

FACTORES DETERMINANTES DE PLANIFICACIÓN URBANA PARA EL MANEJO
SOSTENIBLE DE AGUAS DE ESCORRENTÍA Y PREVENCIÓN DE INUNDACIONES



GIOVANNA ALEJANDRA HURTADO GAONA



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
VILLAVICENCIO

2024

FACTORES DETERMINANTES DE PLANIFICACIÓN URBANA PARA EL MANEJO
SOSTENIBLE DE AGUAS DE ESCORRENTÍA Y PREVENCIÓN DE INUNDACIONES.

GIOVANNA ALEJANDRA HURTADO GAONA

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de pregrado en Ingeniería
Ambiental, modalidad de Auxiliatura de Investigación

Directora

Mg. ANGÉLICA MARIA BUSTAMANTE ZAPATA
Magíster en desarrollo sustentable y gestión ambiental.

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
VILLAVICENCIO

2024

Autoridades Académicas

P. Álvaro José ARANGO RESTREPO, O.P.

Rector General

P. Mauricio Antonio CORTÉS GALLEGO, O.P.

Vicerrector Académico General

P. José Antonio BALAGUERA CEPEDA, O. P.

Rector Seccional Villavicencio

P. Rodrigo GARCÍA JARA, O. P.

Vicerrector Académico Seccional Villavicencio

Mg. JULIETH ANDREA SIERRA TOBÓN

Secretaria general Seccional Villavicencio

Mg. WILLIAM PEÑARANDA ZÁRATE

Decano Facultad de Ingeniería Ambiental

Dedicatoria

Para mi mamá que ha sido mi apoyo incondicional, mi motivación diaria en este proceso de formación.

Para mis hermanos que son el motor de mi esfuerzo diario.

Para mi abuela quien ha sido como una segunda mamá para mi.

Agradecimientos

A la docente Angélica Bustamante, por ser mi directora y brindarme acompañamiento, por su paciencia y dedicación permanente en busca siempre de motivar mi papel de investigadora.

A mi mamá y abuela por confiar y creer siempre en mis capacidades.

A mi tío Jhony Fonseca por estar siempre presente semestre a semestre.

Tabla de Contenido

	Pág.
1. Resumen	9
2. Abstract	10
3. Introducción.....	11
4. Justificación.....	13
5. Objetivos de la investigación	15
5.1 General	15
5.2 Específicos	15
6. Objetivos de la auxiliatura.....	16
6.1 General	16
6.2 Específicos	16
7. Descripción y análisis de las actividades realizadas	17
7.1 Fase 1: Revisión bibliográfica.....	18
7.1.1 Sistema de búsqueda bibliográfica	18
7.1.2 Sistema de análisis bibliográfico	19
7.2 Fase 2: Análisis de información	21
7.2.1 Matriz inclusión-exclusión	21
7.2.2 Factores determinantes prioritarios, matriz relación-pesos	34
7.2.3 Análisis jerárquico	35
7.3 Fase 3: Definición de estrategias de intervención	36
7.3.1 Creación del instrumento.....	36
7.3.2 Aplicación conceptual del instrumento	40
8. Conclusiones	46
9. Referencias Bibliográficas	48

Lista de tablas

Tabla 1. Orden de importancia para las keywords encontradas.....	19
Tabla 2. Rangos de cuartiles	20
Tabla 3. Factores determinantes.....	22
Tabla 4. Matriz Inclusión-exclusión	23
Tabla 5. Matriz relación-pesos.....	34
Tabla 6. Representatividad por criterio.....	35
Tabla 7. Peso del criterio.....	35

Lista de figuras

Figura 1. Diagrama metodológico	17
Figura 2. Diagrama de flujo, herramienta para la toma de decisiones.....	38
Figura 3. Mapa de zonas susceptibles a inundaciones.....	39
Figura 4. Ubicación del Round Point de Postobón.....	40
Figura 5. Perfil de elevación calle, round pointde Postobón 15, Villavicencio.....	41
Figura 6. Ubicación geográfica del caso de estudio	42
Figura 7. Ruta sugerida para implementar un SUDS.....	43

1. Resumen

Este proyecto se llevó a cabo como una auxiliatura de investigación, con el objetivo de establecer los factores determinantes en la planificación urbana para el manejo sostenible de aguas de escorrentía, siendo una alternativa al manejo adecuado en la prevención de inundaciones. Se realizaron diferentes matrices de revisión y análisis de información, inclusión-exclusión, la cual permitió establecer diez factores determinantes, matriz de jerarquía que le dio los pesos de importancia a cada uno de los factores determinantes y por medio de un instrumento para la toma de decisiones se aporta una idea de implementación de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) en la glorieta de Postobón en el municipio de Villavicencio (Meta), proponiendo entonces pozos de infiltración, tanques de almacenamiento y asfalto permeable como alternativa de SUDS que pueden prevenir los eventos de inundación.

Palabras Clave: SUDS, inundaciones, factores determinantes, Cambio climático, drenaje.

2. Abstract

This project was carried out as an auxiliary research project, with the objective of establishing the determining factors in urban planning for the sustainable management of runoff water, as an alternative to adequate flood prevention management. Different information review and analysis matrices were made, inclusion-exclusion, which allowed establishing ten determining factors, hierarchy matrix that gave the importance weights to each of the determining factors and by means of an instrument for decision making an idea of implementation of Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS) in the Postobón traffic circle in the municipality of Villavicencio (Meta) is provided, proposing infiltration wells, storage tanks and permeable asphalt as SUDS alternatives that can prevent flooding events.

Key Word: *SUDS, floods, determinants, climate change, drainage.*

3. Introducción

La auxiliatura de investigación desarrollada como opción de grado está vinculada al macroproyecto *“Estrategias de apropiación de nuevas formas de manejo de aguas de escorrentía para la sostenibilidad de los sistemas de drenaje en los barrios en proceso de consolidación zona norte de la ciudad de Tunja, Boyacá”*; el cual tuvo como finalidad aportar un instrumento para la toma de decisiones orientado a la prevención de inundaciones en ciudades a partir de los factores determinantes de la planificación urbana para el manejo de aguas de escorrentía que se identificaron. Esta auxiliatura apoya el desarrollo del primer y segundo objetivo del macroproyecto; los cuales consistieron en la identificación de los factores determinantes que afectan la planificación urbana, por medio de una línea base de conceptos adquiridos que permitieran clasificarse en una matriz de jerarquía y así mismo proporcionar un instrumento de toma de decisión en la elección de una estrategia de manejo para las aguas de escorrentía, dentro de lo que se conoce actualmente como Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible -SUDS que consiste en integrar el urbanismo, hidrología y paisajismo con el fin de implementar nuevas capas permeables bien sea en tejados y/o pavimentos, con el objetivo de evolucionar hacia un régimen más natural de flujo y prevenir las inundaciones (Alcaldía Mayor de Bogotá, s. f.) . Esta auxiliatura aporta una alternativa de SUDS para la glorieta de la Calle 15 frente a la empresa Colombiana Postobón en el municipio de Villavicencio.

Según estimaciones del IDEAM, en promedio en Colombia la precipitación media anual es de 3000 mm con una evapotranspiración real de 1180 mm, escorrentía media anual de 1830mm; en base a lo anterior, el 61% del volumen de precipitación se convierte en escorrentía superficial, lo que genera un caudal medio de 67000 m³/seg, 2084 Km³ que escurren por las cinco regiones hidrológicas del país. (Viceministerio de Medio Ambiente, 2010)-. Por otro lado, el departamento del Meta presenta precipitaciones que varían desde 2.000 mm cuando se refiere a las partes altas de la cordillera y llega incluso a los 6.000 mm o más por año en municipio de El Castillo y Lejanías (Instituto de turismo del meta, 2020)-. El clima en Villavicencio es cálido-muy húmedo, con un promedio de lluvia total anual de 4383 mm, presenta dos (2) temporadas de clima, la temporada seca se presenta entre diciembre y marzo con un promedio entre 10 y 14 días de lluvia al mes, la temporada de lluvias va desde abril hasta noviembre con una frecuencia de días lluviosos de 22 a

26 días por mes (IDEAM, 2023)-. A lo largo del siglo XXI se han estado presentando aumentos de temperatura y precipitación en las diferentes regiones del país (IDEAM, 2023)-, producto de la variabilidad climática. Para el mes de marzo del año 2023 se comprobó el aumento en las precipitaciones en todo el territorio colombiano, (IDEAM, 2023). La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) define el cambio climático como cualquier cambio en el clima que se atribuya directa o indirectamente a la actividad humana y que altere la composición de la atmósfera mundial (IDEAM, 2018). Tomando como referencia el aumento en las precipitaciones, que a su vez producen inundaciones, siendo no solo un efecto directo de la variabilidad climática, sino que también la expansión urbana modifica las propiedades del suelo haciendo que este resulte impermeable por la construcción de edificios y carreteras disminuyendo la absorción y almacenamiento de aguas lluvia bajo a superficie, provocando estancamientos del agua que generan inundaciones. (Sunmin,L, et al, 2018). Este estudio tuvo como objetivo identificar los factores determinantes en orden de importancia para generar una herramienta de toma de decisión con el fin de implementar los SUDS adecuados al caso de estudio.

4. Justificación

El proyecto de investigación Factores determinantes de la Planificación Urbana, se desarrolló en la línea de investigación del grupo de Gestión Ambiental USTA Villavicencio (GAUV), de la Facultad de Ingeniería Ambiental, dentro del semillero de investigación Soluciones Basadas en la Naturaleza “SOLBAN”, el cual se fundamenta en dar soluciones desde la infraestructura natural a los picos de caudal en las ciudades. Los eventos de inundación traen consigo no solo problemáticas ambientales, sino que también socioeconómicas, pérdidas de vida humanas, entre otros, por ello el enfoque de la investigación es el control que se puede establecer por las fuertes precipitaciones que provocan inundaciones en el área urbana (IDEAM, 2018). Según datos del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres el número de personas afectadas por eventos en el país entre los años 2005-2014 fue de 13.626.505, con los mayores valores para los años 2010 y 2011, coincide con la temporada del fenómeno de la Niña, que llegó a afectar a casi 6 millones de personas (UNGRD,2022). Debido a esto el proyecto busca establecer la relación entre las diferentes causas que pueden provocar un evento de inundación y de esta manera establecer los factores determinantes que intervienen en la promoción y/o prevención de inundaciones para el caso de estudio en el municipio de Villavicencio.

Las comunas 3 y 4 dentro del municipio de Villavicencio presentan riesgo de desbordamiento por la inseguridad con respecto al sistema de alcantarillado convencional, este no está diseñado para soportar el caudal que se genera en las calles por las fuertes precipitaciones. (Alcaldía de Villavicencio , 2020) Sin embargo, no sería el único sector potencial para desarrollar una idea de implementación de sistemas de drenaje urbano sostenible ya que estos buscan simular los sistemas naturales en ciudades y poblaciones, con el fin de recuperar los ciclos hidrológicos naturales, mediante procesos como la infiltración, la retención, a la vez que promueven procesos de depuración de las aguas de escorrentía, como la filtración, sedimentación y biodegradación, entre otros (Jiménez, S, et al., 2019). De manera repetitiva se presentan eventos de inundación que ponen en riesgo la salud e integridad de la población del municipio, desbordamientos de ríos y cierres de vía municipal (El Tiempo, 2022) inundaciones que incluso conllevan al detenimiento del tránsito normal de aviones en los aeropuertos (Noticias RCN, 2022), colapsos vehiculares que

ocasionan accidentes, choques y caídas de motociclistas y bici usuarios (Noticiero Macarena, 2021) en la glorieta de Postobón.

