

Análisis de los índices de Susceptibilidad de Inundación a través de Sistemas de Información Geográficas (SIG), en la Ciudad de Bogotá D.C, Colombia.

Julio Contreras Andres Camilo, acjulioc@unadvirtual.edu.co.,

Flórez Sáenz Nazly Camila, ncflorezs@unadvirtual.edu.co.,

Directora: Parra Pérez Evangelina, evangelina.parra@unad.edu.co

Resumen

En este documento se quiere dar a conocer la problemática ambiental y social que sufre la ciudad de Bogotá por tener varias fuentes hidrográficas y precipitaciones durante el año, en este caso estamos hablando de las inundaciones y sus efectos en el ámbito ambiental social. Actualmente el mundo y Colombia sufre las consecuencias del cambio climático, es por ello, que a través de los sistemas de información geográficas (SIG) y sus geoprocesos se aborda la problemática para cumplir los objetivos. A través, de análisis de criterios se pretende analizar el comportamiento de las fuentes hídricas del distrito, además, saber cuáles son los índices de inundaciones más críticas que pueden afectar a la comunidad capitalina en los meses que más se presentan precipitaciones como es el caso de noviembre. La modelación presentada en cada geoproceso aplicado nos va a permitir buscar alternativas de mitigación frente al cambio climático y su aplicación en el ordenamiento territorial (POT) en cualquier zona de nuestro país. Los sistemas de información geográficas (SIG) son primordiales para el análisis y cobertura de tierras en cualquier ámbito de la ingeniería, en especial en el área ambiental porque nos permite conservar los recursos naturales y sus impactos ambientales.

Palabras claves: Cambio Climático, Geoprocesos, Inundaciones, Precipitaciones

Abstract

In this document we want to make known the environmental and social problems suffered by the city of Bogota for having several hydrographic sources and rainfall during the year, in this case we are talking about floods and their effects on the social environment. Currently the world and Colombia are suffering the consequences of climate change, which is why, through geographic information systems (GIS) and their geoprocesses, the problem is addressed to meet the objectives. Through the analysis of criteria, it is intended to analyze the behavior of the district's water sources, as well as to know which are the most critical flood indices that can affect the capital's community in the months with more precipitations, such as November. The modeling presented in each geoprocess applied will allow us to look for allow us to look for mitigation alternatives to climate change and its application in land use planning (POT) in any area of our country. Geographic information systems (GIS) are essential for the analysis and coverage of land in any field of

engineering, especially in the environmental area because it allows us to conserve natural resources and their environmental impacts.

Key words: Climate Change, Geoprocesses, Floods, Precipitations

Introducción

Con el fin, de comprender el concepto de inundación en la gestión del riesgo y desastres tenemos que:

Una inundación es un desbordamiento de agua sobre áreas que generalmente se encuentran secas. Las inundaciones son fenómenos naturales, pero se convierten en un motivo de grave preocupación cuando afectan a la población. A nivel mundial, las inundaciones son los eventos naturales destructivos más frecuentes, que afectan tanto a los asentamientos rurales como a los urbanos. La urbanización se ha convertido en la característica del crecimiento demográfico mundial, con el aumento de la población en ciudades, particularmente en los países en desarrollo (Jha, Bloch, & Lamond, 2012).

Las inundaciones son producidas por exceso de agua, invadiendo áreas que en condiciones normales están secas. Este fenómeno desempeña un papel importante en la regulación de los sistemas hídricos, por esta razón, cuando se modifican dichos sistemas o se ocupan las áreas susceptibles de ser inundadas pueden generarse afectaciones (IDIGER, 2023).

Por otro lado, tenemos posibles riesgos de inundación en Bogotá según el Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático (IDIGER) de modo que:

La zona urbana de Bogotá está dividida en cuatro principales cuencas de drenaje correspondientes a los ríos Salitre, Fucha,

Tunjuelo que drenan principalmente en sentido oriente-occidente y Torca que fluye en sentido sur – norte. Adicionalmente se destacan las cuencas del humedal Jaboque y la cuenca Tintal-Cundinamarca. Todas estas cuencas entregan al Río Bogotá como receptor principal (IDIGER, 2023).

En respuesta a la problemática que actualmente se presenta en todo el mundo debido a la crisis climática generada por las actividades antrópicas derivadas de las economías ligadas a combustibles fósiles, el cual está generando múltiples inundaciones en todo el mundo, Colombia no es la excepción, sin embargo, nos enfocamos en el distrito capital que el último semestre del año en curso ha venido presentando inundaciones en el área urbana, tal como ocurrió este mes de noviembre en la población aledaña a la autopista norte jurisdicción de las localidades de Suba, Usaquén y municipios de la sabana de Bogotá. En este artículo se plantean estrategias, medidas y acciones correctivas a través de los Sistemas de Información Geográficos (SIG) para mitigar posibles inundaciones debido a que la ciudad cuenta con múltiples cuencas y subcuencas hídricas, por ende, tenemos que estar preparados y prevenidos para afrontar eventos más catastróficos que afecten a la comunidad y al medio ambiente. Teniendo en cuenta lo anterior se tiene como método la implementación del mapa susceptibilidad de inundación de la ciudad empleando análisis multicriterio de los componentes edáficos, hídricos y ambientales, para ello, se

desarrollaron diversos geoprocesos tanto en archivos ráster y vectoriales tal como: la reclasificación, extracción por máscara, acumulación de flujos, dirección de flujos, el riesgo de inundación, etc.

Los parámetros anteriores nos permiten hacer un análisis e identificar cuáles son las zonas o áreas más críticas en cada una de las localidades del distrito. Además, con la metodología empleada desde el ámbito de la ingeniería ambiental es posible diseñar un Plan de Ordenamiento Territorial (POT) entorno al agua, esto con el fin de evitar daños y afectaciones a la infraestructura, comunidad y la rica biodiversidad que cuenta la ciudad capital. La mitigación de los posibles riesgos de inundación tiene como propósito disminuir la brecha de desigualdad que se vive en los barrios urbanos periféricos que son los más vulnerables ante la problemática de las inundaciones, por último, para lograr resultados importantes es vital que las autoridades y entidades distritales enfoquen sus políticas públicas aún más hacia el cambio climático y sus efectos en la humanidad y la estabilidad de nuestro planeta.

