

Análisis multicriterio para la evaluación del riesgo por inundación en la ciudad de Tunja en el departamento de Boyacá

Miguel Antonio Caro Ardila, mcaroa@unadvirtual.edu.co
David Leonardo Puerto Rodríguez, dlpuertor@unadvirtual.edu.co
Evangelina Parra Pérez, evangelina.parra@unad.edu.co

Resumen

El objetivo del presente artículo, es dar a conocer el análisis del mapa de riesgo por inundación para la ciudad de Tunja-Boyacá (Colombia); este análisis incluye la identificación de áreas críticas, una interpretación de los datos obtenidos en términos del impacto potencial en las comunidades, infraestructuras, sistemas agropecuarios y/o ecosistemas presentes en el área estudiada. Para el desarrollo analítico, se tuvo en cuenta información del geo portal del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) en forma de datos tipo Shapefile (Shp), relacionados con las precipitaciones del mes de octubre, unos de los meses con mayores índices de lluvia para la región y la ciudad de estudio. Por otro lado, se utilizó la herramienta software ArcGIS para la ilustración de los mapas, tablas y gráficos que muestra la clasificación del riesgo por inundación en cinco niveles, utilizando un código de colores para su identificación como parte del análisis del presente artículo. Con la información obtenida, podríamos llegar a recrear un panorama real de las posibles afectaciones por una inundación torrencial en diferentes puntos de la ciudad, que por su topografía podrían ser afectados ocasionando daños importantes en zonas urbanas y agrarias.

Palabras claves: Riesgo, Inundación, Inundación de tipo torrencial / Inundación súbita, Multicriterio, Shapefile, Fotointerpretación

Introducción

Colombia, no es ajeno a eventos adversos ligados a condiciones cambiantes y poco predecibles como lo es el clima, para el año en curso (2024) hemos sido testigos y en algunos casos, actores directos en eventos relacionados al conocido fenómeno de la niña, que se ha acentuado para esta época en algunos países

tropicales, hace tan solo unos días, las inundaciones en las áreas del choco y la guajira nos mostraban panoramas desoladores frente a las graves afectaciones de tipo social y económico que enfrentan los pobladores de estas regiones; por tanto, el tema abordado frente a los análisis de riesgo por inundaciones, sigue jugando un papel fundamental en la planificación estatal para la disminución de las

afectaciones en dichos eventos; por parte del gobierno nacional y su entidad competente, la Unidad Nacional para la Gestión del Riego de Desastres (UNGRD), realizan labores humanitarias y civiles en pro de buscar mejorar las condiciones dignas para las comunidades afectadas, lo cual es de gran ayuda pero de forma momentánea, por otro lado, no se han adelantado estudios profundos de la vulnerabilidad que presentan algunas regiones y además de ello, para los sitios donde han ocurrido ciertas eventualidades, no se han tomado medidas de planificación, para que no se vuelva a generar dichas emergencias. El área inundable en la ciudad de Tunja, forma parte de la subzona hidrográfica del Río Chicamocha, el área más perjudicada hace parte de las zonas cercanas al Río La Vega y el Río Jordán, especialmente es su paso por el área urbana, la cual afecta siete sectores.

Objetivos

General.

Analizar los multicriterio para la evaluación del riesgo por inundación en la ciudad de Tunja en el departamento de Boyacá.

Específicos.

- Analizar frente a los resultados obtenidos, que áreas de la ciudad de Tunja pueden presentar mayores afectaciones.
- Evaluar los efectos negativos, que tendrían una eventualidad con altos niveles de precipitaciones en la ciudad de Tunja, tanto económicos como sociales.
- Desarrollar habilidades relacionadas con la metodología de análisis multicriterio, para determinar posibles soluciones, además de generar

proyecciones hacia el ordenamiento territorial, en pro de disminuir dichas eventualidades.