En Villavicencio se ha permitido el desarrollo urbanístico hacia zonas que no necesariamente cumplen con condiciones, y eso refleja la falta de gestión y acción con el Plan de Ordenamiento Territorial (POT), las áreas que para junio de 2022 se inundaron, en gran medida, es porque son zonas que tenían un riesgo natural conocido y sin embargo se permitió su ocupación. (Romero, J.A, 2022). Es por ello que se propone una herramienta de toma de decisiones que permita la elección de un Sistema Urbano de Drenaje Sostenible que ayude a mitigar los impactos que puede generar un evento de inundación.

5. Objetivos de la investigación

5.1 Objetivo General

Proponer estrategias de apropiación de nuevas formas de manejo de aguas de escorrentía para la sostenibilidad de los sistemas de drenaje en los barrios en proceso de consolidación zona norte de la ciudad de Tunja, Boyacá.

5.2 Objetivos Específicos

1. Definir la línea base de los conceptos adquiridos por los actores clave del territorio sobre el manejo de aguas de escorrentía.
2. Establecer los factores determinantes de planeación del manejo de aguas de escorrentía que aportarán a la sostenibilidad de los sistemas de drenaje en los barrios en proceso de consolidación de la zona norte del municipio.
3. Consolidar los significados compartidos de los actores clave en la planificación del municipio en torno al manejo sostenible de aguas de escorrentía.

6. Objetivos de la auxiliatura

6.1 Objetivo General

Analizar los factores determinantes de planificación urbana que contribuyen con el manejo de aguas de escorrentía para la prevención de inundaciones.

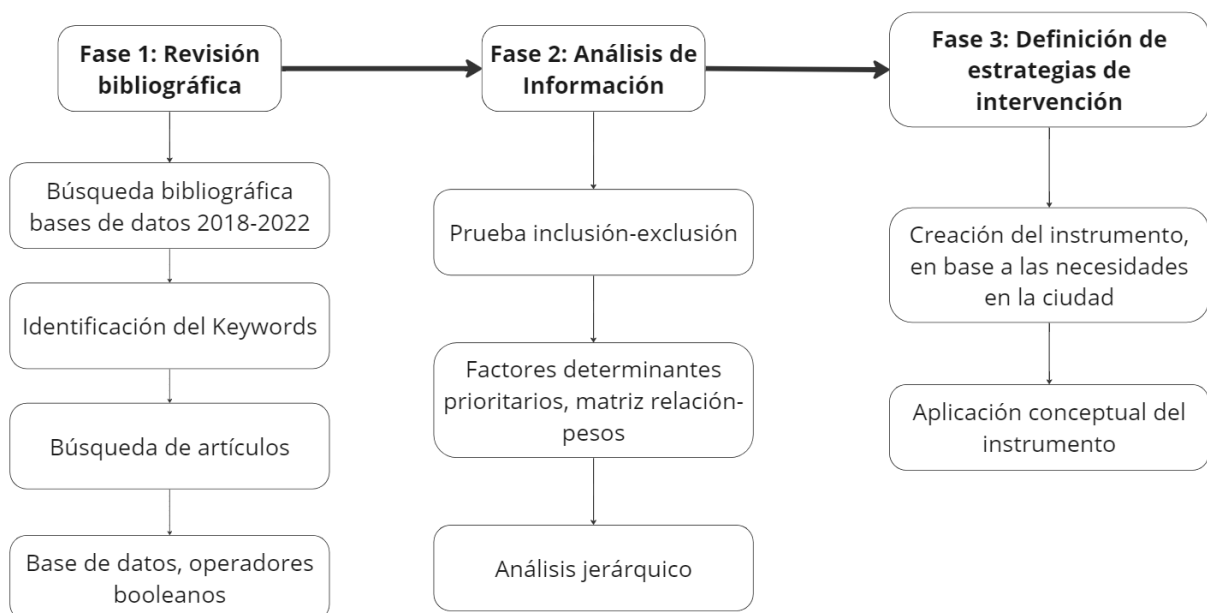
6.2 Objetivos Específicos

1. Identificar por medio de una revisión bibliográfica sistemática los factores determinantes en el manejo de aguas de escorrentía que aporten en la planificación urbana a la prevención de inundaciones en ciudades intermedias, durante el periodo 2018-2022.
2. Analizar las relaciones existentes entre los factores determinantes identificados para priorizar los que serán valorados en el instrumento de toma de decisiones, mediante análisis estadísticos.
3. Proponer un instrumento de toma de decisión que permita seleccionar la estrategia de manejo más favorable en función de los factores determinantes establecidos.

7. Descripción y análisis de las actividades realizadas

Las fases de la metodología se establecen según los objetivos específicos de la auxiliatura de investigación, a partir de una metodología de investigación cualitativa que utiliza como punto de partida la revisión bibliográfica en tres diferentes bases de datos que permitan identificar las palabras clave para una ecuación de búsqueda seleccionada por medio de operadores booleanos y que contribuyan a la identificación de los factores determinantes en la planificación urbana relacionados directamente con inundaciones. La metodología planteada se adapta al primer y segundo de los objetivos propuestos en el macroproyecto, se encuentra planteada por fases de investigación se desarrollan a lo largo del documento. Por lo tanto, el proceso de investigación descrito se basa en una revisión exhaustiva de la literatura que contextualiza el estudio y justifica su necesidad, el análisis de datos se lleva a cabo de manera descriptiva para proporcionar una comprensión más profunda de los resultados, a diferencia de los enfoques cuantitativos tradicionales, de esta manera se permite generar resultados emergentes y flexibles que pueden adaptarse a las tendencias cambiantes. (Hernández et al, 2014)

Figura 1. Diagrama metodológico



Nota: El diagrama metodológico presenta una descripción simplificada de cada fase.

7.1 Fase 1: Revisión bibliográfica

7.1.1 Sistema de búsqueda bibliográfica

Siguiendo la metodología de Ome Barrera (2018) se utilizaron las siguientes bases de datos para la revisión de literatura: (i) ScienceDirect, (ii) Scopus y (iii) Google Scholar, dentro de esta búsqueda se adoptaron las siguientes palabras clave en idioma inglés: (i) “urban planning” (planificación urbana) y (ii) “flood prevention” (control de inundaciones); estas palabras clave, se asumieron como principales descriptores temáticos. La búsqueda bibliográfica, se realizó entre 2018 y 2022 y sobre el contenido total de artículos de investigación en las tres bases de datos consultadas. Dentro de esta búsqueda se encontraron 9, 2.506 y 2.290 documentos en las bases de datos Scopus, ScienceDirect y Google Scholar, respectivamente (Barrera & Zafra-Mejía, 2018). La segunda parte de revisión fue desarrollada para incluir palabras clave (keywords) adicionales en idioma inglés, reportadas por la base de datos Science Direct. Estas palabras clave adicionales permitieron identificar los factores determinantes en procesos de planificación urbana para el control de inundaciones. A continuación, se listan las palabras clave seleccionadas (Tabla 1):

- Flood (control, frequency, damage) / Inundación (control, frecuencia, daños).
- Land use (Urban area, planning, human settlements, wetlands) / Uso del suelo (zona urbana, planificación, asentamientos humanos, humedales)
- Risk (Assessment, perception, management, hazard) / Riesgo (Evaluación, percepción, gestión, peligro).
- Storms (thunderstorms, rain) / Tormentas (tormentas, lluvias).
- Water Management (quality, levels, urban hydrology) / Gestión del agua (calidad, niveles, hidrología urbana).
- Socioeconomic (socially vulnerable, population) / Socioeconómico (socialmente vulnerable, población)
- Sustainable Development-Policy analysis / Análisis de políticas de desarrollo sostenible.
- Disaster (management, damage, early warning system) / Desastre (gestión, daños, sistema de alerta temprana).
- Drainage / Drenaje

- Climate change / Cambio climático
- Topography / Topografía

7.1.2 Sistema de análisis bibliográfico

El objetivo de la consulta de las bases de datos es establecer el orden de importancia para los factores determinantes, identificados a través de su frecuencia de citación en artículos científicos de investigación. Se desarrolló el índice de frecuencia de citación (Q) que establece la relación entre el número de documentos encontrados en los pasos anteriores, estableciendo así un orden de importancia mediante cuartiles para las keywords encontradas en la planificación urbana y control de inundaciones. El índice Q para este caso tuvo una variación entre 0y 1, tomando como referencia el método empleado por Barrera & Zarfra-Mejía (2018), esta permite identificar los cuartiles de importancia, brindando una herramienta de toma de decisión.

Tabla 1. Orden de importancia para las keywords encontradas

N°	Palabras Clave (en inglés) Dirección de búsqueda	Base de datos						Índice Q promedio	Cuartil promedio	Variación del cuartil
		Scopus		Science Direct		Google Scholar				
		Ae	Q	Ae	Q	Ae	Q			
0	"urban planning" AND "flood prevention"	9	1	2506	1	2290	1	1		
1	Flood (control, frequency, damage)	8	0.889	60	0.024	893	0.390	0.434	Q2	Q4,Q1,Q2
2	Land use (Urban area, planning,human settlements, wetlands)	8	0.889	152	0.061	1770	0.773	0.574	Q3	Q4,Q1,Q4
3	Risk (Assessment, perception, management, hazard)	7	0.778	147	0.059	1980	0.865	0.567	Q3	Q4,Q1,Q4
4	Storms (thunderstorms, rain)	7	0.778	90	0.036	1270	0.555	0.456	Q2	Q4,Q1,Q3

Tabla 1: Continuación

5	Water Management (quality, levels, urban hydrology)	5	0.556	74	0.030	1140	0.498	0.361	Q2	Q3,Q1,Q2
6	Socioeconomic (socially vulnerable, population)	5	0.556	49	0.020	665	0.290	0.289	Q2	Q3,Q1,Q1
7	Sustainable Development-Policy analysis	4	0.444	57	0.023	1260	0.550	0.339	Q2	Q2,Q1,Q2
8	Disaster (management, damage, early warning system)	4	0.444	116	0.046	1490	0.651	0.380	Q2	Q3,Q1,Q3
9	Drainage	3	0.333	104	0.042	1480	0.646	0.340	Q2	Q2,Q1,Q3
11	Climate change	2	0.222	134	0.053	1870	0.817	0.364	Q2	Q1,Q1,Q3
12	Topography	2	0.222	53	0.021	706	0.308	0.184	Q1	Q1,Q1,Q2

Se establecen referentes de cuartiles (Zafra et al. 2017)

Tabla 2. Rangos de cuartiles

Cuartil	Valor
Q4	0,751-1
Q3	0,51-0,75
Q2	0,251-0,5
Q1	0,0-0,250

En este caso la Tabla 1 solo presenta hasta el índice de importancia Q3 para la *keyword* “*Land Use*”, el promedio de los tres resultados de cada una de las bases de datos se suma en la casilla de índice Q promedio y se divide en el número de base de datos consultada $((0.889+0.061+0.574)/3)$ lo que evidencia un índice de importancia Q3 en un rango de valores 0.51 y 0.75, no obstante “*Risk*” está presente dentro del mismo cuartil de importancia, sin embargo, con un valor más bajo que “*Land Use*”, esta última fue el factor determinante que se utilizó en la búsqueda de los artículos de investigación. Para cada artículo fue necesario identificar características en común o similares a las que se presenta en el municipio de Villavicencio para ser incluidos dentro de la fase 2, ya que algunos de los previamente seleccionados no corresponden a un clima similar, población o área

urbana. En la mayoría de ellos el factor más importante es el cambio climático, ya que este es el que puede generar los cambios en la frecuencia de las precipitaciones, siguiente a ello destacan la importancia de mantener el drenaje natural o de implementar medidas de gestión ambiental que mejoren estos sistemas previniendo las inundaciones; sin dejar de lado el factor de topografía que incluye el tipo de pendiente para una escorrentía superficial adecuada.

