

Aplicación de análisis multicriterio en la determinación del nivel de riesgo de inundación en la temporada de lluvias del mes de abril 2024 en el municipio de Valledupar

Autores:

Luz Stella Ramírez Calderón lsramirezca@unadvirtual.edu.co

Yesenia Damaris Lastra Cardeño ydlastrac@unadvirtual.edu.co

Ciro Pérez Martínez ciroperez@unad.edu.co

Docente Asesor: Gina Carolina Posada Correa

Resumen

A través de la herramienta análisis multicriterio se pretenden estudiar las clases de riesgo de inundaciones que pueden presentarse en el municipio de Valledupar en las temporadas de lluvias o de mayor precipitación, asignándole una valoración cuantitativa que permita determinar que zonas presentan mayor o menor amenazas. El municipio de Valledupar se encuentra rodeado de un sistema montañoso la sierra nevada de santa Marta al occidente de la ciudad y al oriente la serranía del Perijá, de acuerdo con su ubicación geográfica siendo el sur de la ciudad la zona de mayor vulnerabilidad en cuanto a posibles inundaciones. Con el apoyo de esta herramienta se puede identificar esas áreas vulnerables, así como las comunidades que habitan cerca a estos lugares.

Palabras claves: Amenazas, Inundación, Lluvias, Riesgo, Valores cualitativos.

Introducción

La ciudad de Valledupar maneja una variedad climática durante todo el año, en donde es posible tener meses con verano seco y calor, así como épocas de invierno con precipitaciones fuertes, para el caso de este trabajo centra su interés en las temporadas de lluvias más fuerte de este municipio con el fin de evaluar criterios de riesgos que puedan generar inundaciones en determinadas zonas de la ciudad, mediante la aplicación de análisis objetivo que busca evaluar la información recopilada, tratada y clasificada para llegar a las causas y proponer las soluciones adecuadas al problema presente. Los países ubicados en la franja ecuatorial generalmente presentan vulnerabilidad a los eventos de sequía por sus características climáticas de altas temperaturas. Colombia

cuenta con diversas características meteorológicas dependiendo de su ubicación geográfica y su orografía, presentando climas cálidos en las regiones de menor elevación con respecto al nivel del mar (Cerpa, 2022).

las ciudades están creciendo y evolucionando permanentemente, por lo general más rápido que sus sistemas de drenaje pluvial. En combinación con las amenazas del cambio climático, la creciente urbanización y el envejecimiento de las redes, además el suelo de las ciudades es poco permeable (vías, tejados, cubiertas, etc.), haciendo que el agua corra rápidamente por canales y pavimentos, concentrándose en un corto período de tiempo en los sistemas de alcantarillado subterráneos; esto hace que se genere un crecimiento en la frecuencia y en la magnitud de las inundaciones

debido al aumento de la escorrentía, razón por la cual se disminuye la disponibilidad de superficies permeables, y por consiguiente el descenso en la capacidad de almacenamiento (Cayón et al., 2021, p. 17).

La capital del Cesar enfrentó el crecimiento poblacional de mediados del siglo XX con la planificación del suelo y la ejecución de los proyectos de infraestructura urbana requeridos para atender adecuadamente la mayor demanda de suelo urbanizable. (Bonet & Ricciulli, 2020).

Este crecimiento desordenado, sin soluciones en materia de acceso a servicios públicos, llevó a la administración pública a tomar acciones frente a la planeación urbana del territorio. Los esfuerzos en esta dirección se vieron materializados en un primer plan de desarrollo urbano presentado por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) en 1969 y en el primer plan maestro de acueducto y alcantarillado de 1975. Así mismo, el éxito en la formulación y ejecución de estos planes estuvo ligado al trabajo y la influencia de distintos actores e instituciones que se vieron involucrados en el proceso de planeación urbana de la ciudad (Bonet & Ricciulli, 2020).

Objetivos

Objetivo General

Determinar y clasificar las áreas con mayor y menor riesgo de inundación en la temporada de lluvias del mes de abril 2024 en el municipio de Valledupar con el uso de herramientas de geoprocesos de lo SIG que facilitan el tratamiento de datos.