Identificación del caso de estudio

Tunja, es la capital del departamento de Boyacá en Colombia; se encuentra ubicada sobre la cordillera oriental en los Andes y es la capital más alta en el país.

Coordenadas: [5°32'25"N 73°21'41"O](#)
(Fundación Wikimedia, s.f.)



Imagen tomada de:

(Fundación Wikimedia, s.f.)

Tunja, está compuesto por 162 barrios y 8 comunas, además de 10 veredas en su parte rural, cuenta con un área de 121,4 km², topográficamente su ubicación se encuentra en el valle del alto Chicamocha, en la región conocida en el país como el altiplano cundiboyacense, su altitud es de 2720 msnm, por lo que es la ciudad capital más alta del país y una de las 15 ciudades más altas del mundo.
(Fundación Wikimedia, s.f.)

Tunja, es conocido por su clima frío y templado de alta montaña. En época de lluvia las

precipitaciones son fuertes y en los meses más seco las lluvias suelen ser significativas. La temperatura media normal es de 13 grados. Tunja, por encontrarse en la zona intertropical, se ve afectada en su clima por la influencia de algunas condiciones como; la altitud, las precipitaciones y las corrientes oceánicas, causando algunas variaciones de temperatura. (Fundación Wikimedia, s.f.)

Hidrográficamente, para la ciudad de Tunja, el recurso hídrico más importante es la represa teatinos, que provee de sus aguas para el consumo humano, riego de cultivos y toda la parte pecuaria de la ciudad, de la misma manera, cuenta con tres ríos propios y uno que cruza la ciudad, los cuales son: el río Jordán, el río teatinos y el río la vega.

En Tunja, la amenaza por deslizamientos afecta especialmente a la población marginal, las cuales construyeron sobre las cárcavas existentes, por otro lado, el desarrollo urbanístico incontrolado sobre el Valle del Río Jordán y la Vega, genera una problemática en época de lluvia por inundaciones, poniendo en jaque a las administraciones del municipio.

El área afectada hace parte de las zonas contiguas al Río La Vega y el Río Jordán; en su paso por el área urbana, se identifican siete sectores que se ven afectados importantemente: barrio San Ricardo, La Granja hacia la UPTC, Parque Recreacional y La Sexta, UPTC por todo el costado derecho, Pozo Donato y Barrio Cristales parte baja, Avenida universitaria hacia el Barrio 15 de mayo, Avenida universitaria hacia el Barrio Las Quintas llegando al Barrio tejares del Norte; estas zonas, conservan condiciones geológicas y geomorfológicas de la cuenca, correspondiente a depósitos de origen cuaternario que sobresalen por conservar una geofoma y pendiente constante a lo largo de todas las zonas afectadas.

Metodología

Para el desarrollo del análisis de riesgo por inundación para la ciudad de Tunja-Boyacá, utilizamos el método de análisis multicriterio, el cual se caracteriza por ser un herramienta de soporte para la toma de decisiones, esta nos permite hacer un análisis con diferentes variables, también tiene la propiedad de dar importancia y ponderar aquellas variables, que según la experiencia de los investigadores, puedan tener mayor influencia en la ocurrencia de inundaciones, este método se combina con los SIG y por lo tanto son adecuados para optimizar el ordenamiento territorial. La evaluación multicriterio ha recibido renombrado interés debido a:

- 1) permite mejorar la toma de decisiones.
- 2) apoya el desarrollo y la evaluación de planes alternativos.
- 3) es predominante y apropiado para la toma de decisiones espaciales, ya que los datos en los que se basan los encargados de adoptar decisiones, están relacionados principalmente con el espacio.

Los SIG multicriterio, utilizan las capacidades del SIG en la gestión de los datos geospaciales y la flexibilidad para combinar información real, (por ejemplo, uso de la tierra, pendiente, cuencas, etc.) con información basada en valores, (por ejemplo, opinión de expertos, normas, encuestas, etc.) (ECAPMA, 2024)

Riesgo por inundación.