7.2 Fase 2: Análisis de información

A partir de la ecuación de búsqueda, "urban planning" AND "flood prevention" AND "flood prevention", fueron seleccionados previamente veinte artículos de investigación que se ajustan a los temas relacionados con la misma, sin embargo, en la lectura detallada de los mismos se descartan tres de ellos por presentar climas fríos, humedad relativa baja e incluso climas costeros (ciudad de Villavicencio) siendo entonces diecisiete los escogidos para la base de datos de inclusión-exclusión donde se relaciona directamente con las *keywords* restantes de la fase anterior. Las bases de datos utilizadas para la búsqueda son las tres (3) mencionadas (*Scopus*, *ScienceDirect* y *Google Scholar*), sin embargo, la plataforma de *ScienceDirect* es la que presenta el mayor número de artículos relacionados con la ecuación de búsqueda original, seguido de *Google Scholar* y de esta manera son las dos (2) bases de datos que finalmente se utilizan para la búsqueda y selección de artículos. En este punto cabe aclarar que las *keywords* restantes serán mencionadas ahora como factores determinantes que afectan la planificación urbana, siendo relevantes para el manejo de aguas de escorrentía y control de inundaciones.

7.2.1 Matriz inclusión-exclusión

Para determinar la relación entre los factores fue necesaria una minuciosa revisión bibliográfica, donde cada uno de los artículos encontrados fue analizado en términos de su pertinencia, teniendo en cuenta criterios de decisión, resultados específicos de la investigación, alternativas recomendadas y conclusiones; dejando de lado las hipótesis nulas que podían presentarse, los estudios mencionados que no se desarrollan dentro de la investigación, y demás información que no se desarrolle de manera explícita. Posteriormente aquellos artículos seleccionados fueron leídos y estudiados a profundidad con el propósito de establecer una relación exhaustiva de todas las

investigaciones seleccionadas que resultaran relevantes para el cumplimiento de los objetivos de la investigación y la auxiliatura.

Los artículos analizados fueron en total diecisiete (17), por medio de una revisión sistemática se utilizan diferentes factores como criterios de inclusión o exclusión (Universidad de Navarra, 2023). Entre los criterios de inclusión y exclusión más comunes utilizados en esta investigación se destacan: fecha, exposición de interés, resultados informados, diseños de estudio similares, y el contexto en general, como lo menciona el documento de revisiones sistemáticas de la Universidad de Navarra (2023). Para predefinir el tipo de estudios seleccionados es necesario priorizar los artículos de investigación y de revisión ya que estos garantizan fuentes referentes confiables por el tipo de revista que los publica. Su análisis comparativo se define por las características en común que presentan los estudios (Universidad de Navarra, 2023) , para ello se establecieron los factores determinantes antes de la revisión de manera que ésta se viera enfocada al área de estudio, lo que da cumplimiento al objetivo específico número 2 del macroproyecto y auxiliatura de investigación. La matriz de inclusión-exclusión se realizó con el fin de obtener información optimizada de los resultados y aportes de cada documento investigativo, de tal manera que su comparación permitió establecer relaciones con respecto a las estrategias de mitigación a impactos por inundación y las prácticas de implementar SUDS.

Para llevar a cabo el desarrollo de la matriz se adopta la siguiente tabla de factores determinantes de manera abreviada, esto para facilitar la adecuada lectura y comprensión.

Tabla 3. Factores determinantes

Factores determinantes	Flood	Risk	Storms	Water Management	Socioeconomic	Sustainable Development-Policy analysis	Disaster	Drainage	Climate change	Topography
Abreviación	F	R	S	WM	SC	SDP	D	DR	CC	T

Tabla 4. *Matriz Inclusión-exclusión*

Nº	Referencia	Factores determinantes	Aporte
1	(Lourenço et al., 2020)	F	Cuáles son los volúmenes máximos de almacenamiento para evitar o mitigar inundaciones.
		R	Diseño de alternativas de control de inundaciones, para prevenir el riesgo de las mismas.
		WM	Los conceptos de restauración de ríos también pueden proporcionar volúmenes de almacenamiento de inundaciones.
		SC	Análisis de: las inundaciones urbanas y sus consecuencias; planes urbanos y limitaciones ambientales legales; y espacios abiertos disponibles y oportunidades multifuncionales.
		SDP	La elección de un SUDS contribuye significativamente al control de inundaciones en la cuenca.
		DR	Soluciones de diseño propuestas deben resolver los problemas de forma sistémica, sin transferir los problemas aguas abajo.
		T	Se utiliza un modelo matemático hidrodinámico para mapear el comportamiento de posibles escenarios desarrollados para representar las condiciones futuras.
2	(Wang & Banzhaf, 2018)	F	Análisis de funciones como: Almacenamiento de agua dulce, regulación de caudales y purificación de agua.
		R	Se realiza un análisis de funciones que priorizan el riesgo en la población, teniendo en cuenta la percepción de los mismo.
		S	Una de las funciones analizadas es el control de daños por tormentas.
		SC	El desarrollo urbano sostenible se puede lograr mediante una evaluación más exhaustiva de la multifuncionalidad de la Infraestructura Verde (IV) y la relación de aceptación de la población.
		SDP	Mejorar la multifuncionalidad de la IV en las ciudades vinculando los procesos ecológicos y sociales mantendrá o incluso mejorará el bienestar humano.
		D	Innovación en infraestructura verde
		CC	Conservar la biodiversidad y los efectos de enfriamiento de los techos verdes, el control del calor mediante jardines urbanos y la riqueza de especies mixtas en flora y fauna.
		T	Implementar diferentes herramientas de mapeo de IV garantiza enfoques complementarios e información más clara y relevante.
3	(Huang et al., 2022)	F	Modelo de evaluación de riesgo por inundaciones, mediante la obtención de la profundidad de inundación y vulnerabilidad social.
		R	El marco de evaluación de riesgos propuesto basado en un modelo PLUS se puede utilizar para detectar cambios de riesgo en diferentes escenarios de desarrollo.

Tabla 4. Continuación

	SDP	Mejorar la multifuncionalidad de la IV en las ciudades vinculando los procesos ecológicos y sociales mantendrá o incluso mejorará el bienestar humano.	
	D	Innovación en infraestructura verde	
	CC	Conservar la biodiversidad y los efectos de enfriamiento de los techos verdes, el control del calor mediante jardines urbanos y la riqueza de especies mixtas en flora y fauna.	
	T	Implementar diferentes herramientas de mapeo de IV garantiza enfoques complementarios e información más clara y relevante.	
3	(Huang et al., 2022)	F	Modelo de evaluación de riesgo por inundaciones, mediante la obtención de la profundidad de inundación y vulnerabilidad social.
		R	El marco de evaluación de riesgos propuesto basado en un modelo PLUS se puede utilizar para detectar cambios de riesgo en diferentes escenarios de desarrollo.
		S	Se construye un marco de evaluación del riesgo de desastres por inundaciones tormentosas desde una perspectiva natural-social a través de la simulación uso/cobertura de suelo.
		SC	Uno de los escenarios de simulación involucra el factor "prioridad económica".
		SDP	Uno de los escenarios de simulación involucra el factor "desarrollo sostenible".
		D	Implementar medidas de adaptación junto con la planificación del uso del suelo para prevenir y controlar el riesgo de desastres por inundaciones urbanas.
		DR	El uso/cobertura del suelo cambia rápidamente lo que modifica el tipo de drenaje y puede provocar inundaciones.
		T	El uso/cobertura del suelo cambia rápidamente lo que modifica la pendiente y propiedades del suelo.
4	(Lü et al., 2022)	F	Una superficie de carretera mojada es el primer resultado de la precipitación, que puede provocar que las estructuras de vías y carreteras se ablanden y se erosionen.
		R	Pérdida de tracción y control de los automóviles, haciendo que estos floten y corren fuera de control cuando la profundidad de la inundación de la carretera excede la altura de las entradas de aire del automóvil.
		S	Las tormentas intensas son la principal causa de inundaciones viales y de vehículos.
		WM	Se evalúan niveles de inundaciones urbanos en las interrupciones del transporte directamente.
		SC	Registros de viajes para explorar el efecto de la lluvia en la demanda de viajes mostraron que la reducción promedio de los viajes diarios entre semana, sábados y domingos es del 2,9%, 7,8% y 5,2%, respectivamente.
		DR	Mejorar el estándar de los sistemas de drenaje terrestre es la medida más directa para la adopción de inundaciones en las carreteras.
		CC	Aumenta las precipitaciones extremas y las inundaciones urbanas en la mayoría de las regiones y países del mundo.

Tabla 4. Continuación

	T	La rápida urbanización ha llevado a cambios dramáticos en el uso de la tierra, numerosos ecosistemas acuáticos (p. ej., lagos, humedales) y sistemas de agua artificiales han sido reemplazados continuamente por construcciones urbanas.
5 (Sarkissian et al., 2022)	F	Resiliencia de inundaciones por medio de un sistema de espacios abiertos.
	R	Gestión del riesgo de inundaciones a través de la planificación del uso del suelo en la llanura aluvial de Assi en el Líbano.
	SC	Percepción pública del riesgo.
	SDP	Depende de una adecuada planificación y ordenamiento del territorio para mitigar el impacto de las intervenciones humanas sobre los recursos territoriales.
	D	Matriz de planificación del uso del suelo que informa sobre los peligros, demarca áreas por niveles de peligro de inundación y las vincula con usos/controles de tierra apropiados, seguros y permisibles cuando sea necesario.
	DR	Sistema estructurado de planificación paisajística, donde el agua encontraría la capacidad de almacenamiento necesaria para reorganizar los flujos de inundación.
	CC	El enfoque Delphi, puede usarse para analizar y predecir los impactos del cambio climático en las llanuras aluviales en cuestión.
	T	Más de 5.000 imágenes en bruto para generar un DEM con resolución de 20 cm, se utilizó para analizar la dinámica de la cobertura terrestre y su posición con respecto a los niveles de inundación
6 (Lourenço, Guimarães, et al., 2020)	R	La falta de espacios abiertos en las áreas urbanas, asociada a ambientes fluviales degradados, agrava uno de los principales problemas que enfrentan las ciudades hoy en día.
	WM	La capacidad de carga de la tierra es una medida importante para evaluar los recursos de la tierra y guiar los planes regionales.
	SC	Las fallas de los sistemas de drenaje urbano pueden causar grandes pérdidas a las personas, propiedades e infraestructura, afectando los servicios públicos, agravando los problemas de salud pública e inmovilizando la ciudad.
	SDP	Los resultados indican que planificar el uso de la tierra y el desarrollo urbano por adelantado, puede producir mejores respuestas en términos de evitar daños por inundaciones.
	D	La combinación de un sistema de espacios abiertos con soluciones de drenaje urbano en disposiciones multifuncionales puede proporcionar un entorno más seguro.
	DR	Se considera en cambio en los drenajes superficiales que pueda afectar de manera negativa el crecimiento poblacional, o la estabilidad del hábitat.
7 (Park & Won, 2019)	F	Se adopta el método de lógica difusa para realizar un análisis más objetivo del riesgo de inundaciones derivando indicadores cuantitativos y precisos.

