ESTADO DEL ARTE SOBRE LA INFILTRACIÓN URBANA, CUYO ANÁLISIS PERMITA LA CREACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO DE REGIONALIZACIÓN PARA EL DISEÑO DE POZOS EYECTORES PLUVIALES EN EL DRENAJE DE EDIFICACIONES

ÁNGELA MARÍA ACERO CIFUENTES

MARIBEL HERRERA RAMÍREZ

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

FACULTAD DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES

SEDE BOSA PORVENIR

BOGOTÁ D.C., COLOMBIA

2023

Contenido

1. Resumen 5
Abstract 6
2. Introducción 7
3. OBJETIVO 9
3.1 Objetivo General 9
3.2 Objetivos Específicos 9
4. Marco Teórico 10
4.1 Teoría y conceptos básicos 10
4.1.1 Infiltración 10
4.1.2 Pozos de Infiltración 11
4.1.3 Pozos Eyectores 11
4.1.4 Los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) 12
4.1.5 Técnicas de Drenaje Sostenible 12
4.1.6 Escorrentía Urbana 13
4.1.7 Regionalización Hidrológica 13
4.1.8 Modelos Matemáticos de Regionalización 14
4.1.9 Coeficiente de Escorrentía 14
4.1.10 Modelos Matemáticos Hidrológicos 15
4.1.11 Criterios de Evaluación para Modelos Hidrológicos 16
4.1.12 Calibración de Modelos Hidrológicos – Método Montecarlo 17
4.1.13 Cambio Climático Impactos en la Precipitación 18
4.1.14 Impactos observados en sistemas naturales 18
4.1.15 Análisis Estadísticos en Parámetros Hidrológicos 19
5. Metodología 20
5.1 Fase 1 20
5.2 Fase 2 22
5.3 Fase 3 25
6. Resultados y Análisis de Resultados 26
6.1 Análisis de las bases de datos 26
6.2 Clasificación y análisis de la matriz del estado del arte 32
6.1 Contribuciones al modelo matemático 41
7. Conclusiones 71
8. Recomendaciones 73
9. Bibliografía 74

Índice de tablas

Tabla 1 Variables de regionalización. 13
Tabla 2 *Revisión de fuentes de información* 21
Tabla 3 *Descripción de palabras clave por base de datos e idioma* 27
Tabla 3 *Contribuciones de los documentos a la creación del modelo matemático de regionalización para el diseño de pozos eyectores pluviales para el drenaje de edificaciones.* . 42

Índice de figuras

Figura 1. *Categorías de la matriz* Fuente: Autores 24
Figura 2. *Cantidad de palabras y expresiones clave por base de datos* 31
Figura 3. *Cantidad de palabras y expresiones clave por idioma* 32
Figura 4. *Documentos seleccionados por año de publicación* 33
Figura 5. *Documentos seleccionados por país* Fuente: Autores 38
Figura 6. *Ubicación geográfica de resultados de documentos seleccionados* 38
Figura 7. *Clasificación de los documentos seleccionados* 39
Figura 8. *Temáticas relacionadas en la matriz* 41

Dedicatoria

A nuestras familias, cuyo apoyo incondicional y amor han guiado nuestro largo y arduo camino. A nuestros padres, cuyos sacrificios y enseñanzas han sido nuestra inspiración constante. A nuestros hermanos y hermanas, cuya complicidad y aliento han sido la fuerza en los momentos de desafíos. A nuestras mascotas por su fiel compañía en las largas noches de dedicación.

A nuestro apreciado docente director, Juan Sebastián de Plaza, por su guía experta, paciencia y dedicación que han sido fundamentales en la culminación de este proyecto. Su apoyo incondicional y sabios consejos que han marcado un antes, y un después, en nuestro camino académico y personal.

1. RESUMEN

El drenaje efectivo de aguas pluviales en áreas urbanas ha sido un desafío constante en la ingeniería. Con el crecimiento acelerado de las edificaciones y la infraestructura urbana, la necesidad de sistemas de drenajes eficientes y sostenibles se ha vuelto imperativa. En este contexto, se presenta un estado del arte que contribuya al desarrollo de un modelo matemático de regionalización presentando un enfoque prometedor para el diseño de pozos eyectores pluviales en el drenaje de las edificaciones. Para lograrlo, se empleó una metodología estructurada en tres fases, que incluyó búsquedas exhaustivas en diversas bases de datos, clasificación de los resultados obtenidos y un análisis detallado de los documentos de estudio.

Para la fase inicial consiste en recopilar un inventario digital de literatura relevante de fuentes diversas, abarcando el periodo de tiempo desde 2002 hasta inicios del año 2023. El estudio adopta un enfoque multilingüe (inglés, portugués y español) y utilizó una lista de palabras clave cuidadosamente seleccionadas, lo que resulta en la identificación de 72 documentos para un análisis más detallado. Se establecieron criterios de inclusión y exclusión para garantizar la calidad y pertinencia de los documentos seleccionados.

Tras la selección de los documentos, se lleva a cabo una clasificación sistemática de la información recopilada, con la creación de una matriz de datos estructurada para organizar y analizar de manera eficiente los datos recopilados. Esta matriz abarca categorías, que incluyeron fuentes, estudio de caso, enfoque, metodología, resultados, conclusiones y brechas de investigación. Un análisis exhaustivo de la información compilada favorece la identificación de temas recurrentes, metodologías y técnicas efectivas empleadas en el campo de la infiltración urbana, gestión de aguas pluviales y regionalización de datos.

Los hallazgos del estudio contribuyen significativamente al desarrollo del modelo matemático de regionalización para el diseño de pozos eyectores pluviales en el drenaje de edificaciones, delineando las variables clave y parámetros fundamentales, proporcionando así, ideas valiosas para una planificación y gestión efectivas del sistema de drenaje urbano.

Palabras claves: Infiltración urbana, modelado hidrológico, escorrentía, precipitación, modelos de simulación, regionalización, gestión de aguas pluviales.

ABSTRACT

The effective drainage of stormwater in urban areas has been a consistent challenge in engineering. With the rapid growth of buildings and urban infrastructure, the need for efficient and sustainable drainage systems has become imperative. In this context, a state-of-the-art is presented to contribute to the development of a mathematical model of regionalization, offering a promising approach to the design of stormwater ejector wells in building drainage. To achieve this, a methodology structured in three phases was employed, which included exhaustive searches in various databases, classification of the obtained results, and a detailed analysis of the study documents.

The initial phase involves compiling a digital inventory of relevant literature from various sources, covering the period from 2002 to early 2023. The study adopts a multilingual approach (English, Portuguese, and Spanish) and used a carefully selected list of keywords, resulting in the identification of 72 documents for further detailed analysis. Inclusion and exclusion criteria were established to ensure the quality and relevance of the selected documents.

After the selection of the documents, a systematic classification of the collected information is carried out, creating a structured data matrix to efficiently organize and analyze the gathered data. This matrix covers important categories, including sources, case studies, approach, methodology, results, conclusions, and research gaps. A comprehensive analysis of the compiled information facilitates the identification of recurring themes, effective methodologies, and techniques used in the field of urban infiltration, stormwater management, and data regionalization.

The findings of the study significantly contribute to the development of the mathematical model of regionalization for the design of stormwater ejector wells for building drainage, outlining key variables and fundamental parameters, thus providing valuable insights for effective planning and management of the urban drainage system.

Keywords: Infiltration, hydrological modeling, runoff, precipitation, simulation models, regionalization, stormwater management.

2. INTRODUCCIÓN

La importancia del recurso hídrico en el mundo ha incitado a la evolución de infraestructuras que retengan o dirijan el agua hacia usos y necesidades que requiere la población. La simplificación, eficiencia y eficacia para plantear, diseñar y construir alternativas resultan en la elaboración de modelos hidrológicos, simulaciones, modelos conceptuales, creación de software, entre otros que favorecen y definen las características de los lugares a estudiar.

Los impactos que se han generado debido al cambio climático y la urbanización implican el aumento sustancial de la frecuencia y magnitud de las inundaciones urbanas (Bradley, 1996) (Huong, H. & Pathirana, 2013) (Leopold, 1968) (Semadeni-Davies, Hernebring, Svensson, & Gustafsson, 2008). Estudios han confirmado que ha surgido un aumento en las intensidades de lluvia debido al cambio climático, que alcanzan más de un 20 % en las variaciones de la precipitación (Willems & Olsson, 2012) (Arnbjerg-Nielsen, 2012) (Ekström, Fowler, Kilsby, & Jones, 2005). Esto se ha convertido en un desafío para el diseño de sistemas de drenaje, que enfocan un único periodo de retorno, lo que conlleva a tener problemas en la capacidad de afrontar crecientes (Mailhot & Duchesne, 2010) (Burrel, Davar, & Hughes, 2007) e incide en el caudal de infiltración de las zonas urbanas presentando aumento o disminución según sea el caso de la zona.

Se presenta una evolución en los modelos de cálculo que cada vez son más significativos y que contienen información más detallada del comportamiento de las precipitaciones. Las tormentas de diseño representan eventos aislados que producen características de la lluvia, estas se resumen en propiedades que relacionan la intensidad, duración y frecuencia lo que se conoce como curvas IDF (Monsalve, 2009).

La simulación continua hace el uso de registros completos y amplios de precipitaciones detalladas y poder estimar la respuesta de la cuenca que a su vez genera un registro continuo de variables de diseño de interés (Monsalve, 2009). Para el diseño de colectores el método de análisis hidrológico más simple y rápido que utiliza la frecuencia de lluvias como base es el Método Racional (Kibler, 1982). Sin embargo, el método está limitado referido por supuestos en la tormenta de diseño y los valores de las variables generadas en un mismo periodo de retorno que no permite conocer el comportamiento real de los sistemas pluviales por la consideración que es un flujo estático permanente en cada tramo de la tubería de la red de alcantarillado (Bradley, 1996).

Los estudios realizados han demostrado que la simulaciones continuas producen funciones de distribución extendidas a las variables necesarias para el diseño, cómo caudales máximos, volúmenes de escorrentía y de pérdidas para los eventos de tormentas frecuentes y no frecuentes, además, que la aplicación de modelos de simulación poseen ventajas sobre los métodos de diseño tradicionales, esto porque predicen puntos críticos de la red de drenaje y la toma de decisiones para medidas correctivas en el diseño (Coronel Armas, 2014).

Estudios relacionados a las tasas de infiltración en superficies totalmente urbanas como lo es la ciudad de New York y Filadelfia han mostrado diferencias estadísticas significativas entre las superficies que se encuentran en estas ciudades, como parques, infraestructuras de bioretención, concretos de material poroso y patios con vegetación, encontrando que hay superficies notorias con la capacidad de infiltrarse a la velocidad de la tormenta de diseño y que la mayor tasa de variabilidad están en los sitios con superficies permeables diseñadas, con respecto a los sitios con vegetación. Asimismo, se caracterizó el concreto poroso con una tasa de infiltración mayor a las superficies estudiadas (Alizadehtazi, y otros, 2016).

Las variables de tipo hidrológico presentes en las zonas urbanas aportan a la eficiencia de diseños de sistema de alcantarillado pluvial conociendo las superficies de manera detallada y el comportamiento que presenta ante las precipitaciones, para estudiarlo de forma minuciosa y no general, asumiendo que la totalidad de la zona urbana tiene la misma capacidad de infiltración.

3. OBJETIVO

3.1 Objetivo General

Desarrollar el estado del arte sobre la infiltración urbana, cuyo análisis permita la creación del modelo matemático de regionalización para el diseño de pozos eyectores pluviales en el drenaje de edificaciones.

3.2 Objetivos Específicos

- Analizar información de los enfoques teóricos y prácticos realizados a estudios de infiltración urbana, tendencias y perspectivas metodológicas.

- Clasificar la información recolectada que conlleve a un análisis exhaustivo para el desarrollo de un modelo matemático.

- Determinar posibles estudios de investigación relacionados con curvas de regionalización para estimar el caudal que aportan las aguas de infiltración y de abatimiento del nivel freático para el diseño de filtros pluviales en edificaciones.

4. MARCO TEÓRICO

Para el desarrollo del presente documento se usan conceptos de ingeniería, que, al ser planteados y analizados buscan contribuir a la creación del modelo matemático de regionalización para el diseño de pozos eyectores pluviales en el drenaje de edificaciones, por lo tanto, se desglosan a continuación todos aquellos conceptos para darle continuidad al desarrollo de los objetivos propuestos.

4.1 Teoría y conceptos básicos

4.1.1 Infiltración

El concepto de infiltración en el ciclo hidrológico es considerado como un proceso natural que ocurre cuando el agua atraviesa la superficie del terreno y se desplaza hasta sus mantos inferiores, para el análisis de este fenómeno se debe tener en cuenta una relación entre la precipitación y el escurrimiento, además, de los componentes que influyen directamente como lo es la porosidad, porosidad efectiva, capilaridad y la conductividad eléctrica (Guanumen, 2020).

Así mismo, la infiltración se ve relacionada con el movimiento del agua en la parte edáfica del suelo donde también, se presenta el desarrollo de las raíces de las plantas. Se entiende que los procesos de infiltración tienen influencia de diversos factores como la precipitación que es un factor externo a las propiedades del terreno, y la temperatura como una variable influyente en el comportamiento del suelo, dado que si esta es baja (0°C a presión estándar), genera el congelamiento del agua y, por lo tanto, impida o dificulte la infiltración (Juncosa Rivera, 1989).

También, la humedad contribuye en la tensión capilar del suelo aumentando la infiltración o por el contrario reducir los poros del suelo y la capacidad del suelo para infiltrar. Las condiciones de la superficie del terreno que influye en la permanecía del agua favorece o disminuye la infiltración, debido al tiempo de permanencia que está presente en la superficie (Juncosa Rivera, 1989).

4.1.2 Pozos de Infiltración

Los pozos de infiltración consisten en excavaciones cilíndricas o rectangulares de profundidad variable y permiten filtrar el agua lluvia directamente al suelo en espacios reducidos, disminuyendo el caudal máximo, el volumen escurrido y recargando la napa de agua subterránea.

Una ventaja destacable de esta técnica radica en su aplicabilidad en áreas caracterizadas por una capa superior de suelo poco permeable, particularmente en las regiones urbanizadas. A pesar de esta limitación, estas áreas poseen una notable capacidad de infiltración en las capas más profundas del suelo.