Objetivos

General

- Analizar los índices de Susceptibilidad de Inundación a través de Sistemas de Información Geográficas (SIG), en la Ciudad de Bogotá D.C, Colombia.

Específicos

- Determinar las localidades que presentan mayor riesgo de inundación en el mes de noviembre.

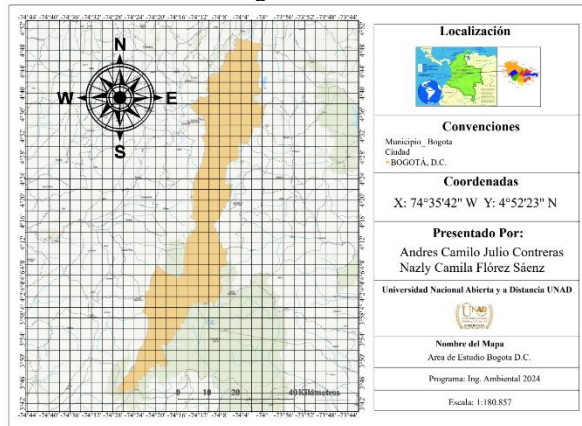
- Identificar las clases de pendientes edáficas, que generan una posibilidad de riesgo de inundación y desastre en Bogotá D.C.
- Proponer medidas y acciones correctivas, desde el ámbito ambiental y social, con el fin, de prevenir emergencias de inundaciones.

Identificación del caso de estudio

A continuación, se presenta el área de estudio, el cual corresponde a la ciudad de **Bogotá**, capital de la **República de Colombia**, se encuentra situada en el centro geográfico del territorio nacional a 2.600 metros sobre el nivel del mar, en el borde oriental de la Sabana de Bogotá, que es la altiplanicie más alta de los Andes colombianos. Tiene un área total de 1776 km² y un área urbana de 307 km² (Socialhizo, 2023).

Colombia es un país megadiverso en fauna y flora, además, en recursos naturales como el agua, esto se debe a su ubicación geográfica, por otro lado, tenemos su capital Bogotá, donde su biodiversidad y buen clima es esencial para el desarrollo del país, ya que fomenta mucho turismo ecológico y paisajes verdes que hacen que sea una de las ciudades más prosperas y visitadas del país. Además, la ciudad es rica en recursos hídricos, ya que cuenta con aguas superficiales y embalses naturales que abastecen a la comunidad urbana y áreas metropolitanas, tal como, los municipios de la sabana de Bogotá.

Figura 1.
Área de Estudio Bogotá D.C.



Fuente: Autoría propia, 2024

El mapa nos muestra la ubicación geográfica de la ciudad de Bogotá, notamos unas condiciones morfológicas del suelo planas y con pendientes, esto hace que en el área de estudio sea rica en nacimientos de fuentes hídricas (ríos, quebradas, arroyos, etc.) y zonas ambientales de gran importancia como paramos andinos.

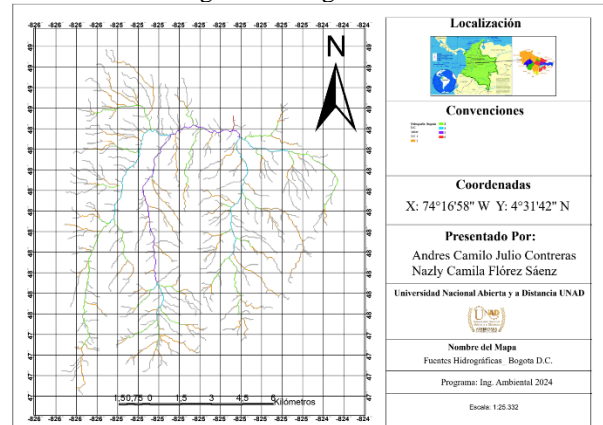
La capital del país cuenta con múltiples fuentes hídricas, debido a su ubicación geográfica y la morfología del suelo tenemos que:

La Sabana es atravesada de norte a sur por el río Bogotá, que culmina su recorrido en la espectacular cascada conocida como **Salto de Tequendama**. Otros ríos importantes en la ciudad son el río Tunjuelo, que pasa por el sur de la ciudad, el San Francisco, el Fucha, el Juan Amarillo o Salitre, los cuales desembocan a su vez en el río Bogotá. Varios ríos tributarios forman pequeños valles dedicados a la agricultura y la ganadería. Lagunas naturales y embalses artificiales ofrecen atracción ecológica y paisajística para residentes y visitantes (Socialhizo, 2023).

De acuerdo con lo anterior, inferimos que la ciudad de Bogotá es rica en fuentes hídricas que son esenciales para el abastecimiento y el uso

de actividades cotidianas e industriales, pero, a la vez es vulnerable por estar construida en algunas áreas que en algún tiempo fueron humedales urbanos.

Figura 2.
Fuentes Hidrográficas Bogotá D.C.



Fuente: Autoría propia, 2024

La figura 3 nos muestra las múltiples cuencas y subcuencas hídricas que hacen parte de la ciudad de Bogotá tales como: el río Bogotá, Tunjuelo, Fucha, entre otras aguas superficiales de menor caudal como quebradas, humedales y arroyos, etc. Todas estas fuentes hídricas atraviesan y se conectan a lo largo y ancho de la zona urbana del distrito, siendo las localidades del occidente y noroccidente áreas susceptibles de riesgos de inundación por ser planas en algunas zonas y por tener mayores fuentes hídricas, además, las localidades de Suba, Usaquén y Engativá cuentan con importantes humedales cerca de construcciones y vías urbanas.