Tabla 4. Continuación

8 (Martínez et al., 2020)	R	Para el análisis del riesgo de inundaciones urbanas, se derivó un análisis de exposición mapeando el análisis de vulnerabilidad derivado de la inferencia difusa.
	S	La mayoría de los daños inundaciones son causados por condiciones climáticas como fuertes lluvias o tormentas.
	SC	El enfoque de estudio son las zonas con alta densidad de población
	SDP	Las medidas de preparación y adaptación no estructural pueden ser soluciones más eficientes y sostenible
	D	Medidas no estructurales para prevenir inundaciones, y a su vez generar un sistema de alerta temprana.
	DR	Incluir pavimento permeable, instalaciones de detención, reestructurar el drenaje y pendiente.
	CC	La capacidad de las instalaciones depende de la frecuencia de las lluvias que se incrementa por acción del cambio climático.
	T	Mapa de inundaciones para identificar el área afectada, modelos HECRAS y FLUMEN, junto con un DEM que considere todos los posibles eventos por el cambio en el uso del suelo.
	F	Se proponen estructuras anfibias, se elevan cuando se presentan inundaciones.
	R	Para aliviar el impacto de los desastres, las organizaciones y las entidades gubernamentales han establecido marcos para la evaluación y gestión de los riesgos de inundaciones.
	S	Los jardines de lluvia son apropiados para el manejo de capacidades de bajo flujo de agua de lluvia. Son ecológicos y sostenibles, y pueden utilizarse para el control de tormentas e inundaciones.
	WM	El caudal máximo se reduce con la cobertura vegetal y retrasa significativamente la llegada de los picos de inundación al entorno.
	SC	Las agencias gubernamentales deben colaborar con las partes interesadas para diseñar un plan de gestión eficaz y mejorar la resiliencia financiera ante el riesgo de inundaciones.
	SDP	Reducir el número de afectados por la tasa de mortalidad en desastres, por inundaciones.
	D	Establecen medidas estructurales (represas, diques, construcciones anfibias, pavimentos permeables) y no estructurales (diseño urbano, plan de gestión del riesgo, uso del suelo, medidas de preparación para inundaciones y advertencia de pronóstico)
	DR	Los geotextiles son un instrumento versátil que encaja en el enfoque del sistema de drenaje urbano sostenible y puede contribuir a la defensa ecológica del entorno aguas abajo.
	CC	Mejorar la gestión de las aguas pluviales en las ciudades, centrándose en retener, desacelerar, descargar e infiltrar la lluvia en combinación con superficies permeables.

Tabla 4. Continuación

9	(Córdoba & Martí Guitera, 2022)	F	La presencia de vegetación se ha considerado favorable a la capacidad de filtración de una zona y minimiza la posibilidad de que se produzca un evento de inundación.
		SDP	Se propone adoptar medidas en la planificación territorial integral y adecuación municipal a la legislación vigente.
		D	Los parques urbanos, bien gestionados, podrían ser un mayor vector de depuración del agua.
		T	Ocho ecosistemas diferentes según la clasificación de hábitats del Sistema Europeo de Información sobre la Naturaleza (EUNIS), lo que significa evaluación en diferentes tipos de suelo, pendientes y drenaje.
10	(Truu et al., 2021)	F	Si el volumen de inundación de una alcantarilla supera los 7 m ³ durante el evento de lluvia, se necesitan medidas de mitigación para reducir el riesgo de inundación en la zona.
		R	Para mitigar el riesgo de inundaciones repentinas, la planificación espacial climáticamente considerada que considere el desempeño del SUD y los cambios en el entorno urbano
		WM	Para la construcción de un programa de los diferentes niveles de inundación que se pueden presentar son necesarios datos del sistema de tuberías, estudios geodésicos históricos, cambios estacionales del nivel del agua, gestión de escorrentía.
		SC	Para garantizar la gestión adecuada de los impactos de las inundaciones en las áreas urbanas se debe identificar del riesgo potencial a través del análisis de escenarios de cambio climático
		D	Conecta los resultados del modelado hidráulico del sistema de aguas pluviales con mapas catastrales para visualizar las parcelas en áreas urbanas que están en riesgo de inundación.
		DR	Una de las soluciones para mitigar el riesgo de inundaciones repentinas es la planificación espacial climáticamente considerada que tome en cuenta el desempeño del SUD y los cambios en el entorno urbano.
		CC	Para lograr la resiliencia urbana, los planificadores, los científicos e ingenieros del clima deben unirse para formar un nexo de gestión urbana integrada.
		T	El uso del suelo, la topografía y los tipos de suelo en el entorno urbano se incluyeron en el modelo para simular cómo responde el sistema de aguas pluviales y las cuencas de captación a diferentes eventos de lluvia.
11	(Darsi & Agarwal, 2020)	F	Evento histórico en 2017, debido a las fuertes lluvias, se presentaron inundaciones repentinas y esto resultó en grandes pérdidas financieras y comerciales, incluyendo las oportunidades de empleo.
		R	Norma Europea, de 10 a 15 años de servicio el sistema de drenaje, dependiendo de la infraestructura del tráfico.
		S	Gráfico de nodos, sectores propensos a inundaciones por avenidas torrenciales; con base al periodo de tormentas registrado durante todo el año 2017.

Tabla 4. Continuación

12	(Luo et al., 2021)	WM	Se requiere un análisis adecuado de la red de tormentas y la gestión de inundaciones en áreas urbanas para pronosticar las condiciones de inundaciones repentinas. Los datos requeridos fueron dibujos de la red de aguas pluviales, dimensiones del sistema y datos de precipitaciones.
		SC	Las avenidas torrenciales repentinas no solo generan pérdidas económicas sino también de vidas, dentro de la población vulnerable en las áreas identificadas.
		SDP	Creación de una herramienta de modelado hidráulico que permite identificar las áreas de impacto de los SUD y así analizar diferentes medidas de mitigación del riesgo de inundaciones para el desarrollo de futuras generaciones.
		DR	HEC-RAS se emplea para simular eventos de lluvias intensas y determinar el flujo en canales abiertos, como en inundaciones repentinas. El modelo de terreno HAND se usa para calibrar áreas bajas y evaluar la elevación normal de la red de drenaje.
		CC	Razón clave para las fuertes lluvias que aumentan el problema de las inundaciones
		T	Debido al rápido aumento de la industrialización y la urbanización, se produce una tremenda pérdida de superficie terrestre permeable, lo que conduce a un aumento de la escorrentía superficial y el desbordamiento.
		F	Existe menor riesgo de inundaciones en las ciudades esponja con mayor idoneidad del suelo, lo que se evaluó según la elevación, la pendiente y el riesgo de anegamiento por tormentas.
		R	El riesgo de tormentas se centra en la ubicación espacial de su ocurrencia, la intensidad, el alcance de la inundación, la profundidad y otros factores.
		S	Las tormentas continuas, en las que las precipitaciones máximas pueden alcanzar los 285 mm en 24 h, han provocado desastres naturales como inundaciones en las montañas, anegamientos urbanos y deslizamientos de tierra.
		WM	El potencial de cada sector para construcción depende del porcentaje de territorio que resulte ser favorable en la modelación, y que por ende favorezca su crecimiento gracias a las esponjas naturales.
		SC	Se propone incluir este factor en el sistema de índices para evaluar la idoneidad de la tierra en las ciudades esponja. Esta integración permite prever riesgos en todas las etapas de planificación y seleccionar terrenos con menor riesgo para desarrollo urbano e inversión en activos fijos.
		SDP	Modelo de mapeo de características autoorganizadas que proporcionan datos de áreas aptas para la construcción de cuerpos esponja, de manera que no afecte el desarrollo urbano.
		D	Debido a las frecuentes inundaciones a lo largo del río, se puede desarrollar como terreno de control de inundaciones, zonas verdes (SUD) evitando la construcción de instalaciones educativas, residenciales, comerciales, industriales y otras similares.

Tabla 4. Continuación

13	(La Rosa Daniele & Pappalardo Viviana, 2020)	DR	Se propone combinar instalaciones de drenaje urbano para mitigar el encharcamiento en cauces fluviales urbanos. Además, se busca fortalecer la construcción de proyectos de control de inundaciones e instalaciones de transmisión, como la plantación de zanjas de pasto para canalizar el agua fuera de las áreas inundadas por lluvias. Otras medidas incluyen la instalación racional de tuberías subterráneas, la construcción de estaciones de bombeo de drenaje, el tratamiento de ríos urbanos y la construcción de instalaciones de esponjas para reducir y acumular la infiltración.
		T	Se utilizó un DEM con resolución espacial de 10 m, textura del suelo (arcilla, polvo y arena), uso de la tierra.
		F	Se eligieron techos verdes como SUDS representativos, debido a su desempeño en la mitigación del escurrimiento de agua y capacidad para detener o infiltrar escorrentías originadas por eventos de lluvia frecuentes, pero de menor tamaño.
		R	Para los escenarios considerados, la amenaza de inundación se calcula con el modelo SWMM para cada paso de tiempo del período de simulación y para cada conducto de las cuencas como resultado de la combinación entre la velocidad del flujo y la profundidad del flujo del agua.
		S	Los mayores períodos de retorno de las tormentas están asociados con un menor rendimiento del techo verde.
		WM	Se utiliza un enfoque de sistemas de drenaje duales para simular la interacción entre flujos y los intercambios verticales entre sistemas menor y mayor mediante secciones interconectadas como pozos de registro.
		SC	Los SUDS ubicados y concentrados en un área en particular de la cuenca urbana podrían redistribuir el agua de inundación en otras partes de la ciudad y generar un nivel diferente de reducción del riesgo pluvial al cambiar su distribución espacial con respecto al escenario original sin SUDS.
		SDP	Se realiza la evaluación programada del uso de techos verdes como una alternativa de SUDS.
		D	Propone un método espacial explícito para evaluar el desempeño cuantitativo de diferentes escenarios de SUDS en términos de reducción del riesgo de inundaciones pluviales urbanas y el número y ubicación de los beneficiarios (residentes que viven en la ciudad).
		DR	Los modelos convencionales de drenaje urbano no capturan adecuadamente los procesos de inundación ni la dinámica entre el flujo superficial y subterráneo. Durante inundaciones, la sobrecarga del sistema de drenaje.
		CC	Los procesos de desarrollo urbano y el cambio climático son los principales procesos que conducen al aumento de la probabilidad de inundaciones urbanas en las ciudades.
		T	La capa de uso del suelo/cobertura del suelo se derivó de mapas vectoriales a escala 1:10.000, actualizados mediante interpretación fotográfica de fotografías aéreas regionales de 1 m e imágenes de Google Earth. Se incluyeron seis categorías de uso de suelo.