Al considerar la evacuación del agua, se emplea el término «pozo de infiltración» para describir los casos en que el agua sale del pozo a través de estratos insaturados del suelo. En otras palabras, la superficie del agua subterránea se encuentra por encima de la base del pozo, lo que permite que el agua lluvia se filtre en el suelo antes, de alcanzar el nivel del agua subterránea. Por el contrario, cuando la capa de agua subterránea se encuentra por encima del nivel inferior del pozo, lo que provoca la evacuación directa del agua lluvia hacia el agua subterránea, se llaman pozos de inyección (Chile Cubica, s.f.).

4.1.3 Pozos Eyectores

Son estructuras especiales para las edificaciones, que se relacionan como componentes secundarios de la estructura, con una función definida y su construcción debe tomar en cuenta las conexiones e integración de la estructura principal. Este consiste en una caja hacia la cual se dirigen aguas que florecen del fondo de la excavación, como sótanos de la edificación pretendiendo recoger y evacuar con ayuda de motobomba hacia la red de alcantarillado, las dimensiones y profundidad van de acuerdo con las necesidades específicas de las obras civiles (Silva OJ, 2022).

Diseño de pozos eyectores pluviales: estos pozos se utilizan habitualmente en sistemas de drenaje urbano para evitar la acumulación de agua en las edificaciones y las áreas intermitentes. El diseño adecuado de los pozos eyectores pluviales implica considerar factores como el caudal de entrada, la capacidad de almacenamiento, el caudal de salida y la ubicación de los pozos (Piqueras, 2020).

4.1.4 Los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS)

Estructuras alternativas y complementarias a los sistemas de drenaje convencional que constituyen parte de la infraestructura urbana para el manejo de aguas pluviales (Secretaria Distrital de Ambiente, 2020). Son elementos superficiales, permeables, preferiblemente vegetados, integrantes de la estructura urbana-hidrológica-paisajística y previos al sistema de saneamiento. Están destinados a filtrar, retener, transportar, acumular, reutilizar e infiltrar al terreno el agua lluvia, de forma que no degraden e incluso restauren la calidad del agua que gestionan (Castro Fresno, 2005).

Los sistemas urbanos de drenaje sostenible integran urbanismo, paisajismo e hidrología. Con el objetivo de dotar un área urbana de nuevas capas permeables en tejados y pavimentos que se comportan como sumideros filtrantes que ayudan al ciclo natural del agua, controlando cantidad, calidad y tiempo (Secretaria Distrital de Ambiente, 2020).

4.1.5 Técnicas de Drenaje Sostenible

Las técnicas de drenaje sostenible son enfoques que se utilizan para gestionar el agua lluvia de manera eficiente y reducir el impacto de la urbanización en el ciclo hidrológico. Estas técnicas incluyen la captación y reutilización del agua lluvia, la infiltración en el suelo, los techos verdes, los pavimentos permeables, entre otros. El uso de técnicas de drenaje sostenible contribuye a reducir la carga en los sistemas de drenaje convencionales y promover la infiltración urbana (Rodríguez, 2016).

Estas técnicas están dentro de lo que se llama Desarrollo Urbano Sostenible o Desarrollo de Bajo Impacto (*Low Impact Developement*), que son asociadas a problemáticas de drenajes urbanos dentro del planteamiento urbanístico. Son conocidas de diferentes formas según el país, SUDS (*Sustainable Urban Drainage Systems*) en el Reino Unido, BMPs (*Best Management Practices*) en Estados Unidos o Mejores Prácticas de Control (MPC) en los países de América Latina (Abellán, 2013).

4.1.6 Escorrentía Urbana

Es un proceso físico el cual consiste en el escurrimiento del agua lluvia por las redes de drenaje hasta las redes pluviales, es considerado unos de los procesos básicos que influye el ciclo del agua. Se define que existen tipos de escorrentía como la escorrentía superficial o directa referido a la precipitación que se da sobre la superficie que discurre por la acción de la gravedad sin infiltrarse en el suelo y la escorrentía hipodérmica que parte de la precipitación que se infiltra en la parte superior sin llegar a la zona de saturación y que luego reaparece sobre la superficie y nuevamente se incorpora a la escorrentía superficial (Valdivielso, 2020).

La escorrentía urbana se define como la escorrentía superficial creada por la lluvia en zonas urbanas y es una de las principales fuentes de contaminación del agua en estas comunidades, así como, la principal causa de inundaciones (Carlos Alfonso Zafra Mejía, 2007).

4.1.7 Regionalización Hidrológica

El propósito principal de la regionalización hidrológica es la transferencia de información de las cuencas aforadas a las no aforadas, de una misma región hidrológica (Tucci, Hidrología, 1987) (Franchini & Suppo, 1996). Esta discretización espacial se realiza frecuentemente teniendo en cuenta las características geomorfológicas y climáticas que definen la respuesta hidrológica de la región y resultan incluso en zonas sin continuidad geográfica, aunque, su comportamiento hidrológico sea semejante (Andrade & Hawkins, 2000). A continuación, se presentan las variables más comunes utilizadas en la regionalización hidrológica (Ver Tabla 1).

Tabla 1 Variables de regionalización.

Variable regionalizada	Variables Explicativas
Caudal Medio	Área de la cuenca, precipitación.
Caudal Medio de Crecida	Área de la cuenca, precipitación, pendiente del curso principal, ancho del curso principal.
Caudal Mínimo	Área de la cuenca, densidad de drenaje.
Tiempo de Concentración	Área de la cuenca, pendiente, ancho del curso principal.

Fuente: (Zucarelli, 2017)

Variables que dependen de las características fisiográfica de las cuencas:

La descarga de una cuenca hidrográfica está influenciada por dos categorías principales de variables: climáticas y físicas. Las variables climáticas se asocian principalmente con la precipitación y la evapotranspiración, mientras, que las variables físicas abarcan las características geológicas y del suelo, los factores asociados con la cobertura vegetal, las dimensiones de la cuenca hidrográfica, la forma, la topografía, la densidad de drenaje y la capacidad de almacenamiento (Tucci, 2002).

Las características físicas de la cuenca son utilizadas para hacer correlaciones con las variables hidrológicas, teniendo en cuenta que: la característica debe ser representativa de los fenómenos que se desean representar y dicha característica debe ser fácil de medir a partir de mapas. Entre los factores físicos de una cuenca los más significativos son: a) área, b) perímetro, c) forma, d) elevación, e) pendiente, f) orientación y g) densidad de drenaje (Zucarelli, 2017).

4.1.8 Modelos Matemáticos de Regionalización

Los modelos matemáticos de regionalización son herramientas utilizadas para estimar variables hidrológicas, como la infiltración y el flujo de agua, en áreas donde no se dispone de datos directos. Estos se basan en el análisis de datos de estaciones de monitoreo y en la relación entre las variables hidrológicas y los modelos que las controlan, como la precipitación, la vegetación, el suelo y la topografía. Los modelos matemáticos de regionalización son estadísticos o basados en procesos físicos (Huertas, 2018).

4.1.9 Coeficiente de Escorrentía

El coeficiente de escorrentía indica la proporción de agua en la precipitación total que es causada por la escorrentía superficial posterior a la saturación total del suelo, y depende de las características del terreno. También se considera una variable que depende del área de recolección y se multiplica por la cantidad acumulada de lluvia para determinar la cantidad exacta de lluvia que se descarga al sistema de drenaje. Alternativamente, el coeficiente de escorrentía de las precipitaciones es una variable que se utiliza para calcular la superficie impermeable real

de acuerdo con el tipo específico de superficie (Ibañez Asensio, Moreno Ramón , & Gisbert Blanquer, 2011)

4.1.10 Modelos Matemáticos Hidrológicos

Los modelos hidrológicos ayudan a realizar una simulación imperfecta de la realidad de un ambiente acuífero. Todos los modelos se definen por los siguientes elementos según (Galindo Martínez, 1999):

La finalidad del modelo matemático es mostrar el comportamiento del sistema que se quiera representar, mediante ecuaciones y expresiones lógicas que reflejan las relaciones entre los parámetros y sus variables (Pascual Aguilar & Díaz Martín, 2016). Además, se obtienen determinados escenarios de cómo se comportará el sistema en el futuro de una manera incierta (Cassiraga, Sanz, Castaño, Álvarez , & Sahuquillo, 2013).

Estos modelos permiten permutar con facilidad los parámetros para determinar diferentes escenarios, obtener el bombeo máximo en un sector, obtener las zonas de protección del acuífero, predecir los impactos en el acuífero, analizar riesgos ambientales, obtener la dirección y sentido de un soluto o contaminante, entre otros. Por otro lado, hay que ser conscientes de las limitaciones de los modelos hidrológicos matemáticos. Sus principales desventajas son: que la mayoría de los modelos implican un desembolso económico, requieren de tiempo para su desarrollo y la veracidad de las predicciones se ven sujetas al punto de vista de quién las analiza (Fuirellat Muriel, 2021).

Como bien indican (Praskievicz & Chang, 2009) y (Abbaspour, y otros, 2015) los modelos hidrológicos son clave para la gestión de los recursos hídricos, satisfaciendo todas las demandas, tanto agrícolas como urbanas e industriales. La gestión de las cuencas hidrográficas incluye actividades variadas, desde diseñar sistemas de bombeo optimizados (delimitando la tasa máxima de bombeo admisible para cada situación) hasta definir las zonas y políticas de protección de las aguas subterráneas.

Los modelos son importantes en la predicción de impactos asociados a casos específicos o previsión de emergencias. Por ejemplo, determinar la influencia de una presa en un acuífero regional o que sucedería en el caso de que los sistemas de drenaje fallaran. Además, facilitan el análisis de los riesgos ambientales, en caso de una fuente de contaminación se determina: el origen, cómo es la pluma contaminante, tanto su dirección como velocidad, y predecir la

concentración que llegará de ese contaminante a un punto de recepción. Por último, se recomienda diseñar sistemas de remediación (Freeze & Cherry, 1979) (McWhorter & Sunada, 1977) (Fetter, 1994).

4.1.11 Criterios de Evaluación para Modelos Hidrológicos

La modelación hidrológica se constituye en una valiosa herramienta para mejorar el conocimiento de los sistemas hídricos con el propósito de dar soporte a la toma de decisiones sobre las acciones de gestión integral del recurso hídrico y cubre un amplio espectro de aplicaciones, por consiguiente, para el desarrollo de modelos hidrológicos, una vez completada la fase de la modelización donde se han detallado los componentes y parámetros del sistema, se deben considerar las incertidumbres que tiene el modelo, y por tanto, sus primeras predicciones dado que estas no se ajustarán bien a la realidad, por ello, es importante realizar la calibración del modelo (Sánchez-Vila & Fernández-García, 2007).

El objetivo de la calibración es asegurarse que el modelo simula los datos que han sido obtenidos en el campo, salvando siempre los errores de medición que se hayan podido efectuar. Para ello, la calibración se realiza de dos maneras: manual o automática (Cassiraga, Sanz, Castaño, Álvarez , & Sahuquillo, 2013). El sistema de calibración más utilizado es el de “prueba y error”, que consiste en modificar los parámetros manualmente y observar el efecto que produce tal modificación en los parámetros que se tienen como objetivo calibrar.

Esta automatización es efectiva para un número reducido de parámetros a la vez, por lo que con una gran cantidad de valores (como en los modelos distribuidos) se vuelven inviables (Cruces de Abia & Martinez Cortina, 2006). Una herramienta en la calibración es el “análisis de sensibilidad”, que permite señalar la importancia relativa de cada parámetro con relación a la respuesta del sistema. Este análisis se efectúa cambiando el valor de un parámetro mientras todos los demás se mantienen constantes. Si un pequeño cambio produce una gran alteración en la respuesta del sistema se clasifica como altamente sensible a ese valor (Ordoñez, 1974). También ayuda a establecer el grado de incertidumbre del modelo (Hernández Limón, 2006).

En el momento en el que el error entre los resultados del sistema y los datos obtenidos en el campo es tolerable, se da por concluida la calibración y se comienza la verificación o validación del modelo. Para verificar el sistema se usan datos más recientes, de los que fueron introducidos al principio, de esta manera se pone a prueba la fiabilidad del modelo y la necesidad de una

realimentación del sistema con valores que eran desconocidos (Galindo Martínez, 1999) (Fuirellat Muriel, 2021).

4.1.12 Calibración de Modelos Hidrológicos – Método Montecarlo

El método de MonteCarlo es un método numérico basado en la generación de números aleatorios, su procedimiento consiste en simular el comportamiento del sistema para obtener en forma artificial los índices de confiabilidad de los puntos de carga.

El modelo presenta dos características, la primera consiste en la estructura simple del algoritmo de cálculo, normalmente, un programa se construye para implementar un evento aleatorio, posteriormente, se repite un numero veces para cada experimento siendo independiente de los anteriores. Al final, se promedian los resultados de todos los experimentos, por esta razón, se denomina método de muestreo estadístico.

La segunda característica es la convergencia de los cálculos, esta suele considerarse eficaz para resolver problemas en los que es suficiente conocer el resultado con un pequeño grado de precisión, lo que permite modelar cualquier proceso cuyo curso dependa de factores aleatorios (Sobol, 1976).

Para aplicar este método se requiere conocer las distribuciones de probabilidad que modelan los tiempos para salida y restauración de cada uno de los componentes. Un asunto clave en construcción de la base de datos del sistema es el método de codificación de los componentes de cada circuito primario, de tal forma que permita conocer cuáles puntos de carga son afectados por la salida de cualquiera de los componentes.

Este es el método de análisis más versátil dado que:

- ✓ Permite utilizar cualquier distribución para modelar los tiempos para salida y restauración de los componentes.
- ✓ Permite resolver sistemas en los cuales no existe una solución analítica. Por ejemplo, sistemas donde alguno de los componentes tiene modelado el tiempo para salida o restauración por medio de la distribución Gausiana.
- ✓ Permite obtener las distribuciones de probabilidad de los índices de confiabilidad de los puntos de carga, lo cual es muy útil para valorar el riesgo de que ocurran diferentes valores de los índices.

- ✓ Los cambios en el sistema se realizan en la base de datos sin que sea necesario realizar cambios en el software (Zapata, Piñeros, & Castaño, 2004).