Para este análisis multicriterio, se aplicaron los siguientes criterios de análisis y su ponderación en porcentaje, para determinar el riesgo por inundación en la ciudad de Tunja.

Criterios de análisis para riesgo de inundación

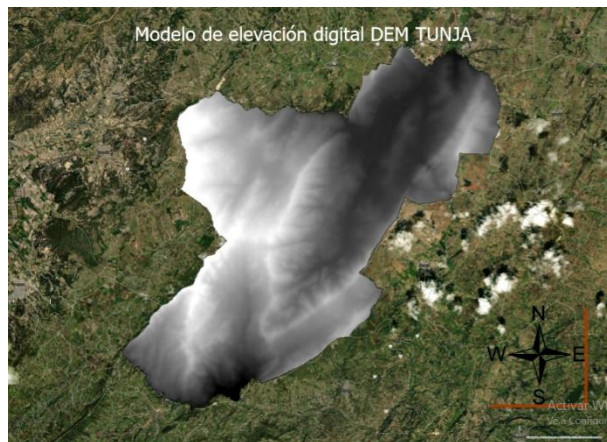
Factor	Porcentaje
Modelo de elevación digital DEM	10%
Pendientes	15%
Cobertura de tierras (Land cover)	10%
Precipitación	35%
Distancia entre drenajes	30%
Total	100%

Nota: Esta tabla muestra los cinco factores del análisis de riesgo de inundación y su porcentaje de influencia para aplicar en un modelo multicriterio.

Imagen tomada de: guía de actividades fase 4 (ECAPMA, 2024)

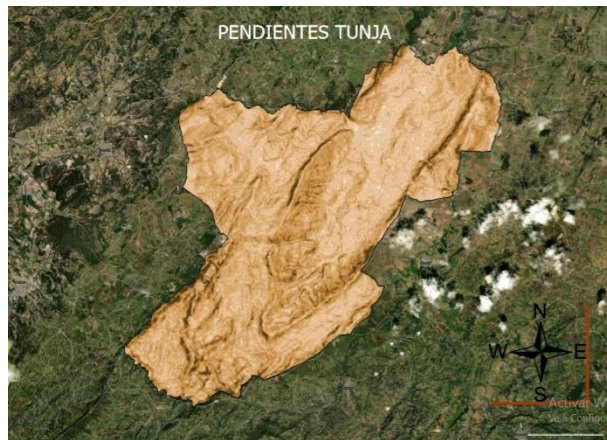
Gestión de datos geospaciales:

Figura 1: *Modelo de elevación digital DEM Tunja*



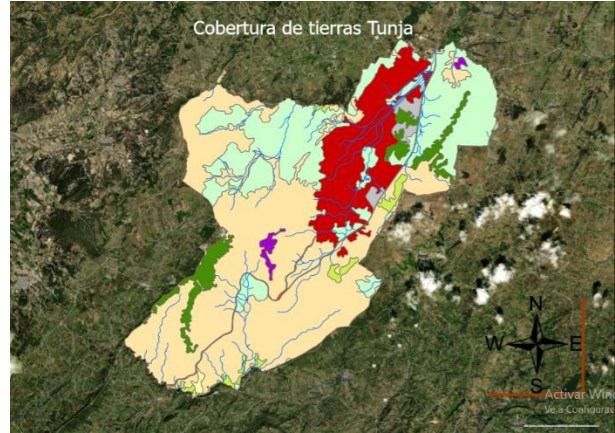
Fuente: Autoría propia, 2024

Figura 2: *Pendientes Tunja*



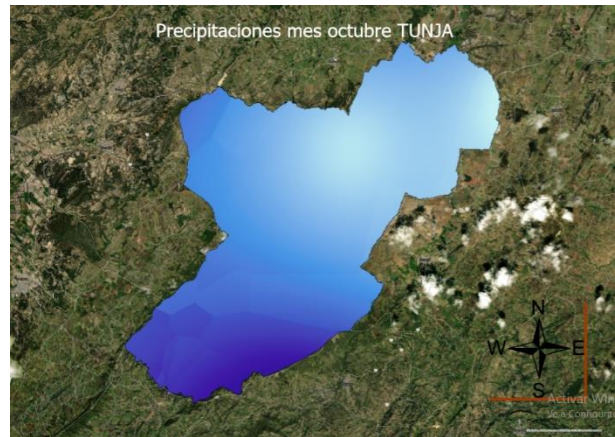
Fuente: Autoría propia, 2024

Figura 3: *Cobertura de tierras (land cover) Tunja*



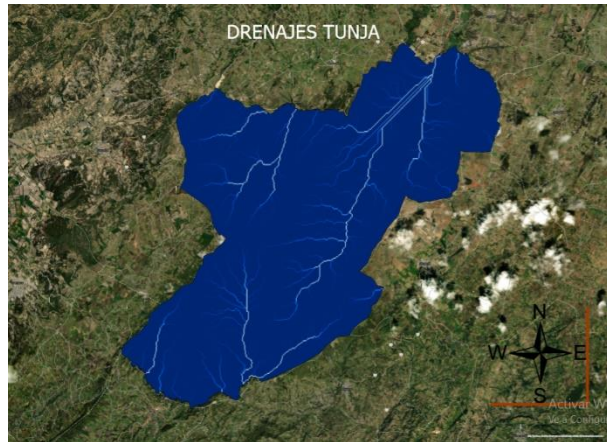
Fuente: Autoría propia, 2024

Figura 4: *Precipitación mes de octubre Tunja*



Fuente: Autoría propia, 2024

Figura 5: *Distancia entre drenajes*

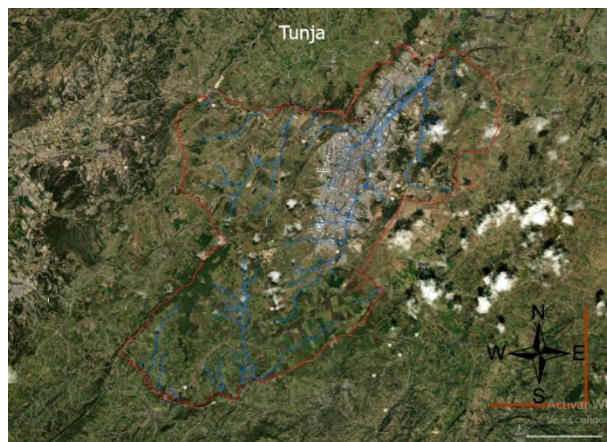


Fuente: Autoría propia, 2024

Resultados.

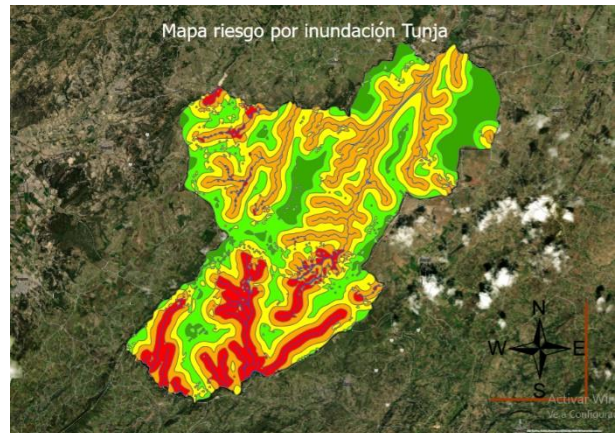
El Mapa de riesgo por inundación para la ciudad de Tunja, nos muestra una de las zonas más susceptibles a inundaciones; se puede observar, que la zona donde se concentra mayormente el desarrollo urbano es uno de los puntos con mayor susceptibilidad a inundaciones, esto en parte, por la misma topografía del terreno que favorecen la ocurrencia de fenómenos naturales y la falta de planificación en el POT.