Objetivos Específicos

Organizar y clasificar la información básica del municipio de Valledupar, como paso previo a la aplicación del análisis multicriterio.

Utilizar SIG para extraer y procesar información relevante para el análisis de riesgo por inundación en el municipio de estudio.

Actualizar los datos sobre riesgo de inundación en Valledupar para una gestión territorial más efectiva.

Identificación del caso de estudio

El municipio de Valledupar pertenece al departamento del Cesar ubicado al nororiente colombiano, también es conocida y llamada la ciudad de los santo reyes del cacique del valle upar, de allí proviene parte de su nombre, podemos destacar sus ríos principales el río Cesar el río Guatapurí, Badillo y Cesarito.

La ciudad de Valledupar se encuentra ubicada con coordenadas de 10o 29' de latitud Norte y 73o 15' de longitud Oeste en donde el río Guatapurí pasa por el norte de la ciudad; allí se encuentra el balnea-río Hurtado, principal lugar de recreación y diversión de la capital del Cesar, se encuentra localizado en la carrera 19, en la vía que de Valledupar conduce a Patillal. Visitantes propios y extraños se citan cada fin de semana en el atractivo turístico (Herrera et al., 2022, p.112).

Valledupar es una de las ciudades que cuentan con grandes cantidades de aguas subterráneas, por lo que tiene suelos con capacidades de drenajes buenas y permeabilidad en el subsuelo, llevando el agua de lluvia a zonas de recarga, por lo que se puede encontrar el nivel freático a profundidades de 1,2 m en barrios como Grupal (comuna 5) (Palacio et al., 2021, p.113).

Se caracteriza por tener un clima tropical seco con épocas de alta temperaturas y otras épocas de lluvias intensas, para el estudio de ese caso tomamos como referencia el mes abril que uno de los meses que hacen parte de la temporada de invierno de este municipio.

De acuerdo con los datos en la página oficial de la alcaldía la temperatura Media Anual es de

28,4 °C, con máximas y mínimas de 22°C y 34°C respectivamente, la temperatura máxima histórica registrada es de 41.5°C y la mínima de 16°C. El mes más caluroso es abril con un promedio de 30°C y el más fresco octubre. (Alcaldía Valledupar, 2023).

Los sistemas SIG permiten el manejo de los datos alfanuméricos de los activos de la empresa así como también su ubicación geográfica, haciendo uso de mapas cartográficos digitales, es decir, provee herramientas nativas para realizar análisis espacial, las mismas que facilitan el trabajo de planificación a realizar, el usuario desde un computador o dispositivo móvil puede visualmente hacer análisis en los diferentes mapas existentes y determinar los árboles que necesitan ser inspeccionados para decidir si requieren trabajo en campo, esto por ejemplo simplemente consultando en su base de datos cuando fue la última inspección realizada. (Mullisaca ,2023).

En cuanto a su desarrollo urbano podemos destacar que “A pesar de que el primer plan de desarrollo urbano para la ciudad de Valledupar data de 1969, sus orígenes se remontan a algunos años antes, cuando se llevaban a cabo acciones de mejora en la administración pública local” (Bonet & Ricciulli, 2020, p.126).

En la figura 1 relacionamos la ubicación del municipio de Valledupar – Cesar.

Figura 1.

Mapa Municipio Valledupar



Nota: Esta figura muestra la ubicación del municipio de Valledupar –Cesar

Fuente. Autoría Propia, 2024.

Metodología

La metodología utilizada para el desarrollo de este trabajo está basada en el análisis multicriterio, mediante el cual se nos permite realizar una valoración tanto cualitativa como cuantitativa de la información, permitiendo de esta manera identificar y clasificar los riesgos que estamos determinando, aplicando factores que hacen parte del análisis de estudio.

Los sistemas de información geográfica pueden, por ejemplo, mejorar la calidad del análisis de los desastres naturales, orientar las actividades de planificación, definir medidas de mitigación e implementar las acciones de respuesta ante emergencias (Valladares, 2022).

