Clasificar el territorio según su vulnerabilidad a inundaciones y definir usos del suelo compatibles con el nivel de riesgo identificado.

Restringir actividades agrícolas intensivas en zonas de alto riesgo y promover la conservación de ecosistemas protectores como humedales y áreas ribereñas.

2. Implementación de Sistemas Agroecológicos

Fomentar prácticas agroecológicas como cultivos en terrazas y barreras vivas que reduzcan la escorrentía y mejoren la retención del suelo.

Promover el uso de sistemas agroforestales en áreas de riesgo medio para proteger el suelo y amortiguar el impacto de las inundaciones.

3. Infraestructura de Manejo Hídrico

Construir y mantener diques, canales de drenaje y reservorios naturales para controlar el flujo del agua en zonas vulnerables.

Implementar sistemas de captación y almacenamiento de aguas lluvias en terrenos agrícolas para reducir el exceso de agua superficial.

4. Reforestación y Restauración Ecológica

Llevar a cabo programas de reforestación en las cuencas hidrográficas del municipio para estabilizar los suelos y regular los caudales de agua.

Restaurar áreas degradadas con especies nativas que promuevan la biodiversidad y mejoren la resistencia frente a inundaciones.

5. Sistemas de Monitoreo y Alerta Temprana

Establecer un sistema de monitoreo de los niveles de los ríos y zonas críticas con tecnologías de información geográfica y sensores remotos.

Capacitar a las comunidades en la interpretación de alertas tempranas y en la ejecución de planes de evacuación.

6. Educación y Sensibilización Comunitaria

Realizar campañas educativas sobre el manejo sostenible de las cuencas hidrográficas y la importancia de prevenir la ocupación de áreas de riesgo.

Fomentar la participación comunitaria en la planificación y ejecución de medidas de mitigación de riesgos.

7. Promoción de la Agricultura Sostenible

Introducir cultivos tolerantes a la humedad en áreas agrícolas propensas a inundaciones.

Capacitar a los agricultores en la diversificación de cultivos y estrategias de adaptación al cambio climático.

8. Políticas de Ordenamiento Territorial

Incorporar los mapas de riesgo por inundación en el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) para regular el uso del suelo y garantizar el desarrollo sostenible.

Establecer incentivos para la adopción de prácticas sostenibles y sanciones para actividades que incrementen el riesgo de inundación.

Referencias bibliográficas

García, M. C., Piñeros, A., Bernal, F. A., & Ardila, E. (2012, junio). Variabilidad climática, cambio climático y el recurso hídrico en Colombia. *Revista de Ingeniería*, 36.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0121-49932012000100012&script=sci_arttext

Gobernación de Cundinamarca. (2023, enero 12). *Cundinamarca monitorea los municipios afectados por la ola invernal en lo corrido de enero*. Gobernación de Cundinamarca. Retrieved Diciembre 6, 2024, from <https://www.cundinamarca.gov.co/noticias/CUNDINAMARCA%20MONITOREA%20LOS%20MUNICIPIOS%20AFECTADOS%20POR%20LA%20OLA%20INVERNAL%20EN%20LO%20CORRIDO%20DE%20ENERO>

Municipios de Colombia. (n.d.). *Anolaima en el departamento de Cundinamarca - Municipio y alcaldía de Colombia*. Municipios de Colombia. Retrieved December 6, 2024, from <https://www.municipio.com.co/municipio-anolaima.html>

Weather Spark. (n.d.). *El clima en Anolaima, el tiempo por mes, temperatura promedio (Colombia)*. Weather Spark. Retrieved December 6, 2024, from <https://es.weatherspark.com/y/23326/Clima-promedio-en-Anolaima-Colombia-durante-todo-el-a%C3%B1o>

Enlace de sustentación:

https://unadvirtualedu-my.sharepoint.com/:p:/g/personal/msrodriguez_unadvirtual_edu_co/EcJfFWACHnxEpuvNZu2gMCABwpmRRhtsB7YqScXRfZVINw?e=AU3rRS