Figura 3.
Fuentes Hídricas por Localidades

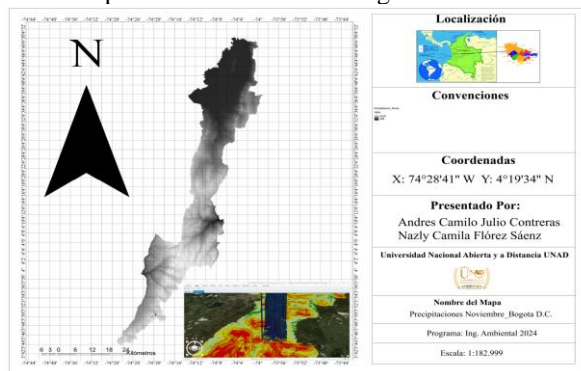


Fuente: (IDIGER, 2023)

Por otro lado, tenemos el componente clima y precipitaciones que presenta la ciudad durante el año así:

Por causa de su gran altitud, Bogotá tiene un clima frío de montaña. La región tiene una temperatura promedio de 14°C. Las temporadas secas y húmedas se alternan a lo largo del año. Los meses más secos son los de enero, febrero, marzo y diciembre, y los más lluviosos son abril, mayo, septiembre, octubre y noviembre. En los meses intermedios se presentan variaciones en el régimen de sol y lluvia. La regularidad de estas condiciones es diversa por efecto de los cambios climáticos sucedidos en la Cuenca del Pacífico especialmente por los fenómenos denominados El Niño y La Niña (Socialhizo, 2023).

Figura 4.
Precipitaciones Noviembre Bogotá D.C.



Fuente: Autoría propia, 2024

Para dar una mejor explicación del mapa de precipitaciones corresponde al mes de noviembre, por ende, fue el periodo que más se presentaron lluvias en la ciudad de Bogotá, para mejor detalle se realizó un mapa 3D, el cual se hizo la simulación en dicho mes. A través, de un valor de 75 mm el cual está en el rango presentado y pronosticado por el IDEAM.

Metodología

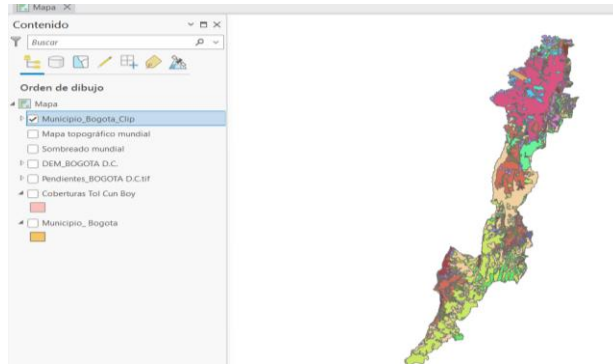
En este informe se tiene objetivo la evaluación y el análisis espacial de las múltiples cuencas y subcuencas hídricas urbanas de Bogotá D.C.,

Para la implementación de esta metodología fue primordial aplicar geoprocesos fundamentales en el maravilloso ámbito de los Sistemas de Información Geográficas (SIG). Con el fin de dar los mejores resultados en base a los objetivos propuestos se llevaron a cabo varios procedimientos en la metodología tales como: el procedimiento inicial fue el cargue de cada insumo al software ArcGIS Pro, el siguiente paso fue hacer el respectivo análisis multicriterio para imágenes tipo ráster como los modelos de elevación digital (DEM) de la ciudad de Bogotá y la capa vectorial correspondiente a dicha ciudad para el caso estudio. Siguiendo con el procedimiento, se realizaron geoprocesos de análisis tales como el recorte, disolver, extracción por máscara, conversión de polígono a ráster viceversa, acumulación y dirección de flujo, cálculo de pendientes, calculadora ráster, precipitaciones en el mes de noviembre, para tener unos mejores resultados se hizo una ponderación de la suma y una reclasificación para llegar al mapa de susceptibilidad de riesgos de inundación y por último el geoproceso suavizar polígono para ver con más detalles la capa vectorial (SHP) correspondiente al mapa modelado de riesgos de inundación elaborado para la ciudad de Bogotá. A continuación, se van a profundizar con los respectivos conceptos de algunos geoprocesos empleados en la metodología utilizada.

Recorte (Clip)

“La herramienta de recorte es una función de superposición que recorta una capa de entrada en función de un límite de entidad definido. El resultado de esta herramienta es una nueva capa de salida recortada” (manuelmorales13, 2023).

Figura 5.
Geoproceso Recortar

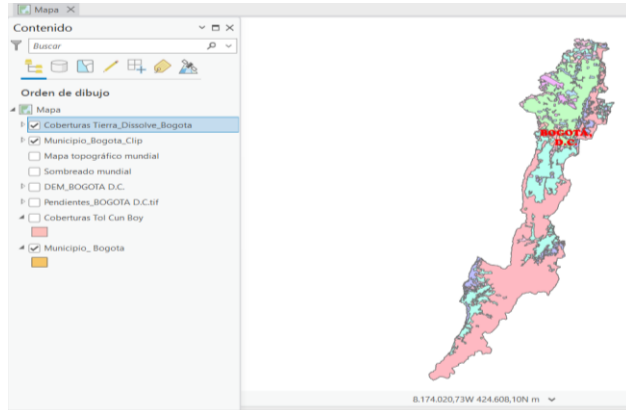


Fuente: Autoría propia, 2024

Disolver (Dissolve)

“La herramienta de disolución unifica los límites en función de valores de atributos comunes. En otras palabras, disolver fusiona los límites vecinos si los vecinos tienen los mismos atributos” (manuelmorales13, 2023).

Figura 6.
Geoproceso Disolver



Fuente: Autoría propia, 2024

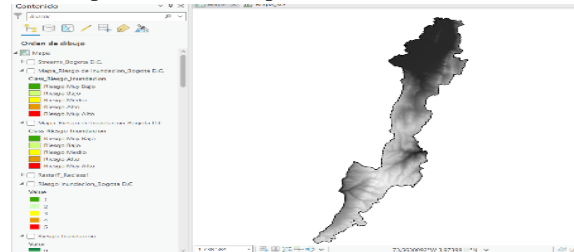
Extracción por Mascara

El Geoproceso o herramienta de extraer por máscara según Noriega consiste en:

Es posible la selección de una determinada región de un ráster, empleando como molde de corte otra capa (ráster o entidad) cuya extensión delimite la extensión del ráster de salida. El

ráster de salida conservará su tabla de atributos, claro está, delimitada a la extensión que le hemos impuesto (Noriega, 2020).