Figura 6: Mapa de Tunja v/s zona de drenajes



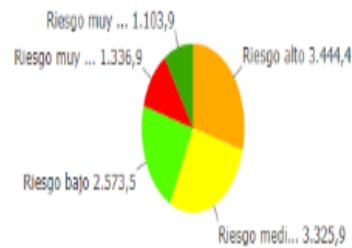
Fuente: Autoría propia, 2024

Figura 7: Mapa riesgo por Inundación Tunja



Fuente: Autoría propia, 2024

AREAS DE CLASIFICACION RIESGO DE INUNDACION (Ha)



Activar Wii
Ve a Configura

Fuente: Autoría propia, 2024

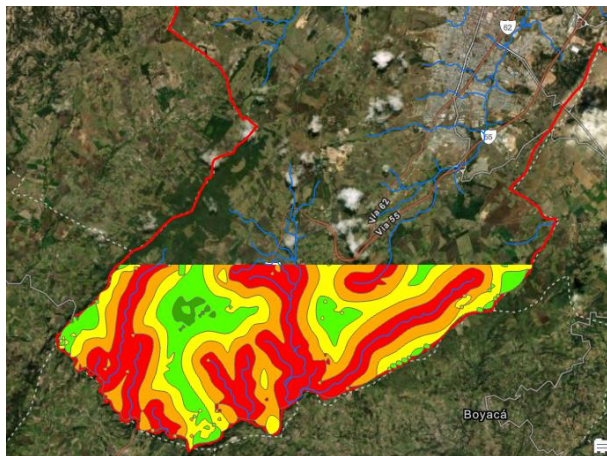
- Riesgo alto 29,2 % (3.444,4)
- Riesgo medio 28,2 % (3.325,9)
- Riesgo bajo 21,8 % (2.573,5)
- Riesgo muy alto 11,3 % (1.336,9)
- Riesgo muy bajo 9,4 % (1.103,9)

Fuente: Autoría propia, 2024

La zona identificada con el riesgo más alto, es la que comprende parte de la vía 55 hacia el puente de Boyacá, yendo hacia el departamento de Cundinamarca, la cual posee un gran número de fincas agropecuarias y se evidencia en que

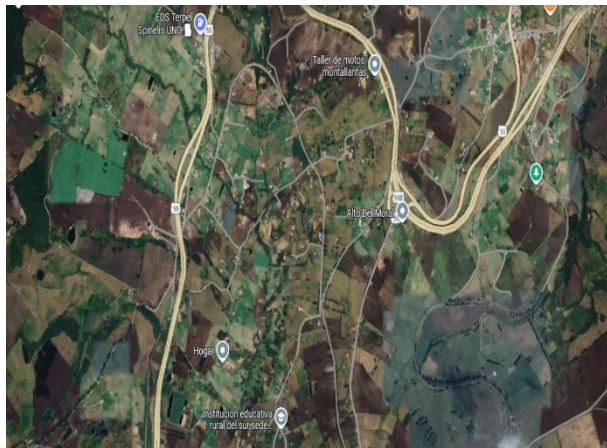
estas sufren la mayor parte de las inundaciones en época de invierno.

Figura 8: Zona de riesgo muy alto v/s zona drenajes (función barrida en ArcGIS)



Fuente: Autoría propia, 2024

Figura 9: Zona de riesgo muy alto vía 55 hacia el puente de Boyacá



Fuente: Autoría propia, 2024

Del área total de la ciudad de Tunja, alrededor de un 69% se encuentra en riesgo de inundación, tomando como base las áreas de riesgos medio, alto y muy alto (tabla 1); por lo que es de gran importancia, tener un plan de contingencia para las emergencias venideras, sabiendo que el cambio climático sigue

ocasionando cambios importantes en las precipitaciones anuales.

El 31% del área total de Tunja, tiene un riesgo por inundación mínimo (tabla 1), el cual, podría servir como base para mejorar el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) de la ciudad, llevando el desarrollo urbanístico a estas áreas.