Tabla 4. *Continuación*

14	(Wu, Y et al., 2022)	F	Los desastres históricos de inundaciones en la zona muestran que tanto las lluvias prolongadas como los tifones de alta intensidad son factores que inducen inundaciones urbanas.
		R	Relación entre preparación para desastres y vulnerabilidad para calcular la resiliencia en zonas propensas a desastres, un total de 49 indicadores de preparación y 18 de vulnerabilidad.
		S	Se emplea la atenuación espacial de la precipitación y el factor de reducción de área del “Atlas de tormentas e inundaciones de la provincia de Jiangsu” para obtener la distribución temporal de la precipitación superficial en diferentes períodos de recurrencia.
		WM	La estrategia de resiliencia en la gestión del agua urbana (UWM) busca fortalecer la capacidad de adaptación ante perturbaciones e incertidumbres.
		SC	La construcción del sistema de control de inundaciones urbanas no corresponde con el desarrollo económico y social.
		SDP	El gobierno municipal planea actualizar y transformar el sistema, agregando algunas infraestructuras sostenibles a microescala en combinación con el desarrollo de la ciudad.
		D	La resiliencia del sistema se divide en absorber, resistir y recuperar, con indicadores seleccionados para cada etapa. Se determina el efecto combinado del programa de control de inundaciones urbanas en la capacidad de resiliencia del sistema.
		DR	La rápida urbanización aumenta las áreas impermeables y modifica las vías de escurrimiento, por ello se recomienda a los planificadores y diseñadores urbanos no ignorar estos factores ambientales externos, ya que aumentan la probabilidad de desastres por inundación.
		CC	Está alterando el ciclo hidrológico en muchas zonas, provocando un aumento de la intensidad de las precipitaciones y cambios en sus patrones, así como una mayor probabilidad de que se produzcan fenómenos meteorológicos extremos.
15	(Jihan & McShane, 2018)	T	La topografía es relativamente plana y existen abundantes sistemas fluviales en la zona de clima húmedo del sur de la zona subtropical, con un clima templado y abundantes precipitaciones.
		F	Evaluación de beneficio SUDS para la prevención de inundaciones mediante retención de agua lluvia.
		R	Evaluación de la literatura relevante para formular una lista de estrategias de adaptación verde para la gestión de los servicios de los ecosistemas urbanos.
		WM	Gestión azul urbana: gestión de aguas pluviales; prevención de inundaciones urbanas; regulación del microclima; suministro de agua para riego, riego de jardines, descarga de inodoros, limpieza, lavado, etc.
		SC	Se evalúa la aceptación social y la viabilidad económica de las estrategias de adaptación ecológica para el desarrollo urbano.

Tabla 4. Continuación

16	(Sohn et al., 2020)	SDP	La integración de espacios verdes urbanos con otras infraestructuras urbanas puede ser una respuesta adaptativa efectiva no solo a eventos de frecuentes precipitaciones, sino que también a eventos de calor extremo.
		D	Adaptaciones verdes a escala de ciudad que contribuyen a los servicios ecosistémicos a través de la gestión verde y azul urbana.
		DR	Combinar las estrategias de adaptación verde con espacios verdes y azules permite la integración de un sistema de drenaje urbano sostenible.
		CC	Los residentes de Dhaka también enfrentan el cambio climático (particularmente calor extremo y fenómenos meteorológicos extremos) y la pobreza.
		F	Con el aumento de la densidad de población, las inundaciones urbanas se han convertido en una de las principales preocupaciones con respecto a la protección de las cuencas hidrográficas.
		R	Algunas regulaciones locales, como restringir la cobertura impermeable por tipo de uso del suelo y cobrar tarifas de aguas pluviales por lote de propiedad, se han implementado para disminuir el riesgo de inundaciones y contaminación del agua.
		S	Eventos pequeños con tormentas de alta intensidad, larga duración o suelo previamente húmedo aún pueden producir escorrentía de áreas permeables.
		WM	El Área Impermeable Conectada Directamente ayuda a controlar la escorrentía en entornos donde no se pueda controlar el Área Total Impermeable (TIA) por el crecimiento demográfico continuo.
		SC	Se utiliza el censo poblacional del año 2017 para calcular el crecimiento poblacional de las áreas de estudio.
		D	Implementar un software que integre datos de TIA y DCIA, junto a datos de volumen de escorrentía, caudal máximo y reducción del tiempo de retraso entre la lluvia y la escorrentía permitiría alertas tempranas sobre posibles inundaciones.
17	(Monteil et al., 2022)	DR	El proceso de drenaje urbano examinado en este estudio se puede traducir en dos sistemas hidrológicos: 1) la interacción de parches de desarrollo que determina el patrón de flujo superficial, y 2) la conectividad de superficies impermeables a sistemas de tuberías que define el flujo hidráulico.
		T	Una mayor instalación de sistemas de alcantarillado subterráneos facilita una descarga hidráulica rápida, mientras que una topografía plana de < 1% puede inhibir el drenaje efectivo del flujo superficial.
		F	Inundaciones de más de tres (3) metros ocasionadas por las lluvias intensas y prolongadas, un fenómeno intensificado por la estrechez de las calles y los atascos urbanos.
		R	Para reducción del riesgo de desastres relacionados con inundaciones, la responsabilidad compartida entre actores públicos y privados puede implicar una amplia gama de actividades, como la planificación de objetivos y la elección de estrategias

Tabla 4. Continuación

17	(Monteil et al., 2022)	S	Ampliación de los túneles y la creación de estanques de retención, que están diseñados explícitamente para hacer frente a inundaciones menores.
		WM	Mitigar el peligro mediante medidas estructurales y aumentar la preparación colectiva e individual.
		SC	Se realizaron preguntas sobre la experiencia personal de inundaciones pasadas, la percepción actual del riesgo, el conocimiento de trabajos realizados y potenciales, y la percepción de su eficacia.
		SDP	El compromiso de la comunidad se ve comprometido por múltiples factores, incluida la sostenibilidad y la insuficiencia de este compromiso.
		D	Aplicación de medidas reglamentarias como los planes de prevención de inundaciones (PPRI), los planes municipales de seguridad (PCS) y los programas de acción para la prevención de inundaciones (PAPI)
		DR	Cambios en el drenaje por la expansión urbana, crecimiento demográfico, suelos impermeables.
		CC	La creciente conciencia sobre las incertidumbres relacionadas con el cambio climático y las limitaciones de las infraestructuras físicas, han contribuido a acelerar los cambios en el enfoque de la Reducción de Riesgos de Desastre.
		T	Mapas de diferentes años que muestran el crecimiento del área urbana, así como los riesgos de inundación por aumento en suelos impermeables, lo estrechas que son las calles por las construcciones ilegales.

Dentro de todo el proceso de investigación se encuentran relaciones estrechas entre las variables, en su mayoría describen al cambio climático como responsable de la variabilidad climática que se presenta a menudo y de las frecuentes inundaciones cuando las precipitaciones aumentan, el determinante ambiental “topography” se evidencia en casi todos los artículos, haciendo de este una descripción de las alteraciones que presenta el suelo por la rápida expansión urbana lo que altera la dirección normal de los drenajes y afecta la escorrentía superficial, haciendo que el agua se acumule y estanque en terrenos impermeables donde las construcciones abundan, es decir en centros de ciudad, en parcelas llenas de edificaciones (La Rosa Daniele & Pappalardo Viviana, 2020)- . La planificación urbana por lo general se enfoca solo en la expansión y el cubrimiento de las necesidades básicas de la futura población que habitaría las nuevas construcciones, dejando de lado la probabilidad de, por ejemplo: eventos torrenciales, sequías, inundaciones, entre otros, (Park & Won, 2019) (Darsi & Agarwal,2020) (Luo et al., 2021).

Múltiples investigaciones aportan herramientas por medio del uso y programación de diferentes softwares que pueden pronosticar alertas tempranas a eventos de inundación (Park & Won, 2019) (Darsi & Agarwal,2020) (Luo et al., 2021) (La Rosa Daniele & Pappalardo Viviana, 2020), sin embargo, llegar a una conclusión de estas no es tan sencillo ya que para establecer un pronóstico de los desastres que podrían ocurrir se necesitan enormes cantidades de datos, shapes de las coberturas vegetales, Modelo Digital de Elevación (DEM) del terreno de estudio, frecuencia de lluvias, cambios en drenajes, porosidad del suelo, entre otros (Sarkissian et al., 2022) (Park & Won, 2019) . La población vulnerable es un factor importante de estudio, en su gran mayoría era ignorada la opinión pública, aunque fueran un punto relevante en el estudio, solo se determinaba qué población y en donde estaban ubicados los afectados de eventos de inundación. Para los casos de inclusión de la población vulnerable se realizaban encuestas de conocimientos previos, de oportunidad de participación y por último de satisfacción al momento de brindar soluciones (La Rosa Daniele & Pappalardo Viviana, 2020); en su gran mayoría la implementación de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible era el punto clave para la prevención de inundaciones, en algunos casos se estudiaba a profundidad con datos estadísticos que tan favorable resultaba integrar un SUDS.

7.2.2 Factores determinantes prioritarios, matriz relación-pesos

Luego de identificar cada uno de los datos más relevantes se hace necesario realizar una matriz de pesos con el fin de identificar el orden jerárquico de los factores determinantes y de esta manera establecerlos en orden de importancia (Guillermo Real, 2018). El proceso en la toma de decisión con respecto a la matriz fue subjetivo con respecto a la interpretación que se dio con la revisión bibliográfica y los procesos anteriores, es por ello que se llama “jerarquía” porque se establece el orden de importancia desde la perspectiva del decisor (Guillermo Real, 2018). La métrica de evaluación utilizada es la siguiente:

Prioridades: (contribución) (Guillermo Real, 2018).

1. i es igualmente importante que j.
3. i es algo más importante que j.
5. i es más importante que j.
7. i es mucho más importante que j.
9. i es totalmente importante que j.

En la tabla 3 se muestran el significado de cada abreviación adoptada en la tabla 10 para la matriz de importancia.

Tabla 5. Matriz relación-pesos

	F	R	S	WM	SC	SDP	D	DR	CC	T
F	1	0.333	0.333	0.2	3	3	0.2	7	0.111	0.2
R	3	1	3	0.2	3	0.2	5	0.143	0.111	0.2
S	3	0.333	1	0.333	3	0.2	0.2	5	0.111	0.143
WM	5	5	3	1	3	3	5	3	0.143	0.2
SC	0.333	0.333	0.333	0.333	1	0.2	0.333	0.333	0.111	5
SDP	0.333	5	5	0.333	5	1	3	3	0.143	0.2
D	5	0.2	5	0.2	3	0.333	1	0.2	0.2	0.2
DR	0.143	7	0.2	0.333	3	0.333	5	1	0.111	0.2
CC	9	9	9	7	9	7	5	9	1	5
T	5	5	7	5	0.2	5	5	5	0.2	1
Sumatoria	31.810	33.200	33.867	14.933	33.200	20.267	29.733	33.676	2.241	12.343

Para establecer el orden de importancia cada valor asignado debe ser dividido entre la sumatoria de la columna j, de esta manera se obtienen los resultados de representatividad por criterio en la tabla 11.

Tabla 6. Representatividad por criterio

	F	R	S	WM	SC	SDP	D	DR	CC	T
F	0.031	0.010	0.010	0.013	0.090	0.148	0.007	0.208	0.050	0.016
R	0.094	0.030	0.089	0.013	0.090	0.010	0.168	0.004	0.050	0.016
S	0.094	0.010	0.030	0.022	0.090	0.010	0.007	0.148	0.050	0.012
WM	0.157	0.151	0.089	0.067	0.090	0.148	0.168	0.089	0.064	0.016
SC	0.010	0.010	0.010	0.022	0.030	0.010	0.011	0.010	0.050	0.405
SDP	0.010	0.151	0.148	0.022	0.151	0.049	0.101	0.089	0.064	0.016
D	0.157	0.006	0.148	0.013	0.090	0.016	0.034	0.006	0.089	0.016
DR	0.004	0.211	0.006	0.022	0.090	0.016	0.168	0.030	0.050	0.016
CC	0.283	0.271	0.266	0.469	0.271	0.345	0.168	0.267	0.446	0.405
T	0.157	0.151	0.207	0.335	0.006	0.247	0.168	0.148	0.089	0.081

El promedio de cada fila i será el valor representativo de cada criterio, es decir, para el determinante de “*Flood (control, frequency, damage)*” el peso del criterio es de 0.0583 lo que deja ver su posición en la tabla número 6, así mismo el mayor peso de importancia es el factor “*Climate change*” ya que en cada uno de los artículos está presente como causa de las alteraciones en el clima, de esta manera se da paso al resto de los determinantes y su nivel de importancia.