Figura 7.
Geoproceso Extraer por Mascara

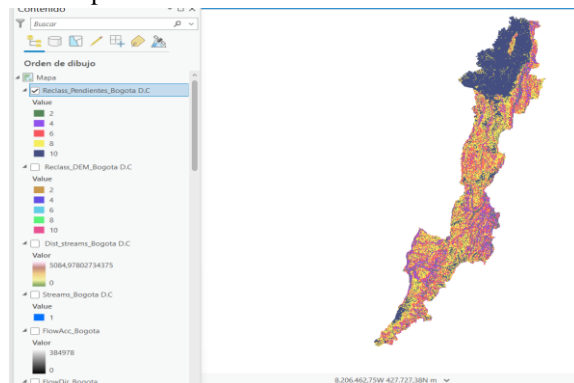


Fuente: Autoría propia, 2024

Reclasificar

“La reclasificación es el proceso de reasignar uno o más valores de un conjunto de datos rasterizados a nuevos valores de salida. La herramienta Reclassify está disponible con la extensión Spatial Analyst tanto en ArcMap como en ArcGIS Pro” (gabri, 2020).

Figura 8.
Geoproceso Reclasificar



Fuente: Autoría propia, 2024

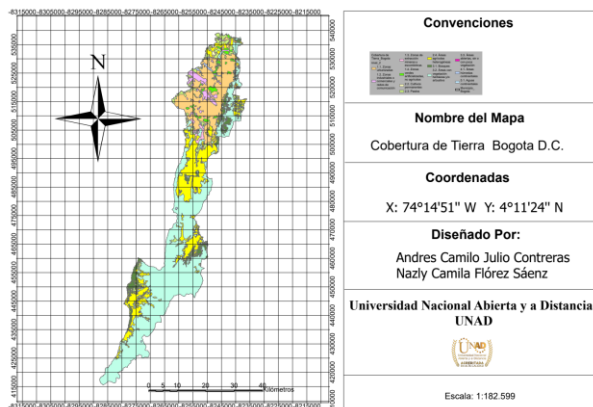
Parámetros de Riesgos de Inundación

Cobertura del Suelo

Teniendo en cuenta la definición y la diferencia entre cobertura y uso del suelo tenemos que:

El término "cobertura de suelo" se refiere a la descripción del material físico en la superficie de la Tierra, diferenciándose así del término "uso de suelo", el cual está definido por las asignaciones derivadas de la actividad humana en un territorio. Sin embargo, ambos están estrechamente relacionados, razón por la que muchos proyectos combinan el mapeo de uso y la cobertura de suelo (Conabio, n.d.).

Figura 9.
Mapa Cobertura de Tierra Bogotá D.C.



Fuente: Autoría propia, 2024

En la ilustración mostrada vemos que la capital del país por ser muy extensa la mayoría de la ocupación del suelo se ve reflejada en construcciones urbanas tales como vías, casas, aptos, etc. Además, notamos que la ciudad es rica en biodiversidad y zonas verdes, por otro lado, tenemos áreas hidrográficas como humedales y ríos, el cual hace que se tengan medidas y mitigaciones ante posibles inundaciones en la ciudad.

Acumulación de Flujo

Haciendo una descripción de la herramienta acumulación de flujos tenemos:

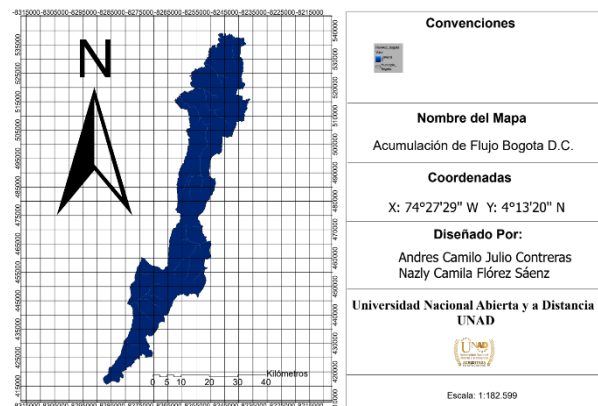
La herramienta Flow Accumulation calcula la cantidad de agua que fluye dentro de cada celda desde todas las celdas de pendiente descendente

en el ráster de salida. A menos que se indique el ráster de ponderación, se aplicará un peso de 1 a cada celda, y el valor final será el número de celdas que fluyen hacia cada una de ellas (Alonso, 2016).

Para definir este concepto nos basaremos en el análisis del artículo presentado por Efraimidou y Spiliotis este año, de modo que:

La acumulación de caudal se refiere a la cantidad total de agua que fluye hacia un punto específico dentro de la cuenca desde las zonas de aguas arriba. Por lo tanto, una mayor acumulación de caudal está directamente relacionada con el riesgo de inundaciones. Esta acumulación tiende a ser menor aguas arriba, pero aumenta aguas abajo a medida que los afluentes se unen al canal principal más abajo (Efraimidou y Spiliotis, 2024).

Figura 10.
Mapa Acumulación de Flujo Bogotá D.C.



Fuente: Autoría propia, 2024

En este mapa notamos las cuencas y subcuencas que están dentro de la zona urbana del distrito y como a lo largo del tiempo se ha venido construyendo cerca de ríos, humedales y quebradas, esto que el riesgo de inundación en la ciudad sea tenido en cuenta por las autoridades distritales para evitar catástrofes.

