Caracterización del riesgo por inundación utilizando herramientas SIG en la zona urbana del municipio de Villavicencio departamento del meta

Verónica Gamboa E
Asley Fernando Espejo Díaz

Tesis para optar al título de Especialista en Sistemas de información Geográfica

Director:
José Fernando Mejía Correa

Universidad de Manizales
Especialización en Sistemas de información geográfica
Manizales, 2024

Resumen

El municipio de Villavicencio, ubicado en el departamento del Meta, ha sido históricamente vulnerable a los eventos de inundación, causando impactos significativos en la población, infraestructura y recursos naturales. Este proyecto tiene como objetivo caracterizar el riesgo por inundación en el municipio utilizando herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG), mediante un enfoque cuantitativo, se recopilarán y analizarán datos hidrológicos, topográficos, meteorológicos y socioeconómicos para desarrollar modelos predictivos y simulaciones de inundación, además se generarán mapas detallados que identifiquen áreas de alto riesgo, evaluando la exposición y vulnerabilidad de la población e infraestructura crítica. Los resultados incluirán la delimitación precisa de zonas vulnerables, modelos de predicción de impacto y recomendaciones específicas para la mitigación del riesgo en el municipio. Esto permitirá una toma de decisiones informada en la planificación urbana, gestión de cuencas y construcción de infraestructura de protección. El proyecto sentará las bases para futuros esfuerzos en la gestión integral del riesgo de inundaciones en la región, contribuyendo a la reducción de pérdidas y al bienestar de la comunidad.

INDICE GENERAL

INDICE DE TABLAS 4

1. INTRODUCCION 6

2. JUSTIFICACION 6

3. OBJETIVOS 8

3.1 OBJETIVO GENERAL 8
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 8

4. GENERALIDADES BASICAS 9

4. 1 Ubicación 9
4.2 Geología 9
4.3 Vías de comunicación y transporte 10
4.4 Población 11
4.5 Educación 11
4.6 Salud 11

5. GENERALIDADES FISICAS 12

5.1 Clima 12
5.2 Precipitaciones 12

6. ANTECEDENTES 13

6.1 ANTECEDENTES DE INUNDACIONES EN LA CIUDAD DE VILLAVICENCIO 13

7. REFERENTE TEÓRICO 15

7.1 HERRAMIENTAS PARA ESTUDIOS HIDROLÓGICOS 18

8. METODOLOGIA 18

8.1 CALCULO DE LA INUNDACIÓN 18
8.2 EVALUACIÓN DE LA AMENAZA 19
8.3 EVALUACION DE LA VULNERABILIDAD 21
8.3 EVALUACION DEL RIESGO 21

9. METODOS APLICADOS 22

9.1 HIDROLOGÍA 22
9.1.1 INFORMACIÓN HIDROCLIMATOLÓGICA 22
9.2 CLIMATOLOGÍA 23
9.2.1 PRECIPITACIONES MÁXIMAS. 23
9.2.2 HUMEDAD RELATIVA 25
9.2.3 TEMPERATURA 26
9.3 PRECIPITACIONES MÁXIMAS A DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO 28
9.4 INTENSIDAD DE LLUVIA (CURVAS INTENSIDAD DURACIÓN FRECUENCIA IDF) 31
9.5 DETERMINACION CARACTERÍSTICAS MORFOMETRICAS 36
9.5.1 PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS GENERALES 37
9.5.2 PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS ASOCIADOS A LA CUENCA 37

9.5.3 OTROS PARÁMETROS *39*
9.6 ANÁLISIS DE CAUDALES 39
9.6.2 TIEMPO DE CONCENTRACIÓN *39*
9.6.3 MÉTODO DEL HIDROGRAMA UNITARIO *45*
9.7 MODELO DIGITAL DEL TERRENO 52
9.8 MODELACIÓN HIDRÁULICA 53
9.9 GEOMORFOLOGIA 55
10. RESULTADOS 57
10.1 EVALUACIÓN DEL RIESGO 58
10.1.1 IDENTIFICACIÓN DE ELEMENTOS EXPUESTOS *58*
10.2 EVALUACION DE LA VULNERABILIDAD 59
10.3 EVALUACIÓN DEL RIESGO 59
11. DISCUSION DE RESULTADOS 61
12. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 64
13. BIBLIOGRAFIA 65

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Unidades geológicas 9
Tabla 2. Listado de estaciones meteorológica del proyecto. 22
Tabla 3 Temperatura húmeda máxima anual. UNILLANOS 35035070 26
Tabla 4. PRECIPITACIÓN MÁXIMA DIARIA MENSUAL ESTACIÓN SENA [35030030] 31
Tabla 5 Caudales DIFERENTES PERIODOS DE DISEÑO 51

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Estaciones cercanas a la fuente hídricaEstaciones cercanas a la fuente hídrica 23
Ilustración 2 SENA [35030030] 29
Ilustración 3 IDEAM V/CIO [35030380] 29
Ilustración 4 Geomorfología de la cuenca 36
Ilustración 5 Modelo Digital del terreno 52
Ilustración 6 Mapa de Profundidades (m) 54
Ilustración 7 Geomorfología del área de Influencia Directa 55
Ilustración 8 Analisis de amenaza por inundación 20
Ilustración 9 Categorización de la amenaza IDEAM 2010 20

Ilustración 10 Mapa categorizado del tipo de daño y amenaza a inundación del casco urbano del Municipio de Villavicencio 57
Ilustración 11 elementos del proyecto 58
Ilustración 12 Metodología para evaluación de riesgos 22
Ilustración 13 Mapa de Vulnerabilidad 59
Ilustración 14 Mapa de riesgo Zona Urbana Municipio de Villavicencio 60

INDICE DE GRÁFICAS

GRAFICA 1 Precipitación Máxima en 24 h. estación Sena 35030030 23
GRAFICA 2 Precipitación Máxima en 24 h. estación IDEAM V/CIO [35030380] 24
GRAFICA 3 Humedad relativa calculada máxima mensual. UNILLANOS 35035070 25
GRAFICA 4 TEMPERATURA ANUAL ESTACION UNILLANOS 35035070 26
GRAFICA 5 PRECIPITACIÓN MÁXIMA DIARIA MENSUAL ESTACIÓN SENA [35030030] .29
GRAFICA 6 Precipitación Máxima en 24 h. estación IDEAM V/CIO [35030380] 30
GRAFICA 7 Curvas IDF Estación SENA [35030030] 33
GRAFICA 8 Curvas IDF Estación IDEAM V/CIO [35030380] 34
GRAFICA 9 Tiempo de concentración de diseño 44
GRAFICA 10 Hietograma de precipitación de SENA [35030030] 48
GRAFICA 11 Hietograma de precipitación de SENA [35030030] 49
GRAFICA 12 Caudal Total 51

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 IDF ESTACIÓN SENA [35030030] - IDEAM V/CIO [35030380] 33
Ecuación 2 40
Ecuación 3 40
Ecuación 4 40
Ecuación 5 41
Ecuación 6 41
Ecuación 7 42
Ecuación 8 42
Ecuación 9 42
Ecuación 10 43
Ecuación 11 45
Ecuación 12 45
Ecuación 13 46
Ecuación 14 47
Ecuación 15 47

1. INTRODUCCION

Los eventos de inundación son considerados una de las amenazas naturales de mayor recurrencia en Colombia, afectando principalmente a municipios ubicados en áreas cercanas a cuencas hidrográficas. En el caso de Villavicencio, capital del departamento del Meta, las inundaciones representan un problema recurrente debido a su ubicación geográfica en la Orinoquía colombiana, donde confluyen diversas fuentes hídricas como el río Guatiquía, el río Ocoa y numerosas quebradas que atraviesan la ciudad. Estas inundaciones son exacerbadas por las lluvias intensas que se presentan, especialmente durante las dos temporadas de precipitación del año, y por factores como la deforestación, la expansión urbana descontrolada y la sedimentación en los cauces.

Según el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2020), Villavicencio se encuentra en una zona de alta vulnerabilidad a inundaciones, con áreas calificadas como de riesgo alto y muy alto debido a su cercanía a cuerpos de agua y a su geomorfología. Este fenómeno ha causado graves impactos sociales, económicos y ambientales en la ciudad, afectando la infraestructura, los cultivos y, en muchos casos, la seguridad de sus habitantes. Un ejemplo significativo ocurrió en 2017, cuando fuertes lluvias provocaron desbordamientos de ríos y quebradas, ocasionando inundaciones en varios barrios, pérdida de bienes y la necesidad de evacuar a cientos de familias

Las inundaciones en Villavicencio han sido objeto de estudios en los que se utilizan herramientas como los Sistemas de Información Geográfica (SIG) para evaluar y zonificar los riesgos asociados a este fenómeno. Los SIG permiten identificar con precisión las áreas más vulnerables, facilitando la toma de decisiones para mitigar los impactos. En Colombia, la metodología de gestión del riesgo de desastres es liderada por el Sistema Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (SNGRD) y la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD), quienes promueven estrategias de planificación y prevención a través de estudios técnicos y modelamientos geoespaciales.

Por lo anterior, surge la necesidad de plantear la siguiente interrogante: ¿Cuál es el nivel de riesgo por inundación en Villavicencio, considerando la caracterización geográfica de sus fuentes hídricas y aplicando un análisis en un entorno SIG según las metodologías establecidas por el SNGRD y las herramientas técnicas proporcionadas por el IDEAM?

2. JUSTIFICACION

El municipio de Villavicencio, ubicado en el departamento del Meta, es una región propensa a inundaciones debido a su geografía, el clima tropical y la presencia de ríos importantes como el Guatiquía y el Guayuriba. Los eventos de inundaciones en esta zona tienen un impacto significativo

en la población, infraestructura y economía local donde, las inundaciones pueden provocar graves daños a las viviendas, carreteras, puentes y otros elementos de la infraestructura pública, así como a los sectores agrícola y ganadero. Esto tiene un impacto directo en la calidad de vida de los habitantes y puede afectar negativamente la economía del municipio y la región. Además, estas situaciones pueden desencadenar problemas de salud pública y aumentar la vulnerabilidad de los grupos más desfavorecidos.

Para abordar y mitigar el riesgo de inundaciones, es esencial contar con información precisa y detallada sobre las áreas más propensas a estos eventos y los factores que contribuyen al riesgo. Aquí es donde las herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) juegan un papel crucial, permitiendo la recopilación, análisis y visualización de datos espaciales para una mejor toma de decisiones.

El trabajo de grado busca proporcionar una caracterización detallada del riesgo por inundación en Villavicencio utilizando herramientas SIG. Este enfoque permitirá identificar zonas de alto riesgo, analizar los factores contribuyentes y desarrollar mapas de riesgo que serán útiles para las autoridades locales y organizaciones de emergencia. Con esta información, se pueden diseñar estrategias de mitigación más efectivas y planes de gestión de emergencias adaptados a la realidad local.

La investigación proporcionará a los responsables de la toma de decisiones, planificadores urbanos y servicios de emergencia una herramienta invaluable para el diseño de políticas públicas y estrategias de gestión del riesgo. También beneficiará a la comunidad científica y académica, ofreciendo un caso de estudio aplicable a otras regiones con características similares.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Identificar las zonas propensas a inundaciones, utilizando herramientas SIG, con el fin de generar información relevante que permita implementar medidas mitigación y gestión del riesgo por inundaciones en el municipio de Villavicencio.

3.2 Objetivos específicos

- Analizar los datos geoespaciales relevantes, como topografía, hidrología, uso del suelo, infraestructura, entre otros.

- Desarrollar modelos hidrológicos utilizando herramientas SIG para simular eventos de inundación y determinar la extensión, profundidad y velocidad del flujo de agua en diferentes escenarios.

- Identificar la población, infraestructura y actividades económicas la vulnerables ante el riesgo de inundaciones, considerando factores como la exposición, la sensibilidad y la capacidad de adaptación.

- Cartografiar las áreas de riesgo por inundación, identificando las zonas de alto, medio y bajo riesgo, para apoyar la toma de decisiones y la planificación territorial.

4. GENERALIDADES BASICAS

4. 1 Ubicación

El Municipio de Villavicencio está ubicado en la parte noroccidental del departamento del Meta, localizado entre los 3°22′25″N de latitud norte, y los 73°52′36″O de longitud oeste. El municipio cuenta con una superficie de 1311 km^2. Limita por el Norte con el Municipio de Restrepo y El Calvario; por el Este con Puerto López, por el Sur con el municipio de Acacias y San Carlos de Guaroa; y por el Oeste con Mesetas.

4.2 Geología

Villavicencio en áreas cercanas se encuentran afloramientos de rocas metamórficas y sedimentarias, junto con depósitos cuaternarios que cubren en parte las formaciones rocosas de la región. En sus inicios, desde el Pre-paleozoico hasta el Paleozoico Inferior, esta área era un depósito sedimentario compuesto por una secuencia de arenas y limos, a veces conglomerados, que fue sometido a procesos de metamorfismo durante el Paleozoico. Esto marcó la etapa final del depósito del escudo o una fase posterior al escudo (Grupo Quetame). Así, el metamorfismo moldeó la estructura geológica local, dando lugar al afloramiento de rocas de distintos periodos, desde el Precámbrico, Devoniano y Carbonífero hasta el Jurásico Superior. (INGENIERIA, 2010).

Tabla 1 Unidades geológicas

Tipo de Suelo	**Área (km^2)**
Abanicos aluviales y depósitos coluviales	502.86
Arcillolitas y limolitas negras con intercalaciones menores de arenitas y calizas. Segmentos de cuarzoarenitas de grano fino a grueso y conglomerados.	112.99
Conglomerados de bloques a guijos con intercalaciones de arcillas y arenitas de grano fino a grueso	4.62
Conglomerados y brechas; arenitas de grano fino a conglomeraticas y calizas estromatoliticas, e intercalaciones de lodolitas negras.	11.68

Cuarzoarenitas de grano fino a conglomeraticas intercaladas con lodolitas, limolitas silíceas arcillosas y lentes de calizas.	8.43
Cuarzoarenitas, arcillolitas, lodolitas grises y, ocasionalmente, calizas y conglomerados.	61.00
Depósitos aluviales y de llanuras aluviales	548.83
Filitas, esquistos, cuarcitas, pizarras, metaconglomerados, metalimolitas y mármoles.	54.77
Lodolitas grises con intercalaciones medianas de calizas, cuarzoarenitas y lentes delgados de carbón.	4.38
Terrazas aluviales	1.72

Servicio Geológico Colombiano, 2010

Los principales tipos de suelos son los depósitos aluviales y de llanuras aluviales con un 42% del área total del municipio, después siguen abanicos aluviales y depósitos coluviales con un 38%, seguido de cuarzoarenitas, arcillolitas, lodolitas grises, calizas y conglomerados, filitas, esquistos, cuarcitas, pizarras, metaconglomerados, metalimolitas y mármoles en menor proporción.

4.3 Vías de comunicación y transporte

Existe comunicación terrestre a través de vías de transporte público departamental y municipal desde Villavicencio hacia las diversas ciudadesimportantes las que están constituidas por buses Interdepartamental, así como empresas de automóviles más pequeños constituidos en comités y buses interveredales, además de vias aéreas que se cuenta con el Aeródromo Vanguardia.

El municipio cuenta con 261 km de vías, caminos y senderos en la totalidad de su área, estos se distribuyen según la Tabla 2, presentada a continuación. (AIM, 2016)

Tabla 2 Infraestructura vial

Tipo de Vía	**Longitud (km)**
1	21.00
2	1.00
3	33.00
4	23.00
5	95.00

6	65.00
7	23.00
Total general	**261.00**

(AIM, 2016)

4.4 Población

Para 2018 la población proyectada por el DANE para el municipio de Villavicencio fue de 516.831 habitantes, que corresponde al 51% del total de la población departamental de Meta y al 1% de la población nacional. Del total, el 95% vive en áreas urbanas y el 5% en zonas rurales. El 64% de su población se encontraba en edad de trabajar (Población Económicamente Activa entre 15 y 59 años), lo que se traduce en una relación de 1,8 personas económicamente activas por cada persona inactiva.

4.5 Educación

En Villavicencio, capital del departamento del Meta, la educación se organiza de manera que comprende grados desde la educación primaria hasta la universitaria, con una oferta cada vez mayor de programas técnicos, tecnológicos y profesionales. La ciudad acoge escuelas públicas y privadas, gran parte de las cuales se dedican a mejorar la calidad de la educación, aunque se topan con retos como la cobertura y el acceso en zonas rurales. En cuanto a la educación universitaria, Villavicencio dispone de instituciones de renombre como la Universidad de los Llanos, así como otras entidades que brindan programas en campos como las ciencias agropecuarias, ingeniería, economía y ciencias sociales. La Secretaría de Educación de Villavicencio también pone en marcha programas y proyectos orientados a elevar la calidad de la educación y disminuir el abandono escolar, colaborando tanto con el gobierno departamental como nacional. Adicionalmente, la educación en Villavicencio ha empezado a incluir proyectos tecnológicos y digitales, con el objetivo de ajustarse a las nuevas demandas y fomentar el crecimiento integral de los alumnos.

4.6 Salud

La Empresa Social del Estado (ESE) de Villavicencio, que es la principal entidad pública de salud en la ciudad, cuenta con 19 centros y puestos de atención. Dentro del Plan de Desarrollo Municipal 2024, la ESE ha trazado metas clave para fortalecer su infraestructura y aumentar su capacidad, incluyendo

la mejora de cinco centros de salud y la construcción de un nuevo Centro de Atención Primaria en Salud.

5. GENERALIDADES FISICAS

5.1 Clima

De acuerdo con la clasificación climática de KOEPPEN, el clima es de tipo am: caluroso y húmedo con monzones que se distingue por su intensa precipitación, acompañada de un periodo verdaderamente seco.
La región tiene un clima tropical estacional, y la dinámica de la estacionalidad está vinculada a las variaciones de dirección. N-S-N de la región intertropical de convergencia (Z.C.I.T) del clima. La temporada seca se extiende desde diciembre hasta marzo (60mm/mes en promedio, hasta 0mm/mes en promedio). En el periodo más seco de febrero, pueden surgir carencias de agua. En este periodo se observan los días de máxima temperatura (35C o superior), y las oscilaciones más elevadas hasta 15oC o superiores durante el día y la noche, además de los vientos más intensos provenientes de N. E. La temporada de lluvias, que se prolonga desde abril hasta noviembre, se distingue por los elevados niveles de lluvia, que llegan a alcanzar hasta 510 mm/mes.
Se observan periodos breves conocidos como veranillos (15 a 18 días continuos, o interrumpidos por algunas precipitaciones), usualmente durante los meses de agosto y septiembre. Las precipitaciones suelen ser de gran intensidad (Volumen/tiempo), lo que les otorga un alto poder erosivo en los terrenos vulnerables. Los números de días de lluvias anuales oscilan entre 200 y 220, con 25 días de lluvia en cada mes de mayo, junio y julio.

5.2 Precipitaciones

El promedio de temperatura en la ciudad es de 27°C, con fluctuaciones mínimas a lo largo del año. La humedad relativa es elevada (80%), pero disminuye con los meses en los que la temperatura se eleva (enero a marzo) hasta un 66%, y las precipitaciones promedio son de 4300 mm al año. Dado que se encuentra al pie de la cordillera, las precipitaciones varían considerablemente de un sector a otro de la ciudad. El Piedemonte y la Cordillera se distinguen por ser áreas de considerables lluvias, la mayoría originadas en el terreno. En la cuenca superior del río Guatiquía, las precipitaciones más significativas se observan en las zonas bajas de las microcuencas que no se encuentran expuestas a los vientos. En

las cuencas hidrográficas de los ríos Guatiquía y Guayuriba, se ubica un núcleo de lluvias más elevadas, donde se contabilizan un total de precipitaciones anuales promedio de 6000 mm. Respecto a la región de llanura, las precipitaciones oscilan entre 2900 y 4000 mm, siendo menores las precipitaciones hacia el Este del municipio. El ciclo de lluvias en el municipio se distingue por tener un periodo lluvioso de abril a noviembre y un periodo seco de diciembre a marzo. (IDEAM, 2023)

6. ANTECEDENTES

6.1 Antecedentes de inundaciones en la ciudad de Villavicencio

Villavicencio, al ser una ciudad ubicada en una región de alta pluviosidad y con una topografía variable, enfrenta una serie de problemas relacionados con las inundaciones donde está atravesada por varios ríos, como el Guatiquía y el Ocoa, que pueden desbordarse durante períodos de lluvias intensas, provocando inundaciones en áreas adyacentes a los cauces, y urbanización descontrolada en las riberas de los ríos y la deforestación de las cuencas hidrográficas pueden aumentar el riesgo de inundaciones fluviales acentuando la problemática la impermeabilización del suelo debido al crecimiento urbano impide la infiltración del agua, aumentando el escurrimiento superficial y el riesgo de inundaciones pluviales.