4.1.13 Cambio Climático Impactos en la Precipitación

Los impactos producidos como consecuencia del cambio climático son generalizados y sustanciales. En las últimas décadas, el cambio climático ha afectado a los sistemas naturales y humanos en todos los continentes y en los océanos. Los impactos son más evidentes en los sistemas naturales - incluyendo la criosfera, los recursos hídricos, los sistemas costeros y los ecosistemas terrestres y marinos, también, se han observado en los sistemas humanos.

La mayoría de los impactos del cambio climático son atribuidos al calentamiento y/o a cambios en los patrones de precipitación. También hay evidencias recientes de impactos vinculados con la acidificación del océano (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2014).

4.1.14 Impactos observados en sistemas naturales

Los glaciares siguen disminuyendo en todo el mundo, aunque, con variaciones regionales. Las observaciones realizadas in situ y por satélite indican que, en el hemisferio norte, la superficie cubierta por la nieve en primavera ha disminuido un 8% desde 1922.

El derretimiento del hielo glacial provoca la expansión o formación de nuevos lagos en los Alpes, el Himalaya, los Andes, la Patagonia y otras regiones montañosas. Por un lado, esto significa una reserva adicional de agua en las décadas siguientes (debido al derretimiento acelerado); sin embargo, hay una reducción a medida que disminuye la masa glacial. Por el contrario, en algunos lagos de reciente creación se producen rupturas y se vacían abruptamente, lo que provoca inundaciones y daños considerables aguas abajo.

El cambio climático es el principal catalizador de la disolución del permafrost, tanto en las latitudes altas como en las regiones montañosas de gran altitud. Junto con el agotamiento de los recursos hídricos, la reducción del permafrost repercute en los ecosistemas de la tundra, provoca la oxidación de la materia orgánica, con las consiguientes emisiones de CO2, y un aumento de los peligros naturales, como los deslizamientos de tierra y los hundimientos.

Se han observado consecuencias para el ciclo hidrológico en todos los continentes, que afectan a la disponibilidad y la calidad del agua dulce. Las alteraciones en los caudales de los ríos se han correspondido con los cambios en las precipitaciones y la temperatura desde 1950. Dentro de Europa, de 1962 a 2004, los caudales disminuyeron en las regiones del sur y el este, mientras, que aumentaron en el norte.

En las regiones con nevadas estacionales, los ríos han experimentado un incremento de los caudales invernales, lo que se debe al aumento de las precipitaciones durante esa estación. Debido a las altas temperaturas, el pico de los flujos de deshielo se ha adelantado hasta principios de la primavera.

Las modificaciones en el equilibrio térmico del agua también han influido en su calidad. Concretamente, durante las sequías, se ha producido una escalada de la eutrofización y una disminución del oxígeno disuelto, una elevación de la salinidad, una mayor concentración de nutrientes y carbono orgánico disuelto, así como, una disminución de la dilución de los contaminantes (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2014).

4.1.15 Análisis Estadísticos en Parámetros Hidrológicos

Las investigaciones hidrológicas requieren el examen de extensos datos hidrometeorológicos, que incluyen información sobre la precipitación, el flujo, la temperatura y la evaporación, entre otras variables. Los datos recopilados simplemente representan información no procesada; sin embargo, cuando se organizan y analizan adecuadamente, son una herramienta útil para los hidrólogos, ya que les permite tomar decisiones informadas sobre el diseño de las estructuras hidráulicas.

En el ámbito de la hidrología, el análisis de la información se basa en los conceptos de probabilidad y estadística. Este campo fue uno de los dominios pioneros en los ámbitos de la ciencia y la ingeniería en adoptar conceptos estadísticos con el fin de analizar los fenómenos naturales. Los parámetros que se deben considerar abarcan las variables aleatorias, las distribuciones, las funciones de densidad, las funciones acumulativas, los valores esperados, los momentos, las transformaciones lineales de las variables aleatorias, las distribuciones de frecuencia de una muestra, sus representaciones tabulares y gráficas, y los procedimientos computacionales asociados (Villón Béjar, 2016).

5. METODOLOGÍA

El presente estudio se centra en realizar un exhaustivo estado del arte sobre la infiltración urbana, cuyo análisis permita la creación del modelo matemático de regionalización para el diseño de pozos eyectores pluviales en el drenaje de edificaciones. Con el objetivo de recopilar y analizar la información más relevante y actualizada en el campo de estudio, se llevó a cabo una metodología estructurada de tres fases que incluyó una búsqueda en diversas bases de datos y la posterior clasificación de los resultados obtenidos en una matriz.

En esta sección, se describirá detalladamente el enfoque y las fases que se siguieron durante la realización del estado del arte, proporcionando una visión clara de la metodología empleada.

5.1 Fase 1

La primera fase consiste en la recopilación de la información, para ello se tomó información que se delimitó en un espacio temporal y se generó un inventario bibliográfico a fin de delimitar los campos de interés vinculados; los recursos utilizados para la monografía fueron de tipo digital incluyendo las siguientes bases de datos: Google Scholar, Science Direct, EBSCO, Mendeley, Ambientalex, IEEE, Scielo, E-journal, Scopus, Scimago Journal & Country Rank.

En la búsqueda de la información se consideraron palabras y expresiones clave en tres idiomas inglés, portugués y español, con el fin de abarcar la mayor cantidad de literatura disponible. Para la identificación de las palabras y expresiones clave, se realizó una revisión inicial de la literatura existente sobre el tema, lo que permitió obtener una comprensión sólida de los conceptos clave y los términos utilizados en el campo de estudio.

A partir de esta revisión, se construyó una lista de palabras y expresiones clave que se consideraron relevantes para la búsqueda:

- Infiltración urbana
- Drenaje
- Escorrentía
- Escorrentía urbana
- Sistemas urbanos
- Pozos de infiltración
- Intensidad de lluvia
- Drenajes Pluviales

- Curvas de Intensidad Duración y Frecuencia (IDF)
- Tormentas de diseño
- Coeficientes de escorrentía
- Infiltración de agua lluvia
- Aguas pluviales
- Sistemas de drenaje de aguas pluviales
- Modelos de escorrentía urbana
- Gestión de aguas pluviales
- Escorrentía superficial
- Métodos de regionalización
- Regionalización
- Rendimiento de regionalización
- Regionalización de datos
- Regionalización de variables pluviométricas

Posteriormente, se utilizó la lista de las palabras y expresiones clave para realizar las búsquedas en las diferentes bases de datos digitales y de diversos tipos como: artículos, libros, trabajos de investigación, entre otros. También, se emplearon combinaciones de palabras clave ampliando el campo de resultados obtenidos. La unidad de estudio reseñará con un aproximado de 72 documentos.

Por lo tanto, en la selección de los documentos se estructuraron en dos (2) elementos, los criterios de exclusión a partir del problema y los intereses del grupo investigador; los criterios de inclusión representados en los tópicos relevantes de la investigación (Barbosa Chacón, Barbosa Herrera, & Rodríguez Villabona, 2013) (Ver Tabla 2).

Tabla 2 *Revisión de fuentes de información*

Criterio	Descripción
Criterios de exclusión	Publicaciones que no contengan información de interés a pesar de contener los términos de búsqueda o combinación de ellos. Publicaciones con metodologías insuficientes, en referencia a diseños pocos robustos, falta de control de las variables, muestras pequeñas o ausencia de validación de instrumentos utilizados. Publicaciones con fechas anteriores al 2002.

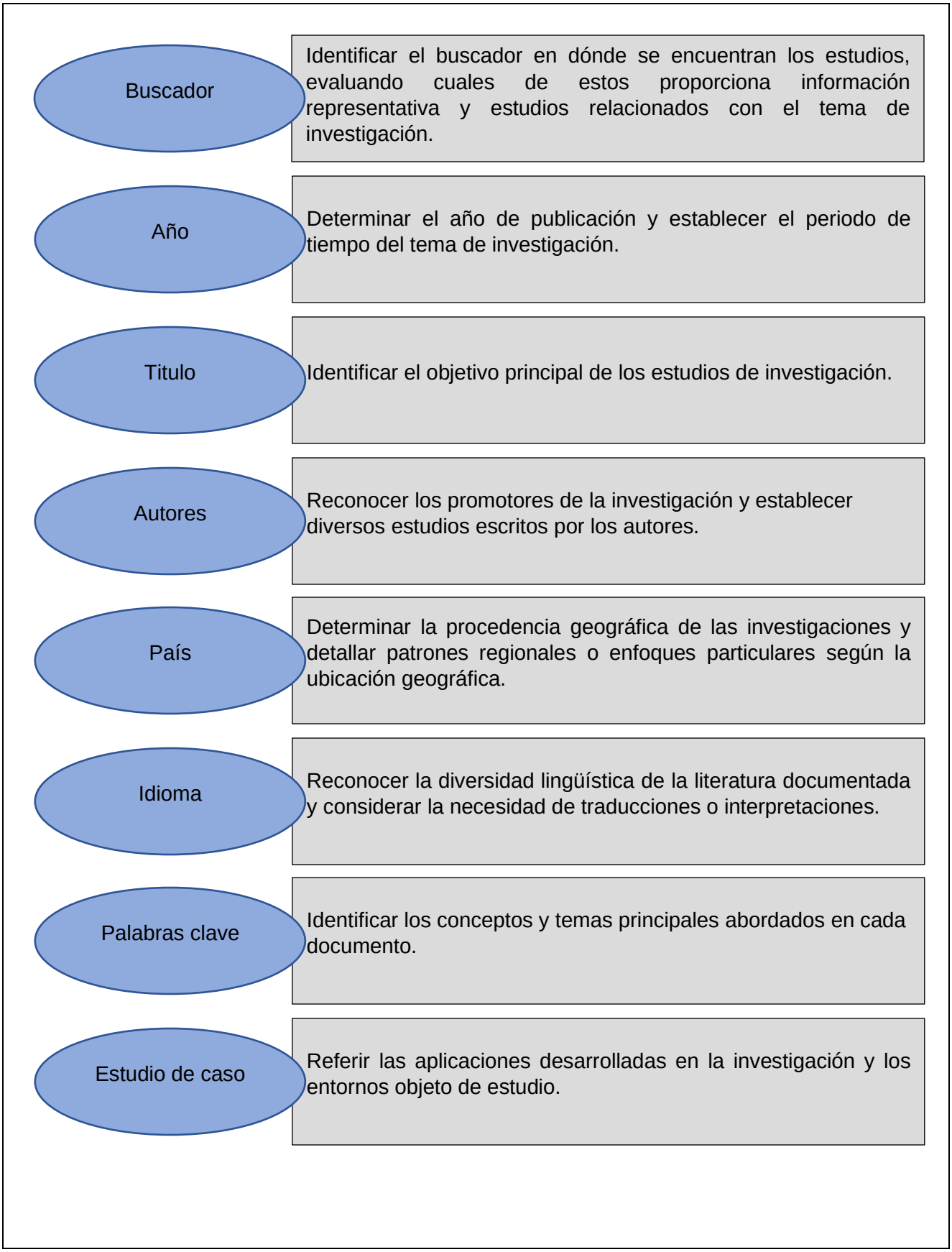
Criterio	Descripción
Criterios de inclusión	Estudios que aborden la pregunta de investigación y aporten información relevante que permita comprender el estado actual del campo de estudio. Calidad en la metodología de los estudios, los cuales cumplan estándares de metodología científica, que contengan muestras representativas, análisis estadísticamente válidos y procedimientos que puedan respaldar conclusiones el estado del arte. Estudios que comprendan la trayectoria y los aportes al tema de investigación de los últimos 20 años.

Fuente: Basado en (Barbosa Chacón, Barbosa Herrera, & Rodríguez Villabona, 2013)

5.2 Fase 2

Una vez seleccionados los documentos, se procede a realizar una clasificación sistemática de la información obtenida. Con el objetivo de organizar y analizar de manera eficiente los datos recopilados, se crea una matriz de datos que permitió registrar varias características de cada documento.

El diseño de la matriz se realiza de forma estructurada incluyendo aspectos relevantes de los documentos seleccionados. A continuación, se presenta un esquema que describe los aspectos definidos en la matriz y la información que se registra en cada una de ellas, como se muestra en la Figura 1.


Buscador
Identificar el buscador en dónde se encuentran los estudios, evaluando cuales de estos proporciona información representativa y estudios relacionados con el tema de investigación.
Año
Determinar el año de publicación y establecer el periodo de tiempo del tema de investigación.
Titulo
Identificar el objetivo principal de los estudios de investigación.
Autores
Reconocer los promotores de la investigación y establecer diversos estudios escritos por los autores.
País
Determinar la procedencia geográfica de las investigaciones y detallar patrones regionales o enfoques particulares según la ubicación geográfica.
Idioma
Reconocer la diversidad lingüística de la literatura documentada y considerar la necesidad de traducciones o interpretaciones.
Palabras clave
Identificar los conceptos y temas principales abordados en cada documento.
Estudio de caso
Referir las aplicaciones desarrolladas en la investigación y los entornos objeto de estudio.