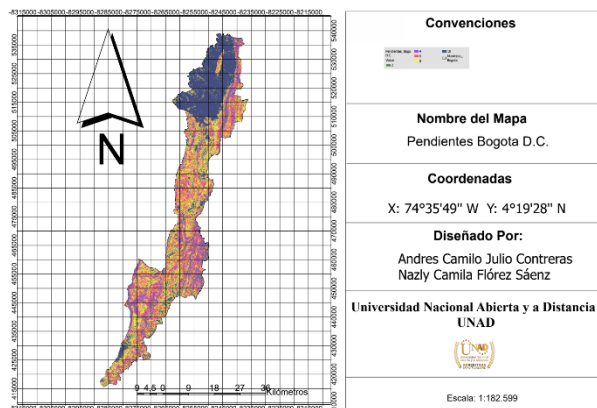
Pendientes y Elevaciones

La herramienta pendiente en el software ArcGIS Pro a través de un modelo de elevación digital (DEM) se calcula así:

Para crear un mapa de pendientes en ArcGIS 10, se requiere contar con la extensión 3D Analyst o Spatial Analyst, que permite generar un modelo de elevación digital a partir de curvas de nivel, que luego será derivado en un ráster de pendientes (Franzpc, 2023).

“El movimiento del agua está determinado por el flujo natural desde elevaciones más altas a más bajas, lo que significa que la pendiente de un área tiene un impacto significativo en la cantidad de escorrentía superficial e infiltración” (Kazakis et al., 2015).

Figura 11.
Mapa de pendientes Bogotá D.C



Fuente: Autoría propia, 2024

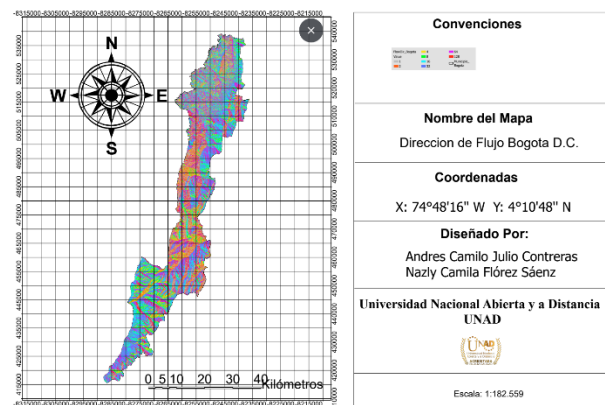
Haciendo el respectivo análisis del mapa, notamos que las localidades del occidente como Engativá, Fontibón y parte de la localidad de Suba presentan áreas muy planas, es por ello que debido a las condiciones del terreno están en riesgo de una posible inundación por el

desbordamiento de cualquier fuente hídrica y humedales en estas zonas urbanas.

Dirección de Flujo

“La herramienta **Flow Direction** toma una superficie de entrada y te devuelve como resultado un ráster que muestra la dirección de flujo que sale desde cada celda” (Alonso, 2016).

Figura 12.
Mapa Dirección de Flujo Bogotá D.C



Fuente: Autoría propia, 2024

En este mapa se ven reflejadas las rutas de los caudales de las fuentes hídricas ubicadas en la zona urbana, además, el sistema de drenaje tiene como fin los cuerpos de aguas más grandes, en este caso el río Bogotá.

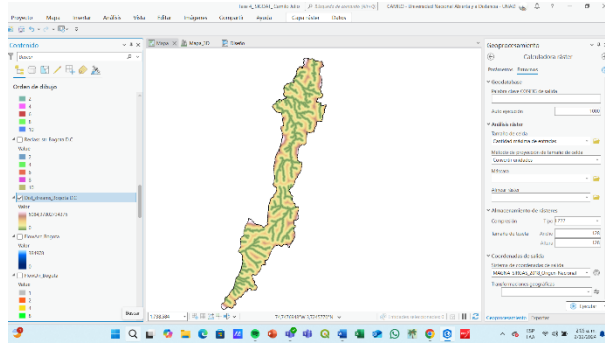
Calculadora Ráster

Según Morales la herramienta calculadora ráster en ArcGIS Pro nos permite:

La calculadora ráster es una herramienta dentro de los SIG que permite realizar operaciones matemáticas y lógicas sobre capas de datos ráster. A través de esta herramienta, los usuarios pueden aplicar fórmulas y operadores a las celdas de un ráster para generar nuevos conjuntos de datos. Esta funcionalidad es crucial para el análisis espacial, ya que permite

transformar y analizar información de manera rápida y eficiente (Morales, 2024).

Figura 13.
Geoproceso Calculadora Ráster

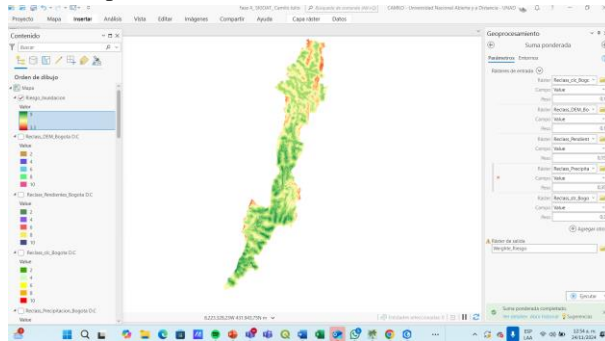


Fuente: Autoría propia, 2024

Suma Ponderada

Esta función o herramienta nos permite hacer respectivos productos al añadir cierta cantidad de capas ráster, para luego realizar una sumatoria de los resultados obtenidos.

Figura 14.
Geoproceso Suma Ponderada

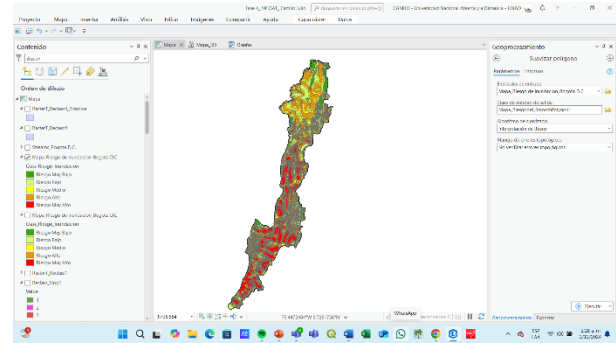


Fuente: Autoría propia, 2024

Suavizar Polígono

“Suavizar ángulos cerrados en líneas o polígonos permite mejorar la calidad estética o cartográfica, muy útil para suavizar curvas de nivel, una red hídrica, parcelas, etc.” (Franzpc, 2011).