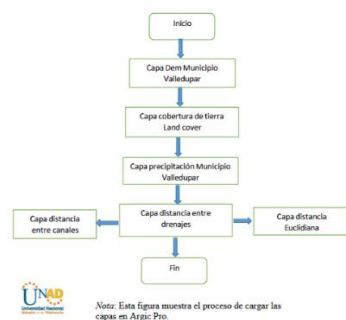
Narváz (2021) indica que Muchos autores se han concentrado en el desarrollo de metodologías de medición, con el fin de proveer a los planificadores e instituciones políticas y a las poblaciones una herramienta predictiva de escenarios de impactos futuros y, a la vez, un medio para identificar áreas necesarias de intervención, según los niveles de vulnerabilidad delimitados. Aun así, no se ha desarrollado una única metodología para evaluar la vulnerabilidad, y en este trabajo se propone la aplicación de la técnica de evaluación multicriterio (EMC) enmarcado en el paradigma de la decisión multicriterio con enfoque de la teoría de la decisión. Esta técnica opera sobre el dato temático y unido a los sistemas de información geográfica (SIG) se potencia la operación del dato geográfico, logrando un modelo decisional de vulnerabilidad mediante el análisis espacial.

Se inicia con el cargue en ArcGIS pro de la capa de elevación digital del municipio de Valledupar, información extraída del geoportal web USGS (Servicio Geológico de Estados Unidos).

En la figura 2 podemos observar el diagrama de flujo del cargue de las principales capas en el programa Argic pro

Figura 2.

Diagrama de flujo Cargue de capas en Argic pro

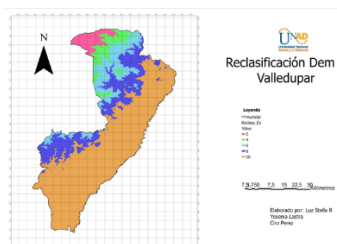


Fuente. Autoría Propia, 2024.

Continuamos con el proceso de reclasificación de la capa Dem del municipio de Valledupar ya cargada en el programa Argic Pro, se actualizan los datos a 5 clases ajustando los valores en orden descendente de 10 a 2 en donde el numero 2 representara la zona con mayor elevación la que corresponde a un riesgo bajo. En la siguiente figura 3 se observa el proceso de salida de la reclasificación del Dem municipio Valledupar.

Figura 3.

Reclasificación capa Dem Municipio Valledupar



Nota. Esta figura muestra el geoproceso de reclasificación capa municipio de Valledupar

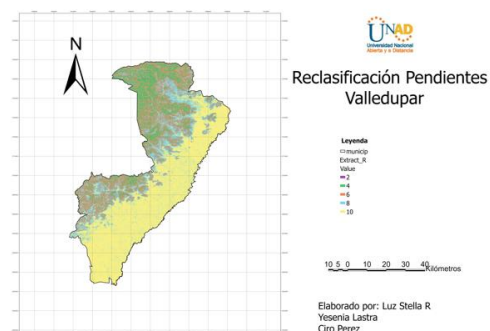
Fuete. Autoría Propia, 2024.

seguimos con la reclasificación de la capa pendientes, donde se ajustan las misma 5 clases, para este caso nos referimos a los grados de inclinación de las pendientes del municipio de estudio, organizando los valores en orden descendentes del número 10 al 2 en donde el numero 2 representa las pendientes de mayor inclinación que corresponderían a la clasificación de un riesgo muy bajo.

En la figura 4 se identifica el proceso de reclasificación de la pendiente del municipio de Valledupar.

Figura 4.

Reclasificación de capa pendientes Valledupar

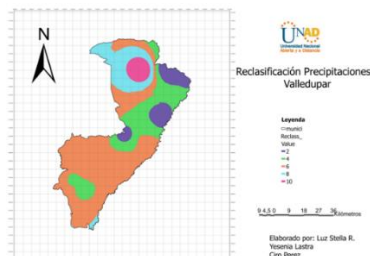


Nota. Esta figura muestra el geoproceso de reclasificación capa pendiente municipio de Valledupar

Fuente. Autoría propia, 2024.