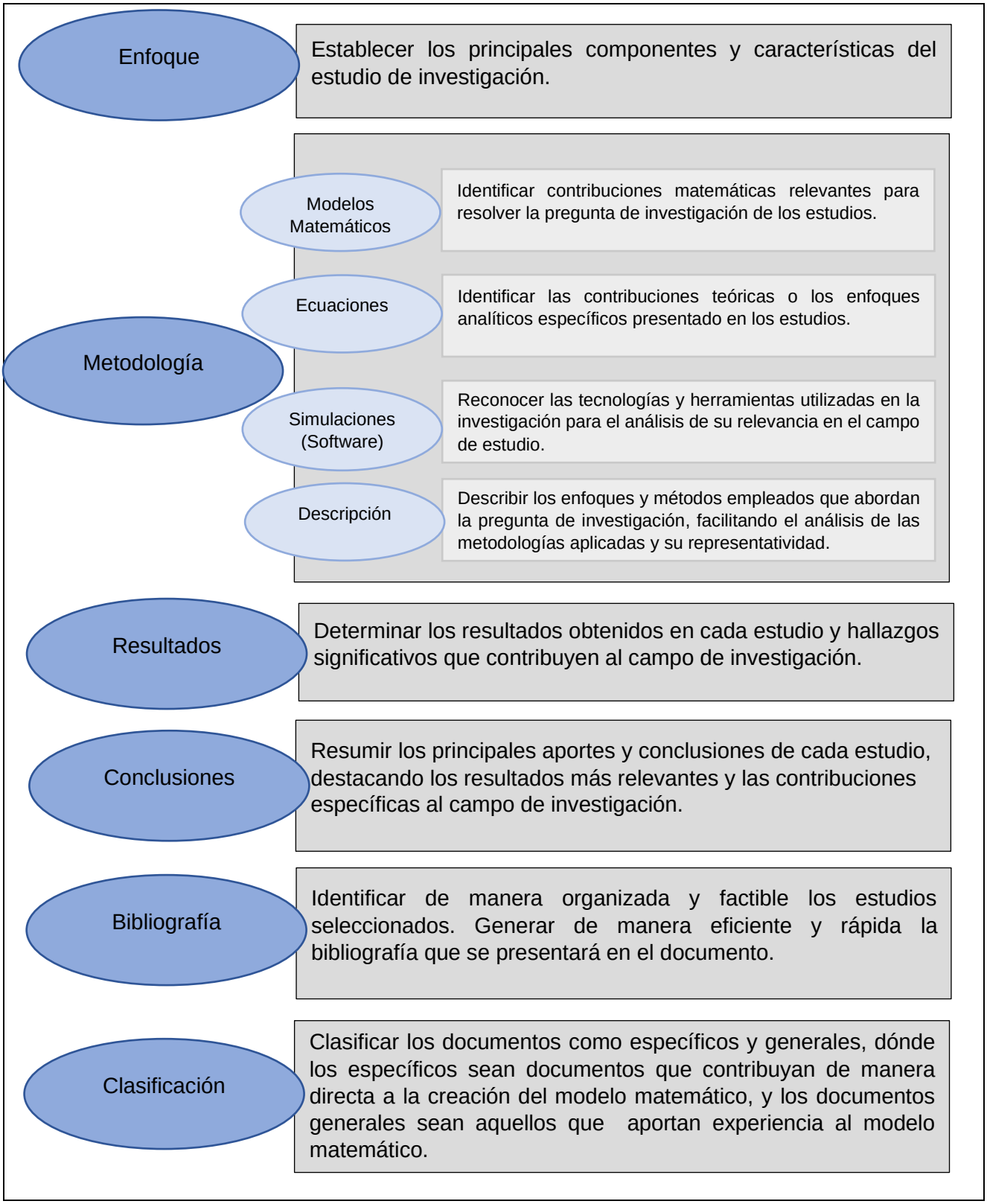


Figura 1. *Categorías de la matriz*
Fuente: Autores

La creación y el diligenciamiento de la matriz de datos proporciona una estructura sistemática para la organización y el análisis de la información recopilada de los documentos seleccionados, siendo esta una herramienta eficaz para realizar comparaciones y resumir las características clave de cada uno de los estudios presentados, lo que posteriormente facilitará la síntesis y la elaboración del estado del arte.

5.3 Fase 3

Para esta fase, se lleva a cabo un análisis exhaustivo de la información recopilada en la matriz, la cual contiene datos relevantes sobre los documentos seleccionados. El objetivo principal de este análisis es identificar patrones, tendencias y relaciones significativas entre los diferentes elementos registrados en las categorías de dicha matriz, esto contribuirá en la creación del modelo matemático de regionalización para el diseño de pozos eyectores pluviales en el drenaje de edificaciones.

El análisis se realiza de manera sistemática con la revisión de cada una de las categorías registradas en la matriz, examinando los contenidos temáticos de los documentos para identificar temas recurrentes o áreas de enfoque específicas en el campo de investigación.

Se exploran los enfoques metodológicos empleado en los documentos de estudio, lo cual permite identificar las técnicas y métodos comunes o efectivos en los estudios de infiltración urbana, gestión de aguas pluviales, regionalización de datos, usos de suelo, recarga subterránea y coeficientes de escorrentía.

Además, se analizan los países de origen de los estudios de investigación, con el fin de comprender las contribuciones regionales en el campo de investigación y la existencia de las diferencias geográficas en los enfoques y resultados obtenidos. Así mismo, se revisaron los aportes y conclusiones clave de cada estudio, buscando identificar los resultados más relevantes y las tendencias emergentes. Esto proporciona una visión general de las contribuciones significativas y las brechas de conocimiento que aún requieren mayor exploración.

El análisis de la información extraída de la matriz se utiliza como insumo fundamental para el estado del arte, permitiendo identificar patrones y relaciones que contribuyan para definir las variables y parámetros significativos en la creación de un modelo matemático de regionalización para el diseño de pozos eyectores pluviales en el drenaje de edificaciones.

6. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

6.1 Análisis de las bases de datos

En esta sección, se presentan los resultados y análisis de resultados de la búsqueda de palabras clave en tres idiomas (español, inglés y portugués), evaluando la disponibilidad y la cantidad de documentos encontrados en cada idioma y en diferentes bases de datos digitales. Para ello, las palabras y expresiones clave que se tuvieron en cuenta para la recopilación de la información, son las mencionadas en la fase 1 de la metodología anteriormente descrita.

En la Tabla 3 se describe el número de documentos que se presentan por cada base de datos e idioma.

Tabla 3 *Descripción de palabras clave por base de datos e idioma*

Palabra Clave	Idioma	Google schoolar	ScienceDirect	Scielo	Scopus	EBSCO
Infiltración urbana	Español	15.800	104	10	104	2
Infiltration urban	Ingles	137.000	33.140	63	33.865	453
Infiltração urbana	Portugués	15.800	4	16	4	4
Drenaje	Español	68.700	13.754	1.359	14.566	2.414
Drainage	Ingles	2.340.000	522.839	3.016	536.743	169.910
Drenagem	Portugués	71.100	698	1.353	704	1.000
Escorrentía	Español	35.300	39	220	59	527
Runoff	Ingles	1.200.000	158.898	974	162.433	126.372
Escoamento	Portugués	75.200	80	866	104	1.093
Escorrentía Urbana	Español	20.300	12	19	14	6
Urban Runoff	Ingles	294.000	49.747	139	50.501	77.158
Escoamento Urbano	Portugués	17.200	8	24	8	9
Sistemas urbanos	Español	65.400	3.413	296	3.615	672
Urban Systems	Ingles	33.800	636.728	955	648.922	105.049
Sistemas Urbanos	Portugués	55.000	3.413	296	3.615	672
Pozos de infiltración	Español	16.300	112	12	116	10
Infiltration Wells	Ingles	17.800	458.897	14	470.076	2.620
Poços de Infiltração	Portugués	15.800	1	7	1	8
Intensidad de lluvia	Español	22.100	234	91	243	146
Rainfall Intensity	Ingles	959.000	108.348	357	110.417	12.925
Intensidade de Chuva	Portugués	23.800	13	159	16	48
Drenajes pluviales	Español	16.200	8	2	10	2

Palabra Clave	Idioma	Google schoolar	ScienceDirect	Scielo	Scopus	EBSCO
Stormwater Drainage	Ingles	21.400	7.599	38	7.711	1.893
Drenagem de Águas Pluviais	Portugués	16.500	1	28	1	20
Curvas de Intensidad Duración y Frecuencia	Español	16.000	1.344	5	1.376	7
Intensity Duration Frequency Curves	Ingles	18.000	172.577	7	176.532	609
Curvas de Intensidade Duração Frequência	Portugués	15.900	24	4	24	1
Tormentas de diseño	Español	15.600	207	13	208	14
Design Storms	Ingles	18.000	110.769	10	113.370	2.042
Chuvas de Projeto	Portugués	17.800	22	23	26	18
Coeficientes de escorrentía	Español	17.000	12	11	16	27
Runoff Coefficients	Ingles	65.800	72.792	43	74.094	2.428
Coeficientes de Escoamento	Portugués	15.600	23	31	23	38
Infiltración de agua lluvia	Español	16.100	37	26	41	23
Rainwater Infiltration	Ingles	242.000	11.245	27	11.446	714
Infiltração de Água da Chuva	Portugués	16.000	2	58	2	5
Aguas pluviales	Español	15.900	29	22	35	92
Stormwater	Ingles	150.000	15.809	88	16.035	39.418
Águas Pluviais	Portugués	15.900	4	61	5	98

Palabra Clave	Idioma	Google schoolar	ScienceDirect	Scielo	Scopus	EBSCO
Sistemas de drenaje de aguas pluviales	Español	15.800	7	1	9	1
Stormwater Drainage Systems	Ingles	22.500	7.347	12	7.455	658
Sistemas de Drenagem de Águas Pluviais	Portugués	15.600	1	6	1	8
Modelos de escorrentía urbana	Español	19.700	9	2	11	0
Urban Runoff Models	Ingles	127.000	38.875	12	39.418	292
Modelos de Escoamento Urbano	Portugués	14.200	4	1	4	0
Gestión de aguas pluviales	Español	15.900	9	5	11	7
Stormwater Management	Ingles	91.600	11.810	35	11.964	8.278
Gestão de Águas Pluviais	Portugués	16.000	3	16	3	6
Escorrentía superficial	Español	21.400	24	77	35	114
Surface Runoff	Ingles	334.000	133.918	373	136.776	36.051
Escoamento Superficial	Portugués	22.600	21	292	28	261
Métodos de regionalización	Español	18.900	113	17	115	4
Regionalization Methods	Ingles	29.500	227.855	29	999.996	603
Métodos de Regionalização	Portugués	16.300	7	24	8	4
Regionalización	Español	29.400	198	387	207	651
Regionalization	Ingles	87.800	262.114	656	999.996	10.232
Regionalização	Portugués	25.200	14	582	20	269

Palabra Clave	Idioma	Google schoolar	ScienceDirect	Scielo	Scopus	EBSCO
Rendimiento de regionalización	Español	10.700	27	4	27	1
Regionalization Performance	Ingles	23.600	482.916	57	493.138	148
Desempenho da Regionalização	Portugués	16.200	3	39	3	3
Regionalización de datos	Español	26.900	143	100	3	4
Data Regionalization	Ingles	37.600	234.607	169	999.996	306
Regionalização de Dados	Portugués	16.600	9	191	10	1
Regionalización de variables pluviométricas	Español	2.240	1	1	1	186
Rainfall Variable Regionalization	Ingles	17.900	81.783	2	83.215	1
Regionalização de Variáveis Pluviométricas	Portugués	6.030	0	0	0	158
Total		7.290.270	3.864.804	13.833	6.209.531	606.794

Fuente: Autores

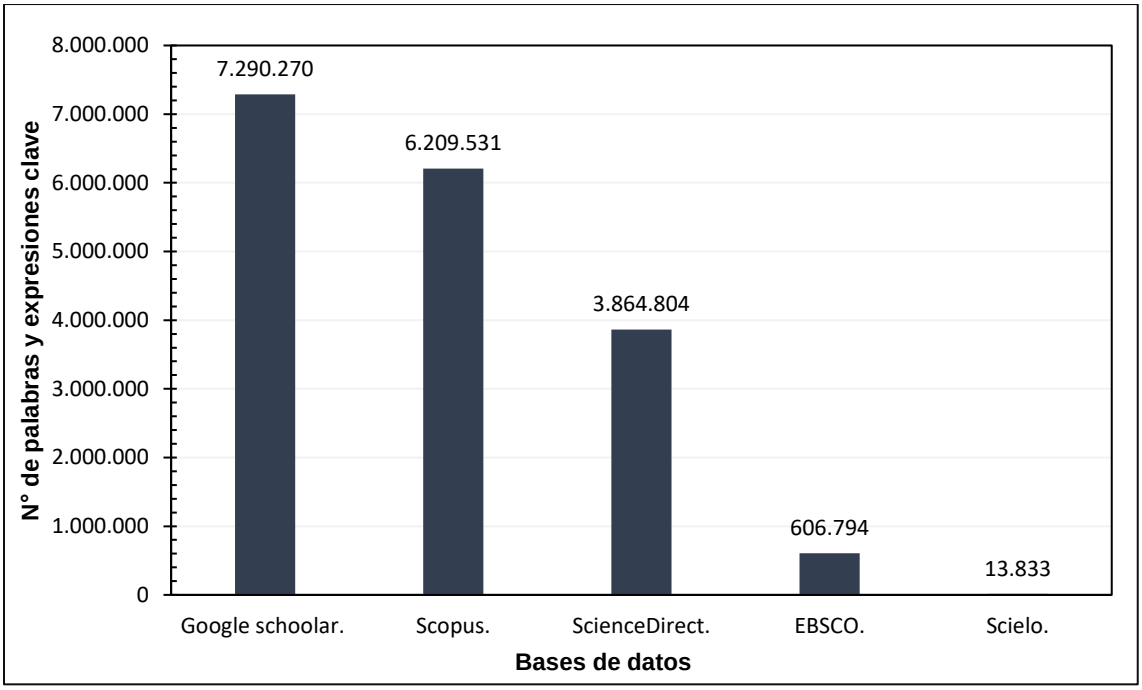


Figura 2. *Cantidad de palabras y expresiones clave por base de datos*

Fuente: Autores

En la Tabla 3 y la Figura 2 se logra identificar el buscador con más resultados de documentos, siendo este la base de datos Google Schoolar, seguido de Scopus, Science Direct, EBSCO y finalmente Scielo. Refiriendo un sistema de evaluación bibliométrica para revistas científicas, que ofrece resultados confiables y válidos; por su parte, Google Schoolar presenta una cobertura más amplia que otras bases de datos (Delgado & Repiso, 2013).

Lo anterior, permite identificar y localizar documentos en diferentes bases de datos, sin ninguna restricción en cuanto a la ubicación geográfica e idioma, lo cual permite la identificación y localización de revistas en los diferentes buscadores. Un buscador no controla exhaustivamente todas las revistas existentes, por ende, es necesario utilizar las bases de datos en conjunto (Delgado & Repiso, 2013).

A partir de la información recolectada en las Figura 2 y Figura 3, se evidencia la cantidad de información por base de datos e idioma que predominan en la búsqueda y evalúan la disponibilidad de información que se encuentra en la web, de acuerdo con las palabras y expresiones clave.