Figura 15.
Geoproceso Suavizar Polígono



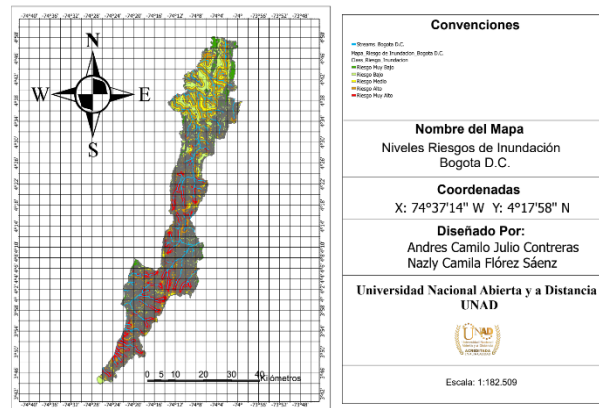
Fuente: Autoría propia, 2024

Resultados

A través, del estudio realizado y teniendo en cuenta todas las herramientas de análisis espacial en el software ArcGIS Pro, además, dándole solución a la problemática por medio de los objetivos planteados, se obtuvieron los siguientes resultados que esperaban tras georreferenciar cada imagen ráster y vectorial.

Mapa Susceptibilidad de Inundación Bogotá

Figura 16.
Mapa Niveles Riesgos de inundación Bogotá D.C.



Fuente: Autoría propia, 2024

Para nadie es un secreto, que Bogotá desde su creación en los periodos coloniales ha sido un territorio en su zona urbana y rural con muchas fuentes hídricas y humedales, el problema es

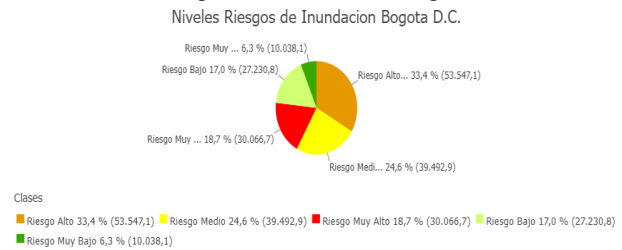
que debido al auge poblacional en cada una de sus localidades a lo largo del tiempo se ha venido construyendo de una manera depredadora, muchas administraciones no han basado su respectivo Plan de Ordenamiento Territorial (POT) entorno al agua, esto ha hecho que las múltiples fuentes superficiales, como por ejemplo, el del río Bogotá y Tunjuelo estén padeciendo múltiples contaminaciones debido al arrojo de basuras, residuos sólidos cerca de las cuencas y subcuencas, además, a ello se le suma el vertimiento de parámetros fisicoquímicos y biológicos, esto se presenta gracias a las diversas actividades antrópicas desarrolladas en la ciudad.

Haciendo un análisis más específico logramos evidenciar que las localidades ubicadas en la zona sur, occidental y norte por tener pendientes planas en la morfología del suelo, el cual están representadas por el color amarillo, naranja y rojo que describe una evaluación de niveles de riesgo medio, alto muy alto, esto lo podemos corroborar durante la temporada de lluvias que se ocasionaron en noviembre del 2024, el cual es el mes analizado con sus datos de precipitaciones, en dicho mes en el distrito se presentaron problemas de inundaciones en las localidades de Usaquén, siendo más precisos el colapso que se presentó en la autopista norte debido a las fuertes lluvias derivadas del cambio climático que azota al mundo, además, en las localidades de Tunjuelito, Suba, Fontibón y Engativá las calles de los barrios más populares se vieron también afectados por las inundaciones generadas por el encharcamiento, vías cercanas a canales y a humedales como es el caso del humedal Juan Amarillo con grandes impactos ambientales que ocasionan esta catástrofe ambiental, social y económica.

Niveles Riesgos de Inundación Bogotá D.C.

Figura 17.

Niveles Riesgos de inundación Bogotá D.C.



Fuente: Autoría propia, 2024

Según el gráfico podemos inferir que el índice de susceptibilidad más crítico en la ciudad de Bogotá es el riesgo alto con un porcentaje de que ocurra el desastre del 33,4%, ya que ocupa un área en hectárea (ha) de aproximadamente 54 ha en la zona urbana, luego, se evidencia el riesgo medio representado por el color amarillo con una probabilidad del 24,6% y una ocupación de área en hectárea (ha) de 39.49 ha, por último, tenemos el riesgo muy alto con una estadística del 18,7% y con un valor de 30 ha aproximadamente. Teniendo en cuenta los datos anteriores inferimos que las zonas más vulnerables corresponden a sectores urbanos cerca de los humedales y a las laderas de los ríos Bogotá, el Salitre, Tunjuelo, entre otras cuencas y subcuencas. Además, podemos agregar que la mayor parte urbana zona urbana del distrito está en riesgo de padecer cualquier desastre ocasionados por las inundaciones, todo ello, debido a las características de suelos, fuentes hídricas y tipos de pendientes que tiene todo el territorio correspondiente a la ciudad. Por otro lado, desde el ámbito socioambiental, últimamente se evidencia muchos residuos sólidos y basuras en las calles que taponan la red de alcantarillado y muchas veces van a parar a las distintas fuentes hídricas y canales, por ende, suelen ocurrir inundaciones en calles y avenidas frecuentemente en temporadas de lluvias, además, a esta problemática se complementa el cambio climático que es uno de los factores, ya que los ríos cambian sus

caudales generando catástrofes ambientales y sociales.

Atributos Riesgos De Inundación Clasificadas Bogotá D.C.