Una vez cargada la capa de precipitación de Valledupar procedemos a realizar el geoproceso de reclasificación, ajustando los valores que permitirán determinar las altas y bajas intensidades de lluvias asignándoles valores numéricos en orden ascendente, iniciando desde el numero 4 hasta el numero 10 siendo este último valor el que represente las precipitaciones más altas.

A continuación, observamos en la figura 5 el proceso de salida de la reclasificación de capa precipitaciones del municipio de Valledupar.

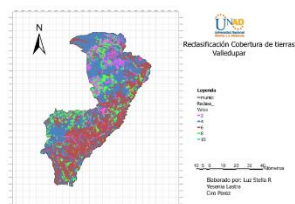
Figura 5.*Reclasificación de capa precipitaciones Valledupar*

Nota. Esta figura muestra el geoproceso de reclasificación capa precipitación del municipio Valledupar.

Fuente. Autoría propia, 2024.

Continuamos con la reclasificación de la capa cobertura de tierra Land Cover, donde seleccionamos la información del nivel 2, que corresponde a las diferentes coberturas del suelo y la asignación de valores numéricos para la clasificación del riesgo en un rango de 2 a 10.

La figura 6 nos muestra el proceso de reclasificación de la capa cobertura de tierra

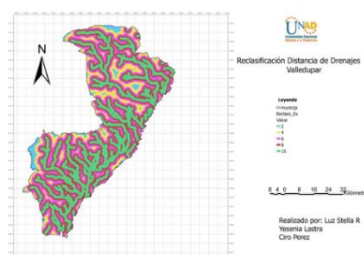
Figura 6.*Reclasificación capa cobertura de tierras Valledupar*

Nota. Esta figura muestra el geoproceso de reclasificación capa cobertura de tierra del municipio Valledupar.

Fuente. Autoría propia, 2024.

En el siguiente paso se realiza la reclasificación de la capa distancia de drenajes Valledupar, donde se actualizan las 5 clases que corresponden a los valores numéricos que representan las distancias lejanas y cercanas entre los diferentes drenajes del municipio que van desde el número 10 en orden descendente hasta el número 2 el cual representa la distancia más lejana entre los drenajes.

En la figura 7 podemos observar la reclasificación de la capa distancias de drenajes del municipio de Valledupar.

Figura 7.*Reclasificación capa Distancia de Drenajes Valledupar*

Nota. Esta figura muestra el geoproceso de reclasificación capa Distancia de drenaje del municipio Valledupar.

Fuente. Autoría propia, 2024.

Con la reclasificación de las capas anteriores se llega al punto de generar el mapa de riego de inundación del municipio, aplicando el geoproceso de suma ponderada que permite la combinación de varias capas con información a las cuales se le asigna un peso numérico que representa el valor de esa información.

En la siguiente figura 8 podemos diferenciar los factores evaluados y el porcentaje de influencias de estos para determinar los criterios del análisis de riesgo de inundación en el municipio de estudio.

Figura 8.

Criterios de análisis para riesgo de inundación.

Factor	Porcentaje
Modelo de Elevacion Dem	10%
Pendiente	15%
Cobertura de tierras (Land Cover)	10%
Precipitacion	35%
Distancia entre Drenajes	30%
Total	100%

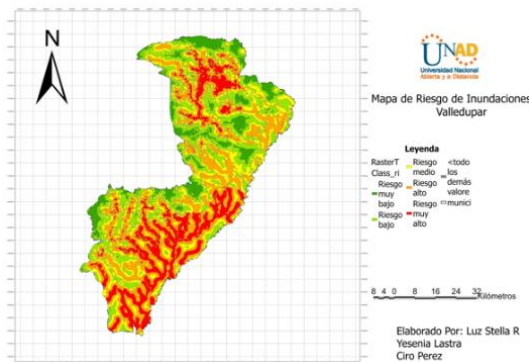
Nota. Esta tabla muestra los factores para el análisis de riesgo de inundación y su porcentaje de influencia.

Fuente. Autoría propia, 2024.