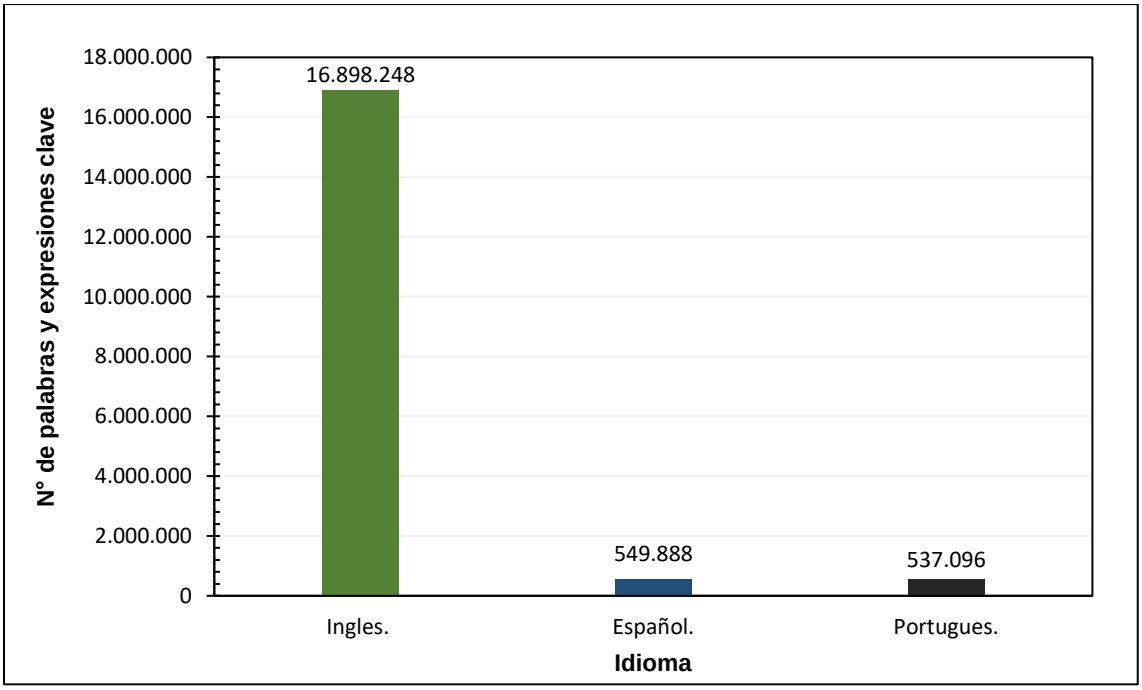


Figura 3. *Cantidad de palabras y expresiones clave por idioma*

Fuente: Autores

Como se muestra en la Figura 3, la producción científica está representada en mayor proporción en el idioma inglés, reconociendo éste como un idioma universal y lenguaje de acceso global, haciendo posible la comunicación entre los investigadores en cualquier parte del mundo. Es pertinente aclarar, que las producciones científicas en ingles estadísticamente presentan un mayor número de citaciones que en otros idiomas (Elsevier Connect, 2019).

6.2 Clasificación y análisis de la matriz del estado del arte

Conforme a la información consignada y analizada en la matriz, se identifican los datos relevantes de los documentos de estudios seleccionados. El periodo de tiempo se comprendió entre el año 2002 e inicios del año 2023.

En el anexo A se presenta la matriz con la información consignada y sintetizada, a partir de esta información se relacionan los aspectos de la matriz, tales como:

La Figura 4 presenta los resultados de los documentos seleccionados señalando el año de publicación con relación al número de documentos hallados.

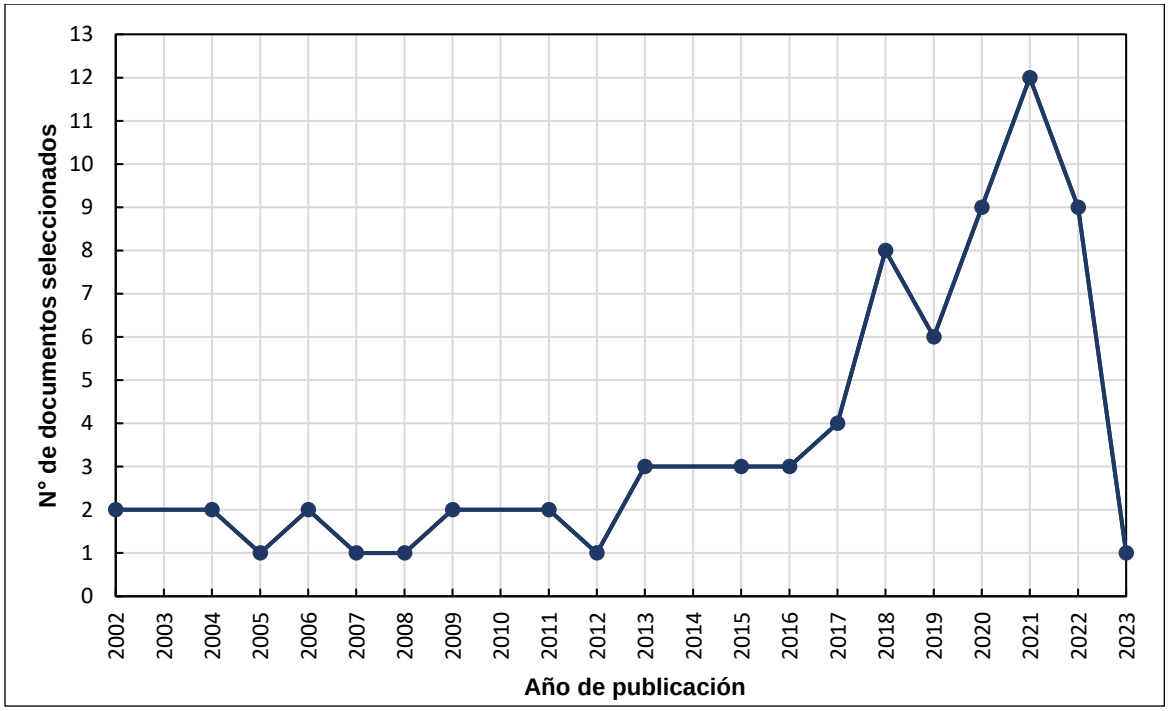


Figura 4. *Documentos seleccionados por año de publicación*

Fuente: Autores

Lo anterior, representa el avance obtenido en el campo de investigación a lo largo del tiempo, presentando para el año 2021 un aumento en la cantidad de producciones científicas. De igual manera, se observa que a lo largo de los años se ha presentado un creciente interés en el estudio de cuencas urbanas, lo que refleja la importancia de comprender y gestionar el flujo de agua en entornos urbanos de rápida expansión.

Para el año 2002 se llevó a cabo investigaciones relacionadas con la regionalización de caudales y la comprensión de la contaminación de fuentes de áreas urbanas, con enfoque en la recopilación de datos y la identificación de factores clave para la predicción de la escorrentía y la concentración de los contaminantes (Baena, 2002) (Brezonik & Stadelmann, 2002).

En el año 2004 los documentos presentan la compresión de la recarga de acuíferos y metodologías para la identificación de regiones hidrológicamente homogéneas en cuencas hidrográficas, contribuyendo a una gestión más eficiente de los recursos hídricos en áreas específicas con desafíos relacionados a la disponibilidad de agua (Vélez & Vásquez, 2004) (del Carmen Paris & Zucarelli, 2004).

En el año 2005 la investigación se centró en la simulación del comportamiento de la escorrentía de drenajes urbanos con instalaciones de infiltración. Lo cual destaca la importancia de considerar cambios dinámicos en la capacidad de almacenamiento y las tasas de infiltración de estas instalaciones para obtener una simulación más precisa y mejorada de la gestión de aguas pluviales (Furumai, Jinadasa, Murakami, Nakajima, & Aryal, 2005).

Para el año 2006 se llevaron investigaciones relacionadas con la gestión de aguas urbanas y el cambio del uso del suelo, utilizando modelos de simulación y técnicas de análisis espacial. Se obtiene información que contribuye a comprender y abordar desafíos relacionados a la gestión de aguas pluviales urbanas y suburbanas (Henríquez & Azócar, 2006) (Dupont, Mestayer, Guilloteau, Berthier, & Andrieu, 2006).

Para el año 2007 la investigación se relacionó con la estimación de tasas de infiltración superficial de pavimentos permeables, que se realizaron a través de pruebas de mantenimiento simulado. Resaltando la importancia el mantenimiento adecuado de los pavimentos permeables y su proximidad a áreas de suelo perturbado donde influyeron las tasas de infiltración. El estudio mejora la comprensión de la gestión de agua en infraestructuras urbana en diferentes contextos geográficos (Bean, Hunt, & Bidelspach, 2007).

Para el año 2008 el estudio se centró en investigar los efectos de la urbanización en la escorrentía de áreas urbanas, donde se destacó la importancia de los cambios en el uso de los suelos, su influencia en el ciclo hidrológico y los riesgos de inundación en los entornos urbanos (Kure, Watanabe, Akabane, & Yamada, 2008).

Para el año 2009 los documentos se centraron en avanzar en metodologías para el diseño de sistemas de drenaje urbano de aguas pluviales. Esto por medio de una simulación continua y la comparación con métodos tradicionales, que proporcionó información para la planificación y gestión de los sistemas de drenaje en entornos urbanos, enfocado en la retención y el control de caudales (Monsalve, Simulación continua de lluvias para el diseño de sistemas de drenaje urbano, 2009) (Gómez-Valentín, Macchione, & Russo, 2009).

En el año 2011 los documentos se centraron en el desarrollo y la calibración de un modelo de predicción de lluvias máximas basadas en la relación entre la intensidad, duración y periodo de retorno de la lluvia. El uso de la interpolación espacial de los parámetros del modelo permitió obtener información detallada sobre la variación geográfica de los parámetros y contribuir a la gestión de los riesgos relacionados con eventos extremos (Rico, Dasso, García, & Nelli, 2011) (Álvarez-Olguín, Hotait-Salas, & Sustaita-Rivera, 2011).

En el año 2012 la investigación abordó cómo los sistemas de drenaje de aguas lluvia en edificios, responden a eventos climáticos y cómo estos se ven afectados por el cambio climático. Se destacó considerar factores en el diseño y planificación en los sistemas de drenaje que ayuden a garantizar su eficacia y adaptabilidad a un entorno cambiante (Jack & Kelly, 2012).

Para el año 2013 los artículos abordaron temas relacionados a la estimación de parámetros hidrológicos en entornos urbanos, la regionalización de estos parámetros y la representación cartográfica de la escorrentía superficial en áreas urbanas y no urbanas. Teniendo el enfoque en aplicaciones prácticas en la gestión del agua y la planificación urbana (Alejandro-Sánchez & Martínez-González, 2013) (Wallner, Haberlandt, & Dietrich, 2013) (Lobo & Kearney, 2013).

En el año 2015 estos documentos abordaron temas como el diseño óptimo de tanques de detección en sistemas de drenaje urbano, la mejora en la parametrización del almacenamiento de agua en la escorrentía en modelos urbanos y su evaluación en áreas de rápida urbanización para el impacto producido en el ciclo hidrológico (Li, Duan, Yan, & Tao, 2015) (Wouters, Demuzere, De Ridder, & van Lipzig, 2015) (Bajracharya, Rai, & Rana, 2015) .

Para el año 2016 los artículos comprenden de temas en la hidrología, como la estimación de parámetros de diseño hidrológico, clasificación de cuencas para estimar curvas de duración de caudal mediante la clasificación de cuencas en grupos homogéneos y la medición de tasas de infiltración en superficies permeables en entornos urbanos (Botelli, Catalini, García, & Guillén, 2016) (Boscarello, Ravazzani, Cislaghi, & Mancini, 2016) (Alizadehtazi, y otros, 2016).

En el año 2017 los documentos se enfocaron en desarrollar modelos regionales de caudales, aplicado a cuencas sin registro hidrométrico, la planificación de recursos hídricos y la gestión de aguas pluviales en diferentes regiones geográficas analizando la eficacia de las características de diseño (Lujano Laura, Quispe Aragón, Lujano Laura, & Tapia Aguilar, 2017) (Bazzo, Guedes, Castro, Siqueira, & Teixeira-Gandra, 2017) (Goh, Radhakrishnan, Zevenbergen, & Pathirana, 2017) (Domínguez, Arganis, Carrizosa, & Esquivel, 2017).

En el año 2018 los documentos aportan diversos aspectos de la hidrología, la estimación del coeficiente de escorrentía basadas en imágenes satelitales y observaciones de campo, estimar la escorrentía para diferentes periodos con modelos climáticos globales y algoritmos de regionalización, evaluar métodos de regionalización, analizar los riesgos de la escorrentía urbana y el impacto del cambio climático en los recursos hídricos, proporcionando información para la gestión de aguas pluviales y planificación de los recursos hídricos en diferentes contextos y regiones (Chiarito, Zimmermann, & Zacarías, 2018) (Barranco, Dimas, Jiménez, & Estrada, 2018)

(Muñoz Barragán & Zamudio Huertas, 2018) (Cecílio, Zanetti, Gasparini, & Catrinck, 2018) (Yao, Wei, Yu, Xiao, & Chen, 2018) (Yin, y otros, 2018) (Li, y otros, Assessing the impact of urbanization on direct runoff using improved composite CN method in a large urban area, 2018) (Voter & Loheide, 2018).

En el año 2019 se considera la importancia de las diferentes estructuras de infiltración evaluando sus capacidades de infiltración, se discuten procesos de regionalización en hidrología y sus comportamientos homogéneos, comprender cómo la urbanización afecta el ciclo hidrológico en áreas urbanas, las prácticas de gestión de aguas pluviales para la mitigación de inundaciones y la contaminación del agua. También se resaltan la utilidad de la teledetección y el modelado hidrológico en la planificación de los recursos hídricos (Bouarafa, Lassabatere, Lipeme-Kouyi, & Angulo-Jaramillo, 2019) (Xu, y otros, 2019) (Li, y otros, 2019) (Holanda & Soares, 2019) (Shao, Fu, Li, Altan, & Cheng, 2019) (Randall, Fensholt, Zhang, & Bergen Jensen, 2019).

Para el año 2020 se fundamenta una visión general del análisis hidrológico enfocado en diseño de sistema de alcantarillado pluvial en el contexto de la gestión de aguas pluviales, la experimentación de infiltración en un área determinada comprendiendo la variabilidad espacial de las características de parámetros hidrológicos y considera un modelo de optimización por etapas. Cada uno de los estudios está enfocado, principalmente, en el entendimiento y la planificación de sistemas de drenaje más efectivos y resilientes en entornos urbanos (Environmental Services, C. of P. B. of., 2020) (Mahapatra, Jha, Biswal, & Senapati, 2020) (Abd-Elhamid, Zeleňáková, Vranayová, & Fathy, 2020) (Rammal & Berthier, 2020) (Fidal & Kjeldsen, 2020) (Gutiérrez-López & Aparicio, 2020) (Liu, Feng, Deo, Yao, & Wei, 2020) (Xu, y otros, 2020) (Xu, Ma, Xu, Lian, & Long, 2020).