Tabla 1. Clases riesgos inundación en ha.

Objectid	Shape	Gricode	Clases de Riesgos Inundacion	Area (ha)
1	Poligono	1	Riesgo Muy Bajo	10038,08
2	Poligono	2	Riesgo Bajo	27230,82
3	Poligono	3	Riesgo Medio	39492,92
4	Poligono	4	Riesgo Alto	53547,09
5	Poligono	5	Riesgo Muy Alto	30066,66

Fuente: Autoría propia, 2024

De acuerdo con la tabla, inferimos que las zonas más críticas son las de riesgo alto, el cual presenta la mayor área, correspondiente a 53547,09 ha, luego el riesgo medio con un valor de 39492,92 ha. Por último, tenemos el riesgo muy alto con un valor de 30066,66 ha. De los anteriores resultados podemos decir con seguridad y con algunos eventos presentados respecto a inundaciones en los últimos años que la ciudad de Bogotá es vulnerable ante posibles desborde de fuentes hídricas y el sistema de drenaje, además, por la falta de conciencia ambiental por la sociedad la ciudad sufre el fenómeno de la contaminación urbana por causa de los residuos sólidos y basuras arrojados en las calles y cerca de cuencas y subcuencas que colapsan el sistema de alcantarillado y generan impactos ambientales en las aguas superficiales como es el caso del río Bogotá y Tunjuelo.

Conclusiones

La crisis climática es una realidad, actualmente a nivel mundial y nacional la vivimos, por ende, la sufrimos, principalmente las poblaciones más vulnerables en las zonas periféricas del país. Pero, Bogotá no es la excepción este año se han presentado muchos eventos de inundaciones, un caso específico las inundaciones que sufrió el sector de la autopista

norte durante el periodo de lluvias del mes de noviembre en las localidades más críticas que son Suba, Usaquén, Fontibón, Engativá y otras ubicadas en el sur de la ciudad. La problemática se presenta debido a múltiples contaminaciones cerca de los ríos, humedales y calles de la capital, tales como el arrojado de basuras y residuos sólidos, por otro lado, tenemos que la mayoría de zonas urbanas del distrito son susceptibles a riesgos de inundación por áreas planas y por las múltiples cuencas y subcuencas que atraviesan la ciudad, también, es importante señalar que los geoprocesos aplicados nos indican también Bogotá tiene un problema grave, el cual es las construcciones urbanas en áreas que antes eran humedales, todo ello, lo hemos venido resaltando la ciudad no fue diseñada urbanísticamente para tener un equilibrio con las fuentes hídricas y áreas ambientales.

Teniendo en cuenta, el componente edáfico urbano de la ciudad, debido a su ubicación geográfica en los andes colombianos, es importante señalar que en las localidades donde hay áreas más planas y con pendientes respecto al suelo son las que están en el occidente y noroccidente, como es la localidad de Suba, Engativá y parte de la localidad de Usaquén en el norte, las áreas mencionadas cuentan con sabanas, por ende, el nivel del suelo es plano, respecto al parámetro pendiente en estas localidades hay cerros y muchos humedales cerca de centros urbanos, por ello, es que en los últimos años se han visto calles y vías principales inundadas por el nivel de pendiente y también por las causas de la contaminación urbana de residuos sólidos y basuras al aire libre.

Los sistemas de información geográficos nos permiten desarrollar estrategias para conservar el ambiente y los recursos naturales, es por ello, que es fundamental la aplicación de estos en los planes de ordenamientos territoriales en las ciudades y/o municipios del país.

Las herramientas empleadas en el análisis crítico de los modelos ráster y vectoriales estudiados nos permiten como ingenieros

ambientales tomar medidas que nos ayudan a buscar el equilibrio entre la población y el medio ambiente, además, prevenir o mitigar cualquier impacto ambiental que cause daños y perjuicios en todos los aspectos ambientales y sociales.

La problemática del cambio climático nos compete a todos, como ingenieros ambientales debemos implementar métodos, tal como, la educación ambiental, todo ello con el fin de tomar medidas y correcciones para prevenir cualquier evento caótico en el marco de las inundaciones, el cual la mayoría de las veces se derivan de los efectos del cambio climático, Actualmente, la ciudad vive un racionamiento de agua por consecuencia de las sequías que afectaron los embalses de agua potable, por eso, es fundamental cuidar el agua y nuestro entorno, ya que es nuestra fuente líquida más preciada y para los demás seres vivos. Por último, nuestro país posee múltiples riquezas hídricas, ambientales y culturales, el cual debemos cuidar y conservar para las futuras generaciones, para ello debemos tener mayor compromiso nosotros mismos para la conservación de la vida y la existencia de nuestro planeta.

Recomendaciones

Desde marco de la ingeniería ambiental, se hacen las siguientes recomendaciones:

- Implementar un Plan de Ordenamiento Territorial (POT) por parte del gobierno distrital alrededor del agua, para evitar posibles inundaciones en las construcciones urbanas y afectación a la salud de la comunidad.
- Fortalecer los programas ambientales por parte de la Secretaria Distrital de Ambiente y contribuir aún más hacia la economía circular, con el fin de mitigar la contaminación por residuos y basuras en las calles de la ciudad.
- Hacer más campañas de mantenimiento al sistema de red y alcantarillado, para evitar el colapso e inundaciones en las calles en temporadas de lluvias.
- Desarrollar charlas de educación ambiental en las localidades más vulnerables del distritito capital, con el propósito de generar conciencia ambiental y ciudadana.
- Generar más convenios entre entidades públicas y privadas con la sociedad recicladora, con el fin de reducir la contaminación urbana por parte de residuos aprovechables en el distrito.