La figura 9 nos muestra el mapa de riesgo de inundación, en el cual podemos clasificar cinco categorías o niveles de riesgo

Figura 9.

Mapa de riesgo de inundación



Nota. Esta figura muestra el mapa de riesgo para el municipio de Valledupar.

Fuente. Autoría propia, 2024.

Para definir el riesgo de inundación se clasifica en 5 categorías o niveles que se encuentran en definidos en la figura 10.

Figura 10.

Clasificación del riesgo

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

Nota. Esta tabla muestra la descripción cualitativa del riesgo con valor numérico

Fuente. Autoría propia, 2024.

Resultados

De acuerdo con la información obtenida en el mapa de resultado de riesgo de inundación, se transformó esa capa raster a una capa vectorial con la herramienta de conversión del programa ArcGIS pro de raster a polígono y aplicamos el geoprocso disolver para simplificar los datos de la capa.

Se realizó un cálculo geométrico para determinar las áreas de cada polígono de la capa, usando la calculadora del programa determinamos cada área.

Principi (2022) opina que La Geografía Aplicada adquiere, desde este enfoque, una relevancia especial considerando que su objetivo principal es generar conocimientos útiles para la resolución de problemáticas espaciales. Sumado a la fuerte vinculación que tiene esta perspectiva con la práctica del ordenamiento territorial, lo que la posiciona favorablemente en los estudios de riesgos.

En la figura 11 podemos identificar las clases de los riesgos de inundación y las áreas en que se ubican cada uno.

Figura 11.

Áreas del municipio Valledupar

Clase de Riesgo de Inundación	Área en Km2
Riesgo muy bajo	359,72
Riesgo bajo	950,59
Riesgo medio	911,31
Riesgo alto	1236,45
Riesgo muy alto	709,22
Área total en km2	4.177,29

Nota. Esta tabla muestra la relación de las áreas con las clases de riesgo.

Fuente. Autoría propia, 2024.

El área total de estudio del municipio de Valledupar está comprendida por 4.177,29 kilómetros cuadrados de los cuales se destacan la siguiente información. De acuerdo con la clasificación cualitativa podemos identificar que el área con mayor riesgo de inundación está comprendida por 1.236,45 kilómetros cuadrados que se encuentra ubicada en la categoría de riesgo alto, y el área con menor riesgo de inundación es de 359,72 kilómetro cuadrados ubicada en la categoría de riesgo muy bajo.

En la gráfica de la figura 12 se visualizan las clases de riesgo y los porcentajes del área ocupada.

Figura 12.

Identificación niveles de riesgo



Nota. Esta figura representa las clases de riesgos, porcentaje de y el área de influencia

Fuente. Autoría propia, 2024.

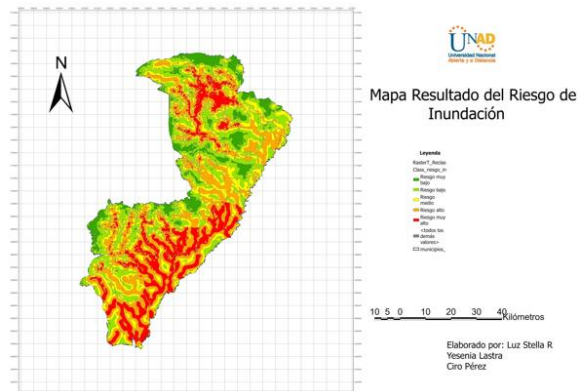
De acuerdo con la gráfica podemos observar la distribución de las áreas, las clases de riesgo y el porcentaje de estos, lo que nos lleva a

determinar qué el riesgo alto está clasificado en un 29,7 % ocupando un área mayor de la totalidad del área de estudio seguido de un 8,6 % que corresponde al riesgo muy bajo con un área de 359,72 kilómetros cuadrados.

En la figura 13 se identifica la distribución espacial de los riesgos en la zona de estudio del municipio de Valledupar, ubicando en la zona sur los niveles de riesgo alto o muy alto en donde también se visualiza aquella zona de mayor presencia de cuerpos de aguas, llamase acequias o ríos que pasan por esos lugares de influencia.