Tabla 1. Clasificación de riesgo por inundación por área en ha

GRIDCODE	CLASIFICACION RIESGO INUNDACION	AREA_Ha
1	Riesgo muy bajo	1103,862782
2	Riesgo bajo	2573,499722
3	Riesgo medio	3325,918553
4	Riesgo alto	3444,392652
5	Riesgo muy alto	1336,888976

Fuente: Autoría propia, 2024

Conclusiones.

El desarrollo urbanístico, diseñado a lo largo del crecimiento del municipio establecido en el POT en la ciudad de Tunja, posee muchas falencias, en lo largo de las décadas la falta de estudios de cuenca, la falta de intereses y limitada información generada para época de su asentamiento es un atenuante de lo que actualmente se vive, hoy en día realizar estudios a base información geográfica nos da una clara visibilidad de las falencias de crecimiento urbano del municipio las cuales se hacen visibles cuando en época de lluvia se inundan varios barrios de la ciudad.

En la mayoría de los casos, las inundaciones en la ciudad de Tunja, ocurren como consecuencia de las administraciones municipales, ya que en su plan de ordenamiento territorial el crecimiento de la ciudad fue en suelo sedimentado y en su mayoría eran humedales de gran magnitud además de la falta de

capacidad hidráulica de las estructuras existentes, estas en su mayoría fueron diseñadas sin un adecuado estudio hidrológico, por lo que, en caso de lluvias extremas, se provoca el represamiento del cauce y eventual desbordamiento aguas.

Para la ciudad de Tunja, se recomienda el uso de metodologías de impacto ambiental y paisajístico, mediante la implementación de técnicas de modelación espacial agroambiental.

Del área total de la ciudad de Tunja, alrededor de un 69% se encuentra en riesgo de inundación.

El 31% del área total de Tunja tiene un riesgo por inundación mínimo.

El uso de las herramientas de ofimática, como es el caso de ArcGIS que permite la gestión de datos geoespaciales crear y desarrollar cualquier tipo de análisis multicriterio, y frente a ello la toma de decisiones más acertadas en cuanto al ordenamiento territorial o agroambiental.

Colombia, cuenta con geo portales como es el caso del IGAC, este nos permite el uso de su información para el desarrollo de todo este tipo análisis multicriterio, para áreas en la jurisdicción del país.

Se hace pertinente para el país, el desarrollo de análisis de riesgo por inundación a lo largo y ancho de su territorio, con el fin de identificar las zonas susceptibles a estas eventualidades, y frente a ello, aportar la información a los entes territoriales para el desarrollo y la ejecución de planes de prevención y mitigación frente a este tipo de riesgos en las comunidades.

Recomendaciones.

Algunas zonas de expansión urbana, específicamente, la parte nororiental de la ciudad que va desde Las Quintas hasta Green Hills y donde se ha planeado y ejecutado gran parte del desarrollo de proyectos importantes, son con un alto nivel de riesgo de inundaciones significativas, se recomienda que se respeten las zonas de rondas de los ríos y se construyan obras civiles de protección.

Establecer medidas preventivas y correctivas, para mitigar este tipo de problemáticas, algunas como; la construcción de obras civiles complementarias en las rondas de los ríos, la construcción de obras de alcantarillado con capacidad hidráulica suficiente para el desarrollo de la ciudad, el respeto a las rondas de los ríos y/o renovación del Plan de Ordenamiento Territorial (POT).

Desarrollar una planificación eficiente de proyectos de construcción hacia las partes altas de la ciudad, para lograr reducir los problemas sociales y ambientales ocasionados por las inundaciones.