En el año 2021 se proporciona información en cuanto en cuanto a la gestión de inundaciones urbanas en Europa, discutiendo las vulnerabilidades en inundaciones repentinas en un contexto de cambio climático; se presenta modelado hidrológico en aguas subterráneas poco profundas relacionando las interacciones entre los proceso del subsuelo y la hidrología superficial; se analiza a partir de la modelación la disponibilidad y calidad del agua en una cuenca en México; se realiza el análisis de componentes principales para el estudio de patrones diarios de precipitación; se hace uso de la modelación para la simulación de la escorrentía en diferentes escenarios de lluvia, el modelo hidrológico que se presenta con mayor frecuencia en los estudios es el SWMM (Storm Water Management Model), donde se abordan diferentes aspectos de la gestión de agua y la importancia de considerar el cambio climático (Quagliolo, Comino, & Pezzoli, 2021) (Pophillat, Sage, Rodriguez, & Braud, 2021) (Vázquez-Ochoa, Correa-Sandoval, Vargas-Castilleja,

Vázquez-Sauceda, & Rodríguez-Castro, 2021) (Cifuentes-Santibáñez & Vargas-Baecheler, 2021) (Cárdenas & Vidangos, 2021) (Arjenaki, Sanayei, Heidarzadeh, & Mahabadi, 2021) (Wu, Ren, & Zhu, 2021) (Rosenberger, Leandro, Pauleit, & Erlwein, 2021) (Padulano, y otros, 2021) (Nugroho & Hadi, 2021) (Ali, Pandey, Chaudhuri, Behera, & Jeyakumar, 2021) (Qiang, y otros, 2021).

Para el año 2022 los estudios se enfocaron en la compresión y categorización de la infiltración en superficies de revestimiento, las mejoras en precisiones de simulaciones hidrológicas urbanas, donde se destaca la influencia de la infraestructura verde para la reducción de la escorrentía. También se muestra la importancia de la capacidad de infiltración en suelos urbanos, que impulsan la necesidad de enfoques de aprendizaje automático para la gestión efectiva de aguas pluviales. Según los autores (Zhang, y otros, 2022), se abarca la construcción de parques inundables como solución para mitigar las inundaciones en áreas urbanas (Van Linden & Van Den Bossche, 2022) (Zhang & Parolari, 2022) (Marazuela, y otros, 2022) (Velásquez, Mantilla, Krajewski, Quintero, & Zanchetta, 2022) (Song, y otros, 2022) (Bergeson, Martin, Doll, & Cutts, 2022) (Boogaard, 2022) (Arévalo Paredes, 2022).

Finalmente, para inicios del año 2023 el estudio aborda la comparación de métodos convencionales de regionalización con el método SRS (Similitud de Respuesta a los Sedimentos), el cual utiliza el modelo de herramientas de evaluación de suelos, aguas y mapas autoorganizados, con el fin de determinar la carga de sedimentos en cuencas no aforadas (Ang, Kinouchi, & Zhao, 2023).

Dentro de los diferentes estudios abordados, se refleja la existencia de modelos que han contribuido a la evolución de la hidrología y la gestión del agua pluvial hacia enfoques más avanzados y precisos, considerando la variabilidad espacio temporal y la adaptación a eventos climáticos extremos. Lo anterior, permite apreciar los avances realizados a lo largo del tiempo, los cuales buscan soluciones sostenibles y eficientes que contribuyan en la mitigación de impactos antropogénicos y en el diseño de infraestructuras de gestión de aguas pluviales.

A continuación, en la Figura 5 y Figura 6 se expone el número de documentos estudiados por país.

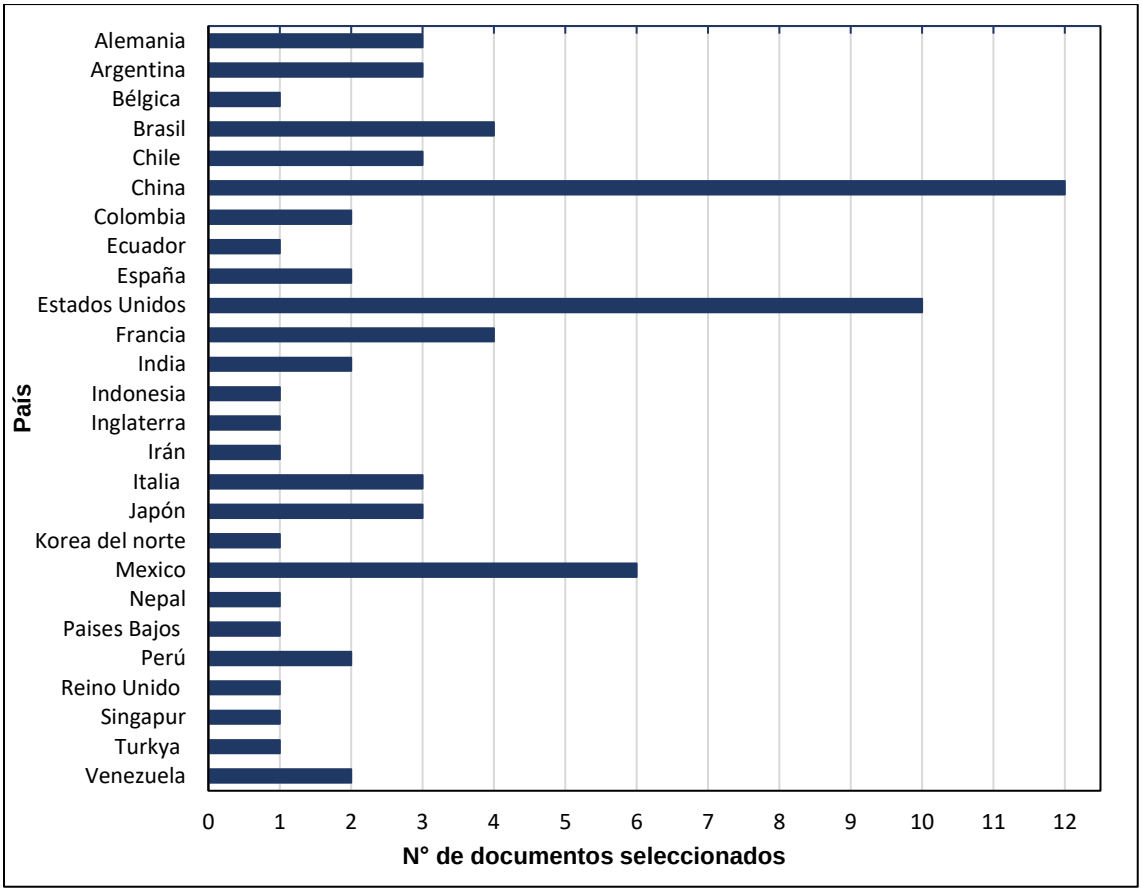


Figura 5. *Documentos seleccionados por país*

Fuente: Autores

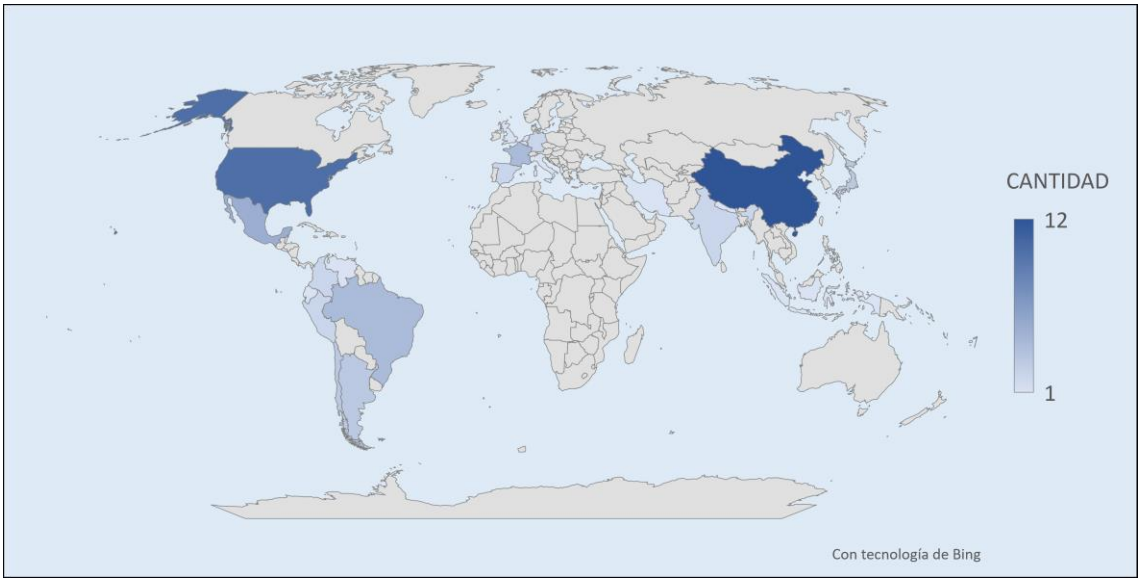


Figura 6. *Ubicación geográfica de resultados de documentos seleccionados*

Fuente: Autores

Los países que aportaron un mayor número de documentos en la matriz fueron China, seguido de Estados Unidos y México. Esto debido a las transformaciones de sus ciudades, que presentan cambios a los ecosistemas urbanos, impactando la biodiversidad, crecimientos poblacionales y la concentración de núcleos urbanos (Gonzalez Elizondo, y otros, 2003), que traen como consecuencia la expansión de enfermedades infecciosas tropicales (Becker, 1997), inundaciones de terrenos costeros y ciudades, aumento de sequías, aumento en la escorrentía superficial, tormentas intensificadas, entre otros (Lashof, 1997).

Por ello, los documentos muestran a su vez la incursión de la planificación y la gestión urbana para proporcionar un desarrollo sostenible con sistemas de espacios y procesos naturales que apoyan la resiliencia urbana (Riaño, 2020), además, de gestión de aguas pluviales que mejoren las condiciones de infiltración en el suelo y la recarga de acuíferos.

Dentro de los aspectos que se presentan en la matriz se identificaron los artículos más relevantes para la monografía, ya que presentan enfoques, metodologías y resultados particulares que contribuyen de forma específica a la creación del modelo matemático, en cuanto a los documentos restantes, estos aportan un contenido teórico robusto y aportan experiencia al modelo y se catalogaron como generales.

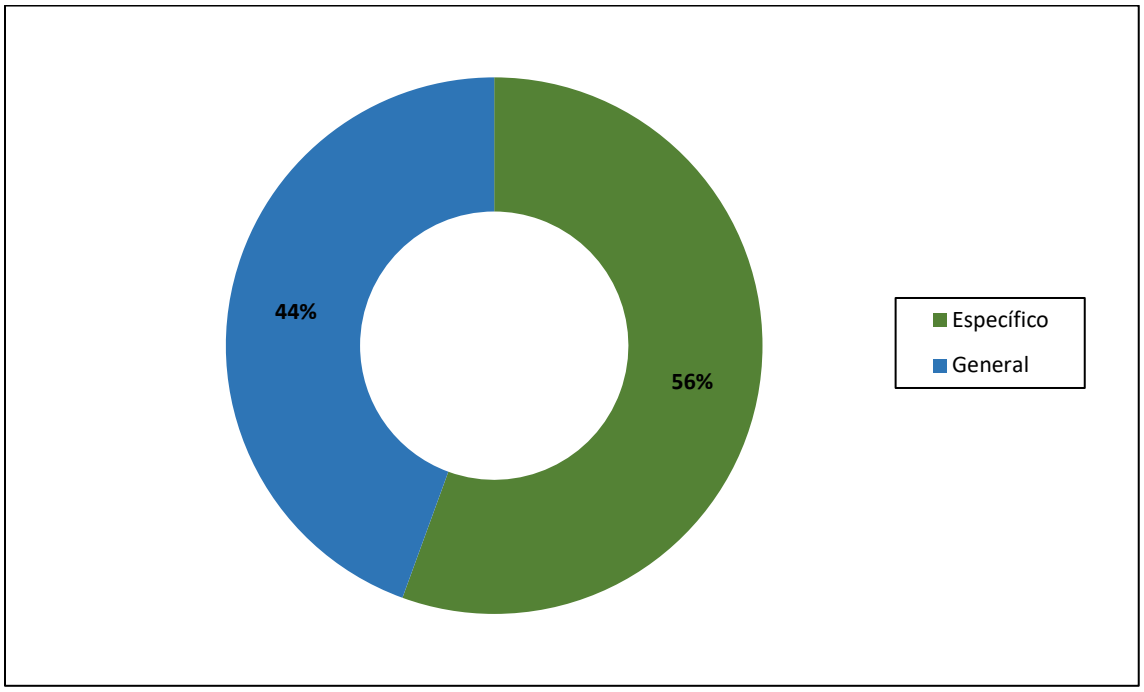
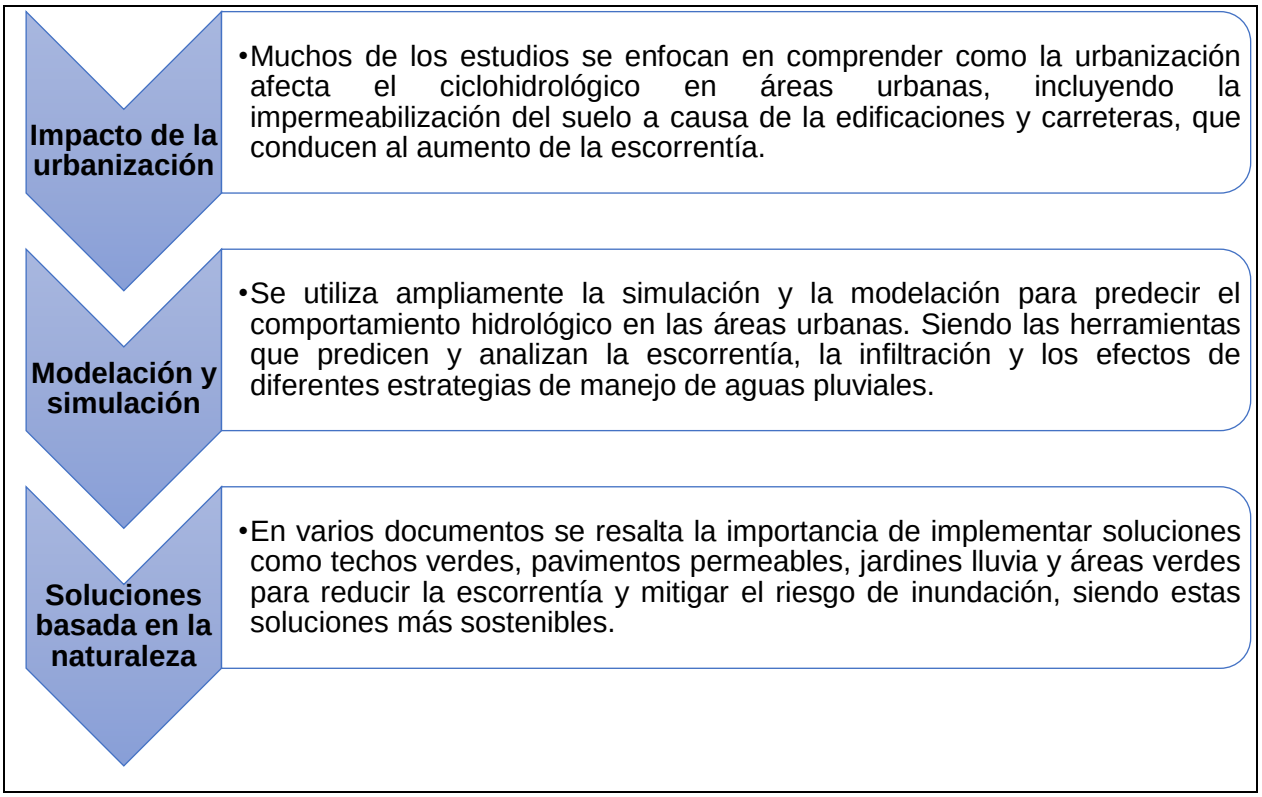