Figura 13.

Mapa del Riesgo por inundación del municipio de Valledupar.



Nota. Esta figura el resultado de la clasificación del riesgo de inundación para el municipio de Valledupar.

Fuente. Autoría propia, 2024.

Visualmente podemos identificar que las zonas más vulnerables con alto y muy alto riesgo se ubican al sureste de la ciudad y que cierta parte de la zona norte presenta una vulnerabilidad menor.

La información geoespacial se encuentra almacenada en bases de datos. Las mismas proporcionan un método confiable para manejar grandes cantidades de datos y a su vez

brindan una combinación de rendimiento del sistema y facilidad de implementación. Los usuarios que utilizan estos sistemas ejecutan consultas con el objetivo de recuperar información (Franco et al., 2022, p.1)

Conclusiones

De acuerdo a la información obtenida en los resultados, se pueden observar e identificar las zonas en el municipio de Valledupar que representan mayor y menor riesgo de ser inundadas en las épocas intensas de lluvias, con la aplicación de la herramienta análisis multicriterio se puede valorar de manera cualitativa y cuantitativas esas áreas vulnerables, y con el uso de los sistemas de información geográficas que permiten la extracción de la información recopiladas en bases de datos en distintos años y épocas, así como también permiten el procesamiento de la información se pueden llegar a resultados visuales de esos lugares de riesgos, comprendiendo de esta manera que la zona de estudio de este municipio que presenta un mayor riesgo se encuentra en la zona sureste de la ciudad, en donde se puede ver la influencia de mayores canales o cauces de agua y bajas pendientes. Se identificó que el área con mayor riesgo de inundación está comprendida por 1236,45 kilómetros cuadrados que se encuentra ubicada en la categoría de riesgo alto y el área con menor riesgo de inundación es de 359,72 kilómetro cuadros ubicada en la categoría de riesgo muy bajo.

Recomendaciones

Desde el área de ingeniería ambiental se formulan las siguientes recomendaciones

Realizar una inspección por parte de las autoridades competentes de aquellos cuerpos de agua principales en cuanto a que no sean fuentes de contaminación de basuras lo que

puede influir en el desbordamiento de estos en épocas de invierno.

En Colombia representan una amenaza importante debido al desarrollo urbanístico y procesos constructivos de invasión sobre valles aluviales y planicies de inundaciones, zonas que poseen los cuerpos de agua de forma natural para ser inundables, sin embargo, la intervención del hombre ha causado el cambio hidrológico del funcionamiento de los ríos, razón por la cual generan demasiada afectación a la población colombiana (Camargo, 2022).

Implementar planes de prevención de riesgos de inundaciones por parte de la defensa civil, bomberos y demás entes responsables, que permitan concientizar a los habitantes de los lugares más vulnerables del riesgo al que están expuestos.

Londoño (2021) dice que Uno de los principales objetivos de la gestión del riesgo de desastres, es el estudio de los eventos extremos por exceso hídrico que pueden generar mayores afectaciones o impactos negativos, tales como daños en infraestructura y pérdida de vidas humanas. No obstante, estos objetivos no están solamente dirigidos al conocimiento del riesgo como lo es una evaluación cuantitativa como la de este estudio, sino que también se encuentran enfocados hacia la evaluación de medidas para reducirlo, lo cual es un complemento y otorgan finalmente validez y aplicación a cualquier avance en el conocimiento del riesgo.

Efectuar un programa de siembra de árboles cerca de esas zonas con cuerpos de agua que permiten generar una mayor estabilidad de las orillas y evitar desbordamientos futuros.

Como por ejemplo la Acequia Las Mercedes se encuentra ubicada en la ciudad de Valledupar, nace del río Guatapurí y recorre el municipio de Noroeste a Suroeste y fue concesionada por la corporación autónoma regional del Cesar “CORPOCESAR” para fines agrícolas, empleándola para la irrigación de cultivos de

carácter privado. Esta Acequia es de gran importancia en la ciudad de Valledupar, ya que cumple con dos funciones principales como es el riego del arbolado urbano y la evacuación del excedente del agua de lluvia en épocas de invierno. (Pérez,2020).