El estudio sobre gestión de riesgo de inundación en Villavicencio se justifica por la necesidad de abordar los problemas recurrentes de inundaciones en la ciudad, proteger a la población vulnerable, promover un desarrollo urbano sostenible y utilizar herramientas innovadoras como los SIG para mejorar la capacidad de respuesta ante desastres. Este estudio contribuirá a generar información relevante que permita implementar medidas efectivas de mitigación y gestión del riesgo de inundaciones, con el objetivo último de mejorar la resiliencia de la ciudad frente a eventos extremos.

Villavicencio al estar situada al pie de la cordillera, las lluvias en la ciudad varían considerablemente según la zona. En el municipio, el régimen de lluvias se caracteriza por un período húmedo que va de abril a noviembre y una temporada seca entre diciembre y marzo. La humedad relativa promedio es del 80%, pero disminuye hasta el 66% en los meses de mayor temperatura (enero a marzo).

En términos fisiográficos, el municipio se divide en dos grandes secciones: la zona plana o llana y la vertiente montañosa que comprende el Piedemonte. En la primera, es posible reconocer llanuras aluviales y terrazas aluviales con distintas altitudes y valles. La vertiente del terreno montañoso puede segmentarse en pie de vertiente con los abanicos fluvio- torrenciales y laderas irregulares con gran

direccionamiento y colinas. En el municipio de Villavicencio, los procesos morfodinámicos pueden clasificarse en dos categorías principales: los procesos erosivos y los procesos de sedimentación. Los primeros aparecen en las pendientes de la cordillera (la zona superior de los picos). Los ríos Guatiquía y Guayuriba se encuentran en la parte superior de las microcuencas del piedemonte, siendo los segundos ubicados en la región de la planicie.

En el año 2002, el municipio de Villavicencio experimentó una de las inundaciones más graves de su historia reciente. Las fuertes lluvias provocaron el desbordamiento de los ríos Guatiquía y Ocoa, causando inundaciones generalizadas en gran parte de la ciudad. Muchas áreas urbanas y rurales se vieron afectadas, y se registraron daños significativos en viviendas, infraestructuras y cultivos.

Seguidamente en 1986, Villavicencio sufrió una inundación devastadora que dejó a gran parte de la ciudad bajo el agua. Las lluvias torrenciales provocaron el desbordamiento de los ríos cercanos, causando inundaciones repentinas en áreas urbanas y rurales. Se reportaron pérdidas humanas y materiales significativas, y la ciudad enfrentó importantes desafíos en la recuperación y reconstrucción después del desastre.

Es asi como se ve que a lo largo de los años, Villavicencio ha sido afectada por varios eventos meteorológicos extremos, año tras año en época de lluvias, que han causado inundaciones repentinas y generalizadas en la ciudad y sus alrededores. Estos eventos han generado importantes daños a la infraestructura, la agricultura y la vida cotidiana de los habitantes de la ciudad.

Las inundaciones en el municipio de Villavicencio han sido muy persistentes especialmente por la margen izquierda del río Guatiquia en el sector de la aldea la aurora ocurridas durante los últimos periodos de avenidas (2015, 2016), han afectado a un 90% de la población, aumentado la amenaza por desbordamiento e inundación de las zonas bajas que se encuentran en el talud seco del dique perimetral, las afectaciones se extienden en un tramo de 600 m, donde el rio amenaza con desbordarse e inundar todos los predios aledaños a la Aldea la Aurora.

Por otra parte la margen izquierda del rio Guayuriba presentaba alto riesgo de socavación lateral e inundaciones al presentar un acelerado proceso de socavación y crecientes en sus dos sectores del rio Guayuriba, veredas rio Negrito y Vegas del Guayuriba.

Otro sector el cual también presenta inundaciones es el sector de la aldea la aurora los sucesos de avenidas intensan incurren desde el año 2014 sobre la margen izquierda del rio Guatiquia en el sector de la aldea la aurora, se registro alerta por desbordamiento del rio, colapsando un tramo de 150 m lineales del dique perimetral, estableciendo la zona en riesgo y amenaza alta de inundación y avalancha, reiterando medidas de mitigación que permitan disminuir el caudal del rio que se encuentra recostado

hacia la margen izquierda, afectando significativamente a los habitantes, predios e infraestructuras del sector. (CORMACARENA, 2015)

En el sector de Vegas de Guayuriba, desde el periodo de 2012 al 2015 se presentaron amenazas por desviación, socavación lateral y posible desbordamiento del rio Guayuriba, debido al carácter de rio trenzado genera divagación y canales orientados hacia las orillas, lo cual incide en la concentración de flujo y mayores velocidades hacia estas riberas que afectan potencialmente los diques y elementos existentes, dispuestos ante una erosión potencial; esta problemática afecta directamente a la población de la comunidad de la vereda Vegas de Guayuriba, quienes años tras años han presentado perdidas importantes en franjas de terrenos al puntos de las viviendas quedar al borde del rio. (CORMACARENA, 2015)

Finalmente en épocas de invierno como lo fue el periodo de 2016, se registro un aumento en los caudales del rio Ocoa, debido a la geomorfología de la cuenca y a la cantidad de caños que vierten sus aguas en este, afectando las poblaciones aledañas a este, con procesos de erosión y socavación amenazando la estabilidad de los terrenos.

7. REFERENTE TEÓRICO

La gestión de riesgos y desastres se enfoca en la preparación, respuesta y recuperación ante eventos naturales o antrópicos que pueden generar daños a la población, los ecosistemas, la infraestructura, entre otros aspectos. En este sentido, el riesgo puede tener un origen natural o antrópico, cada uno con características diferenciadas que requieren estrategias de manejo específicas.

Por un lado, los riesgos naturales suelen abordarse mediante medidas de prevención y mitigación, como la construcción de infraestructuras resistentes y una adecuada planificación urbana. Por otro lado, los riesgos antrópicos, derivados de la acción humana, requieren estrategias de regulación y control para minimizar su impacto.

Para lograr una gestión integral del riesgo, es esencial considerar tanto los riesgos naturales como los antrópicos, ya que, en muchos casos, ambos pueden interactuar. Por ejemplo, la vulnerabilidad ante un terremoto puede aumentar debido a edificaciones inadecuadas o a la falta de planificación urbana adecuada. Así, una gestión eficaz debe contemplar medidas preventivas y correctivas que permitan reducir los efectos adversos de estos eventos y proteger a la sociedad y su entorno.

La gestión de riesgos y desastres se define como el conjunto de procesos y estrategias diseñadas para minimizar el impacto de eventos adversos sobre las personas, bienes y el medio ambiente. Según

Wisner et al. (2004), en su obra At Risk: Natural Hazards, People's Vulnerability and Disasters, el riesgo de desastre se entiende como la interacción entre la exposición a amenazas naturales y la vulnerabilidad social de las poblaciones. Así, la gestión de estos riesgos no solo se centra en la amenaza misma (terremotos, inundaciones, huracanes, entre otros), sino también en reducir la vulnerabilidad de las comunidades afectadas.

La Reducción de Riesgos de Desastres es un enfoque fundamental que promueve estrategias de prevención, mitigación y preparación ante desastres. Este enfoque se basa en las recomendaciones de la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres de las Naciones Unidas (UNDRR, 2015), que destaca que los desastres pueden mitigarse mediante políticas de desarrollo sostenible y fortalecimiento de capacidades.

Según Alexander (2000), en su libro Confronting Catastrophe: New Perspectives on Natural Disasters, la RRD implica un cambio de paradigma: en lugar de centrarse únicamente en la respuesta a los desastres, se enfoca en la prevención y preparación, integrando los principios de resiliencia y sostenibilidad en los planes de desarrollo. Este cambio ha permitido que muchas organizaciones y gobiernos inviertan en infraestructura, planificación urbana y educación para reducir los efectos de posibles desastres.

La gestión de riesgos y desastres comprende diversas etapas, cada una con un rol específico en la reducción del riesgo y la preparación ante eventos adversos. Estas etapas incluyen la evaluación del riesgo, la mitigación, la preparación, la respuesta y la recuperación, todas ellas interconectadas para fortalecer la resiliencia de las comunidades.

En primer lugar, la evaluación del riesgo implica la identificación y el análisis tanto de las amenazas como de la vulnerabilidad de las poblaciones y estructuras expuestas. Según Cardona (2005), este proceso debe incorporar factores socioeconómicos y culturales, ya que estos influyen en la manera en que una comunidad enfrenta y se recupera de un desastre. Además, el autor subraya la importancia de utilizar métodos cualitativos y cuantitativos para evaluar no solo la exposición a amenazas naturales, sino también la capacidad de respuesta y recuperación de las poblaciones afectadas.

Por otro lado, la mitigación se enfoca en la reducción de los efectos de las amenazas a través de acciones preventivas. Tierney (2014), en *The Social Roots of Risk*, destaca que la mitigación no se limita a la implementación de infraestructuras resilientes, sino que también debe considerar políticas sociales y económicas dirigidas a disminuir la vulnerabilidad estructural. Algunas medidas efectivas

incluyen la construcción de edificaciones seguras, el establecimiento de zonas de protección y la reubicación de comunidades que habitan en áreas de alto riesgo.

Asimismo, la preparación ante desastres consiste en el desarrollo de planes de contingencia, la capacitación de la población y la realización de simulacros que permitan anticipar y gestionar posibles escenarios de desastre. En este sentido, Haddow y Bullock (2004), en *Introduction to Emergency Management*, enfatizan que la preparación es clave para fortalecer la capacidad de respuesta y reducir el impacto de los desastres. Además, estos autores destacan que la educación y la capacitación comunitaria son fundamentales para incrementar la resiliencia de las poblaciones.

Posteriormente, la respuesta abarca las acciones inmediatas tras un desastre, tales como la provisión de ayuda humanitaria, la evacuación de personas afectadas y las labores de rescate. Una vez superada esta fase, la recuperación se centra en la rehabilitación a largo plazo, con el objetivo de restablecer la normalidad y fomentar la reconstrucción resiliente. Blaikie et al. (1994), en *At Risk*, señalan que la recuperación debe ir más allá de la reconstrucción física, abordando también las causas estructurales de la vulnerabilidad.

A nivel internacional, existen diversos marcos normativos que orientan la gestión del riesgo de desastres. Uno de los más relevantes es el Marco de la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030, adoptado en la Tercera Conferencia Mundial de las Naciones Unidas sobre la Reducción de Desastres. Este marco promueve la meta de "reducir sustancialmente el riesgo de desastres y las pérdidas asociadas" (UNDRR, 2015). De acuerdo con sus principios, la reducción del riesgo debe basarse en una comprensión integral de los desastres, el fortalecimiento de la gobernanza, la inversión en resiliencia y la mejora de la preparación para una respuesta eficaz.

Finalmente, un concepto clave en la gestión de riesgos es la resiliencia, entendida como la capacidad de una comunidad u organización para absorber el impacto de un desastre y recuperarse de manera efectiva. Cutter et al. (2008), en su teoría de la "Resiliencia Basada en Lugares", enfatizan que las características físicas, sociales y económicas de una comunidad determinan su nivel de resiliencia. Además, Norris et al. (2008) argumentan que la resiliencia comunitaria es el resultado de múltiples factores, como el capital social, los recursos económicos y la infraestructura disponible, los cuales permiten una respuesta coordinada y una recuperación más rápida ante los desastres.

7.1 Herramientas para Estudios hidrológicos

Existen varios métodos y herramientas que se pueden utilizar en conjunto con los Sistemas de Información Geográfica (SIG) para evaluar el riesgo de inundación de manera efectiva. Aquí te presento algunos de los métodos y herramientas más comunes:

Modelos Hidrológicos de Cuencas: Estos modelos analizan el flujo de agua en una cuenca hidrográfica, lo que permite predecir la respuesta de los ríos ante eventos de precipitación. Ejemplos incluyen HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System) y SWAT (Soil and Water Assessment Tool).

Modelos de Inundación Fluvial: Estos modelos simulan el comportamiento del agua en ríos y canales, permitiendo prever la propagación de inundaciones fluviales. Ejemplos incluyen HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center's River Analysis System) y MIKE Flood.

Índices de Vulnerabilidad: Se utilizan para evaluar la vulnerabilidad de una zona o infraestructura ante inundaciones, considerando factores como la exposición, la sensibilidad y la capacidad de adaptación. Estos índices se pueden calcular utilizando datos geoespaciales y técnicas de análisis espacial en un SIG.

Mapas de Riesgo: Se generan combinando los resultados de los modelos hidrológicos e hidráulicos con datos de vulnerabilidad, lo que permite visualizar las áreas más propensas a inundaciones y la severidad del riesgo.

8. METODOLOGIA

8.1 CALCULO DE LA INUNDACIÓN

Para la obtención del análisis de inundación en el área de estudio, se llevó a cabo la recopilación, procesamiento y simulación de eventos hidrometeorológicos mediante herramientas geoespaciales y modelos hidráulicos en 2D.

Primero se recopilaron los datos de precipitación de acuerdo con las estaciones meteorológicas disponibles del IDEAM dentro y en las proximidades del área de estudio. Para determinar la influencia espacial de cada estación, se aplicó la técnica de polígonos de Voronoi, lo que permitió delimitar las

áreas de influencia de cada estación y asignar los valores de precipitación correspondientes, y una vez seleccionadas las estaciones relevantes, se realizó un análisis de calidad y consistencia de los datos para garantizar su idoneidad. A partir de estos datos, se generaron los hietogramas unitarios, los cuales representan la distribución temporal de la precipitación en la zona de estudio.

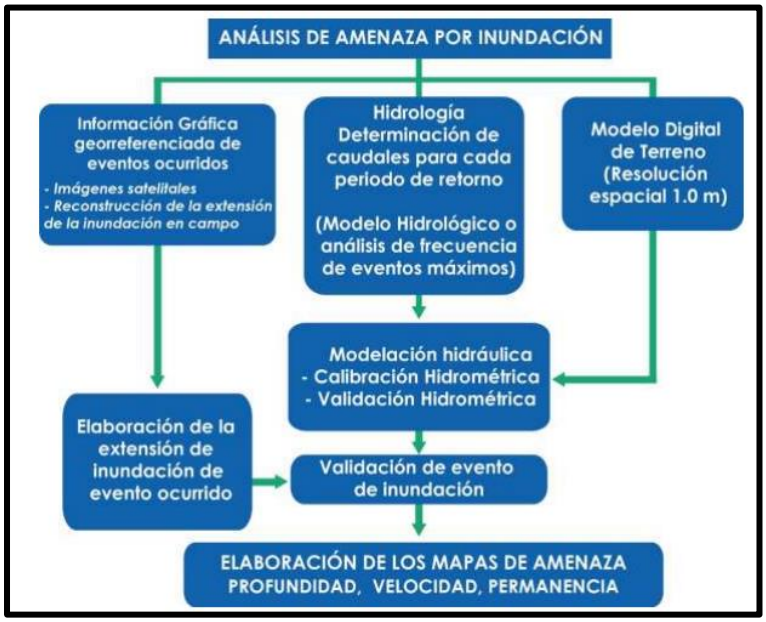
Para el terreno se empleó un DEM con una resolución espacial de 12.5 metros para representar la topografía del área de estudio con suficiente detalle y precisión. Esta información fue utilizada como base utilizando el software HEC-RAS en su versión 2D para la modelación hidráulica del flujo superficial generado por los eventos de precipitación, donde definieron diferentes escenarios de lluvia con distintos periodos de retorno, estableciendo un intervalo de simulación adecuado para captar la evolución de la inundación en el tiempo, y la simulación permitió obtener la evolución temporal y espacial de la acumulación de agua en la zona de estudio.

Como producto de la simulación, se generó un conjunto de imágenes raster correspondientes a la inundación en cada intervalo de tiempo simulado, y se realizó un análisis comparativo entre todas las imágenes raster obtenidas para determinar el valor máximo de inundación en cada celda del dominio de estudio. Ya con esta información, se generó el mapa final de inundación, el cual constituye un insumo clave para la elaboración de los mapas de Amenaza, vulnerabilidad y riesgo.

8.2 EVALUACIÓN DE LA AMENAZA

Para determinar las zonas de amenaza por inundación se utilizó la metodología recomendada por Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Centro Nacional de Modelación, Subdirección de Hidrología, donde se genera un mapa de zonificación de inundaciones. Las zonas muestran las amenazas existentes, clasificadas como amenaza baja, media o alta, a continuación, se describe la metodología utilizada, de acuerdo con el numeral 5.4.1 “Metodología para elaboración de los mapas de amenaza por inundación” de la Guía Metodológica para la elaboración de Mapas por inundación del IDEAM.

Ilustración 1. Análisis de amenaza por inundación

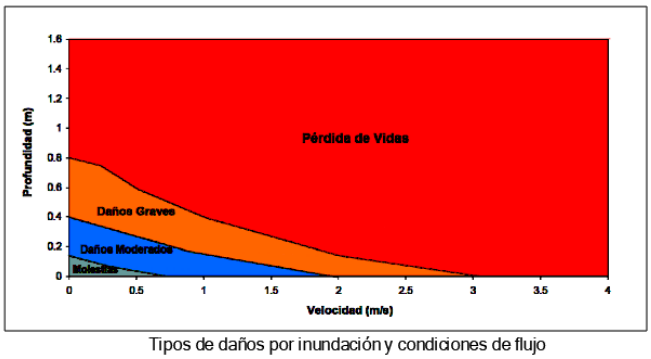


Fuente: IDEAM 2023

Ya con la información obtenida del estudio Hidráulico, Modelo Digital del terreno y la modelación Hidráulica elaboramos los mapas donde tenemos:

Amenaza	Profundidad (m)	Velocidad (m/s)
Alta	>=0.8	>=3
Media	>=0.4	>=2
Baja	<0.4	<2

Ilustración 2. Categorización de la amenaza IDEAM 2010



Tipos de daños por inundación y condiciones de flujo

Amenaza	Tipo de Daños
Alta	Perdida de Vidas
Media	Daños Graves
Baja	Daños Moderados
	Molestias

Clasificación de la amenza por el tipo de Daño

Fuente: IDEAM

8.3 EVALUACION DE LA VULNERABILIDAD

La vulnerabilidad a inundaciones se refiere a la susceptibilidad de una determinada área o comunidad a sufrir daños o impactos negativos como resultado de inundaciones. Estas inundaciones pueden ser causadas por diversos factores, como lluvias intensas, desbordamientos de caños como es nuestro caso.

Tabla 3. Calificación de la vulnerabilidad.