7.2.3 Análisis jerárquico

Tabla 7. Peso del criterio

Posición	Peso del criterio	Nivel de importancia
1	0.3192	<i>Climate change</i>
2	0.1589	<i>Topography</i>
3	0.1039	<i>Water Management (quality, levels, urban hydrology)</i>
4	0.0801	<i>Sustainable Development-Policy analysis</i>
5	0.0614	<i>Drainage</i>
6	0.0583	<i>Flood (control, frequency, damage)</i>
7	0.0576	<i>Disaster (management, damage, early warning system)</i>
8	0.0568	<i>Socioeconomic (socially vulnerable, population)</i>
9	0.0565	<i>Risk (Assessment, perception, management, hazard)</i>
10	0.0473	<i>Storms (thunderstorms, rain)</i>

La tabla número 6 representa cada uno de los valores de los factores determinantes y el orden de importancia, esto es necesario para poder crear la herramienta para la toma de decisiones que se plantea en los objetivos específicos de la auxiliatura, de esta manera se dará paso a una de las elecciones que pueden beneficiar el sector ejemplo escogido, a manera de comparación entre investigaciones ya realizadas que permitan comparar los criterios en la toma de decisiones.

7.3 Fase 3: Definición de estrategias de intervención

7.3.1 Creación del instrumento

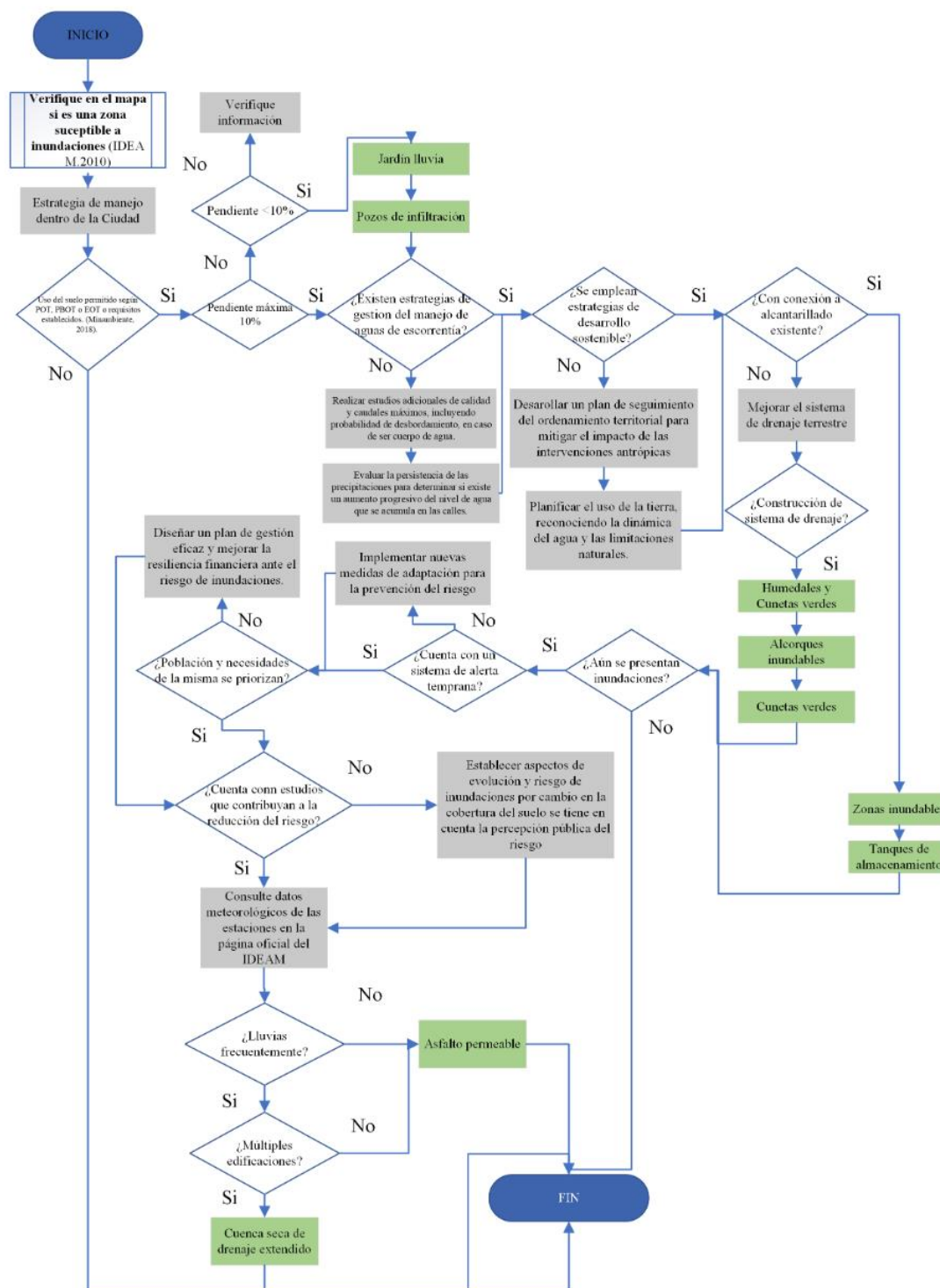
Con base en el orden previamente establecido de los factores determinantes fue creada una herramienta que ayuda a la toma de decisiones con respecto a la implementación de un SUDS, tomando en cuenta que el factor determinante “*Climate change*” fue una causa de los eventos de inundación, ya que es el factor con mayor peso por criterio se asume constante en el flujograma que se evidencia en la imagen 1. Para el desarrollo de la herramienta se consideran los conceptos explicados en la “Guía metodológica para la formulación de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (Ministerio de Vivienda, 2022) y el documento del Departamento Nacional de Planeación “Lineamientos para el diseño de sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS)” (Minambiente, 2018).

Previo a cualquier construcción de un SUDS debe ser verificado si está permitido el uso del suelo en el Plan de Ordenamiento Territorial (POT), Plan Básico de Ordenamiento Territorial (PBOT) o Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT) o en caso de ser una zona que no esté contenida dentro de estos documentos se ajusta a la normativa local que permita el uso del predio para las actividades del proyecto y se evidencie la zonificación del nivel de riesgo (Minambiente, 2018). Siendo la topografía el determinante ambiental más relevante para este caso se identifica el nivel de pendiente que se presente en el terreno, no exceder una pendiente mayor al 10% ya que esta desencadenaría un evento de deslizamiento (Wu, Y et al., 2022). Cuando no existen estrategias de gestión del agua deben realizarse estudios de calidad, caudales máximos de agua para poder identificar la probabilidad de desbordamiento, paso siguiente se plantea la idea de una estrategia de desarrollo sostenible la cual requiere de un seguimiento al plan de ordenamiento territorial que

identifique la dinámica del agua y las limitaciones naturales. Si ya existen estas estrategias el paso siguiente es identificar si los SUDS que se desean implementar pueden ser conectados al alcantarillado existente o si requieren de la construcción de un sistema de drenaje, para cada una de las alternativas existe un SUDS opcional que puede ser implementado en la ciudad.

Cuando ya se han implementado SUDS aún hay posibilidad de presentar inundaciones, por múltiples razones los establecidos no funcionan o no son suficientes, para ello es necesario una investigación más detallada que demuestre si el territorio cuenta con un plan de contingencia que garantice la funcionalidad de un sistema de alerta temprana, de lo contrario se establece como requisito para continuar con la elección. Paso siguiente se establece esa estrecha relación con la población vulnerable que en la mayoría de los casos se pasa por alto, generando así una iniciativa de conciencia y apropiación de la comunidad por los nuevos sistemas de drenaje que se adopten, haciéndolos partícipes de la toma de decisiones y del manejo que algunos SUDS necesitan. El factor se hace presente por medio de los datos que se pueden generar a partir del cambio en la cobertura vegetal y la percepción pública del riesgo (factor socioeconómico). Para garantizar que el valor de las precipitaciones demuestre un evento de inundación próximo se recomienda visualizar las gráficas que proporciona el IDEAM (factor de lluvias frecuentes), en este documento están la mayoría de los municipios turísticos que cuentan con información de escala de precipitaciones, una información que resultaría importante comparar con eventos presentes y futuros de tal manera que sea confiable la conclusión de la herramienta. Por último, el sector puede presentar múltiples edificaciones que generan carreteras estrecha y por ende acumulación del agua en las vías haciendo que se obstaculice el paso del tráfico.

La creación del instrumento hace parte del desarrollo del objetivo específico 2 del macroproyecto de investigación, siendo entonces aplicado de manera conceptual a un caso seleccionado que se presenta en el siguiente proceso de la fase.

Figura 2. Diagrama de flujo, herramienta para la toma de decisiones

Nota: Las referencias utilizadas para la elaboración del instrumento se encuentran adaptadas al contexto y citadas al finalizar el documento.

Figura 3. Mapa de zonas susceptibles a inundaciones



Nota. Adaptado de (IDEAM, 2010)

7.3.2 Aplicación conceptual del instrumento

Debido a los eventos presentados en el municipio de Villavicencio mencionados en la justificación de la auxiliatura, a los estudios recientes de la zona y al conocimiento del sector el punto seleccionado es el *round point* (*rotonda o glorieta*), carrera 13 con calle 15, de Postobón o más conocido como “glorieta de Postobón”

Figura 4. Ubicación del Round Point de Postobón



Nota: Adaptado de (Google Earth pro, 2023)

Figura 5. Perfil de elevación calle, round point de Postobón 15, Villavicencio

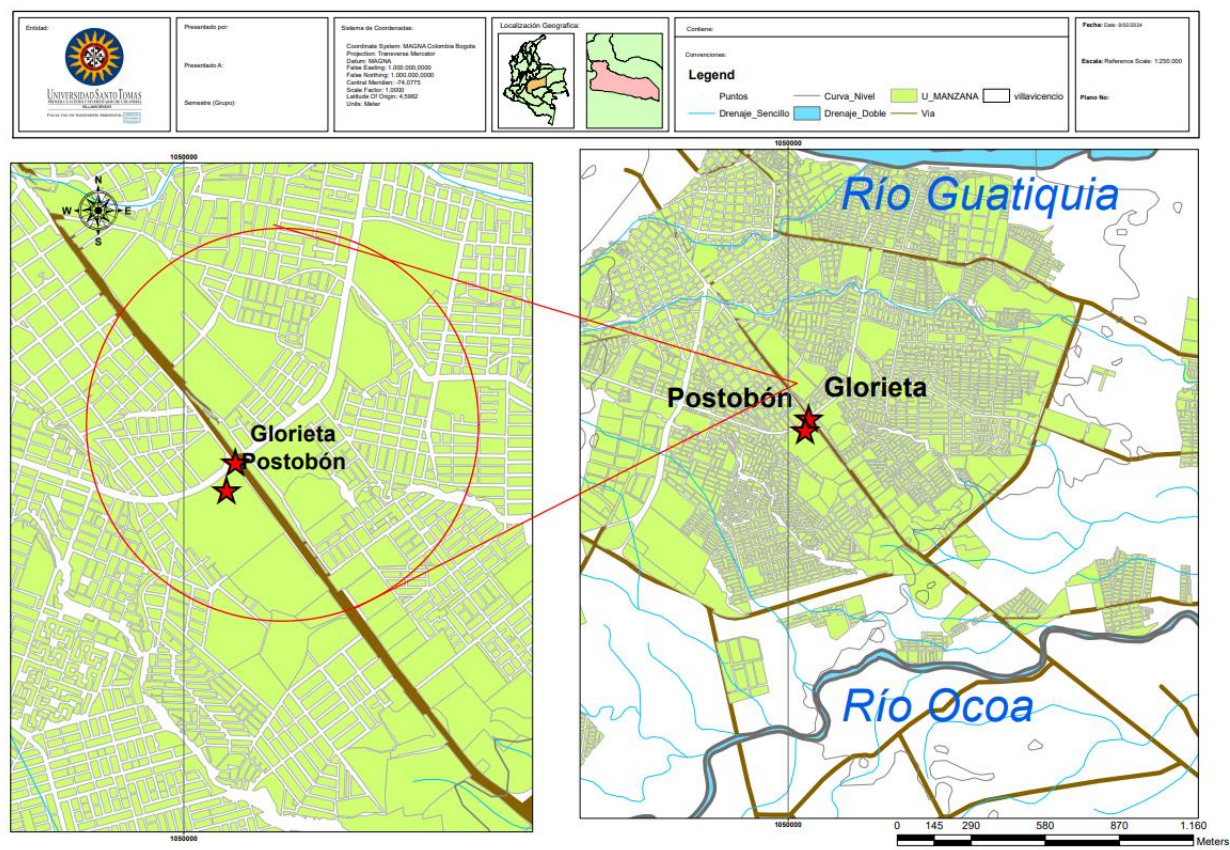
Nota: Adaptado de (Google Earth pro, 2023)