Figura 7. *Clasificación de los documentos seleccionados*

Fuente: Autores

Dentro de los aspectos que definen a los documentos como específicos, el enfoque, la metodología y los resultados que presentan similitudes, están dirigidos a la modelación hidrológica, la regionalización, la consideración del cambio climático y la búsqueda de soluciones para una gestión más eficiente y sostenible del agua en entornos urbanos. Se abordan aspectos específicos como infiltración urbana, gestión de aguas pluviales, optimización del diseño de sistemas de drenaje, la planificación de recursos hídricos y la predicción de inundaciones.

Las temáticas que se desarrollan principalmente en la matriz se presentan en la Figura 8:



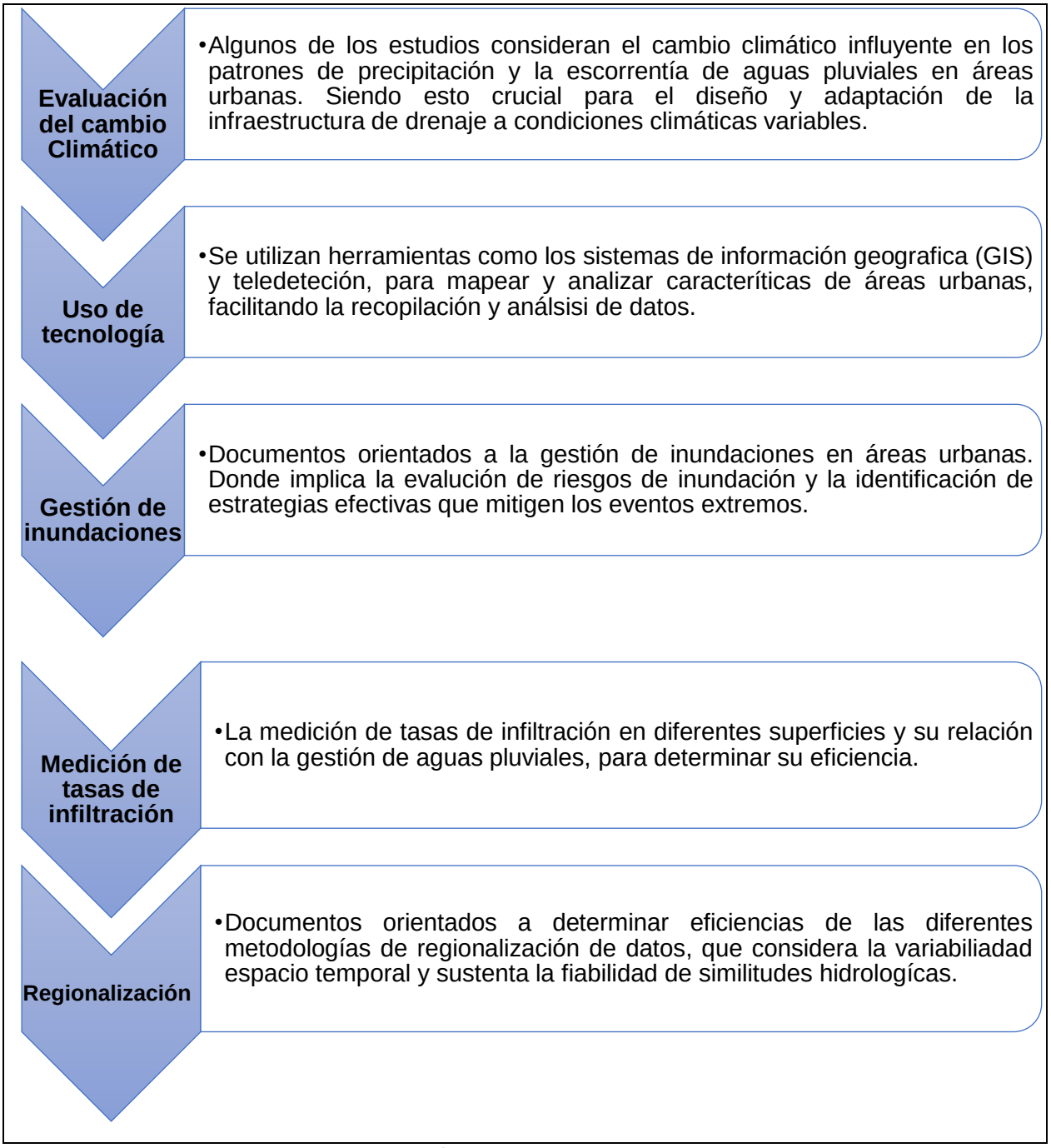


Figura 8. *Temáticas relacionadas en la matriz*
Fuente: Autores basado en la matriz

6.1 Contribuciones al modelo matemático

A continuación, se describe las contribuciones que se presentaron del análisis de la matriz para los documentos que se clasificaron como específicos (Ver la Tabla 4).

Tabla 4 *Contribuciones de los documentos a la creación del modelo matemático de regionalización para el diseño de pozos eyectores pluviales para el drenaje de edificaciones.*

Artículo	Contribuciones
Property-based rainwater drainage design and the impacts of climate change. (Diseño de drenaje de agua lluvia basado en la propiedad y los impactos del cambio climático)	El reconocimiento de la respuesta inestable de la red de drenaje, tanto en evento de lluvia específicos como a la naturaleza transitoria, se hace crucial comprender el rendimiento del sistema en condiciones climáticas presentes y futuras. La aplicación de técnicas de modelado numérico como el modelo ROOFNET permite identificar y especificar parámetros que son importantes como las dimensiones de la infraestructura de drenaje, el techo, la forma de canalones, canaletas y las geometrías de salida, para simular flujos no estacionarios en el sistema de drenaje de aguas pluviales, proporcionando una comprensión más precisa del sistema y de los posibles cambios en la capacidad del sistema bajo diferentes escenarios de cambio climático. También se resaltan parámetros para el proceso de diseño, como lo es la duración del evento que afecta el rendimiento del sistema y el perfil de una lluvia pico único. La utilización de un modelo estocástico de lluvia basado en el proceso Neyman-Scott Rectangular Pulse (NSRP) permite generar datos sintéticos de lluvia y aplicar perfiles de precipitación específicos para la cuenca de estudio. Esto es fundamental para estimar la superación en el sistema y prever posibles escenarios futuros en términos de inundaciones y capacidad del sistema de drenaje. La identificación de factores de riesgo como la acumulación de residuos en las canaletas, permite comprender las posibles limitaciones del sistema de drenaje (Jack & Kelly, 2012).

Artículo	Contribuciones
Metodologías para la estimación del coeficiente de escorrentía en áreas urbanizadas mediante teledetección.	El estudio se centra en comparar las metodologías convencionales para la estimación del coeficiente de escorrentía con dos métodos alternativos que utilizan teledetección para vincular los valores de escorrentía con los usos del suelo. La utilización de imágenes de satélite, como LANDSAT 8 y Google Earth, permite identificar y clasificar diferentes tipos de cobertura del suelo en áreas urbanas, esto es crucial para determinar el coeficiente de escorrentía asociado con cada tipo de cobertura del suelo y para comprender mejor los patrones de escorrentía en entornos urbanizados. También se presenta la relación entre los índices normalizados de construcción NDBI (Índice de Construcción de Diferencia Normalizada y UI (Índice de Urbanización) y los coeficientes de escorrentía áreas urbanas, ya que proporcionan información valiosa sobre la presencia y densidad de superficies urbanizadas, que influyen en los procesos de escurrimiento superficial e infiltración (Chiarito, Zimmermann, & Zacarías, 2018).
Métodos para determinar la recarga en acuíferos.	Se destaca cinco métodos principales para determinar la recarga de acuíferos: medidas directas, balance hídrico, técnicas de trazadores, aproximaciones de Darcy y métodos empíricos. En métodos de medición directa y balance hídrico implica el cálculo de los flujos de entrada y salida de un sistema para determinar la recarga al acuífero. Estos enfoques sirven como puntos de partida cruciales para la implementación de técnicas de medición y cálculo en el contexto de la modelización de la recarga para la infraestructura de drenaje pluvial. Las técnicas de trazadores para determinar las fuentes de recarga y las zonas de descarga son de utilidad para identificar y cuantificar el flujo de aguas subterráneas en contextos específicos. La adaptación de estas técnicas para estimar la recarga en áreas urbanas

Artículo	Contribuciones
	puede ser beneficiosa en la evaluación del comportamiento del agua en entornos de drenaje pluvial. En el método de ecuaciones empíricas la relación de la recarga con variables como la precipitación, puede considerar la influencia de la precipitación en la recarga de acuíferos y su relación con el drenaje pluvial en zonas urbanas. Para estimar la recarga cabe considerar variables como la humedad del suelo, los niveles de agua en los canales, niveles de agua subterránea, cabezales hidráulicos y velocidades de infiltración, para determinar con precisión la recarga en acuíferos. También recalca la importancia de medir el nivel freático utilizando pozos de observación para determinar la altura del nivel freático, lo que es representativo de un área y no de una medición puntual (Vélez & Vásquez, 2004).
Simulación continua de lluvias para el diseño de sistemas de drenaje urbano.	Se analiza y compara un método basado en la simulación continua con los métodos tradicionales que se basan en tormentas de diseño para el diseño de sistemas de drenaje urbano de aguas pluviales. Se basa en la simulación continua para proyectar sistemas de drenaje de aguas pluviales urbanas, utilizando datos extensos de precipitación para estimar la respuesta de captación y generar registro continuo de variables de diseño. Esto implica el uso de registros pluviográficos detallados y prolongados para comprender mejor la dinámica de las precipitaciones y su impacto en el drenaje urbano, lo que resulta en una mejora significativa en la precisión y la fiabilidad de los resultados. Una vez realizada la simulación se obtiene la curva de frecuencia que evalúa los efectos de la integración de prácticas de gestión de aguas pluviales, como *Best Management Practices* (BMP), en los volúmenes pico de escorrentía y en el escurrimiento. Estos

Artículo	Contribuciones
	hallazgos son cruciales para comprender cómo las prácticas de retención y control influyen en la cantidad de escorrentía y mejorar la calidad del agua. Se resalta la necesidad de una caracterización exhaustiva de las lluvias a partir de registros pluviográficos prolongados, así como, de una comprensión profunda de las propiedades físicas, hidráulicas e hidrológicas de la cuenca. Se enfatiza las ventajas de la simulación continua sobre las tormentas de diseño, como el uso de registros históricos de lluvias y la capacidad de simular respuestas de todos los eventos de tormenta, incluida la recuperación de la capacidad de infiltración del suelo durante los períodos secos (Monsalve, 2009).
Review of rainwater infiltration rates in wall assemblies. (Revisión de tasas de infiltración de agua lluvia en montajes de muros).	Está centrado principalmente en las tasas de infiltración de agua lluvia en conjuntos de muros y el impacto de las deficiencias y parámetros que afectan a la infiltración, proporciona una comprensión crítica de cómo factores como la porosidad del material, las uniones entre ladrillos y los tipos de revestimientos influyen en las tasas de infiltración. Como objetivo se propone obtener información sobre porcentajes de infiltración sin pruebas adicionales de laboratorio y desarrolla una categorización de materiales de revestimiento. Se destaca los procedimientos de prueba de estanqueidad utilizados en laboratorio y en campo, así como, la correlación entre estos parámetros y las condiciones climáticas. Este análisis proporciona una base sólida para comprender cómo las condiciones climáticas influyen en las tasas de infiltración y cómo estas pruebas son representativas de situaciones reales en el entorno construido. Dentro de los ensayos realizados para determinar la categorización y los porcentajes de infiltración, se tiene en cuenta los siguientes parámetros: diferencia de presión; tasa de deposición de agua, siendo esta la velocidad a la que el agua se rocía sobre la superficie

Artículo	Contribuciones
	del revestimiento; material de revestimiento, juntas en detalles de fachada, las interfaces ventana-pared, además, de la infiltración a través de la superficie del revestimiento. Existe una relación no lineal entre la tasa de infiltración de agua y la velocidad de pulverización. Esto sugiere que las tasas de infiltración máximas ocurren a una velocidad de pulverización específica, lo que tiene implicaciones importantes para la predicción y el diseño de sistemas de drenaje pluvial. El documento propone una tasa de infiltración del 1% según el estándar ASHRAE Standard 160 para casos en los que no se disponga de información específica sobre el material o el diseño del revestimiento. Sin embargo, se advierte que esta tasa puede subestimar las tasas de infiltración, lo que destaca la importancia de recopilar datos precisos y específicos para mejorar la precisión del modelo matemático propuesto. (Van Linden & Van Den Bossche, 2022).
Impact of stormwater infiltration on rainfall-derived inflow and infiltration: *A physically based surface–subsurface urban hydrologic model*. (Impacto de la infiltración de aguas pluviales en el flujo de entrada y la infiltración derivados de la lluvia: un modelo hidrológico urbano superficial-subsuperficial basado físicamente).	Se desarrollo un modelo de base física integrando procesos superficie-subsuperficiales y sistemas de alcantarillado urbano para cuantificar la partición de aguas pluviales infiltradas entre flujos lentos y rápidos. Lo anterior puede proponer información relevante para el diseño de sistemas de drenaje, ya que se evalúan la efectividad de implementación de infraestructura verde (GI) para la reducción de los picos en los sistemas de alcantarillado urbano y el desplazamiento de la escorrentía superficial a la evapotranspiración. Para comprender los factores que controlan la entrada directa superficial y la infiltración subsuperficial, como la relación precipitación/evapotranspiración, la profundidad del nivel freático y la densidad de defectos de alcantarillado sanitario.