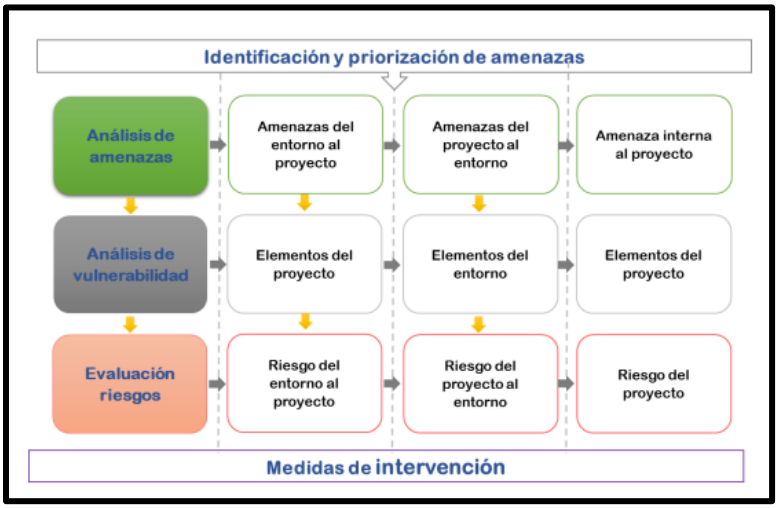
CALIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN/CARACTERÍSTICAS	INTERVALO
VB (Vulnerabilidad Baja)	Viviendas asentadas en terrenos seguros, con materiales sismoresistentes, en buen estado de conservación, población con un nivel de ingreso medio y alto, con estudios y cultura de prevención, con cobertura de servicios públicos básicos, con un buen nivel de organización, participación y articulación entre las instituciones y organizaciones existentes.	16-26
VM (Vulnerabilidad Media)	Sectores que presentan inundaciones muy esporádicas, construcciones con materiales de buena calidad, en regular y buen estado de conservación, población con un nivel de ingreso económico medio, cultura de prevención, con cobertura parcial de servicios básicos, con facilidades de acceso para atención de emergencia. Población organizada, con participación de la mayoría, medianamente relacionados e integración parcial entre las instituciones y organizaciones existentes.	27-37
VA (Vulnerabilidad Alta)	Edificaciones en materiales precarios, en mal y regular estado de construcción, con procesos de hacinamiento y tugurización. Población de escasos recursos económicos, sin conocimientos y cultura de prevención, cobertura parcial a inexistente de servicios públicos básicos, accesibilidad limitada para atención de emergencias, así como escasa a nula organización, participación y relación entre las instituciones y organizaciones existentes.	38-48

Fuente: DPN

8.3 EVALUACION DEL RIESGO

Se utilizo la metodología recomendada por el departamento nacional de planeación (DNP) mediante la “guía para analizar los riesgos”, con la metodología que se muestra a continuación:

Ilustración 3. Metodología para evaluación de riesgos



Fuente: IDEAM

9. METODOS APLICADOS

9.1 HIDROLOGÍA

9.1.1 INFORMACIÓN HIDROCLIMATOLÓGICA

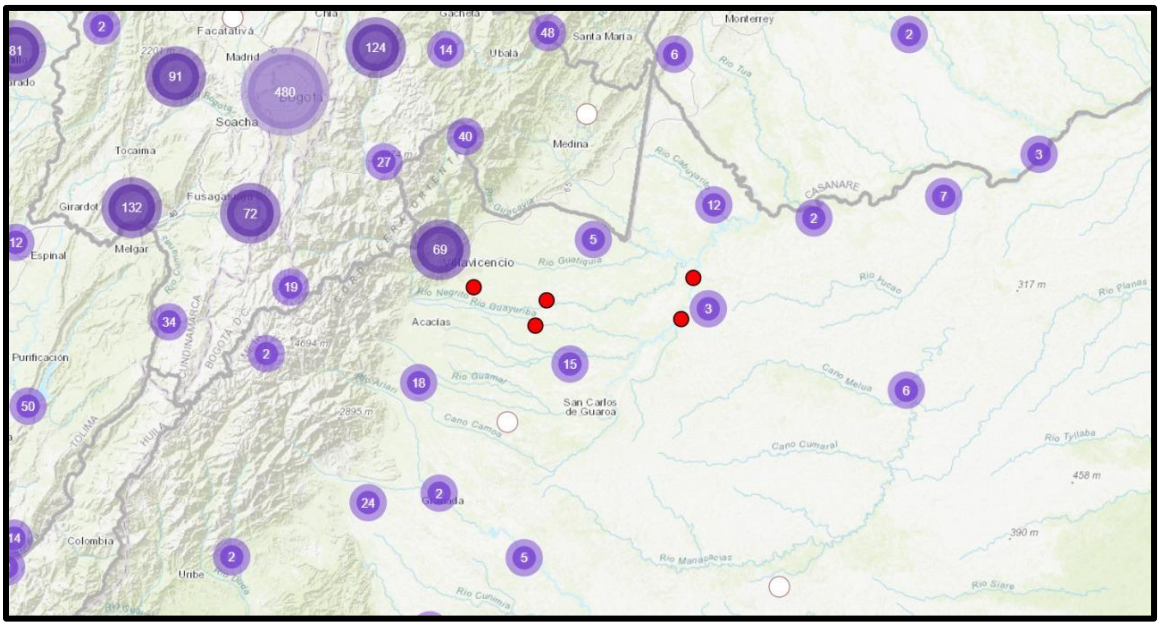
Así mismo, como información secundaria se investigó la documentación existente en el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM encontrando, la que se relaciona a continuación

Tabla 4. Listado de estaciones meteorológica del proyecto.

Código	Tipo	Nombre estación	Municipio	Latitud (norte)	Longitud (oeste)	Entidad
35030030	PL	SENA	Villavicencio	4.25	-73.63	IDEAM
35030380	PL	IDEAM V/CIO	Villavicencio	4.31	-73.64	IDEAM

Fuente: Elaboración propia 2025.

Ilustración 4. Estaciones cercanas a la fuente hídricaEstaciones cercanas a la fuente hídrica



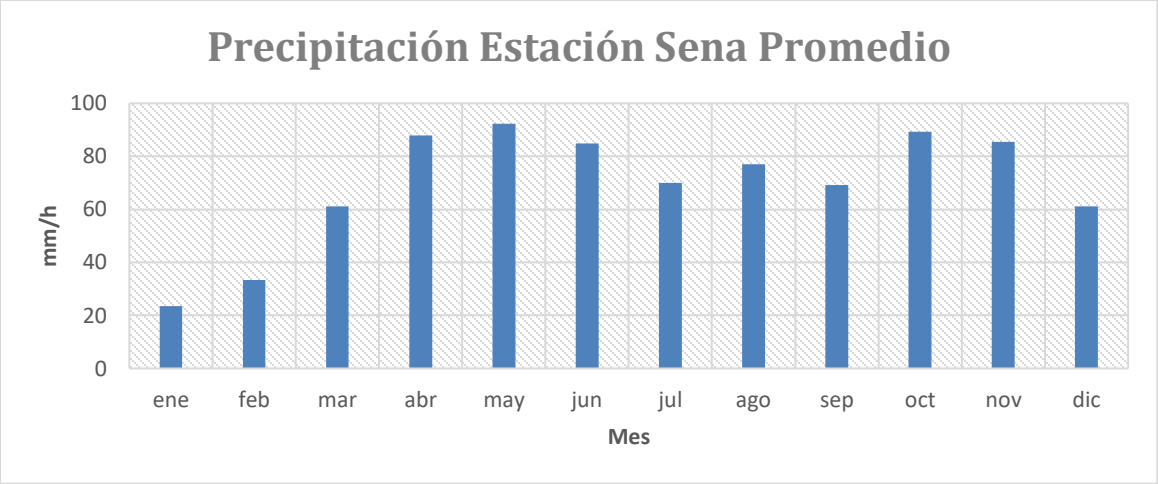
Fuente: IDEAM

9.2 CLIMATOLOGÍA

9.2.1 PRECIPITACIONES MÁXIMAS

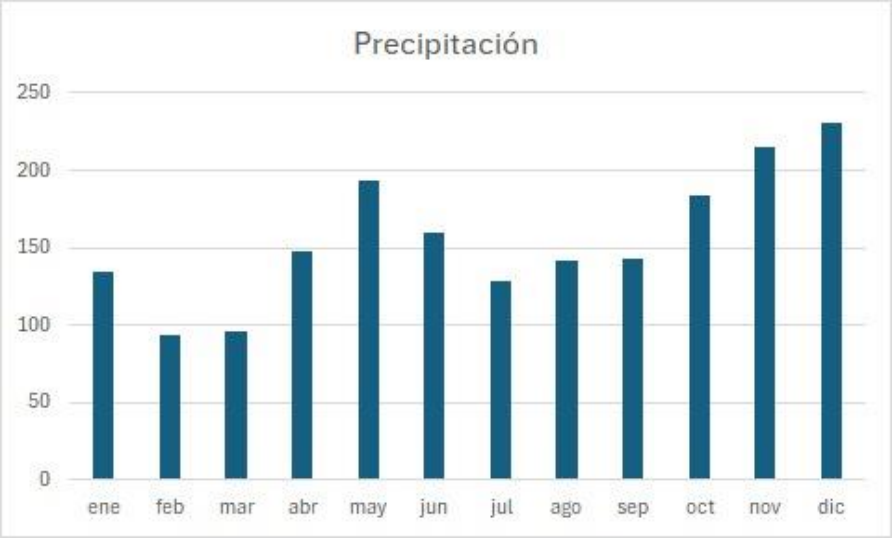
Con respecto a la distribución temporal de la precipitación, se consultan los datos de las estaciones en la página oficial del IDEAM y se proyecta la siguiente ilustración donde es posible apreciar la comparación entre las precipitaciones máximas mensuales de la estación Sena:

GRAFICA 1 Precipitación Máxima en 24 h. estación Sena 35030030



Fuente: Elaboración propia

GRAFICA 2 Precipitación Máxima en 24 h. estación IDEAM V/CIO [35030380]



Fuente: Elaboración propia

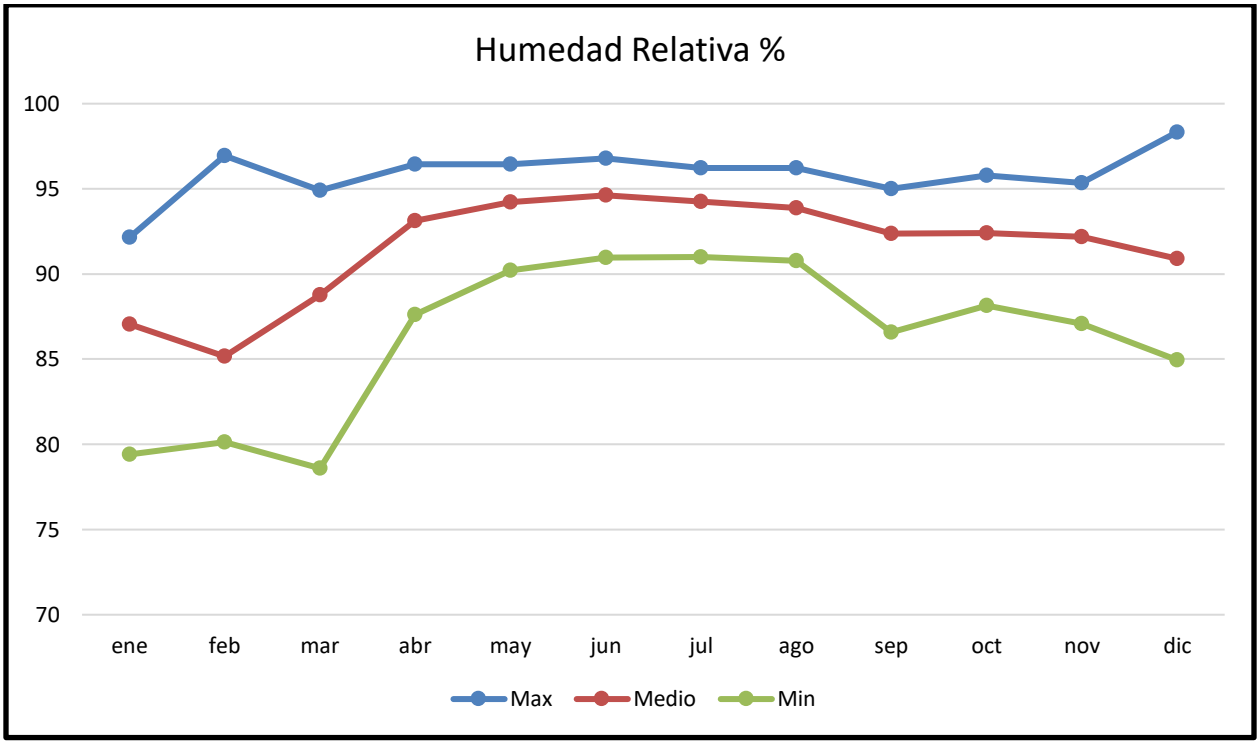
Por lo anterior, se considera procedente indicar que el régimen de lluvias se concentra desde el mes de abril hasta junio, considerándose a su vez húmedo el mes de septiembre, abril el mes con más altas precipitaciones del año, siendo esta una precipitación media multianual de 135 mm y durante el periodo comprendido entre diciembre a marzo se evidencia la época seca.

Se presentan una temporada seca desde enero hasta marzo, siendo enero el mes más seco del año con una precipitación media multianual de 25 mm en el caso más extremo.

9.2.2 HUMEDAD RELATIVA

Con respecto a la distribución temporal de la humedad relativa, mostrada en la figura 2 en el sector se presenta los valores máximos para la estación UNILLANOS 35035070, la humedad relativa se maneja entre los intervalos del 90% al 100%, lo que indica un ambiente con alto grado de humedad.

GRAFICA 3 Humedad relativa calculada máxima mensual. UNILLANOS 35035070



Fuente: Elaboración Propia

La humedad relativa máxima se mantiene constantemente alta durante todo el año, oscilando entre el 95% y el 100%. Esto indica que, en los períodos más húmedos del día o las condiciones más favorables, el ambiente alcanza niveles de saturación casi completa. El pico de humedad máxima parece ocurrir en los meses de enero y diciembre, lo que puede estar relacionado con condiciones climáticas estacionales como lluvias frecuentes o temperaturas bajas. Los valores medios presentan menor variabilidad que los mínimos, pero muestran una tendencia estable alrededor del 90%. Sin embargo, en los meses de julio a septiembre, hay una ligera disminución en la media de la humedad relativa. Este comportamiento podría deberse a una menor actividad de lluvias o al aumento de temperaturas durante esos meses, disminuyendo el contenido promedio de humedad en el aire.

Finalmente la humedad mínima presenta una mayor variabilidad y valores más bajos comparados con las otras series. Durante los primeros meses del año (enero a abril), los valores mínimos se mantienen relativamente altos (80%-85%), lo que sugiere condiciones de humedad sostenidas. Sin embargo, a partir de mayo y especialmente en agosto y septiembre, se produce un descenso notable hasta aproximadamente el 75%-80%, reflejando períodos más secos o de mayor evaporación, posiblemente por temperaturas más elevadas o una menor frecuencia de precipitaciones.

9.2.3 TEMPERATURA

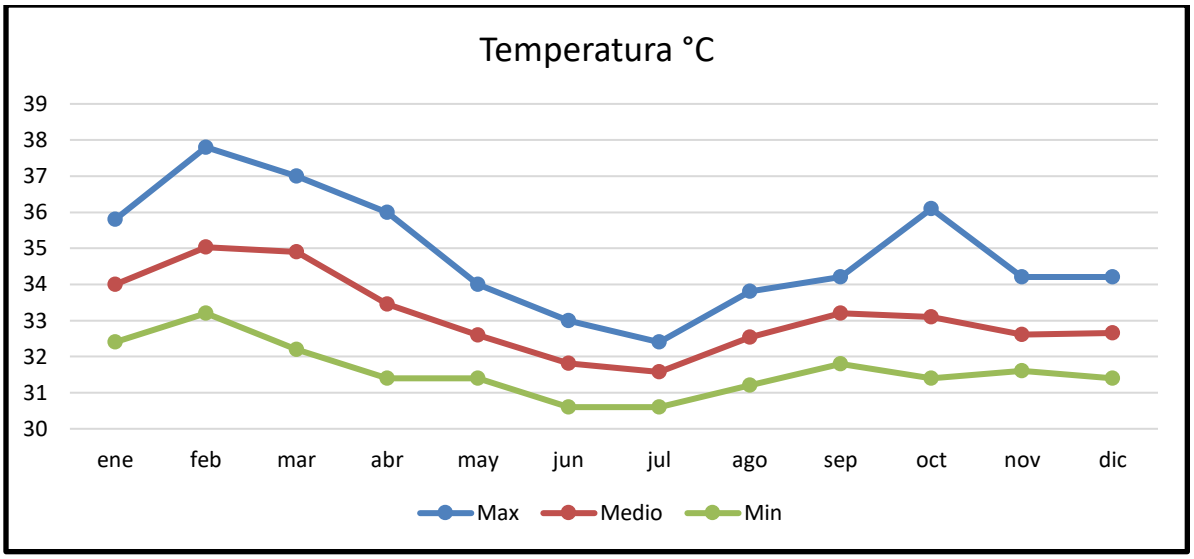
Con respecto a la distribución temporal de la temperatura, mostrada en la figura 3 se presentan los valores máximos anuales para la estación UNILLANOS 35035070. La temperatura con el valor más alto se presenta en el año 2011 con un valor de 29.8 °C y el más bajo en el año de 2010 de 26 °C.

Tabla 5 Temperatura húmeda máxima anual. UNILLANOS 35035070

AÑO	***VALOR***
2010	37.8
2011	31.6
2014	35.4
2015	33.2
2016	36.8
2020	32.2

Fuente: Elaboración Propia

GRAFICA 4 TEMPERATURA ANUAL ESTACION UNILLANOS 35035070



Fuente: Elaboración Propia

Los valores de temperatura máxima alcanzan su punto más alto en los primeros meses del año, particularmente en febrero, cuando superan los 38°C. Posteriormente, se observa un descenso progresivo hasta mediados del año (junio y julio), alcanzando valores cercanos a los 33°C, seguido de un repunte en septiembre y octubre, antes de estabilizarse en diciembre alrededor de los 34°C. Este comportamiento sugiere un patrón climático influenciado por la incidencia solar y períodos secos, lo que genera altas temperaturas en meses específicos. Los valores promedio de temperatura se mantienen relativamente estables a lo largo del año, oscilando entre los 33°C y los 34°C. Sin embargo, se puede identificar un ligero descenso entre marzo y julio, coincidiendo con la disminución de las temperaturas máximas. La estabilidad relativa de la temperatura media refleja la naturaleza cálida y constante del clima de Villavicencio, característico de zonas tropicales con variaciones moderadas a lo largo del año.

Finalmente, la temperatura mínima presenta los valores más bajos de temperatura, oscilando entre 30°C y 32°C. Al igual que las temperaturas máximas, las mínimas descienden desde febrero hasta mediados de año, alcanzando su punto más bajo en junio y julio (alrededor de 30°C). A partir de agosto, se observa un ligero aumento, con un leve repunte en los meses de octubre y noviembre. Este comportamiento podría estar relacionado con la reducción de la radiación solar y la influencia de lluvias que moderan las temperaturas nocturnas en ciertos períodos.

9.3 PRECIPITACIONES MÁXIMAS A DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO

El análisis de precipitaciones máximas se elabora mediante un ajuste de las series históricas a la distribución de frecuencia con mejor ajuste (Gumbel).

El primer paso es el de conformar la serie histórica, lo cual por tratarse de precipitaciones máximas con bajos coeficientes de correlación entre estaciones, se realiza por inspección visual, retirando o aceptando en la serie anual los valores que a juicio del Especialista sean representativos de precipitación máxima en 24h.

La relación precipitación/Duración es más importante para cuencas pequeñas que la relación Precipitación/Área. Por este motivo los estudios se centran en la variabilidad temporal de la precipitación. El estudio de las intensidades de precipitación máximas se hace en determinados intervalos de tiempo y para periodos de retorno característicos.

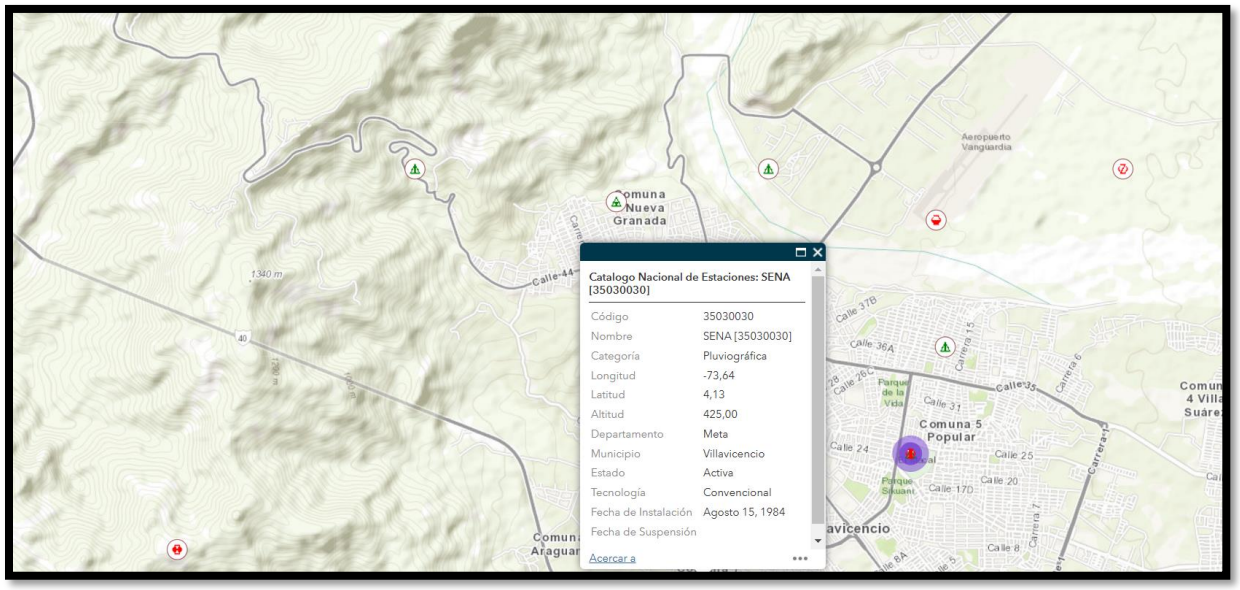
Una forma muy aceptada para la obtención de las curvas IDF es la aplicación de metodología sintética, en la cual se deben tener en cuenta las siguientes premisas:

- Regionalización de las precipitaciones: solo se pueden aplicar en lugares donde se dispone de observaciones de precipitación diaria, es posible obtener información de precipitación para duraciones más cortas (1 hora, 30 min, 10 min, etc.).