$$Pendiente = \frac{\text{diferencia de alturas}}{\text{diferencia horizontal}} * 100$$

$$Pendiente = \frac{434m - 430m}{336 m} * 100$$

$$Pendiente = 1.2\%$$

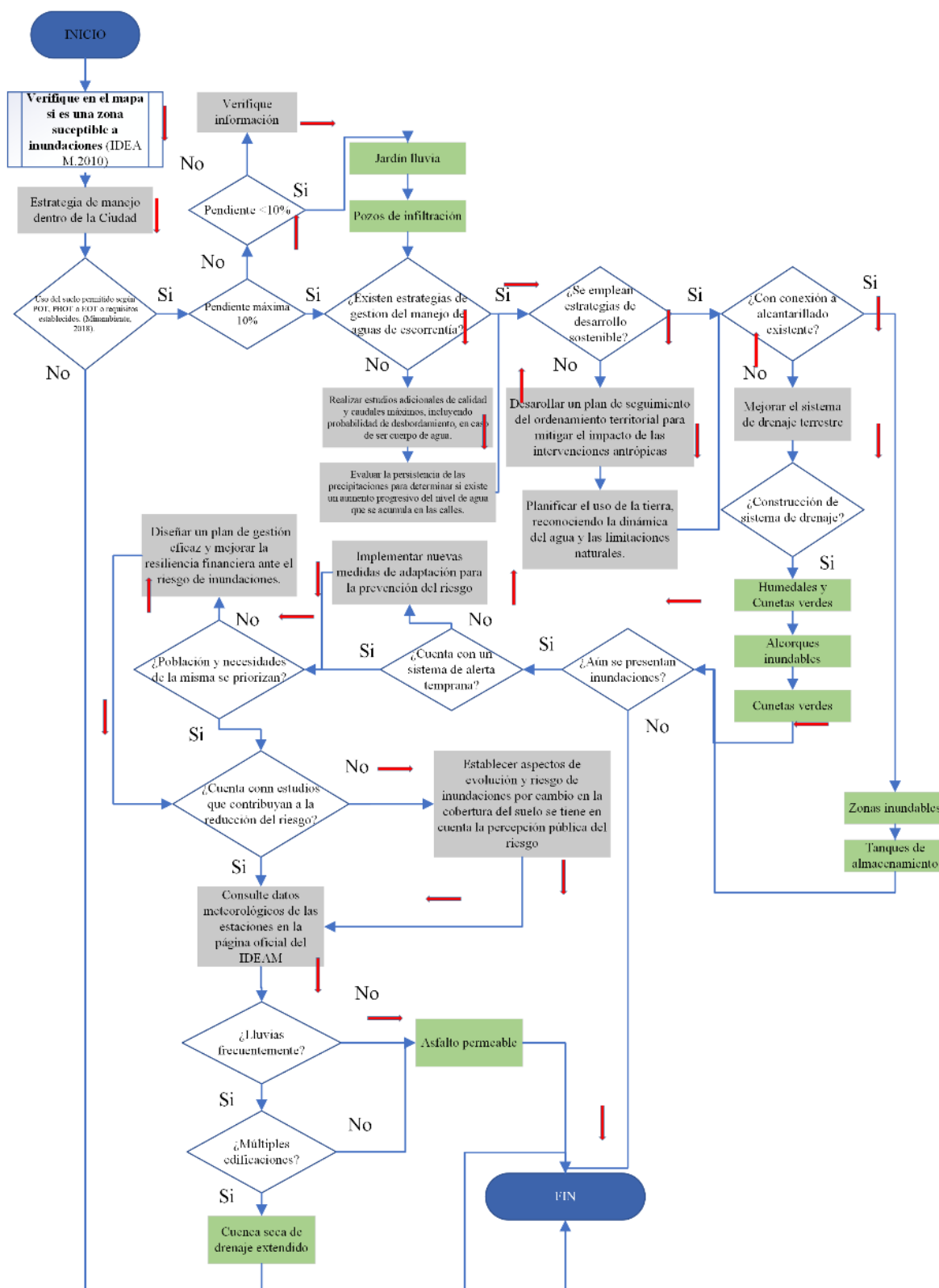
Se comprueba entonces que debido a la pendiente se dificulta la escorrentía superficial, el uso de asfalto tradicional hace aún más imposible el flujo del agua por esta vía, de manera que implementar un SUDS sería la mejor alternativa sostenible de manera que la estructura del puente que pasa por encima de la calle 15 no se vea afectado.

Figura 6. Ubicación geográfica del caso de estudio

Nota: Software Arc Map versión 10.5

En la imagen 7 se presenta la ruta dentro de la herramienta para la toma de decisiones, en este caso específico.

Figura 7. Ruta sugerida para implementar un SUDS



Para seleccionar uno o más SUDS a implementar en este punto del municipio se considera la herramienta propuesta, se asumen algunos datos, otros se adaptan a proyectos de investigación anteriores (Rey, 2022). Se identifica que el sector escogido esté dentro de las zonas modificables por el POT (*Topography*) o que permitan las autoridades locales el uso del predio, luego se estudia el perfil de elevación como se muestra en la imagen 4 en donde se demuestra una pendiente $<10\%$ (*Topography*) se recomienda empezar con pozos de infiltración como SUDS preliminarmente. Para este caso en particular no se habla de caudales máximos ya que el enfoque del estudio es inundaciones en vías por las fuertes precipitaciones, debido a esto se recomienda evaluar la persistencia de las lluvias y si existe un incremento del nivel del agua que se acumula en las calles (*Water Management*), pero se identifica aumento de la escorrentía y estancamiento en periodos de precipitación frecuente, a pesar de su conexión con sistema de drenaje por la red de alcantarillado convencional. Las autoridades municipales hacen un plan de seguimiento del POT inconcluso, no hay documentos que prueben la reducción de intervenciones antrópicas y por ende se hace notable la falta de estrategias de desarrollo sostenible (*Sustainable Development-Policy analysis*), a pesar de la conexión con alcantarillado existente se recomienda mejorar el sistema de drenaje de manera que la construcción de uno nuevo (*Drainage*) junto con la instalación de cunetas verdes o alcorques inundables pueda reducir los eventos de inundación. Se decidió optar por el seguimiento del flujograma asumiendo que las inundaciones persisten (*Flood*), para lo cual se necesita un plan de contingencia y alerta temprana a las inundaciones que se pueden presentar (*Disaster*) sin dejar de lado el factor social donde claramente se dan los principales afectados, por ello para comodidad de la población es necesario implementar un nuevo plan de gestión eficaz que mejore la resiliencia financiera antes eventos de inundación (*Socioeconomic*). Los aspectos de evolución y riesgo de inundaciones por cambio en la cobertura son información primordial para lograr identificar las zonas susceptibles a inundaciones y la manera en la que se puede reducir este riesgo (*Risk*), como estrategia a seguir deben ser consultados datos de las estaciones meteorológicas en la página oficial del IDEAM de manera que se obtenga el tiempo de precipitación en minutos y así identificar si se han desencadenado tormentas que saturen la red de alcantarillado y los SUDS seleccionados, por ello se asumen lluvias frecuentes (*Storms*) en el sector de manera que implementar Asfalto impermeable fue la última elección para completar la red de SUDS.

Si se establece una comparación con lo presentado por Rey (2022) se identifica que las recomendaciones son similares a la conclusión final del instrumento que se realizó, ella sugiere utilizar concreto permeable para absorber cerca de 880 galones de agua en escala minutaria, implementar cunetas verdes por el bajo costo, y los pozos de infiltración como opción final para poder recolectar y filtrar el agua antes de la descarga.

8. Conclusiones

Por medio de la metodología de Ome barrera para realizar análisis de investigación por medio de operadores booleanos se identifica “Land Use” como factor determinante clave por pertenecer al cuartil Q3 con un nivel de importancia superior a los demás factores, siendo hasta entonces la topografía el índice Q1 con menor valor, este método también recopila la extensión de artículos totales que se pueden encontrar con la ecuación de búsqueda principal “*urban planning*” AND “*flood prevention*”.

Los factores determinantes pueden variar para cada caso de estudio, pese a esto, los principales factores determinantes obtenidos a partir del análisis jerárquico, que se consideró pertinente dada la diversidad de información cualitativa que se obtuvo y el peso de cada uno de ellos, conforme la revisión bibliográfica realizada en el estudio fueron: cambio climático (0.319), topografía (0.158), gestión del agua (0.104), análisis de políticas de desarrollo sostenible (0.08), drenaje (0.061), factor inundación (0.058), desastres (0.057), factor socioeconómico (0.0568), riesgo (0.0565) y por último tormentas (0.047); siendo entonces el más importante “cambio climático” y le sigue en orden de importancia los anteriormente mencionados.

El factor socioeconómico resultó ser el octavo en una lista de diez factores determinantes, esto se demuestra en la información aportada por cada artículo en donde se priorizan los demás factores que requieran estudio del suelo, uso del mismo o tipo de drenaje, haciendo que la población tenga una escasa participación en la toma de decisiones ante construcción de SUDS

El instrumento creado permite analizar no solo de manera sistemática la elección más favorable de SUDS sino que también abarca diferentes ámbitos, datos, mapas, muestras que deben ser obtenidas previo a un estudio más detallado que permita poner en marcha estrategias de gestión del riesgo, de alerta temprana, control sobre el uso del suelo y demás; a pesar de tener un orden de importancia y un nivel de jerarquía que prioriza los factores determinantes es pertinente aclarar que en el desarrollo de la misma no puede omitirse uno de estos factores para la elección de un SUDS y que implementar solo uno no reduce el riesgo de inundaciones.

Se identifica que implementar el instrumento en la toma de decisiones para el caso de estudio para un adecuado manejo de aguas lluvias, prevención de inundaciones y mitigación del riesgo se incorpora mas de un SUDS, siendo para este caso el asfalto impermeable que permita la infiltración de, agua y así reducir su acumulación en la vía, pozos de infiltración que puedan estar conectados al sistema de drenaje de las cunetas verdes; de esta manera garantizar un sistema de drenaje sostenible.