Referencias bibliográficas

- ADRIÁN LEONARDO FERRIÑO FIERRO, D. B. (16 de Noviembre de 2015). *biblat*. Obtenido de *biblat*: <https://biblat.unam.mx/hevila/EpistemusCienciatecnologiaysalud/2015/no19/9.pdf>
- American Psychological Association. (s.f.). *Style and Grammar Guidelines*. Recuperado el 17 de enero de 2020, de *Apastyle*: <https://apastyle.apa.org/style-grammar-guidelines>
- Angie Carolina Herrera Mier, L. J. (10 de 4 de 2021). *Repositorio Universidad Francisco de Paula Santander*. Obtenido de *Repositorio Universidad Francisco de Paula Santander*:

- <https://repositorioinstitucional.ufpso.edu.co/xmlui/bitstream/handle/20.500.14167/4346/Trabajo%20de%20investigaci%C3%B3n%20Angie%20y%20Laudith.pdf>
- Carlos Andrés Caro-Camargo, L. G.-A. (9 de 4 de 2021). Contribuciones a la gestión del riesgo de inundación en zonas localizadas. Caso de estudio: Tunja, Colombia. *Tecnología y ciencias del agua*, págs. 1-37.
- Carrillo García, S. (2019). Artículo científico. En S. Carrillo García, L. M. Toro Calderón, A. X. Cáceres González, & E. C. Jiménez Lizarazo, *Caja de herramientas. Géneros Textuales*. Universidad Santo Tomás.
- CRAI USTA Bucaramanga. (2020). *Informe de recursos y servicios bibliográficos*. Bucaramanga: Universidad Santo Tomás.
- Daniel Santiago Sierra Martin, K. D. (2020). *Repositorio Universidad de Cundinamarca*. Obtenido de Repositorio Universidad de Cundinamarca: <https://repositorio.ucundinamarca.edu.co/server/api/core/bitstreams/96c89162-3d4a-4d21-a3b6-5e366e404b5b/content>
- Diego Fernando Gualdrón Alfonso, P. S. (2020). *Repositorio Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia*. Obtenido de Repositorio Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia: <https://repositorio.uptc.edu.co/server/api/core/bitstreams/c224314c-d79e-4557-b6b8-f6991975c5f5/content>
- ECAPMA. (2024). *Guía de actividades y rúbrica de evaluación – Fase 4*. BOGOTÁ : Universidad nacional abierta y a distancia UNAD.
- Fundación Wikimedia. (s.f.). Obtenido de <https://es.wikipedia.org/wiki/Tunja>
- Galvis García, R. E. (2020). *Guía Resumen del Estilo APA Séptima Edición*. Universidad Santo Tomás.
- Granados, N. P. (15-18 de Septiembre de 2015). *Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería*. Obtenido de Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería: <https://acofipapers.org/index.php/eiei/article/view/1173/1177>
- ISO, B. D. (s.f.). *NORMAS ISO* . Obtenido de normasiso.org: <https://normasiso.org/analisis-decision-multicriterio-ahp-herramienta-de-toma-de-decisiones/>
- KARLA VIVIANA ABAUNZA TABARES, F. G. (2020). *researchgate.net*. Obtenido de [researchgate.net](https://www.researchgate.net/profile/Melquisedec-Cortes-Zambrano/publication/351492820_Importancia_de_los_sumideros_su_funcionamiento_y_diseno_en_redes_de_alcantarillado_caso_de_estudio_sector_Nororiental_Tunja): https://www.researchgate.net/profile/Melquisedec-Cortes-Zambrano/publication/351492820_Importancia_de_los_sumideros_su_funcionamiento_y_diseno_en_redes_de_alcantarillado_caso_de_estudio_sector_Nororiental_Tunja
- Martinez, A. (14 de 06 de 2023). Obtenido de ConceptoDefinición : <https://conceptdefinicion.de/riesgo>
- Nestor Perico, C. C. (13 de 8 de 2019). *Dialnet*. Obtenido de Dialnet: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7537075>
- propia, a. (2024). Tunja .
- propia, F. (2024). *fase 6*. Tunja.

Enlace de sustentación:

<https://youtu.be/umA2lQfmJPU>