- Analizando la forma típica de una curva IDF, se aprecia que el valor de la intensidad de precipitación aumenta a medida que reducimos la duración d. Precipitaciones máximas de diseño.

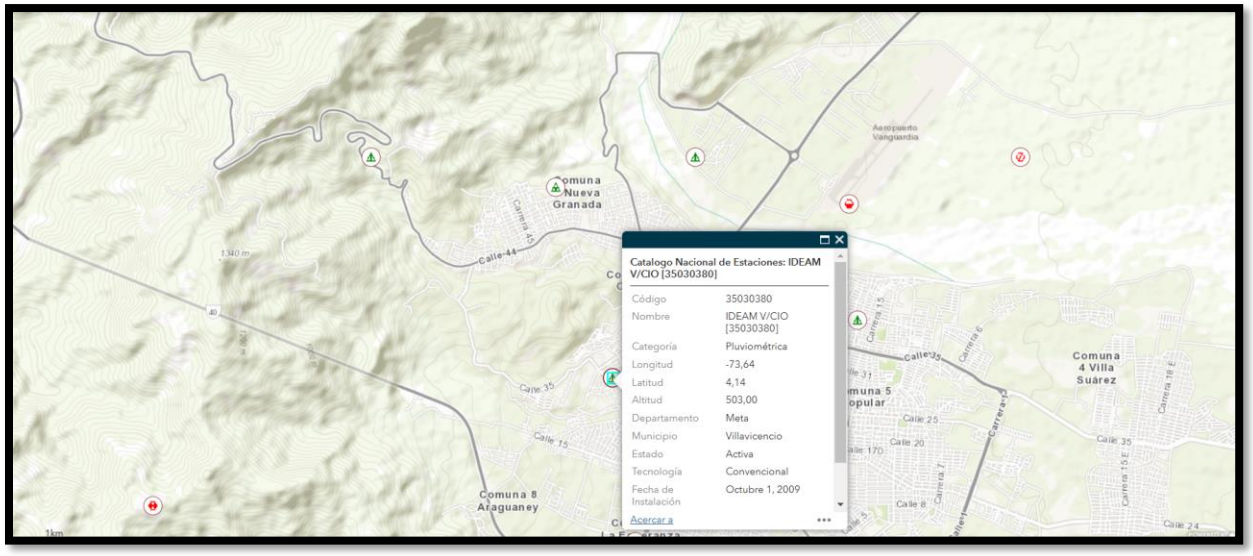
Para las precipitaciones utilizamos la estación de SENA [35030030].

Ilustración 5 SENA [35030030]



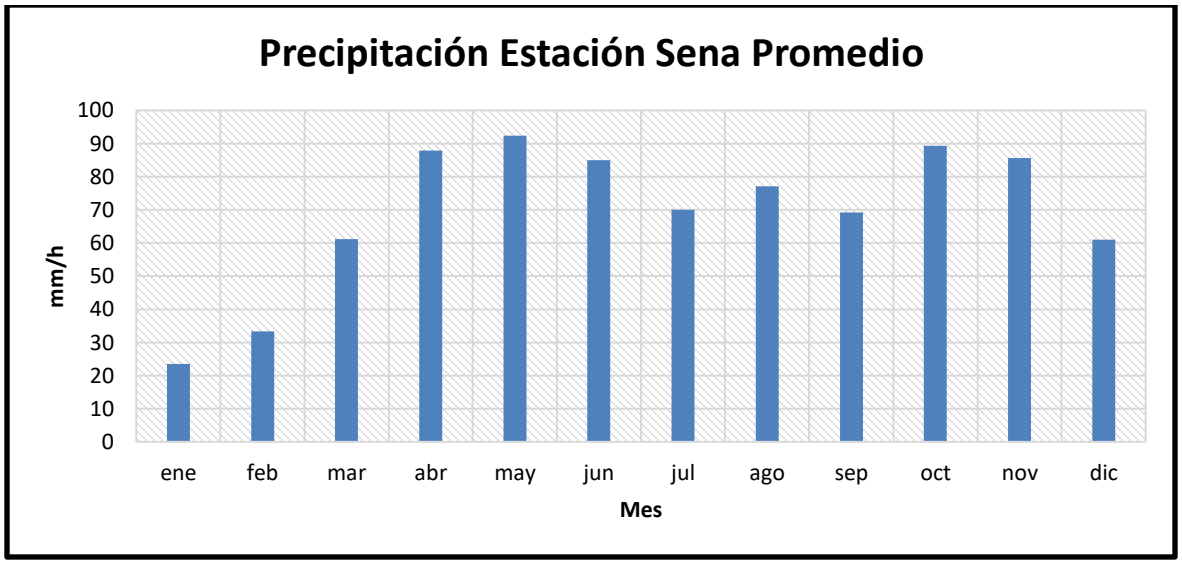
Fuente: IDEAM (2025)

Ilustración 6 IDEAM V/CIO [35030380]



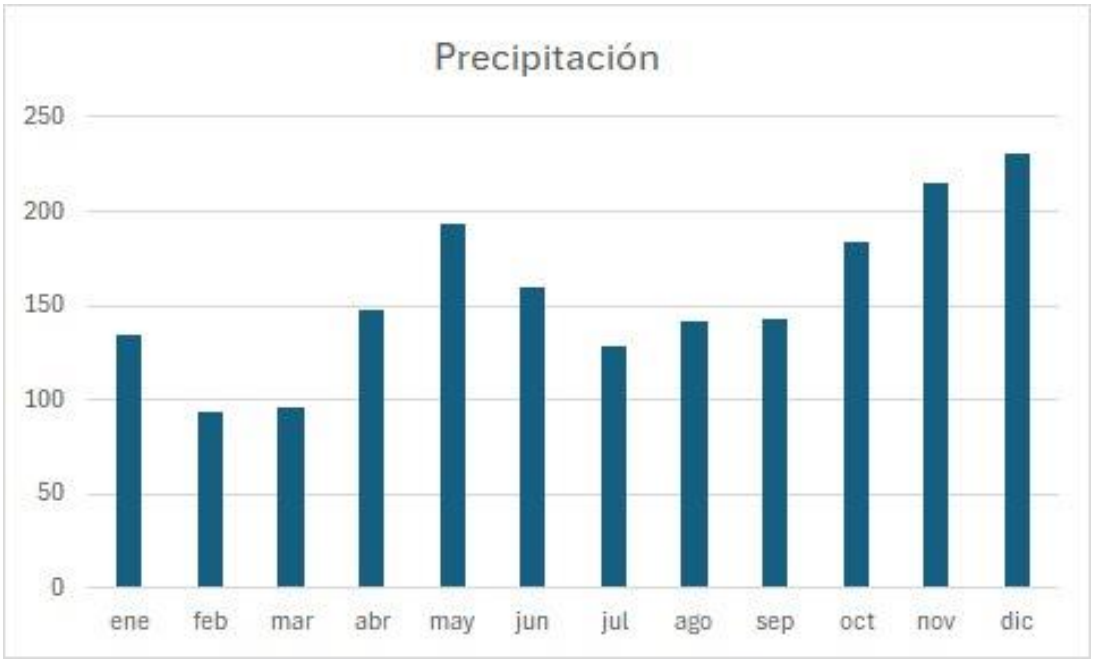
Fuente: IDEAM (2025)

GRAFICA 5 PRECIPITACIÓN MÁXIMA DIARIA MENSUAL ESTACIÓN SENA [35030030]



Fuente: Elaboración propia

GRAFICA 6 Precipitación Máxima en 24 h. estación IDEAM V/CIO [35030380]



Fuente: Elaboración propia

Los meses de enero y febrero registran las precipitaciones más bajas (menos de 20 mm/h), correspondientes a la temporada seca. A partir de marzo, las lluvias incrementan significativamente,

alcanzando su punto máximo en mayo y junio con valores superiores a 90 mm/h, indicando la temporada húmeda principal.

Entre julio y septiembre, las precipitaciones disminuyen ligeramente, pero se mantienen elevadas, con promedios de 60-70 mm/h, mostrando un período de transición. En octubre y noviembre, se registra un segundo repunte significativo, antes de disminuir nuevamente en diciembre, marcando el inicio de la transición hacia la temporada seca.

9.4 INTENSIDAD DE LLUVIA (CURVAS INTENSIDAD DURACIÓN FRECUENCIA IDF)

El análisis de precipitaciones máximas incluye la determinación de intensidades máximas, en el que se cuantifica la cantidad de lluvia caída en duraciones de 10, 20, 30, 60, 120 y 1440 minutos. Esta labor se realiza aplicando la metodología de Vargas y Díaz-Granados, la cual para la región de la Orinoquia da la siguiente curva de intensidad-duración-frecuencia:

Tabla 6. PRECIPITACIÓN MÁXIMA DIARIA MENSUAL ESTACIÓN SENA [35030030]

Años	**Meses**												
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**Total general**
2000	10	13,3	55	31,3	75	40,2	42	65	44	27,2	40	29	75
2001	1,8	4,6	17,5	40	42	45	42,4	50	27,6	36,1	32	18,3	50
2002	5,6	5	45	48	115	72	60	54	36,7	49	25	21	115
2003	1	8,2	39,5	28	78	56	38	50	41,2	30	27,6	14	78
2004	7,4	68	22	39	50	75	55	36	39	33	27,1	18	75
2005	12	28	37	75	70	55	151	31	76	30	23	5	151
2006	38	38	33	42	55	32	27	70	56	41	42	10	70
2007	2,4	16	40	46	29	65	28	76	31,3	29	30	22	76
2008	6,3	7	21	38	68	67	45	42	59	54	55,5	91	91
2009	12	5	35,8	57	18,9	47,4	40,9	49,5	53,8	43,6	15,5	35,7	57
2010	0,4	36	36,6	80,8	54,4	51,2	88,1	33,7	31	32	53,2	44	88,1
2011	10,7	8,2	34	48,8	64,8	43,5	54,3	23,1	44,8	30,9	23,6	11,6	64,8
2012	1,9	49,5	37,2	53,9	53	41,4	46,7	46,6	37,6	31,5	24,7	53,6	53,9

2013	1,1	24	21,3	28,5	65,7	25,7	74,4	55,2	63,7	50,4	36	14,2	74,4
2014	9,6	30	22	42	38	60	63	60	43	36	30	16	63
2015	10	7	38	42	38	52	64	48	39	31	37,9	12	64
2016	0,6	17	25	52	90	40	58	118	56,3	22,7	64	14	118
2017	14	7,2	35,4	39	90	64	57	35	78	36	48	10	90
2018	26	4	19	36	52	90	66	105	64	42	29	22	105
2019	44	5	35	50	82	62	65	62	59	29	19	22	82
2020	9	7	20	78	80	46	41	70	60	25	28	15	80
2021	25	14	35	61	43	39	66	101	108	42	28	10	108
2022	11	20	30	61	82	56	58	68	61	15	43	10	82
2023	77	5	42	52	84	95	68	60	75	41	24	25	95
2024	2	20	20	38	99	85							99
Total general	**77**	**68**	**55**	**80,8**	**115**	**95**	**151**	**118**	**108**	**54**	**64**	**91**	**151**

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7. PRECIPITACIÓN MÁXIMA DIARIA MENSUAL ESTACIÓN IDEAM V/CIO [35030380]

Año	MES												MAX
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Prec. (mm)
2011	56	63,7	35	67	110,5	139,4	63,3	108,6	80,3	101,2	215	138	215
2012	14,8	42,9	80,5	75,6	86	54,2	70,8	99,6	142,8	82	76	158	158
2013	0	43,9	63,4	145	122,2	64,6	75,2	40,3	49,5	82,4	113,1	62,6	145
2014	23	94	66,3	68	89,5	141,1	60	49	59,8	57,6	130,5	87,7	141,1
2015	59,1	21	96	87,2	70,6	77,5	51,3	77	76,7	90	92,8	50,3	96
2016	1,4	18,1	78	148	110,2	45,3	86,7	141,7	106	85	146,4	230,3	230,3
2017	11,5	32,6	85,2	46	193,7	79	51	54,9	80	78,5	165,5	24,9	193,7
2018	70,1	0,6	74,5	93,5	82,9	92,3	106,8	127,5	46,9	129,6	56,2	12,7	129,6
2019	13,7	6,9	65	135,5	143,7	83,1	70	98,2	87	134,5	73,5	45,1	143,7
2020	13,1	2,5	65,2	119	88,7	79	128	60,5	79,5	120	73,4	91,7	128
2021	49	13	36,4	140,5	133,2	68	77,9	95,1	89,2	38,8	51	6	140,5
2022	44,5	54,5	51	67,4	110,4	78,5	88,3	79,3	55,4	61,6	93,6	68	110,4
2023	135	38,7	87,7	100	93,5	77,4	48,7	83,9	81,5	183,5	82,4		183,5
2024		65,1	56,6	102	152,5	159,6	62,8	58	81,5	92,6	97,2	95	159,6

Fuente: Elaboración propia

Ecuación 1 IDF ESTACIÓN SENA [35030030] - IDEAM V/CIO [35030380]

$$I = \frac{414.05452 * T^{0.112405935}}{t^{0.61885}}$$

Siendo,

I, intensidad (mm/hr).

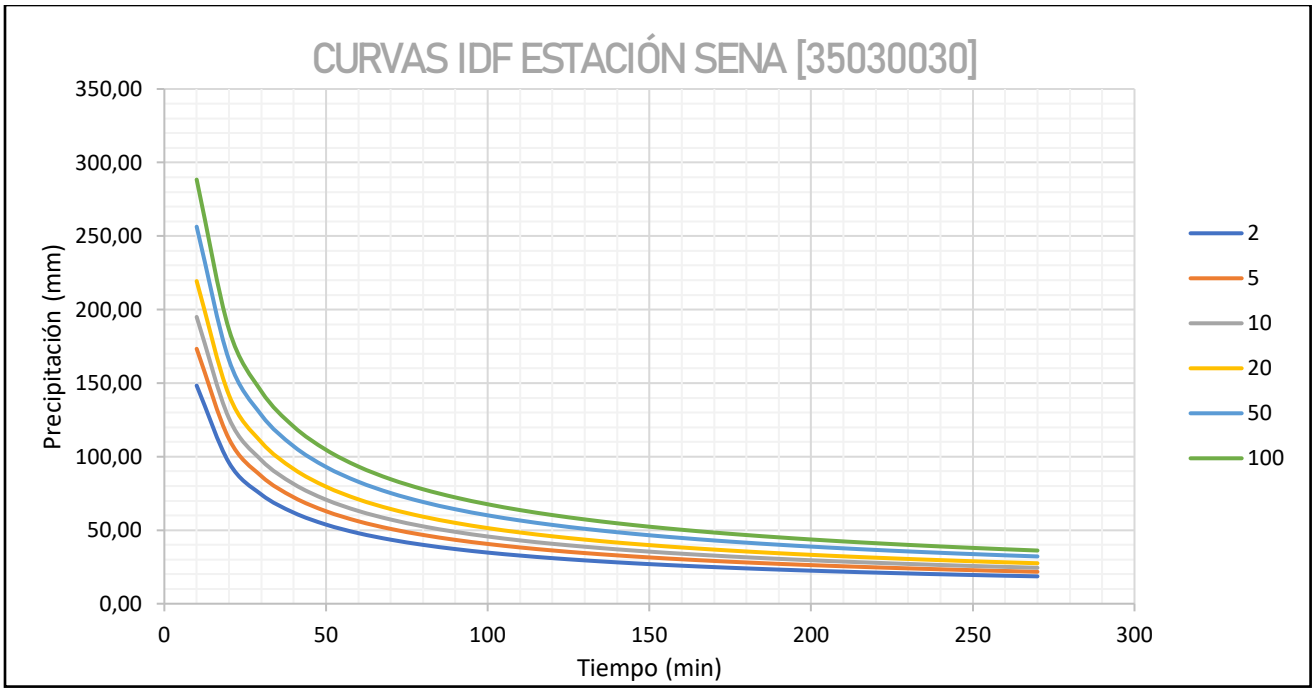
T, período de retorno (años).

t, duración (horas)

Los cálculos de las curvas IDF se presenten en Para los valores de M de las estaciones en estudio, las curvas IDF obtenidas son las siguientes:

REGION	4
M	129,44
a	5,53
b	0,17
c	0,63
d	0,42

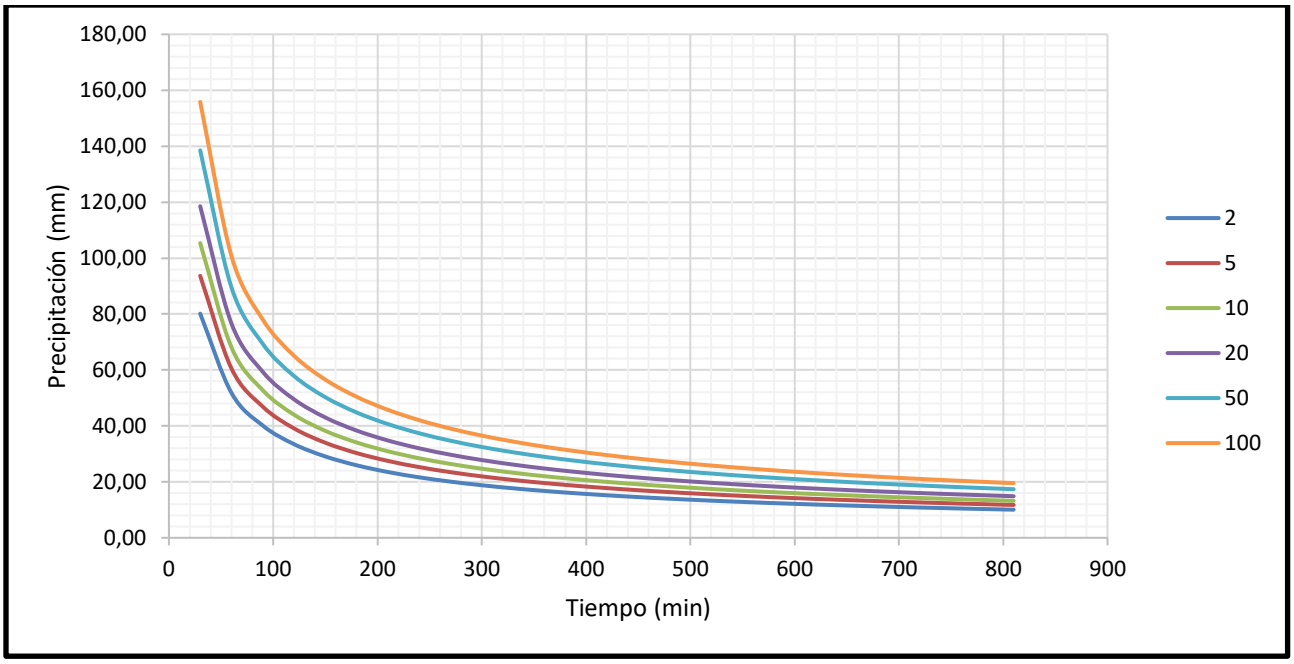
GRAFICA 7 Curvas IDF Estación SENA [35030030]



Fuente: Elaboración Propia

GRAFICA 8 Curvas IDF Estación IDEAM V/CIO [35030380]

REGION	4
M	155,31
a	5,53
b	0,17
c	0,63
d	0,42



Fuente: Elaboración Propia

Las curvas IDF de las dos estaciones meteorológicas representadas en las gráficas, se observan diferencias significativas en el comportamiento de la precipitación acumulada en función del tiempo y los periodos de retorno. Estas diferencias reflejan las características hidrometeorológicas particulares de cada estación y tienen implicaciones importantes para el análisis de eventos extremos y la planificación hidráulica.