9. Referencias Bibliográficas

- Alcaldía de Villavicencio. (2020) Inseguridad y riesgo de inundación, las problemáticas planteadas por las JAL de las comunas 3 y 4 al alcalde. <http://historico.villavicencio.gov.co/NuestraAlcaldia/SalaDePrensa/Paginas/INSEGURIDAD-Y-RIESGO-DE-INUNDACION,-LAS-PROBLEMATICAS-PLANTEADAS-POR-LAS-JAL-DE-LAS-COMUNAS-3-Y-4-AL-ALCALDE-.aspx>
- Alcaldía Mayor de Bogotá (s.f) Sistemas urbanos de drenaje sostenible - Secretaría Distrital de Ambiente. (s. f.). Secretaría Distrital de Ambiente. <https://www.ambientebogota.gov.co/sistemas-urbanos-de-drenaje-sostenible>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2020). Sistema de Planificación urbano de Colombia. Plataforma Urbana y de Ciudades de América Latina y el Caribe. <https://plataformaurbana.cepal.org/es/sistemas/planificacion/sistema-de-planificacion-urbano-de-colombia>
- Concejo Municipal de Villavicencio. (2015). Plan de Ordenamiento Territorial. Villavicencio. https://www.curaduriasegundavillavicencio.com.co/normatividad/municipal/POT_2015_Acuerdo%20287%20de%202015.pdf
- Córdoba Hernández, R.; Martí Guitera, L., 2022, Ecosystem Vulnerability due to Planning. The role of regulatory ecosystem contributions in the land planning. SUPTM 2022 conference proceedings [sciforum-053102. https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/10599/sciforum-053102.pdf?sequence=4&isAllowed=y](https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/10599/sciforum-053102.pdf?sequence=4&isAllowed=y)
- Darsi, Girish & Agarwal, Sunny. (2020). Utilization of Storm Water Management Model for Urban Flood Scenario. 9. 2249-8958. https://www.researchgate.net/profile/Sunny-Agarwal/publication/338292961_Utilization_of_Storm_Water_Management_Model_for_Urban_Flood_Scenario/links/5e60781fa6fdccbeba1c97fb/Utilization-of-Storm-Water-Management-Model-for-Urban-Flood-Scenario.pdf
- Diario El Tiempo. (2022). Lluvias dejan 400 familias afectadas en Villavicencio y daños en importante vía. <https://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/villavicencio-inundaciones-dejan-400-familias-afectadas-690844>

- Goya A, Zafra C, Rodríguez J.P (2020). Tendencias metodológicas en la evaluación del grado de contaminación y de riesgos por metales pesados presentes en sedimentos viales urbanos. UIS Ingenierías, 16.
- Hernández, Sampieri; Fernández, Collado; Baptista, Lucio. (2014). Metodología de la Investigación (6ta ed.). McGrawHill Education.
- Huang, J., Yang, Y., Yang, Y., Fang, Z., & Wang, H. (2022). Risk assessment of urban rainstorm flood disaster based on land use/land cover simulation. Hydrological Processes, 36(12). <https://doi.org/10.1002/hyp.14771>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) (2023) Características climatológicas de ciudades principales y municipios turísticos. <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/418894/Caracter%C3%ADsticas+de+Ciudades+Principales+y+Municipios+Tur%C3%ADsticos.pdf/c3ca90c8-1072-434a-a235-91baee8c73fc>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2023). Escenarios de cambio climático. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/escenarios-cambio-climatico>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2018). Cambio climático. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. <http://www.ideam.gov.co/web/atencion-y-participacion-ciudadana/cambio-climatico>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2010). Zonas susceptibles a inundación (Mapa). IDEAM, Colombia. <http://www.ideam.gov.co/documents/10182/512851/Susceptibilidad+a+Inundacion+500K+2010.jpg/acf21377-bbb8-47e8-ae48-30aa6c7996d7?version=1.0&t=1587758696211>
- Ingartek. (09 de marzo del 2021). Factores que influyen en la planificación urbana. <https://www.ingartek.com/es/factores-que-influyen-en-la-planificacion-urbana/>
- Instituto de turismo del Meta (2020), Información general del departamento. <https://www.turismometa.gov.co/el-meta/informacion-general.html#:~:text=El%20departamento%20del%20Meta%20est%C3%A1%20en%20la%20Zona%20de%20Confluencia,de%20El%20Castillo%20y%20Lejan%C3%ADas.>

- Jihan Zinia N, McShane P (2018), Ecosystem services management: An evaluation of green adaptations for urban development in Dhaka, Bangladesh, *Landscape and Urban Planning*, 173, (23-32) <https://www.sciencedirect-com.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/science/article/pii/S0169204618300306>
- Jiménez, S., Martínez J.A., Muñoz, A., Quijano, J.P., Rodríguez, J.P., Camacho, L.A., Díaz-Grandos, M (2019). Sustainability, 11(8), <https://www.mdpi.com/2071-1050/11/8/2312>
- La Rosa, D & Pappalardo, V (2020). Planning for spatial equity - A performance based approach for sustainable urban drainage systems, *Sustainable Cities and Society*, 53, 101885. <https://www.sciencedirect-com.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/science/article/pii/S2210670719326885>
- Lee, Sumin., Lee Sar., Lee, Moungh Jin., Jung, Hyung Sup. (28 de Febrero de 2018). Spatial Assessment of Urban Flood Susceptibility Using Data Mining and Geographic Information System (GIS) Tools. *Sustainability*, 10(3), 648. <https://www.mdpi.com/2071-1050/10/3/648>
- Lourenço, I. B., De Oliveira, A. K. B., Marques, L., Barbosa, A. A. Q., Veról, A. P., De Magalhães, P. C., & Miguez, M. G. (2020). A framework to support flood prevention and mitigation in the landscape and urban planning process regarding water dynamics. *Journal Of Cleaner Production*, 277, 122983. <https://www.sciencedirect-com.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/science/article/pii/S0959652620330286>
- Lourenço, I. B., Guimarães, L. F., Alves, M. B., & Miguez, M. G. (2020). Land as a sustainable resource in city planning: The use of open spaces and drainage systems to structure environmental and urban needs. *Journal Of Cleaner Production*, 276, 123096. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652620331413>
- Lü, X., Chan, F. K. S., Chen, W., Chan, H. K., & Gu, X. (2022). An overview of flood-induced transport disruptions on urban streets and roads in Chinese megacities: Lessons and future agendas. *Journal Of Environmental Management*, 321, 115991. <https://www.sciencedirect-com.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/science/article/pii/S030147972201564X>
- Luo, K., Wang, Z., Sha, W., Wu, J., Wang, H., & Zhu, Q. (2021). Integrating Sponge City Concept and Neural Network into Land Suitability Assessment: Evidence from a Satellite Town of Shenzhen Metropolitan Area. *Land*, 10(8), 872. <https://www.mdpi.com/2073-445X/10/8/872>

- Martínez, M. M. C., Bakheet, R., & Akib, S. (2020). Innovative Techniques in the Context of Actions for Flood Risk Management: A Review. *Eng*, 2(1), 1-11. <https://www.mdpi.com/2673-4117/2/1/1>
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico. Nuevas Ediciones Ltda. <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/Politica-nacional-Gestion-integral-de-recurso-Hidrico-web.pdf>
- Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio, Departamento Nacional de planeación (2022), Guía metodológica para la formulación e implementación de sistemas urbanos de drenaje sostenible, versión 0, 1-64. https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/4040_1_2.9_2022_2_04_-guia-suds_v.0.pdf
- Ministro de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2018), Lineamientos para el diseño de sistemas urbanos de drenaje sostenible SUDS, Departamento Nacional de Planeación, versión 1.0. <https://proyectostipo.dnp.gov.co/images/pdf/Lineamientos-PT-SUDS-V1-261218.pdf>
- Monteil, C., Foulquier, P., Defossez, S., Péroche, M., & Vinet, F. (2022). Rethinking the share of responsibilities in disaster preparedness to encourage individual preparedness for flash floods in urban areas. *International Journal Of Disaster Risk Reduction*, 67, 102663. <https://www-sciencedirect-com.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/science/article/pii/S2212420921006245>
- Noticias RCN. (2022). Reportan graves inundaciones en aeropuerto de Villavicencio. <https://www.noticiarscn.com/colombia/graves-inundaciones-en-aeropuerto-de-villavicencio-419807>
- Noticiero Macarena. (2021). Asoma solución a ‘laguna’ de agua lluvia que se forma en glorieta de Villavicencio. <https://www.noticieromacarena.com/villavicencio/glorieta-sin-inundaciones/>
- Ome Barrera, O, y Zafra Mejía, C. (2018). Factores clave en procesos de biorremediación para la depuración de aguas residuales. Una revisión. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 21(2), 573–585. <https://doi.org/10.31910/rudca.v21.n2.2018.1037>
- Park, K., & Won, J. (2019). Analysis on distribution characteristics of building use with risk zone classification based on urban flood risk assessment. *International Journal Of Disaster Rick*

- Reduction, 38(101192). <https://www-sciencedirect-com.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/science/article/pii/S2212420919301542>
- Real Flórez, G. (2019). Análisis Jerárquico de Decisión. https://www.youtube.com/watch?v=CVujmCCFv_k
- Rey Quevedo, M. (2022). Identificación de Sistemas Urbanos de Drenajes Sostenibles (SUDS) viables en las Zonas de Av. 40 Subnivel Villacentro y round point de Postobón en Villavicencio, Meta. <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/45495>
- Romero, J.A. (2022). Inundaciones más allá del "orden territorial". Periódico del Meta. <https://periodicodelmeta.com/inundaciones-mas-alla-del-orden-territorial/>
- Sarkissian, R. D., Sayah, M. J. A., Abdallah, C., Zaninetti, J., & Nedjaï, R. (2022). Land Use Planning to Reduce Flood Risk: Opportunities, Challenges and Uncertainties in Developing Countries. *Sensors*, 22(18), 6957. <https://www.mdpi.com/1424-8220/22/18/6957>
- Sohn, W., Kim, J., Li, M., Brown, R. D., & Jaber, F. (2020). How does increasing impervious surfaces affect urban flooding in response to climate variability? *Ecological Indicators*, 118, 106774. <https://www-sciencedirect-com.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/science/article/pii/S1470160X20307123>
- Truu, M., Annus, I., Roosimägi, J., Kändler, N., Vassiljev, A., & Kaur, K. (2021). Integrated Decision Support System for Pluvial Flood-Resilient Spatial Planning in Urban Areas. *Water*, 13(23), 3340. https://www.mdpi.com/2073-4441/13/23/3340?utm_campaign=releaseissue_waterutm_medium=emailutm_source=releaseissueutm_term=doilink24
- Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD 2022)., Primera actualización *Plan Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres*, 1, (156) <https://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Documents/PNGRD/PNGRD-2022-Actualizacion-VF.pdf>
- Universidad de Navarra, BiblioGuías: Revisiones sistemáticas: Ejemplos de criterios de inclusión y de exclusión. (2023). https://biblioguias.unav.edu/revisionessistematicas/criterios_de_inclusion_y_exclusion
- Universidad Sergio Arboleda. (2023). Cambio climático afecta a Colombia. <https://www.usergioarboleda.edu.co/medio-ambiente/cambio-climatico-afecta-a>

colombia/#:~:text=En%20Colombia%20hay%20cinco%20efectos,Lea%20la%20noticia%20completa%20aqu%C3%AD.

- Wang, J., & Banzhaf, E. (2018). Towards a better understanding of Green Infrastructure: A critical review. *Ecological Indicators*, 85, 758-772. <https://www.sciencedirect-com.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/science/article/pii/S1470160X17305861>
- Wu Yawen, Yu Guangyuan, Shao Quanxi (2022). Resilience benefit assessment for multi-scale urban flood control programs, *Journal of Hydrology*, 613(A) 128349. <https://www.sciencedirect-com.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/science/article/pii/S0022169422009210>