Efectuar estudios más seguidos de estos riesgos y amenazas de inundaciones, lo que permite llegar a tomar decisiones tempranas y generar alertas de esos lugares críticos que pueden ser afectados en esas épocas de lluvias torrenciales en la ciudad de Valledupar.

Por consiguiente, la gestión del riesgo de inundaciones se convierte en un instrumento indispensable para que los países, las organizaciones gubernamentales, las comunidades y en general los territorios, disminuyan la vulnerabilidad y los impactos ambientales, sociales y económicos y se transite hacia un desarrollo sostenible. (Avila, 2022).

Referencias bibliográficas

- Alcaldía de municipal de Valledupar. (2023). *Alcaldía de Valledupar “Valledupar en orden”*. <http://valledupar-cesar.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Informacion-del-Municipio.aspx>
- Avila León, J. F. (2022). Análisis de la gestión del riesgo de inundaciones en la región de la Mojana (2016-2022).
- Bonet Morón, J., & Ricciulli Marín, D. C. (2020). Historia del ordenamiento urbano de Valledupar. *Revista tiempo&economía*, 7(1), 125-152. <https://doi.org/10.21789/24222704.1555>
- Camargo Urrego, E. A. (2022). Identificación de zonas en riesgo de inundación por medio del SIG en el sector de Bosa El Recreo generadas por el Río Bogotá.
- Cayón Cayón, L. S., & Toro Ojeda, L. A. (2021). Análisis de pavimentos permeables como solución alternativa al problema de inundaciones en la calle 22 y la carrera 5 de la ciudad de Santa Marta, la calle 17 y la 12 en Barranquilla y la calle 1 de Valledupar entre los años 2015-2021.
- Cerpa Reyes, L. J. (2022). Ajuste del índice de precipitación estandarizado (SPI), bajo condiciones de precipitación mensual cero.
- Franco, I. S., Guerra, G. A. P., García, D. N. M., & Pérez, D. M. E. R. (2022). Procesamiento de consultas en un Sistema de Información Geográfica. *Anuario Ciencia en la UNAH*, 20(3).
- Herrera-Martínez, J. R., Navarro-Sining, B. A., Torres-Cervera, K. P., Martínez-García, N., Royero-Ibarra, A., & Cahuana-Mojica, A. (2022). Determinación de los índices BMWP/COL, (QBR),(IHF) e ICO en Valledupar, Colombia. *Revista Politécnica*, 18(35), 110-127.
- Londoño Giraldo, J. S. (2021). Evaluación del riesgo urbano por inundaciones del río Supía (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia).
- Mullisaca Larico, W. A. (2023). Utilización de sistemas de información geográfica para la gestión de la vegetación en empresas de distribución eléctrica peruanas, 2023.
- Naváez, L. M. (2021). Análisis espacial de evaluación multicriterio con la lógica fuzzy y sistemas de información geográfica aplicado a la vulnerabilidad global en el departamento Pocito (San Juan-Argentina). *Geográfica digital*, 18(36), 54-67.

Palacio Pacheco, O. V., Cadena Carrillo, G., Ortega Sinning, E. R., & Vanegas Padilla, A. P. (2021). Zonificación geotécnica de los suelos de la ciudad de Valledupar mediante utilización de un SIG. *Revista Politécnica*, 17(33), 109-119.
<https://doi.org/10.33571/rpolitec.v17n33a9>

Pérez Correa, J. (2020). Delimitación de áreas de inundación usando la herramienta HEC-RAS y su aplicativo SIG HEC-GEORAS en la Acequia las Mercedes, Valledupar.

Principi, N. (2022). Cartografía de riesgo a inundaciones como herramienta de apoyo a la planificación territorial. Aplicación a la ciudad de Luján (Argentina). *Geográfica digital*, 19(37).

Valladares, M. A. E. (2022). Sistemas de Información Geoespacial (SIG) y su Importancia en la Prevención y Monitoreo de Desastres Naturales en Honduras

Enlace de sustentación:

<https://youtu.be/BTefnHBuMvk>