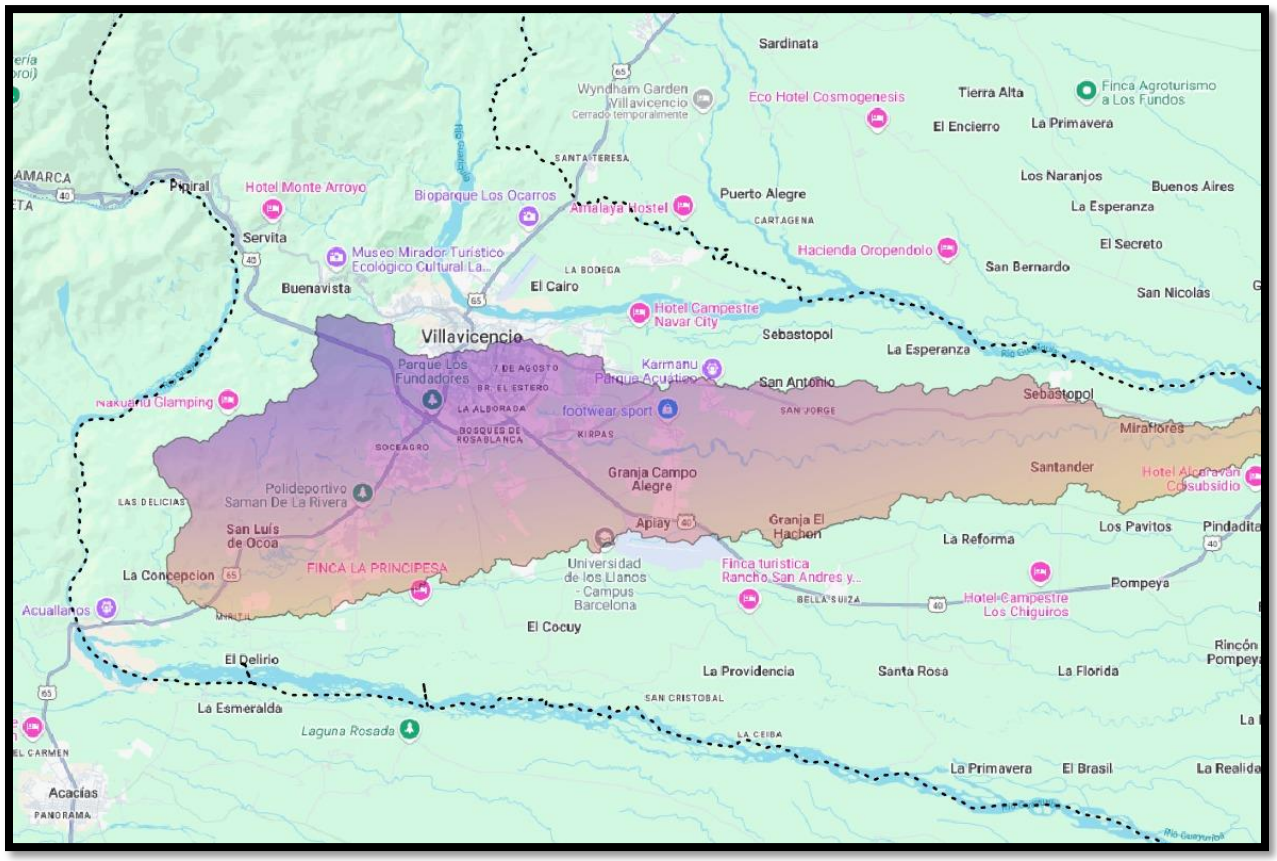
En cuanto a la escala temporal, la curva IDF SENA 35030030 está limitada a un máximo de 300 minutos, enfocándose principalmente en eventos de corta duración, como tormentas intensas y rápidas. Por otro lado, la Curvas IDF Estación IDEAM V/CIO 35030380, se extiende hasta 900 minutos, lo que permite analizar lluvias de mayor duración y acumulación. Esto sugiere que la estación Sena prioriza la evaluación de eventos extremos en lapsos cortos, mientras que la estación IDEAM V/cio busca comprender el comportamiento de lluvias sostenidas a lo largo del tiempo.

La magnitud de la precipitación acumulada también muestra diferencias notables. En la estación Sena, los valores son significativamente mayores, superando los 250 mm para periodos de retorno de 50 y 100 años en tiempos cortos (menores a 50 minutos). En la Estación IDEAM V/CIO, la precipitación acumulada es menor, alcanzando un máximo de aproximadamente 160 mm para los mismos periodos de retorno y tiempos similares. Esto indica que la estación Sena está asociada con eventos de mayor intensidad, posiblemente debido a factores locales como la configuración topográfica o la dinámica atmosférica regional.

9.5 DETERMINACION CARACTERÍSTICAS MORFOMETRICAS

La caracterización morfométrica de una cuenca nos permite saber el comportamiento de esta a partir de parámetros, como parámetros generales, parámetros morfométricos asociados a la forma de la cuenca, parámetros morfométricos asociados a la forma del relieve, parámetros morfométricos asociados a la red de drenajes, y predecir como los efectos hidrológicos la afectaran, para este caso, el casco urbano del Municipio de Villaviencio se detallara información relacionada con la cuenca aledaña, la cual cuenta con un área 255,46 km^2, tal como se aprecia a continuación:

Ilustración 7 Geomorfología de la cuenca



Fuente: Elaboración propia, 2025

9.5.1 PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS GENERALES

Tabla 8. Parámetros morfométricos de la cuenca

Parametro	Simbolo	S1
perímetro (Km)	P	178.7
Área (Km2)	A	255.46
Longitud máxima (Km)	LM	16.8
Longitud Cauce Principal (Km)	LCP	53.00
Ancho de la Cuenca	AC	15.48

9.5.2 PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS ASOCIADOS A LA CUENCA

- Coeficiente de Forma (Kf)

Es la relación entre el ancho medio de la cuenca (B) y la longitud de su cauce principal (Lc). El ancho medio se obtiene cuando se divide el área de la cuenca por la longitud del cauce principal, por lo tanto, el Coeficiente de Forma queda definido así:

Ecuación. 1 ecuación-Coeficiente-de-Forma

$$Kf = \frac{B}{Lc} = \frac{A}{Lc^2}$$

- Índice de Gravelius o Coeficiente de Compacidad (Kc)

Es la relación entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de un círculo de área igual a la de la cuenca:

$$Kc = 0{,}28\frac{P}{\sqrt{A}}$$

- Coeficiente de Circularidad (Cc)

El coeficiente de Miller indica morfologías ensanchadas cuando los valores están cercanos a 1 o alargadas cuando este factor es cercano a cero.

$$Cc = 4\pi\frac{A}{p^2}$$

Tabla 9. Parámetros morfométricos asociados a la cuenca

Parametro	Simbolo	S1	S2	S3	S4	S5	Ocoa
Perimetro (Km)	P	139,70	80,11	176,92	202,67	160,13	192,41
Área (Km2)	A	353,00	121,00	291,00	277,00	129,00	260,00
Longitud Maxima (Km)	LM	30,24	19,4	23	14,8	15,8	16,8
Longitud Cauce Principal (Km)	LCP	31,00	17,60	48,00	20,00	14,00	53,00
Ancho de la Cuenca	AC	11,67	6,24	12,65	18,72	8,16	15,48
Desnivel altitudinal (m)	DA	2 989,00	2 980,00	3 355,99	2 148,92	577,92	1 108,86

Parametro	Simbolo	S1	S2	S3	S4	S5	Ocoa
Factor Forma	FF	0,39	0,32	0,55	1,26	0,52	0,92
Coeficiente de compacidad	Kc	2,08	2,04	2,90	3,41	3,95	3,34
Coeficiente de circularidad	CC	0,23	0,24	0,12	0,08	0,06	0,09

9.5.3 OTROS PARÁMETROS

PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS ASOCIADOS A LA FORMA DEL RELIEVE

Tabla 10. Parámetros morfométricos asociados a la forma del relieve

Parámetro	S1	S2	S3	S4	S5	Ocoa
Cata Máxima (msnm)	4 010,00	4 000,00	3 703,00	2 427,00	818,00	1 349,00
Cota Mínima (msnm)	1 021,00	1 020,00	347,01	278,08	240,08	240,14
Altitud Media (msnm)	2 891,64	2 634,03	1 412,32	533,29	338,09	455,37
Altitud mas frecuente (msnm)	3 230,00	2 294,00	377,00	414,00	300,00	344,00
Altitud Mayor del Cauce	3 168,00	1 907,00	3 703,00	2 427,00	818,00	426,00
Altitud Menor del Cauce	1 021,00	1 020,00	347,01	278,08	240,08	240,14
Pendiente promedio de la cuenca (%)	0,42	0,09	0,48	0,49	0,11	0,03
Pendiente del cauce	0,07	0,05	0,07	0,11	0,04	0,00

9.6 ANÁLISIS DE CAUDALES

Como se menciona en la metodología, para la obtención de caudales máximos, se emplean los métodos racionales y del hidrograma unitario, los cuales se explican a continuación. En caso de que se utilice el método de hidrograma unitario se utiliza el software HEC-HMS versión 4.1 o hojas de cálculo para determinación de caudales.

Para la aplicación de las anteriores metodologías es necesario asignar a cada cuenca los coeficientes de escorrentía (C) o de Número de curva (CN) a partir de las caracterizaciones de suelos y cobertura vegetal existentes.

9.6.2 TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

La duración con que se calcula la intensidad corresponde al tiempo de concentración de la cuenca, el cual se toma de acuerdo con los tiempos de concentración calculados con las expresiones del US Corps

of Engineers, Bransby-Williams, Kirpich, Ventura, Passini, SCS, Temez Williams, Giandotti, Haktanir-Sezen y California.

Las ecuaciones empleadas por los anteriores autores son:

Ecuación 2

Kirpich $$Tc = 0.06628\left(\frac{L}{S^{0.50}}\right)^{0.77}$$

Donde,

Tc: Tiempo de concentración (horas).

L: Longitud del cauce principal (Km).

S: Pendiente del cauce principal (m/m).

Ecuación 3

Bransby-*Williams* $$Tc = 58.5\frac{L}{A^{0.1}S^{0.3}}$$

Siendo,

Tc: Tiempo de concentración (minutos)

L: Longitud del curso principal (Km)

A: Área de la cuenca (Km^2)

S: Pendiente entre la máxima y la mínima elevación del curso principal (m/Km)

Ecuación 4

US Corps of Engineers	$Tc = 0.28\left(\frac{L}{S^{0.25}}\right)^{0.76}$

Siendo,

Tc: Tiempo de concentración (horas).

L: Longitud del cauce principal (Km).

S: Pendiente del cauce principal (m/m).

Ecuación 5

Williams	$Tc = 16.32\ L\ A^{0.4}(D\ S^{0.2})^{-1}$

Siendo,

Tc: Tiempo de concentración (minutos)

L: Longitud del curso principal (Km)

A: Área de la cuenca (Km^2)

D: Diámetro equivalente (Km)

S: Pendiente entre la máxima y la mínima elevación del curso principal (m/m)

Ecuación 6

California	$Tc = 60\left(0.87L^3{H_B}^{-1}\right)^{0.385}$

Siendo,

Tc: Tiempo de concentración (minutos)

L: Longitud del curso principal (Km)

H_B: Diámetro equivalente (Km)

Ecuación 7

Temez $Tc = 18[L(100S)^{-0.25}]^{0.75}$

Siendo,

Tc: Tiempo de concentración (minutos)

L: Longitud del curso principal (Km)

S: Pendiente del cauce principal (m/m).

Ecuación 8

Giandotti $Tc = (240A^{0.5} + 90L)[25.3(S\,L)^{0.5}]^{-1}$

Siendo,

Tc: Tiempo de concentración (minutos)

L: Longitud del curso principal (Km)

A: Área de la cuenca (Km^2)

S: Pendiente entre la máxima y la mínima elevación del curso principal (m/m)

Ecuación 9

Haktanir-Sezen $Tc = 44.75L^{0.841}$

Siendo,

Tc: Tiempo de concentración (minutos)

L: Longitud del curso principal (Km)

Ecuación 10

Ventura $$Tc = 0.30\left(\frac{L}{S^{0.25}}\right)^{0.75}$$

Donde,

Tc: Tiempo de concentración (horas).

L: Longitud del cauce principal (Km).

S: Pendiente del cauce principal (%).

Para el cálculo de la intensidad se recomienda realizar el diseño para períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 25, 50 y 100 años para cada cuenca hidrográfica delimitada.

9.6.2.1 Tiempo de concentración de Diseño

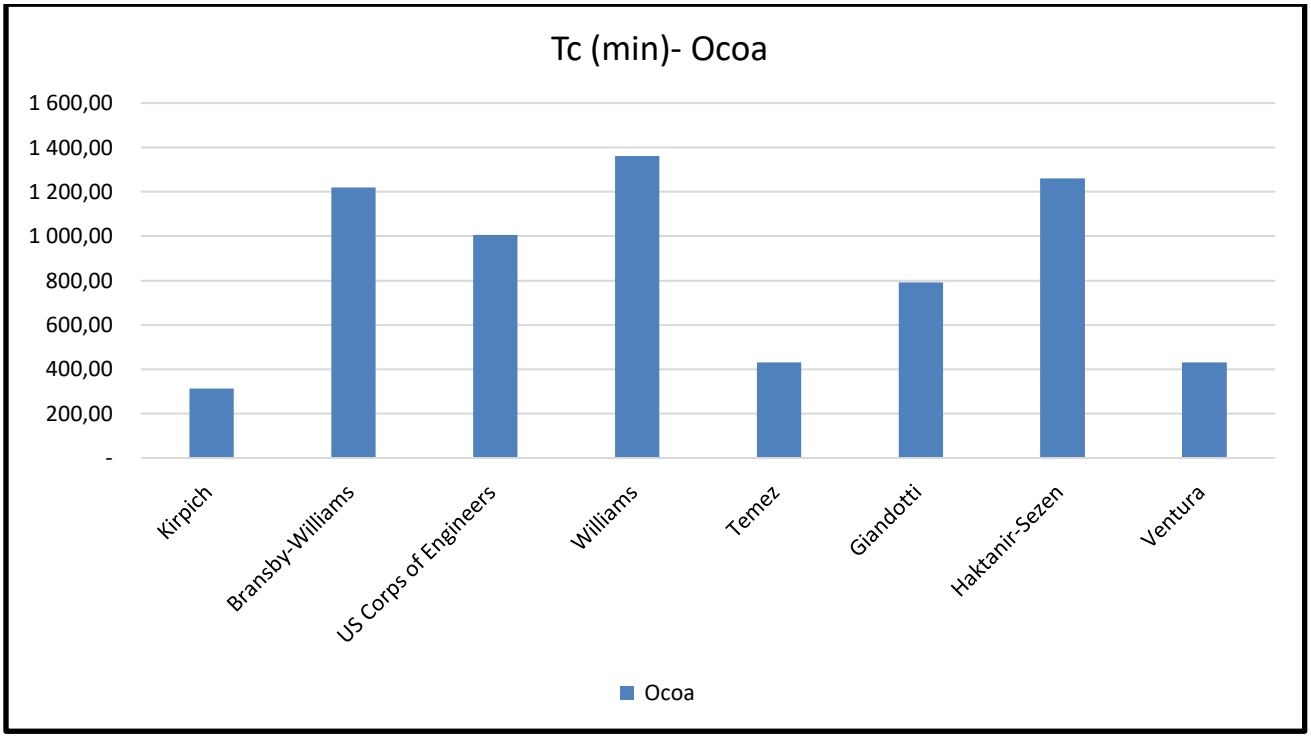
Después de computados los resultados de tiempo de Concentración para las diferentes expresiones, se evalúa y se promedia, dando el valor de diseño a utilizar.

Tabla 11. Tiempo de concentración Cuenca

METODO	Tc (min)- S1	Tc (min)- S2	Tc (min)- S3	Tc (min)- S4
Kirpich			104,02	52,65
Bransby-Williams	282,88	196,64	445,28	163,90
US Corps of Engineers	379,36	262,08	527,94	250,13
Williams	425,12	286,27	669,83	257,38
Temez	164,52	114,21	227,95	109,07
Giandotti	196,90	177,27	181,54	156,23
Haktanir-Sezen			1160,69	

				555,85
Ventura	164,52	114,21	227,95	109,07

GRAFICA 9 Tiempo de concentración de diseño



Fuente: Propia, (2025).

Para la estimación del tiempo de concentración de la cuenca, se evaluaron diversos métodos reconocidos, incluyendo Kirpich, Bransby-Williams, US Corps of Engineers, Williams, Temez, Giandotti, Hakami-Sezen y Ventura. Tras comparar los resultados, se seleccionó el método de Giandotti, ya que su valor se encuentra cercano al promedio de las estimaciones obtenidas por los demás métodos. Esta decisión busca obtener un tiempo representativo que evite tanto la sobreestimación como la subestimación del tiempo de concentración, proporcionando un equilibrio adecuado. El método de Giandotti fue elegido por su capacidad para reflejar valores intermedios y aproximarse al tiempo de concentración según los resultados siendo de 792.12.

9.6.3 MÉTODO DEL HIDROGRAMA UNITARIO

9.6.3.1 Estimación Lluvia Neta

Para la obtención de la lluvia neta se emplea el método propuesto por el Soil Conservation Service (SCS) basado en el concepto del "número de curva", CN.

De acuerdo con este método la escorrentía directa o precipitación efectiva producida por un evento de precipitación se calcula como:

Ecuación 11

$$P_e = \frac{(P - \alpha S)^2}{P + (1 - \alpha)S} \qquad \text{si P>S}$$

$$P_e = 0 \qquad \text{si P<=S}$$

Donde,

Pe: precipitación efectiva (mm)

P: precipitación máxima para el período de retorno deseado (mm)

S: retención potencial máxima después que comienza la escorrentía (mm)

- S: umbral de escorrentía o abstracción inicial, es decir todas las pérdidas antes que comience la escorrentía (mm). Este valor es un parámetro del modelo HEC-HMS. El SCS propone un valor de 0.2 para el parámetro y relaciona la retención potencial máxima (S) con el suelo y las condiciones de cobertura de la cuenca a través del número de curva (CN).

Esta relación para condiciones normales de humedad antecedente está dada por:

Ecuación 12

$$S = 25.4\left(\frac{1000}{CN} - 10\right)$$

El número de curva para las cuencas se obtiene a partir de la ponderación dentro del área de las diferentes unidades de suelo y cobertura vegetal definidas a partir de la información secundaria investigada en el IGAC .

9.6.3.2 Lluvia de diseño

El Hietograma de la precipitación de diseño o distribución de la lluvia empleado para el cálculo de caudales máximos, se obtiene por el método del bloque alterno, en el que se calcula la profundidad de precipitación como el producto de la intensidad (estimada con la curva IDF) por la duración. Tomando diferencias entre valores sucesivos de profundidad de precipitación, se encuentra entonces la cantidad de lluvia que debe añadirse por cada unidad adicional de tiempo y los bloques o incrementos se reordenan en una secuencia temporal de modo que la intensidad máxima ocurra en el centro de la duración del aguacero y que los demás bloques queden en orden descendente alternativamente hacia la derecha y hacia la izquierda del bloque central. Este proceso se denomina Método de Bloques Alternos. (Chow, Hidrologia Aplicada, 1994).

En la obtención de la lluvia de diseño al aplicar el hidrograma unitario, el factor para calcular la precipitación máxima promedio en la hoya se realiza con ayuda de la curva profundidad-área elaborada por la Organización Meteorológica Mundial (1983, en Ven Te Chow 1994). En cuanto a la duración de la lluvia total, se adopta una duración de 9 horas este equivale a un tiempo cercano al tiempo de concentración.

9.6.3.3 Definición del hidrograma unitario

Se utiliza el hidrograma unitario sintético triangular propuesto por el Soil Conservation Service, cuyos parámetros son:

Ecuación 13

$$T_p = \frac{D}{2} + 0.6 \times T_c$$

Donde,

D: Duración de la lluvia aplicada (horas)

Tp: Tiempo al pico del hidrograma (horas).

Tc: Tiempo de concentración (horas). Calculado como el promedio de las expresiones del US Corps of Engineers, Bransby-Williams, Kirpich, Ventura, Passini, SCS, Temez Williams, Giandotti, Haktanir-Sezen y California.