Referencias bibliográficas

Alonso, D. (2016, November 24). Cómo calcular la dirección y acumulación de flujo con Arc Hydro Tools en ArcGIS. MappingGIS. <https://mappinggis.com/2016/11/como-calcular-la-direccion-y-acumulacion-de-flujo-con-arc-hydro-tools-en-arcgis/>

Conabio. (n.d.). Monitoreo de la cobertura de suelo | Biodiversidad Mexicana. Biodiversidad Mexicana. <https://www.biodiversidad.gob.mx/monitoreo/cobertura-suelo>

Corporación OSSO. (2020). Inventario histórico nacional de desastres. <https://online.desinventar.org/>

Efrimidou, E., y Spiliotis, M. (2024). Una evaluación del riesgo de inundaciones basada en SIG utilizando el enfoque de laboratorio de prueba y evaluación de toma de decisiones a escala regional. Environmental Processes , 11 (1), 1–39. <https://doi.org/10.1007/s40710-024-00683-w>

franzpc. (2011, August 9). Suavizar polilíneas y polígonos en ArcGIS. El Blog de Franz. <https://acolita.com/suavizar-polilineas-y-poligonos-en-arcgis-smooth/>

Franzpc. (2023, October 31). Crear un mapa de pendientes en ArcGIS 10. El Blog De Franz. <https://acolita.com/como-crear-mapa-de-pendientes-en-arcgis-10/>

gabri. (2020, October 16). Reclassificar los datos raster con Spatial Analyst de ArcGIS Pro. El Blog de Franz. <https://acolita.com/reclasificar-los-datos-raster-con-spatial-analyst-de-arcgis-pro/>

González Valencia, J. (2006). Propuesta metodológica basada en un análisis multicriterio para la identificación de zonas de amenaza por deslizamientos e inundaciones. Revista Ingenierías Universidad de Medellín, Vol. 5(8), pp. 59–70. <https://research-ebSCO-com.bibliotecavirtual.unad.edu.co/linkprocessor/plink?id=7d5a99fe-dbcf-33b6-943e-dd92eebf52b6>

IDIGER. (2023). Instituto distrital de gestion de riesgos y cambio climatico. <https://www.idiger.gov.co/rmovmasa>

Jha, A. K., Bloch, R., & Lamond, J. (2012). Cities and Flooding A Guide to Integrated Urban Flood Risk Management for the 21st Century. En The World Bank

Kazakis N, Kougias I, Patsialis T (2015) Evaluación de áreas de riesgo de inundación a escala regional utilizando un enfoque basado en índices y un proceso de jerarquía analítica: aplicación en la región de Rhodope-Evros, Grecia. Sci Total Environ 538:555–563. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.08.055>

manuelmorales13. (2023, January 18). 7 Herramientas de Geoprocesamiento que todo Analista SIG debe Conocer. Ingenieria

Geomática Smart. <https://ingeo-smart.com/7-herramientas-de-geoprocesamiento/>

Morales, A. (2024, October 23). Álgebra de mapas, calculadora ráster y uso de operadores. MappingGIS. <https://mappinggis.com/2024/10/algebra-de-mapas-calculadora-raster-y-uso-de-operadores/>

Noriega, A. (2020, December 2). Extraer por máscara con ArcGIS. Cursos GIS | TYC GIS Formación. <https://www.cursosgis.com/extraer-por-mascara-con-arcgis/#:~:text=Es%20posible%20la%20selecci%C3%B3n%20de,extensi%C3%B3n%20que%20le%20hemos%20impuesto.>

Saad, A. P., Buitrago, M. S., Sanabria, R., & Natalia, K. (2024). Incorporación de factores socioeconómicos al análisis de vulnerabilidad del riesgo por inundación en vías usando un modelo geoespacial. Investigaciones Geográficas, 81, 201–223. <https://doi.org/10.14198/ingeo.25788>

Socialhizo. (2023, January 8). Bogotá: Descripción geográfica. Social Hizo. https://www.socialhizo.com/entretenimiento/turismo-al-dia/bogota-descripcion-geografica#google_vignette

UNGRD. (2020). Consolidado Anual de Emergencias. <http://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Paginas/Consolidado-Atencion-de-Emergencias.aspx>

Uribe, C. (2018). Metodología de estudio de la viabilidad de implementación de SUDS en centros comerciales mediante el uso de análisis de decisión multicriterio y SIG, caso de estudio Bogotá. Repositorio Institucional Séneca; Universidad de los Andes. <https://repositorio.uniandes.edu.co/entities/publication/211a1899-1ebf-430e-a489-1fdd25369e51>

Vega-Blancas, V., Fernández-Reynoso, D., Macedo-Cruz, A., Ríos-Berber, J., y Ruiz-Bello, A. (2022). [Análisis de la fertilidad del suelo mediante la validación e interpolación Kriging de sus variables.](https://doi.org/10.28940/terra.v40i0.1573) Terra Latinoamericana, 40, e1573, pp. 1-12. <https://doi.org/10.28940/terra.v40i0.1573>

Vianna, S., Victoria, D., Queiroz, G., Bolfe, E., Boffino de Almeida, J., Delgado, E., Fortes de Oliveira, A., Ramos, M., Martha, G., Batistella, M., Barioni, L., Massaru, A., César da Silva, F., y Folegatti, M. (2023). [Chapter 3. Agroenvironmental modeling and the digital transformation of agriculture.](http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1156773) En S. Masshura., M. Leite., S. Oliveira., C. Meira., A. Luchiari., y E. Bolfe, Digital agriculture: research, development and innovation in production chains (pp. 51-70). Embrapa Digital Agriculture. <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1156773>

Villatoro, M., Henríquez, C., y Sancho, F. (2008). [Comparación de los interpoladores IDW y Kriging en la variación espacial de pH, Ca, CICE y P del suelo.](https://research-ebSCO-com.bibliotecavirtual.unad.edu.co/linkprocessor/plink?id=ad315cb4-558c-338e-aa7b-0cfad911016b) Agronomía Costarricense, Vol- 32(1), pp. 95–105. <https://research-ebSCO-com.bibliotecavirtual.unad.edu.co/linkprocessor/plink?id=ad315cb4-558c-338e-aa7b-0cfad911016b>

Enlace de sustentación: https://youtu.be/-KTg8_rFan4