El valor de $0.6xT_c$ es tomado como el tiempo de rezago (lag time) en la modelación hidrológica. Una vez definido el tiempo al pico, Tp se calculan los demás elementos del hidrograma triangular:

Ecuación 14

$$T_b = 2.67 \times T_p$$

Ecuación 15

$$Q_p = \frac{A}{1.8 \times T_b}$$

Donde,

Tb: Tiempo base del hidrograma (horas)

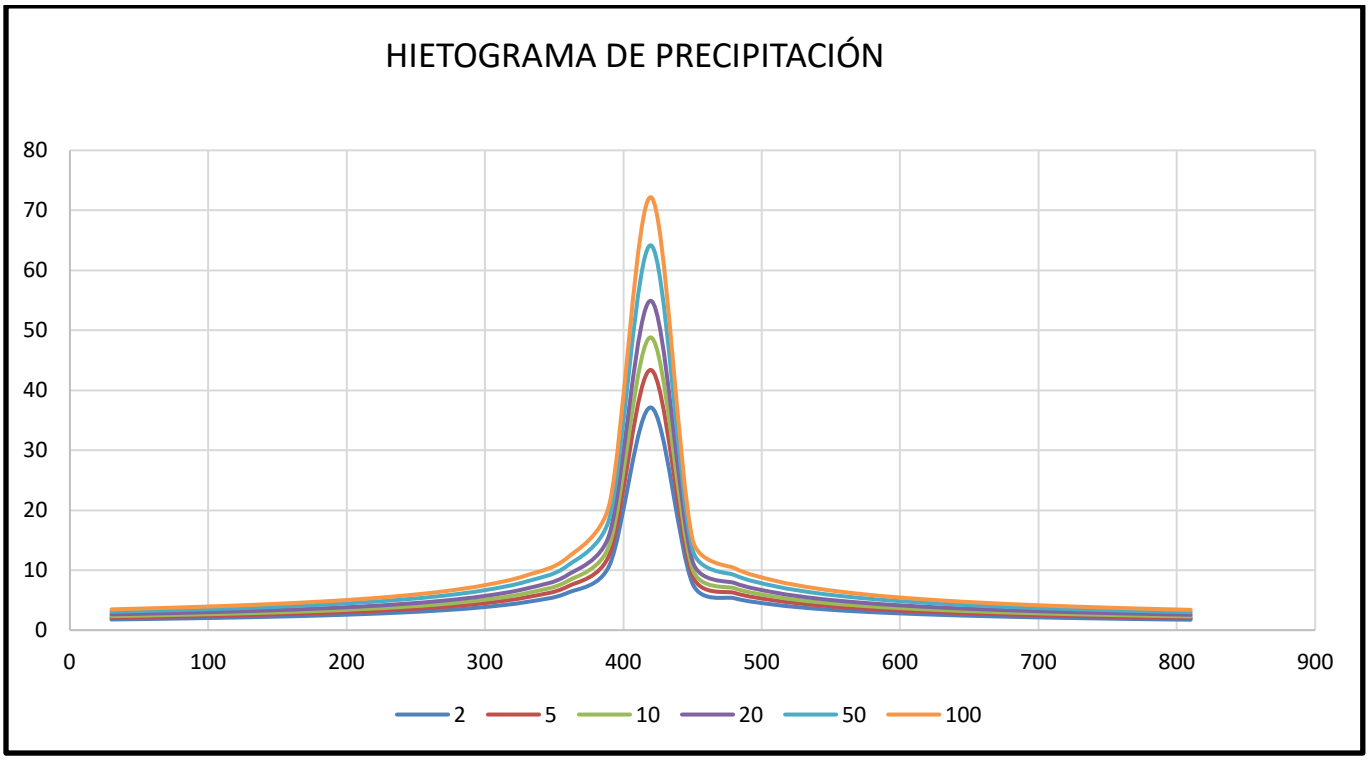
Qp: Caudal pico del hidrograma ($m^3/s/mm$)

A: Área de la cuenca (Km^2)

Para la transformación lineal de lluvia neta a escorrentía se usa el procedimiento conocido como convolución (para cada bloque del histograma de precipitación efectiva se calcula su hidrograma unitario, obteniéndose el hidrograma final de la cuenca al sumar cada uno de los hidrogramas unitarios desplazado en el tiempo), el que se realiza con ayuda de una hoja de cálculo preparada para ello.

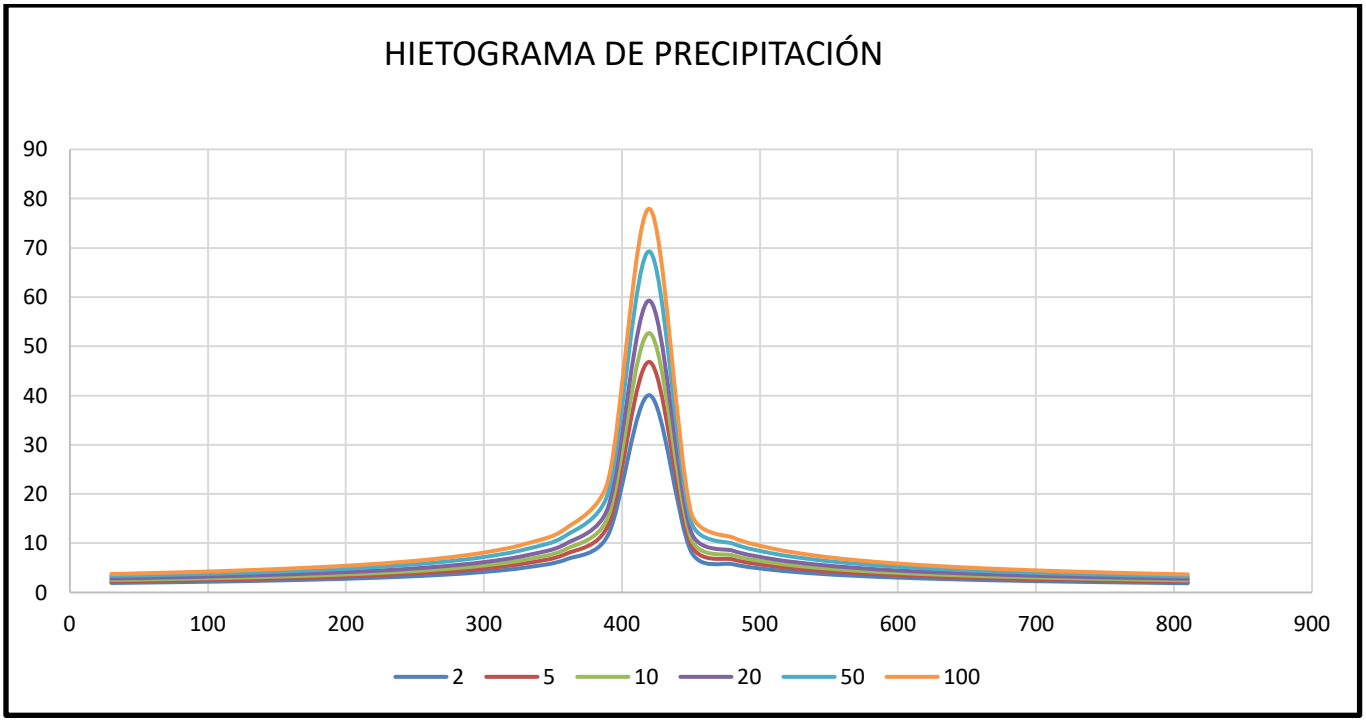
Con base en lo anteriormente expuesto y considerando que el tiempo de concentración de precipitación fue de 792.12 minutos, para el presente caso se proyecta un tiempo de simulación del Hietograma será de 800 minutos, tal como se evidencia a continuación:

GRAFICA 10 Hietograma de precipitación de SENA [35030030]



Fuente: Elaboración propia

GRAFICA 11 Hietograma de precipitación de SENA [35030030]



Fuente: Elaboración propia

El comportamiento simétrico de las curvas indica un evento de tormenta con un periodo breve de máxima precipitación concentrada (aproximadamente entre 400 y 500 unidades de tiempo), típico de tormentas de diseño basadas en relaciones de intensidad, duración y frecuencia (I-D-F).

9.6.3.4 Numero de Curva

El número de curva en hidrología es un parámetro que indica la capacidad de una cuenca de generar escorrentía superficial a partir de una lluvia. El número de curva se utiliza para estimar la precipitación efectiva, que es la parte de la lluvia que se convierte en escorrentía. El número de curva depende del uso del suelo, el tipo de suelo y la humedad antecedente de la cuenca.

El número de curva es un método simple y práctico para modelar el comportamiento hidrológico de una cuenca. Sin embargo, también tiene algunas limitaciones, como la falta de consideración de la variabilidad espacial y temporal de la lluvia y la escorrentía.

9.6.3.5 Caudales

Para nuestro caso utilizamos la modelación en Hec-Ras, que es el uso de un programa computacional que simula procesos de lluvia-escurrimiento en cuencas hidrológicas. El programa se llama HEC-RAS (Hydrologic Engineering Centers River Analysis System) es un software desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (USACE) diseñado para modelar sistemas fluviales y analizar el comportamiento del agua en diferentes condiciones hidráulicas. Es una herramienta ampliamente utilizada en ingeniería hidráulica e hidrológica para realizar simulaciones de flujo en ríos, canales y sistemas fluviales complejos.

La modelación en HEC-RAS sirve como una herramienta fundamental para analizar, diseñar y gestionar sistemas fluviales y obras hidráulicas. Su principal propósito es simular el comportamiento del agua en diferentes escenarios, lo que permite a ingenieros, hidrólogos y gestores de recursos hídricos tomar decisiones informadas sobre el manejo de cuencas hidrográficas, el diseño de infraestructura y la mitigación de riesgos asociados al agua, como inundaciones.

Uno de los usos más comunes de HEC-RAS es la evaluación del riesgo de inundaciones. Con este software, es posible simular eventos extremos de precipitación y crecidas fluviales, analizar cómo el agua se desplazará a lo largo del cauce y determinar áreas vulnerables. Esto es crucial para planificar estrategias de prevención, como la construcción de diques, canales de desvío o sistemas de drenaje, y para desarrollar planes de emergencia ante desastres naturales.

Para las cuencas calculadas por el Método del Hidrograma unitario se obtienen los siguientes caudales de diseño.

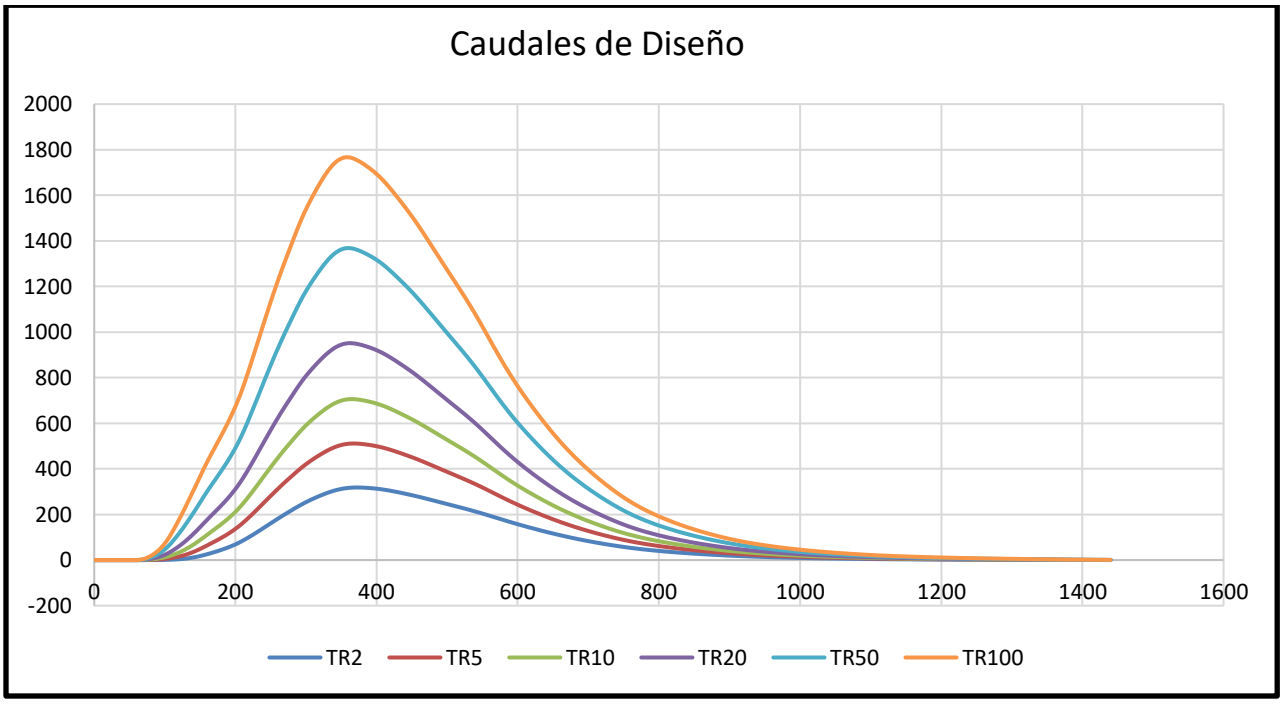
El método de diagrama unitario es un método hidrológico para estimar el caudal producido por una precipitación en una cuenca hidrográfica. Consiste en usar un hidrograma unitario, que es un hidrograma de la escorrentía superficial resultante de una lluvia intensa y uniforme de una pulgada de agua en toda la cuenca. El hidrograma unitario se puede usar para calcular el hidrograma de cualquier lluvia multiplicándolo por el volumen de escorrentía correspondiente.

Para las cuencas calculadas por el Método del Hidrograma unitario se obtienen los siguientes caudales de diseño.

Tabla 12 Caudales DIFERENTES PERIODOS DE DISEÑO

Periodo de Retorno	**TR2**	**TR5**	**TR10**	**TR20**	**TR50**	**TR100**
Caudal (m3/s)	318,3	511,1	706	951,1	1368,4	1766,6

GRAFICA 12 Caudal Total



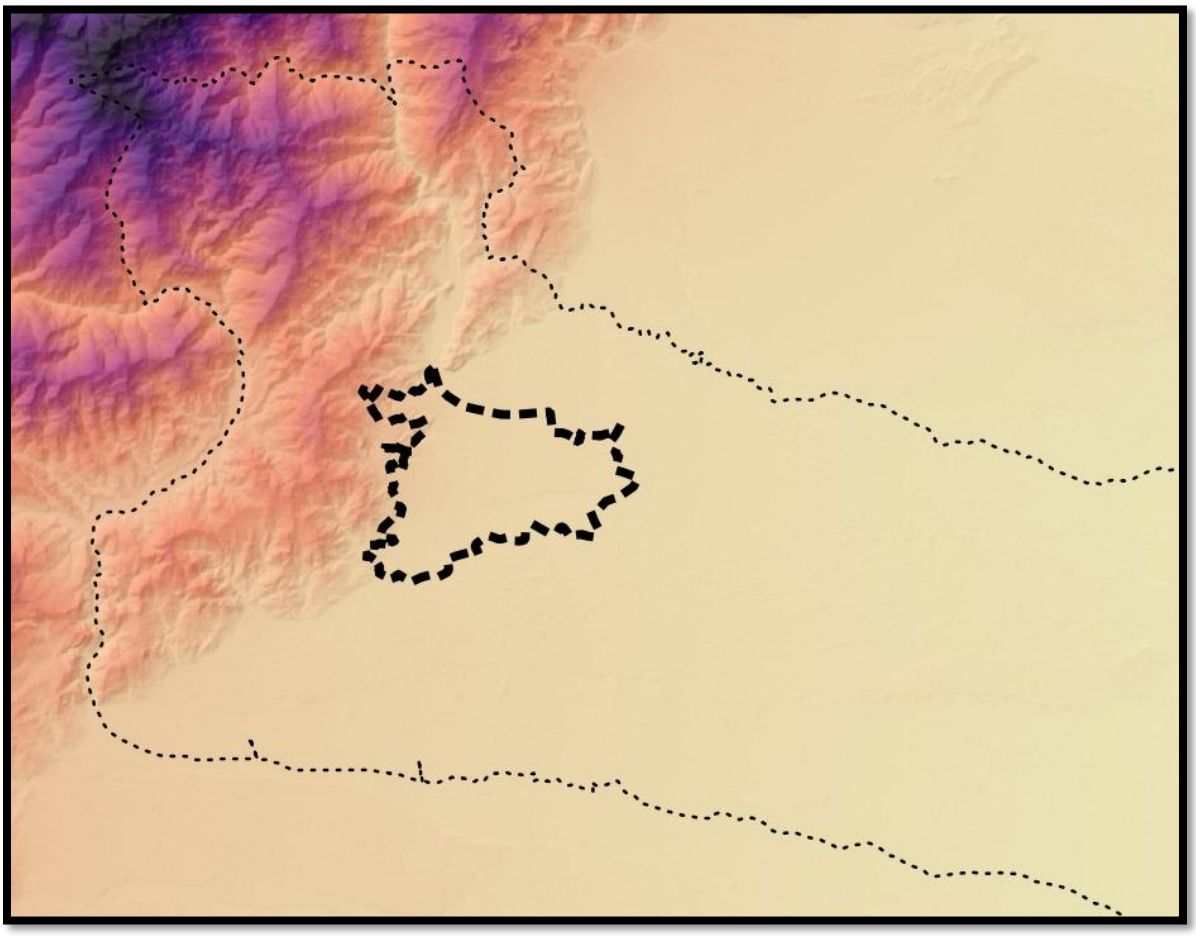
Fuente: Elaboración propia

Los caudales de diseño asociados a diferentes períodos de retorno (TR) como TR2, TR5, TR10, TR20, TR50 y TR100, en función del tiempo. Cada curva muestra cómo varía el caudal en un evento específico de lluvia o crecida para un período de retorno determinado, donde los períodos más largos (como TR100) representan eventos más extremos y menos frecuentes, mientras que los períodos más cortos (como TR2) reflejan eventos más comunes y de menor magnitud.

9.7 MODELO DIGITAL DEL TERRENO

La generación de un modelo digital del terreno (MDT) es un proceso fundamental en la cartografía, la geomática, la planificación del territorio como es nuestro caso, Un MDT es una representación numérica tridimensional de la topografía, que fue tomada por medio de la utilización de sistemas RTK, y fue procesada para describir la elevación del terreno en cada punto de un área determinada. Esta información es esencial para la modelación Hidráulica.

Ilustración 8 Modelo Digital del terreno



Fuente: Elaboración propia

9.8 MODELACIÓN HIDRÁULICA

El modelado hidráulico es el proceso de usar software de computadora para simular el comportamiento de los fluidos en un sistema hidráulico, como un río, un canal o una red de distribución de agua. El objetivo del modelado hidráulico es predecir cómo se comportará el sistema en diferentes condiciones, como cambios en el caudal, la presión o los niveles de agua, donde para nuestro caso utilizamos la herramienta Hec-Ras.

El modelado hidráulico generalmente implica el uso de ecuaciones y algoritmos matemáticos para simular el flujo de agua y otros fluidos a través del sistema. Estas ecuaciones tienen en cuenta factores como la geometría del sistema, las propiedades de los fluidos y las condiciones de contorno del sistema.

El modelado hidráulico se usa comúnmente en una variedad de aplicaciones, incluida la gestión de recursos hídricos, el pronóstico y la advertencia de inundaciones, el diseño y la optimización de redes de distribución y suministro de agua, el diseño y análisis de sistemas de gestión de aguas pluviales y el análisis de la calidad del agua.

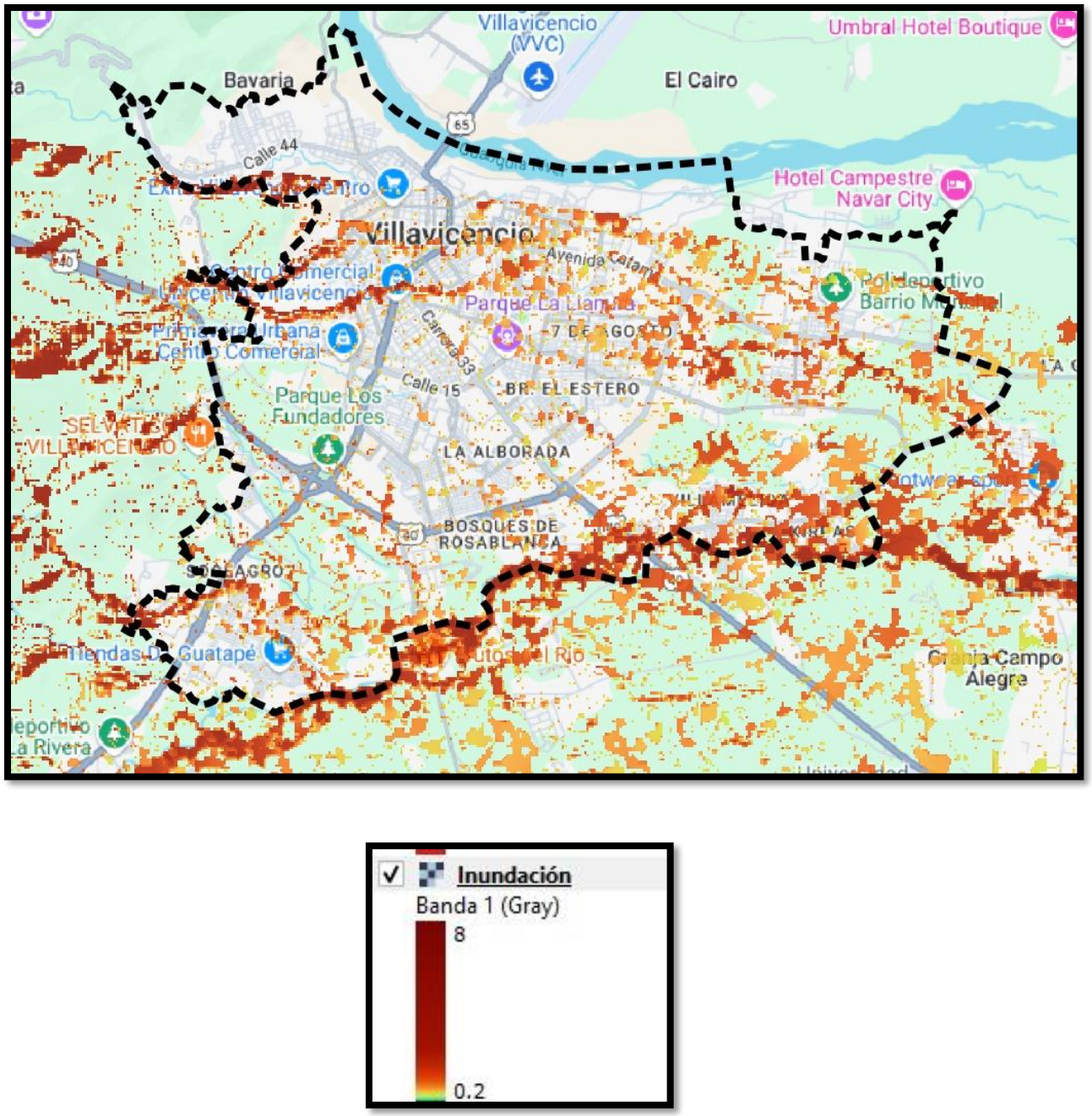
La salida de este modelo hidráulico incluye una amplia gama de información como lo son niveles de agua, velocidad, donde esta información se puede utilizar para evaluar el rendimiento del sistema, identificar problemas potenciales y desarrollar soluciones para mejorar la eficiencia y eficacia del sistema.

Como se expuso inicialmente, se realizó una simulación 2D, donde se obtuvo la mancha de inundación del modelo, con periodos de retorno de 100 años, con los datos obtenidos del caudal de la Hidrología, el tipo de terreno y el modelo digital del terreno, donde nos genera la mancha de inundación.

Esta mancha de inundación es el área que queda cubierta por el agua cuando se produce una crecida del caño Bandera. Donde la cartografía de zonas inundables es una herramienta útil para la prevención y gestión de los riesgos de inundación.

Para nuestro caso, la mancha de inundación que se muestra a continuación refleja una alta incidencia en el municipio de Villavicencio.

Ilustración 9 Mapa de Profundidades (m)



Fuente: Elaboración propia

Por lo anteriormente expuesto, resulta procedente indicar que para un periodo de 100 años en el municipio de Villavicencio se obtendrán profundidades máximas de 8,0 metros.

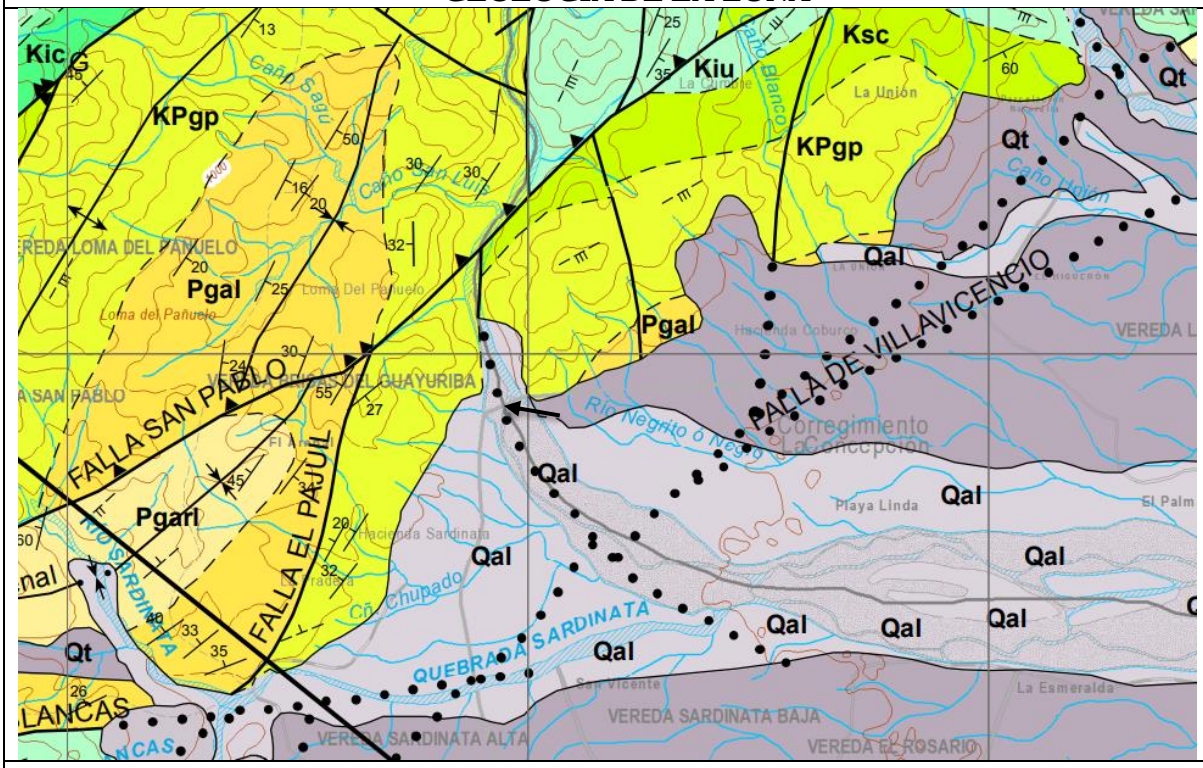
9.9 GEOMORFOLOGIA

La información se obtuvo del Servicio Geológico Colombiano, más exactamente de la plancha 266 donde se encuentra parte del municipio de Villavicencio, así como el área de estudio.

En la área estudiada de las planchas mencionadas anteriormente se reconocieron terrazas (Qt) que conforman, en general, la parte de sabana de los Llanos Orientales. Algunas terrazas altas de poca extensión se ubican en algunos ríos y quebradas. De estas se puede mencionar la que conforma la parte suavemente inclinada de los alrededores de Villavicencio, donde se observa guijos y gravas de rocas sedimentarias y metamórficas.

Ilustración 10 Geomorfología del área de Influencia Directa

GEOLOGIA DE LA ZONA



Fuente: Plancha geologica 266 Servicio Geologico Colombiano

LEYENDA GEOLOGICA

Símbolo	Formación	Descripción
Qal	Depósitos aluviales	Rocas sedimentarias
Qt	Terrazas	Rocas sedimentarias

KPgp	Grupo Palmichal	Arenita blanco- amarillenta grano medio a conglomerado con guijos de cuarzo lechoso, hasta de 2cm de diámetro, alternan con conjuntos de arcillolita silícea de color gris.

Fuente: Geología de la Plancha 266 Escala 1: 100000 – SGC

En el área de influencia directa se encuentra la siguiente geomorfología:

Depósitos Aluviales (Qal)

La cuenca del Río Ocoa, ubicada en el piedemonte llanero colombiano en Villavicencio, Meta, se caracteriza por una diversidad geomorfológica resultado de su ubicación entre la Cordillera Oriental y la Llanura Aluvial de los Llanos Orientales. En las zonas montañosas, que corresponden a las estribaciones de la Cordillera Oriental, el relieve es escarpado, con pendientes pronunciadas y una red de drenaje densa que evidencia una alta escorrentía. Esta área está dominada por procesos erosivos intensos, favorecidos por lluvias constantes y la inclinación del terreno.

A medida que el río desciende hacia el piedemonte, se encuentra una zona de transición marcada por abanicos aluviales. Estos forman parte integral de la dinámica geomorfológica del área, resultado de la acumulación de sedimentos transportados desde las zonas más altas. Los abanicos presentan depósitos heterogéneos compuestos por gravas, arenas y limos, que se distribuyen de manera radial desde los cauces principales.

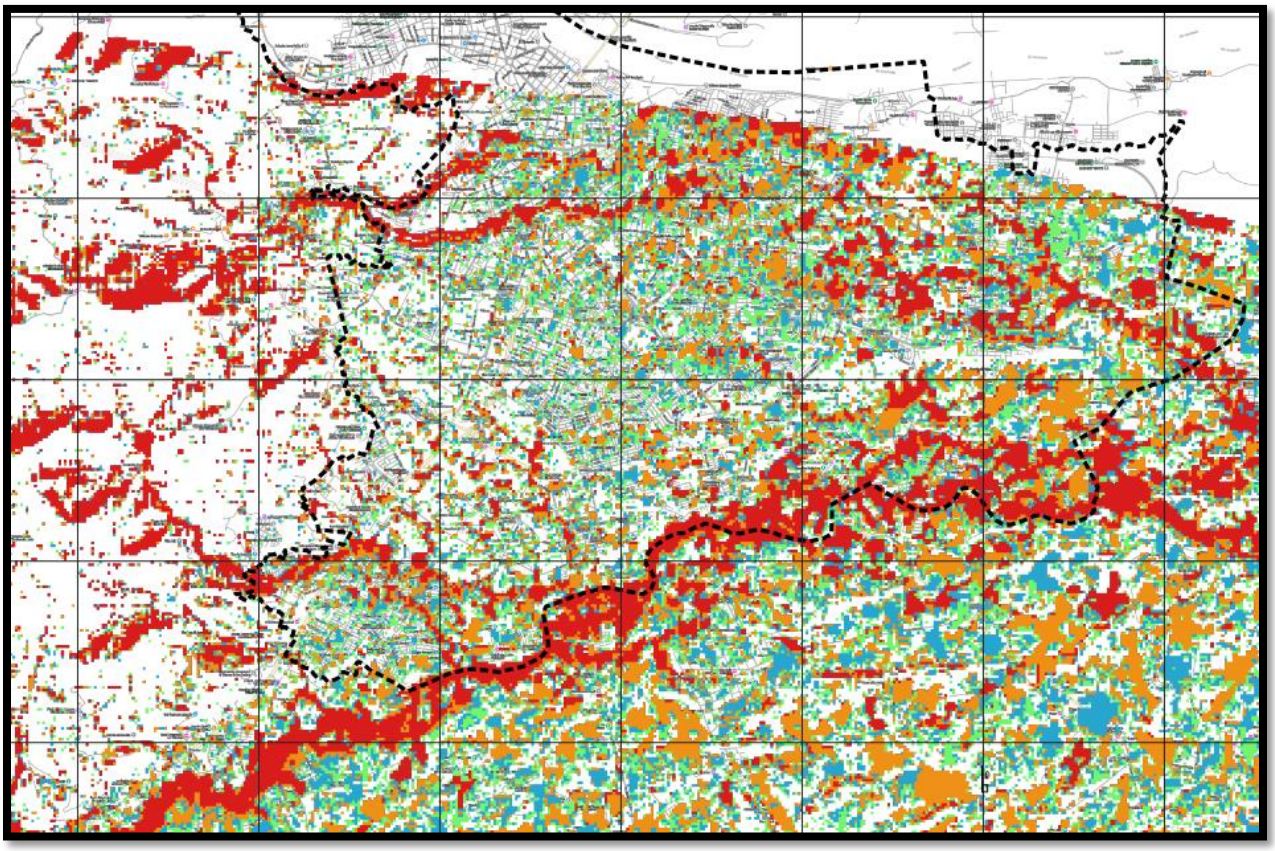
En las áreas más bajas de la cuenca, cerca de la transición hacia los Llanos Orientales, predominan las planicies aluviales. Estas zonas están sujetas a inundaciones estacionales y se caracterizan por depósitos finos, como limos y arcillas, que se acumulan en los meandros y canales anastomosados. Este paisaje refleja una dinámica fluvial activa, con procesos continuos de erosión y sedimentación que moldean el terreno.

En las laderas y zonas de transición, es común encontrar depósitos coluviales generados por movimientos en masa, como deslizamientos y flujos de detritos. Estos procesos son frecuentes debido a la combinación de alta pendiente, lluvias intensas y suelos poco consolidados. Además, la actividad tectónica en la región, influenciada por estructuras como la Falla de Algeciras, puede tener un impacto significativo en el modelado del relieve y en el control de los sistemas de drenaje. (SGC, 2020)

10. RESULTADOS

Con base en los mapas obtenidos de velocidad y profundidad del agua a un periodo de retorno de 100 años en la modelación hidráulica, y con base en la categorización de amenaza expuesta anteriormente, es posible indicar que el municipio de Villavicencio, departamento del Meta, presenta una afectación de aproximadamente 500m^2 producto de los ríos.

Ilustración 11 Mapa categorizado del tipo de daño y amenaza a inundación del casco urbano del Municipio de Villavicencio



Amenaza	Tipo de Daños
Alta	Perdida de Vidas
Media	Daños Graves
Baja	Daños Moderados
	Molestias

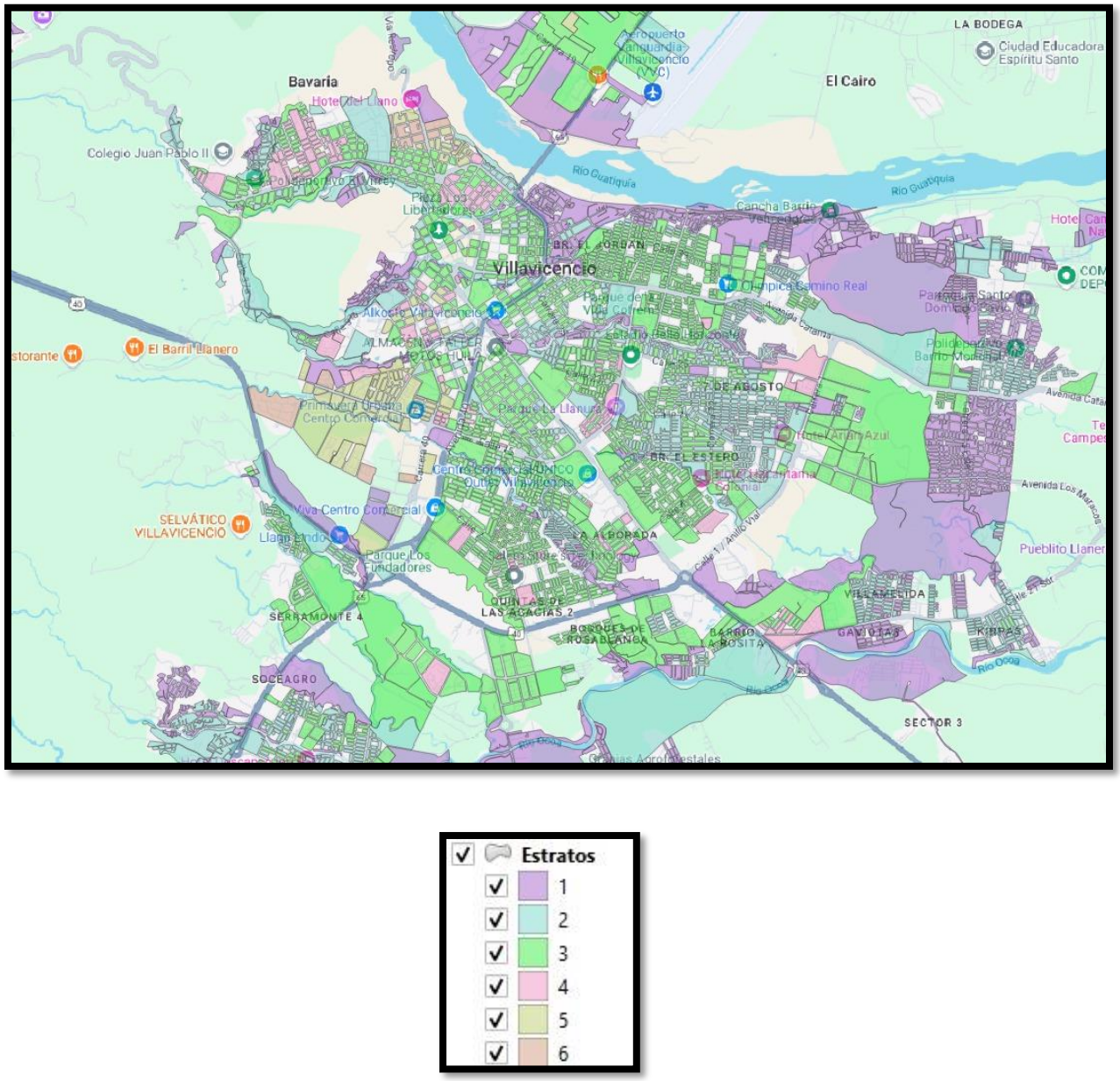
Fuente: Elaboración propia

10.1 EVALUACIÓN DEL RIESGO

Teniendo en cuenta los valores y mapas de vulnerabilidad, se pudo establecer que el riesgo para el municipio de Villavicencio tiene un riesgo alto, debido a las comunas localizadas a las riveras de los ríos Ocoa y Guatiquia.

10.1.1 IDENTIFICACIÓN DE ELEMENTOS EXPUESTOS

Ilustración 12 elementos del proyecto



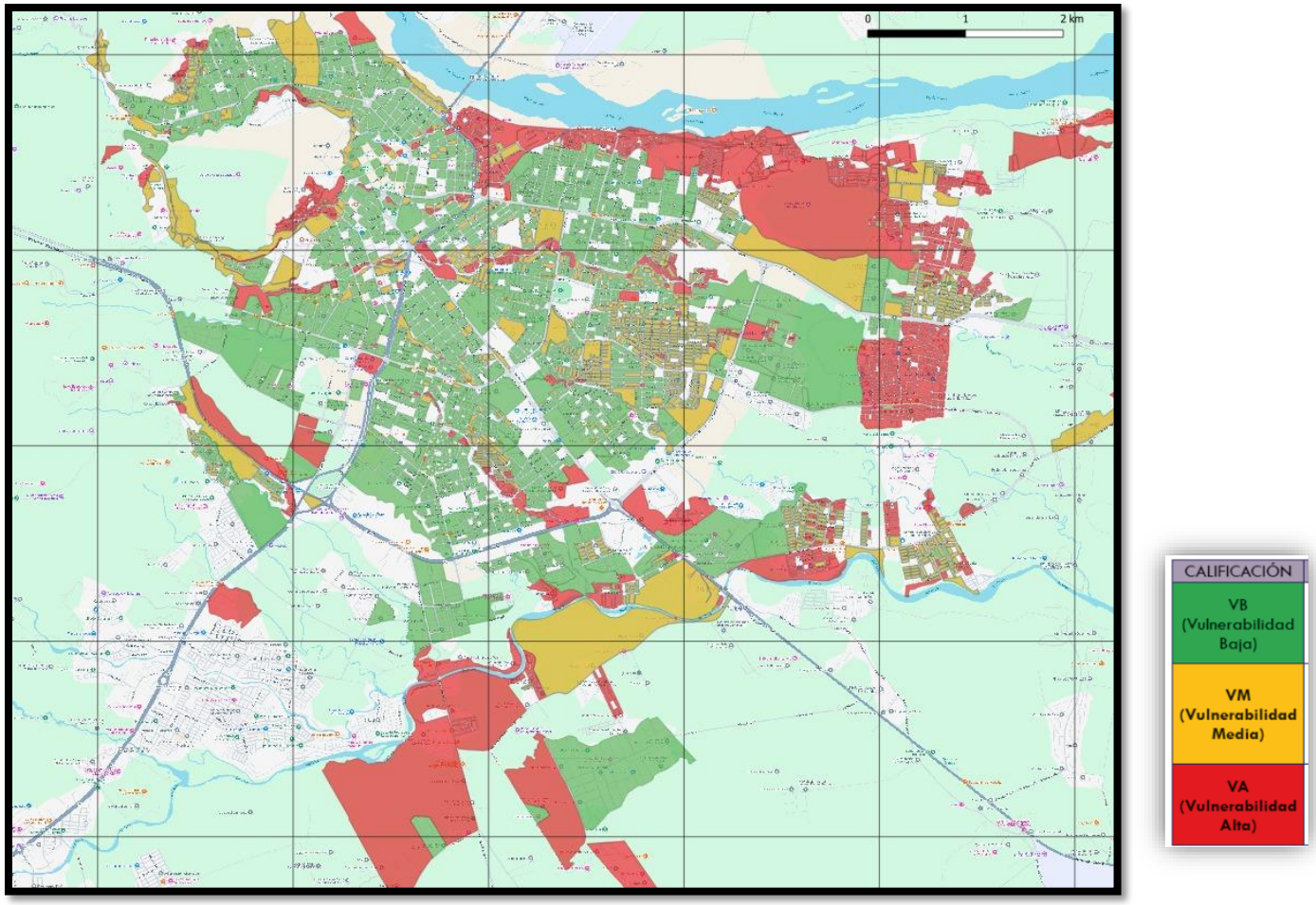
Fuente: Elaboración propia

Dentro del municipio de Villavicencio se identificaron los diferentes elementos que lo componen. Que se encuentran las manzanas y las áreas comunes, así como los humedales, se realizó un análisis teniendo en cuenta el estudio hidráulico y la evaluación de la amenaza a inundación.

10.2 EVALUACION DE LA VULNERABILIDAD

Con la identificación de los elementos expuestos se logró establecer que algunos elementos tienen una vulnerabilidad Media debido a que se presentan encharcamientos en la zona.

Ilustración 1 Mapa de Vulnerabilidad



10.3 EVALUACIÓN DEL RIESGO

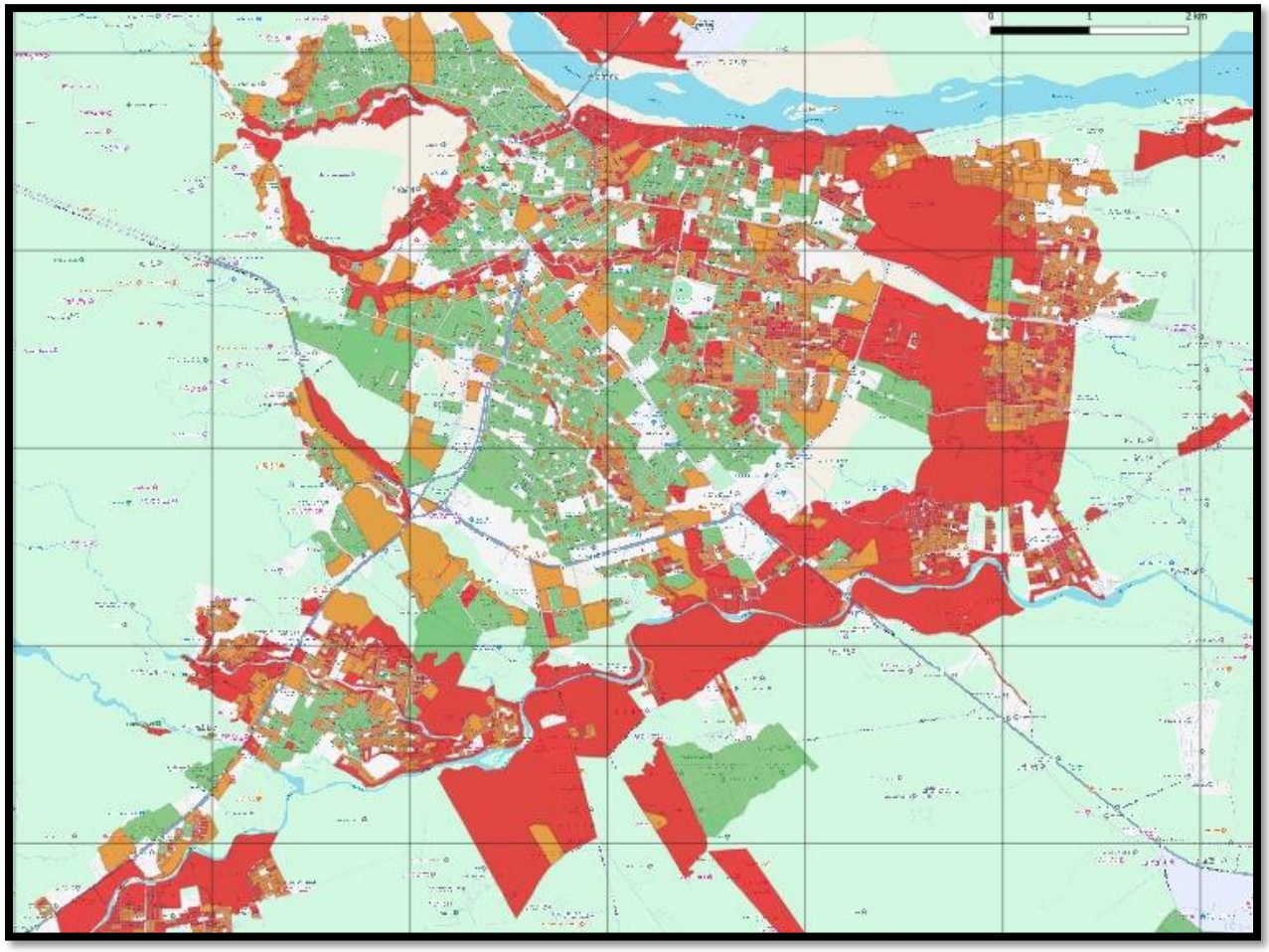
La evaluación del riesgo de inundación es un proceso importante que implica analizar y cuantificar la probabilidad y las consecuencias de que ocurra una inundación del lote Tucunare. Esta evaluación es

fundamental para tomar decisiones informadas sobre la gestión del riesgo de inundación y la planificación de medidas de mitigación. A continuación, se presentan los pasos clave en la evaluación del riesgo de inundación como son la Identificación de la amenaza y la Evaluación de la vulnerabilidad.

Tabla 13. Matriz de clasificación en la estimación de riesgo según relación de amenazas

Amenaza Alta	Riesgo Medio	Riesgo Alto	Riesgo Alto
Amenaza Media	Riesgo Bajo	Riesgo Medio	Riesgo Alto
Amenaza Baja	Riesgo Bajo	Riesgo Bajo	Riesgo Medio
	Vulnerabilidad Baja	Vulnerabilidad Media	Vulnerabilidad Alta

Ilustración 2 Mapa de riesgo Zona Urbana Municipio de Villavicencio



Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con la matriz el municipio no está ubicada en una región propensa a eventos climáticos extremos que puedan causar inundaciones, como lluvias torrenciales, aunque cabe destacar que en necesario que, en zonas de vulnerabilidad media, exista un relleno de los lotes para evitar que estas zonas tengan encharcamientos que puedan afectar las futuras estructuras.

11. DISCUSION DE RESULTADOS

La metodología empleada nos permite una comprensión a fondo de los posibles eventos de inundación y sus afectaciones en el área de estudio. A través de la modelación hidráulica y el análisis geoespacial, se logra representar de manera gráfica las zonas más vulnerables a la acumulación de agua durante eventos de lluvia, facilitando la identificación de áreas críticas.

Los resultados obtenidos permiten no solo visualizar las zonas de mayor afectación, sino también establecer criterios técnicos para la implementación de medidas de mitigación y gestión del riesgo. En este sentido, la información generada es fundamental para realizar el diseño e implementación de obras de protección, ya que al identificar los sectores con mayor riesgo de inundación, se pueden planificar intervenciones de infraestructura como diques, canales de drenaje o mejoras en la red de alcantarillado pluvial.

También es importante la identificación de población vulnerable donde la integración del análisis de inundación con información demográfica permite localizar comunidades expuestas a eventos extremos, facilitando la planificación de medidas de evacuación y emergencia así como la definición de zonas de protección y reubicación con base en los mapas de inundación generados, es posible delimitar áreas de uso restringido o de protección ambiental, así como evaluar la necesidad de reubicación de asentamientos en riesgo.

Como resultado del análisis realizado, se obtuvieron los mapas de inundación, amenaza, vulnerabilidad y riesgo, los cuales permitieron una caracterización detallada de las áreas afectadas por eventos de lluvia extrema. A partir de estos mapas, se logró identificar que las zonas con mayor vulnerabilidad corresponden, en su mayoría, a sectores habitados por población de estratos 1 y 2, ubicados a lo largo de las quebradas y ríos, sin respetar las rondas hidráulicas establecidas.

El análisis de vulnerabilidad evidenció que estas comunidades presentan un alto grado de exposición a eventos de inundación, debido a la combinación de factores físicos y socioeconómicos, como la ubicación en terrenos de alto riesgo, la falta de infraestructura adecuada de drenaje y la baja capacidad de respuesta ante eventos extremos.

Realizando una comparación en el trabajo realizado por PROYECTO DE RENOVACIÓN URBANA ARPA DE AGUAS (2021) los niveles de peligro de inundación para una pequeña área de estudio alcanzaron la categoría de medios a altos, sin embargo, en nuestro estudio se alcanzó niveles de peligro con categorías de altas en las comunas aledañas al Rio Guatiquia. En el trabajo de PROYECTO DE RENOVACIÓN URBANA ARPA DE AGUAS (2021), se delimito el área de influencia de una forma deliberada sin tener en cuenta el alcance del rio en las crecidas, sin embargo, en nuestro estudio se realizó una simulación HEC – RAS que nos permitió identificar de una manera mas objetiva los posibles sectores afectados y de una forma mas amplia en donde podemos analizar las comunas mas vulnerables de todo el municipio de Villavicencio y no solo enfocarnos a zonas que se encuentran a las riveras del Rio Guatiquia. El trabajo de PROYECTO DE RENOVACIÓN URBANA ARPA DE AGUAS (2021), no considera factores condicionantes ni desencadenantes en su estimación de peligro, a diferencia de nuestro estudio en el que se considera el factor desencadenante a la intensidad de precipitación y a los factores condicionantes a la cercanía y pendiente del terreno teniendo como base el modelo digital del terreno obtenido por los métodos que empleamos, el tiempo de retorno de las lluvias y el estado de la actual defensa ribereña, haciendo de nuestra estimación un valor mas confiable; por otra parte nuestro estudio se valió de una plataforma SIG para la zonificación del peligro a diferencia de los estudios de PROYECTO DE RENOVACIÓN URBANA ARPA DE AGUAS (Morales, 2021).

En el trabajo de PROYECTO DE RENOVACIÓN URBANA ARPA DE AGUAS (Morales, 2021) no se hace una evaluación de riesgo en su proyecto. En nuestro estudio se zonificaron las áreas están calculadas de acuerdo con el nivel de riesgo obtenido por medio del cálculo del peligro y vulnerabilidad.

12. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La modelación de la mancha de inundación muestra que, a un periodo de retorno de 100 años, y un caudal calculado de 1766,6 m3/s no se producen afectaciones.
- Aunque en algunas zonas tenemos una vulnerabilidad media, el municipio tiene riesgo alto. Esto significa que, en condiciones normales, las inundaciones son frecuentes o tienen una media probabilidad de ocurrir en ese lugar. Sin embargo, es importante tener en cuenta que incluso en áreas con un riesgo bajo de inundación, todavía existe la posibilidad de que eventos inusuales o extremos, como lluvias torrenciales o eventos climáticos excepcionales, puedan desencadenar inundaciones repentinas.

- Determinar las precipitaciones históricas asociadas a eventos de inundación con el propósito de ponderarlas posteriormente, lo que permitirá que la clasificación de la intensidad sea más precisa y acorde con la zona de estudio.

- Será necesario garantizar el cumplimiento de la normativa vigente que prohíbe la ocupación de terrenos en zonas marginales, evitando así la aparición de nuevas construcciones y asentamientos humanos.

- Es fundamental llevar a cabo proyectos de desarrollo urbano basados en una planificación de alta calidad, con el objetivo de fomentar un crecimiento ordenado, sostenible y equitativo de la localidad, asegurando que no se instale ninguna infraestructura en áreas identificadas como de alto riesgo.

13. BIBLIOGRAFIA

AIM, A. P. (2016). *ZONIFICACION DE INFRAESTRUCTURA VIAL EN AREAS SUCEPTIBLES A INUNDACION Y FENOMENOS DE REMOSION EN MASA EN LOS MUNICIPIOS CORRESPONDIENTES AL DEPARTAMENTO DEL META.* VILLAVICENCIO.

Arnold, J. (2001). *Soil and Water Assesment Tool-Theorical Documentation Version 2001.* Texas: Agricultural Research Service.

Chow, V. T. (1994). *Hidraulica de Canales Abiertos.* Santafe de Bogota: McGraw Hill.

Chow, V. T. (1994). *Hidrologia Aplicada.* Bogota: McGraw-Hill.

Espejo, A. (2021). *REALIZAR LAS OBRAS DE INTERVENCIÓN CORRECTIVA MEDIANTE LA CONSTRUCCIÓN DE LA FASE I DE LAS OBRAS DE MITIGACIÓN Y PROTECCIÓN EN LA MARGEN IZQUIERDA DEL RIO GUAYURIBA, REQUERIDAS PARA REDUCIR EL RIESGO POR INUNDACIÓN Y SOCAVACIÓN EN EL SECTOR LA CUNCIA BAJA.* Villavicencio.

Espejo, A. (2024). *CONSTRUCCIÓN DE OBRAS DE PROTECCION SOBRE LA MARGEN DERECHA DEL RÍO GUATIQUIA SECTOR VEREDA PARCELAS DEL PROGRESO EN EL MUNICIPIO DE VILLAVICENCIO EN EL DEPARTAMENTO DEL META.* Villavicecnio.

GARRIDO, M. (2012). *INTEGRACIÓN DE HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS PARA LA ALERTA TEMPRANA ANTE EL PELIGRO DE INUNDACIONES.* La Habana: Instituto Superior Politécnico José Antonio.

Google. (28 de 12 de 2020). *Google Earth*. Obtenido de El Castillo Google Earth.

Hernandez. (2014). *Modelación de áreas de afectación por desbordamiento de rios en zona de transicion fluvial caso del rio la antigua, Veracruz.*

IDEAM. (2023).

IGAC. (2004). *Estudio Genral de Suelos y Zonificación de Tierras del Departamento del Meta.* Bogota: IGAC.

INGENIERIA, I. (2010). *INFORME.FINAL ESTUDIO DE SUELOS PROYECTO URBANIZACION LA MADRID VILLAVICENCIO - META.* VILLAVICENCIO.

INVIAS. (2008). *Manual de Diseño Geometrico de Carreteras.* Bogota D.C.: INVIAS.

INVIAS. (2009). *Manual de drenaje para Carreteras de INVIAS.* Bogota D.C.: INVIAS.

META, A. P. (2016). *ZONIFICACION DE INFRAESTRUCTURA VIAL EN AREAS SUCEPTIBLES A INUNDACION Y FENOMENOS DE REMOCION EN MASA EN LOS MUNICIPIOS CORRESPONDIENTES AL DEPARTAMENTO DEL META.* VILLAVICENCIO.

Ministerio de Obras Públicas. (1990). *Instrucción 5.2-IC Drenaje Superficial.* Madrid: MOPU.

Morales, J. F. (2021). *ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZAS POR INUNDACIÓN, SOCAVACIÓN Y MOVIMIENTOS EN MASA.* Villavicencio.

Puerto Lopez, A. (Agosto de 2019). *Galeria de Mapas*. Obtenido de https://www.puertolopez-meta.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Galeria-de-Mapas.aspx

Rodriguez, Y. (2011). *MODELACIÓN HIDROLÓGICA DE AVENIDAS. CASO DE ESTUDIO: CUENCA DEL RÍO ZAZA.* La Habana: Instituto Superior.

Salud y desastres. (24 de 10 de 2016). *Instrumentos de apoyo para el ANÁLISIS Y LA GESTIÓN DE RIESGOS NATURALES.* Obtenido de www.saludydesastres.info/index.php?option=com_docman&task=doc...

SGC. (2020). *INFORME FINAL META NORTE.*

Union Temporal 30 Puentes. (2015). *Estudios y Diseños para el Mejoramiento de Treinta (30) Puentes en el Departamento del Meta.* Villavicencio.

Universidad del Cauca. (2015). *Calculo de la Socavacion.* Popayan .

Universidad del Cauca. (2015). *Parte IV. Socavación en Puentes.* Popayan: Universidad del Cauca.

US Army Corps of Engineers. (2010). *HEC-RAS River Analysis System Hydraulic Reference Manual.* USA: US Army Corps of Engineers.

Vargas, R. M., & Diaz Granados, M. (1998). Curvas Sintéticas regionalizadas de Intensidad-Duración-Frecuencia para Colombia. *XIII Seminario Internacional de Hidraulica e Hidrologia* (pág. 10). Cali: XIII Seminario Internacional de Hidraulica e Hidrologia .

- Ortiz, G., Aznar-Crespo, P., Oliva, A., Olcina-Cantos, J., & Aledo, A. (2024). Uses and opportunities of emergency calls as a resource for flood risk management. *International Journal of Disaster Risk Reduction, 100*. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2023.104160
- Coletta, V. R., Pagano, A., Zimmermann, N., Davies, M., Butler, A., Fratino, U., Giordano, R., & Pluchinotta, I. (2024). Socio-hydrological modelling using participatory System Dynamics modelling for enhancing urban flood resilience through Blue-Green Infrastructure. *Journal of Hydrology, 636*. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2024.131248
- Evans, B., Lam, A., West, C., Ahmadian, R., Djordjević, S., Chen, A., & Pregnolato, M. (2024). A combined stability function to quantify flood risks to pedestrians and vehicle occupants. *Science of the Total Environment, 908*. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168237
- Fiori, A., Mancini, C. P., Annis, A., Lollai, S., Volpi, E., Nardi, F., & Grimaldi, S. (2023). The role of residual risk on flood damage assessment: A continuous hydrologic-hydraulic modelling approach for the historical city of Rome, Italy. *Journal of Hydrology: Regional Studies, 49*. https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2023.101506
- Ghoreishi, M., Das, A., & Lindenschmidt, K. E. (2024). Advancement in ice-jam flood risk management: Integrating dynamic adaptive behavior by an agent-based modeling in Fort McMurry, Canada. *Journal of Hydrology, 635*. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2024.131236

- Korzenevica, M., Ng'asike, P. O. ao, Ngikadelio, M., Lokomwa, D., Ewoton, P., & Dyer, E. (2024). From fast to slow risks: Shifting vulnerabilities of flood-related migration in Lodwar, Kenya. *Climate Risk Management, 43*. https://doi.org/10.1016/j.crm.2024.100584
- Napieralski, J., Guin, A., & Sulich, C. (2024). Buried but not dead: The impact of stream and wetland loss on flood risk in redlined neighborhoods. *City and Environment Interactions, 21*. https://doi.org/10.1016/j.cacint.2023.100134
- Paulik, R., Zorn, C., Wotherspoon, L., & Harang, A. (2024). Model parameter influence on probabilistic flood risk analysis. *International Journal of Disaster Risk Reduction, 100*. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2023.104215
- Ruangpan, L., Vojinovic, Z., Plavšić, J., Curran, A., Rosic, N., Pudar, R., Savic, D., & Brdjanovic, D. (2024). Economic assessment of nature-based solutions to reduce flood risk and enhance co-benefits. *Journal of Environmental Management, 352*. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.119985
- Salas, J., Saha, A., & Ravela, S. (2023). Learning inter-annual flood loss risk models from historical flood insurance claims. *Journal of Environmental Management, 347*. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118862
- Staccione, A., Essenfelder, A. H., Bagli, S., & Mysiak, J. (2024). Connected urban green spaces for pluvial flood risk reduction in the Metropolitan area of Milan. *Sustainable Cities and Society, 104*. https://doi.org/10.1016/j.scs.2024.105288
- Tiepolo, M., Braccio, S., Fiorillo, E., Galligari, A., Katiellou, G. L., Massazza, G., Sitta, A. A., Tankari, A. M., & Tarchiani, V. (2021). Method for pluvial flood risk assessment in rural settlements characterised by scant information availability. *MethodsX, 8*. https://doi.org/10.1016/j.mex.2021.1015
- Alexander, D. (2000). Confronting Catastrophe: New Perspectives on Natural Disasters. Oxford University Press.
- Bankoff, G. (2003). Cultures of Disaster: Society and Natural Hazard in the Philippines. Routledge.
- Blaikie, P., Cannon, T., Davis, I., & Wisner, B. (1994). At Risk: Natural Hazards, People's Vulnerability and Disasters. Routledge.
- Cardona, O. D. (2005). Indicadores de riesgo de desastre y gestión de riesgos: Informe técnico. Banco Interamericano de Desarrollo.

- Cutter, S. L., Barnes, L., Berry, M., Burton, C., Evans, E., Tate, E., & Webb, J. (2008). "A place-based model for understanding community resilience to natural disasters". Global Environmental Change, 18(4), 598-606.
- Cuny, F. C. (1983). Disaster and Development. Oxford University Press.
- Haddow, G., & Bullock, J. (2004). introduction to Emergency Management. Butterworth-Heinemann.
- Norris, F. H., Stevens, S. P., Pfefferbaum, B., Wyche, K. F., & Pfefferbaum, R. L. (2008). "Community resilience as a metaphor, theory, set of capacities, and strategy for disaster readiness". American Journal of Community Psychology, 41(1), 127-150.
- Tierney, K. (2014). The Social Roots of Risk: Producing Disasters, Promoting Resilience. Stanford University Press.