Artículo	Contribuciones
	Se hizo uso de la ecuación 3-D de Richards habilitada en COMSOL para describir procesos hidrológicos subsuperficiales, con parámetros como capacidad de humedad específica (C), saturación efectiva del suelo (Se), coeficiente de almacenamiento (S), cabezal de succión del suelo (ps), conductividad hidráulica (K) y término fuentesink (Q) para simular transpiración. Para el cálculo de las tasas de infiltración se utilizaron las variables capacidad de infiltración (f), la profundidad del agua en el suelo (h) y el gradiente de profundidad de infiltración (L). Para las tasas de evaporación y transpiración (ET) del suelo subsuperficial se simularon utilizando un término de sumidero de dominio en el modelo, parametrizado con base en el contenido de humedad del suelo (Zhang & Parolari, 2022).
Stormwater management in urban areas using dry gallery infiltration systems. (Gestión de aguas pluviales en áreas urbanas mediante sistemas de infiltración de galería seca).	Se centra en la simulación del proceso de infiltración y la propagación del frente de humectación desde galerías secas utilizando un modelo de flujo insaturado 3D, proporcionando recomendaciones para la instalación y dimensionamiento de estas instalaciones. El uso de un modelo 3D de flujo no saturado permite simular con precisión el proceso de infiltración y la propagación del frente de humedecimiento desde las galerías secas. Este modelo ayuda a comprender cómo la infiltración de aguas pluviales evoluciona a lo largo del tiempo y cómo se puede gestionar de manera eficaz. La metodología utilizada se basa en el código FEFFLOW y en un modelo paramétrico de Van Genuchten-Mualem. Esta técnica de modelado en 3D proporciona una descripción precisa del flujo de agua subterránea en condiciones de saturación variable en las zonas vadosas asociadas con las galerías secas.

Artículo	Contribuciones
	Se evalúa la geometría y la velocidad de propagación de la frente humectante desencadenada por la infiltración de aguas pluviales desde galerías secas bajo configuraciones geológicas isotrópicas y estratificada. Para ello se tienen en cuenta en el diseño de estos sistemas la permeabilidad, las consideraciones insaturadas durante el proceso de infiltración, la configuración geológica estratificada, la geometría y las dimensiones de las galerías secas, consideración de la atenuación del gradiente hidráulico entre la galería y el acuífero a lo largo del tiempo, se maneja variables empíricas para la definición saturación efectiva y carga de presión. Se define la ecuación de la Ley de Darcy (Q = Kai) para estimar la tasa de infiltración descuidando las condiciones insaturadas. Todo esto con el fin de comprender el proceso de infiltración, la propagación del frente de humectación y proporcionar recomendaciones para la instalación y dimensionamiento de galerías secas (Marazuela, y otros, 2022).
Multi-Objective Optimal Design of Detention Tanks in the Urban Stormwater Drainage System: Framework Development and Case Study. (Diseño óptimo de objetivos múltiples de tanques de detención en el sistema de drenaje de aguas pluviales urbanas: desarrollo del marco y estudio de caso).	Desarrollo de un método robusto para el diseño de tanques de detección en cuencas complejas con políticas locales específicas de control de inundaciones. El enfoque de optimización multiobjetivo (MOO) utilizado en este estudio permite tener en cuenta diferentes criterios, como la minimización de costos de ingeniería y la reducción de riesgos de inundación. La combinación de simulaciones hidráulicas basadas en el modelo SWMM y un optimizador de enjambre de partículas modificado (NSPSO) permite encontrar soluciones no dominadas que abordan simultáneamente los objetivos de minimizar costos y reducir riesgos de inundación en la red de tanques de detención. Para el diseño de los tanques se toman en cuenta las consideraciones de factores como riesgos de inundación, pérdidas y limitaciones prácticas de construcción. Los sitios

Artículo	Contribuciones
	potenciales para tanques de detención se seleccionan en función de la topografía, el uso del suelo, la estructura geológica y la capacidad de almacenamiento disponible. Se realiza una comparación exhaustiva de diferentes escenarios de ubicación de tanques de detención y evalúa soluciones óptimas en función de múltiples parámetros. Esta comparación y evaluación contribuyen significativamente a la identificación de diseños óptimos y eficaces para la gestión de aguas pluviales en el contexto urbano (Li, Duan, Yan, & Tao, 2015).
Identification and Regionalization of Streamflow Routing Parameters Using Machine Learning for the HLM Hydrological Model in Iowa. (Identificación y regionalización de los parámetros de enrutamiento de caudales utilizando el aprendizaje automático para el modelo hidrológico HLM en Iowa).	Se establece un método novedoso para la identificación y regionalización de parámetros de enrutamiento para el Modelo de Paisaje Hidrológico (HLM), que está diseñado para simular flujos de agua para laderas individuales y enrutar el flujo de corriente a través de la red fluvial, mediante la implementación de diferentes ecuaciones y almacenamientos para representar los procesos de pendiente y enrutamiento. Este enfoque permite mejorar la precisión de las predicciones de caudal en cuencas que no han sido monitoreadas previamente. Se discute el uso de técnicas de aprendizaje automático para identificar y regionalizar parámetros de enrutamiento en el HLM, lo que sugiere que el modelo probablemente incluya variables relacionadas con el flujo de corriente, las características del canal y las propiedades de las cuencas hidrográficas. Se destaca la importancia de recopilar datos detallados, como registros de caudales de ríos, datos meteorológicos, y propiedades físicas y geomorfológicas del paisaje. Esto incluye el uso de Modelos Digitales de Elevación (DEM) y datos observados del coeficiente de Manning, entre otros, para mejorar la precisión de la identificación y regionalización de los parámetros de enrutamiento. Se examina dos escenarios de distribución espacial para

Artículo	Contribuciones
	parámetros de enrutamiento: una configuración global autosimilar donde toda la red fluvial comparten parámetros de enrutamiento uniformes en toda una región, y una configuración local autosimilar donde los parámetros son constantes para las cuencas subacuáticas, pero, varían a lo largo de la cuenca, tenido presente la heterogeneidad y las variaciones que pueda tener el comportamiento de ruteo de la red fluvial. Lo anterior para mejorar la precisión de la estimación de flujo pico y la estimación de tiempo máximo en el HLM. Dentro de los datos de entrada que se usaron para la regionalización del modelo hidrológico están: pendiente, longitud del canal, área de drenaje, coeficiente de rugosidad de Manning, número de nodos, tiempo de viaje, el orden de Horton y niveles de cuenca (Velásquez, Mantilla, Krajewski, Quintero, & Zanchetta, 2022).
Runoff Losses on Urban Surfaces during Frequent Rainfall Events: A Review of Observations and Modeling Attempts. (Pérdidas por escorrentía en superficies urbanas durante eventos de lluvia frecuentes: una revisión de observaciones e intentos de modelado).	Se desarrolla un análisis cuantitativo de los modelos de gestión de aguas pluviales en áreas urbanas, tanto en enfoques experimentales como los intentos de modelación para comprender y estimar el flujo de escorrentía en áreas urbanas durante eventos frecuentes de lluvia. Relaciona que los estudios de campo proporcionan información sobre los procesos determinantes que ocurren en diferentes tipos de superficie durante eventos frecuentes, como el almacenamiento de depresión y los procesos de infiltración en áreas pavimentadas. Al analizar la amplia gama de modelos de drenaje urbano e identifica la necesidad de integrar elementos como las variaciones de tipo de superficie, la evolución temporal del comportamiento hidrológico y las condiciones estacionales y estatales en las estructuras de los modelos. También se consideran las pérdidas iniciales variables para sustituir a la simulación continua y dar cuenta del efecto del clima seco en las condiciones

Artículo	Contribuciones
	iniciales y el coeficiente de escorrentía que se adoptara en los modelos dependiendo de las características de la superficie. La revisión presenta diferentes modelos de drenaje urbano, como SWMM, MUSIC, y KAREN, y analiza su desempeño en la simulación de eventos de lluvia de diferentes magnitudes. También destaca la importancia de la parametrización de los modelos y la realización de análisis de sensibilidad para identificar los parámetros más influyentes y permitir su calibración (Rammal & Berthier, 2020).
Assessing variability of infiltration characteristics and reliability of infiltration models in a tropical sub-humid region of India. (Evaluación de la variabilidad de las características de infiltración y la confiabilidad de los modelos de infiltración en una región tropical subhúmeda de la India).	Se centra en investigar la variabilidad espacial de las características de infiltración, considerando factores como el uso de suelo/cobertura de suelo, textura del suelo, la densidad aparente y la conductividad hidráulica saturada en una región tropical subhúmeda. Evalúa la confiabilidad de siete modelos de infiltración en la predicción del comportamiento de la infiltración y la estimación de la conductividad hidráulica de saturación. Al identificar los modelos Brutsaert y Swartzendruber como robustos, dónde se estima la consideración de parámetros a estimar, en el modelo de Brutsaert la infiltración acumulada que es conocida por su alta precisión y baja incertidumbre en la predicción del comportamiento de infiltración y la conductividad hidráulica saturada y en el modelo de Swartzendruber incluyen tiempo, conductividad hidráulica saturada y cabezal de succión. Teniendo mayor precisión en la estimación de la conductividad hidráulica y comportamiento de la infiltración respectivamente. También se evaluó el modelo de Horton y modelos empíricos utilizados en el estudio, incluido el modelo Philip Two-Term, fueron limitados en proporcionar información sobre los procesos físicos en comparación con los modelos de infiltración basados en procesos.

Artículo	Contribuciones
	Se trataron los parámetros tasa de infiltración inicial, tasa de infiltración cuasi-estable y constante de decaimiento como parámetros de ajuste en los modelos. Se hace uso de métodos estadísticos y de análisis de incertidumbre para cuantificar la incertidumbre asociada con la estimación de la conductividad hidráulica saturada en diferentes condiciones de textura y cobertura del suelo. Este enfoque riguroso de análisis proporciona una comprensión profunda de la confiabilidad de las estimaciones (Mahapatra, Jha, Biswal, & Senapati, 2020).
Hydrodynamic Characterization of Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS) by Using Beerkan Infiltration Experiments. (Caracterización hidrodinámica de sistemas de drenaje urbano sostenible (SUDS) mediante el uso de experimentos de infiltración de Beerkan).	El documento determina parámetros de forma y escala de la curva de retención de agua del suelo y la curva de conductividad hidráulica. Basados en la capacidad de infiltración de cuatro estructuras urbanas de manejo de aguas pluviales como zanjas de drenaje, un estacionamiento con pavimento impermeable, una losa de núcleo hueco con vegetación y un jardín cubierto de hierba. Se identifica la ineficiencia en infiltración de algunas estructuras con índices de infiltración promedio. Los parámetros de forma y escala de la curva de retención de agua del suelo y la curva de conductividad hidráulica fueron determinados utilizando los tres algoritmos de estimación de parámetros de transferencia de suelo (BEST) de Beerkan: Best-slope, Best-intercept y Best-steady. Estos algoritmos analizan la tasa de infiltración de flujo transitorio a estado estacionario y proporcionan una caracterización de las propiedades hidráulicas insaturadas del suelo. Las variables representativas en los algoritmos están las tasas de infiltración, infiltración acumulativa en función del tiempo, capacidad del suelo en absorber agua, conductividad hidráulica y la pendiente. La influencia de diversas condiciones físicas, como la colonización de vegetación invasiva y la presencia de materia orgánica en el suelo, en el comportamiento hidrodinámico de las

Artículo	Contribuciones
	estructuras de SUDS. Estos hallazgos resaltan la importancia de considerar tales impactos al diseñar y mantener sistemas de drenaje urbano sostenible (Bouarafa, Lassabatere, Lipeme-Kouyi, & Angulo-Jaramillo, 2019).
Evaluating the Impact of Urban Growth on the Design of Storm Water Drainage Systems. (Evaluación del impacto del crecimiento urbano en el diseño de sistemas de drenaje de aguas pluviales).	Para este estudio que evalúa el cambio de los coeficientes de escorrentía debido al crecimiento urbano en el diseño de sistemas de drenaje de aguas pluviales. Se hace uso de los modelos hidrológicos Hyfran, StormCAD y GIS para analizar diferentes coeficientes de escorrentía y desarrollar una ecuación empírica para predecir la descarga máxima para otras cuencas de captación. La ecuación empírica desarrollada para la descarga de cuenca hidrográficas está en función del período de retorno, coeficiente de escurrimiento, densidad de drenaje, trayectoria más larga, intensidad de lluvia y área de captación. Esta contribuye a la comprensión del impacto hidrológico del crecimiento urbano en el diseño de sistemas de drenaje de aguas pluviales, lo cual es esencial para el manejo de inundaciones. El análisis de los efectos del crecimiento urbano en el diseño de los sistemas de drenaje de aguas pluviales revela un aumento significativo en la descarga del emisario y la velocidad del sistema. Además, se destaca cómo el costo de construcción aumenta considerablemente con el incremento de la urbanización, lo que subraya la importancia de considerar los impactos económicos al diseñar (Abd-Elhamid, Zeleňáková, Vranayová, & Fathy, 2020).
Experimental Flash Floods Assessment Through Urban Flood Risk Mitigation (UFRM) Model: The Case Study of Ligurian Coastal Cities. (Evaluación	Dentro del estudio se realiza el uso del modelo Urban Flood Risk Mitigación (UFRM) el cual se implementó a través de la herramienta de código abierto Evaluación Integrada de Servicios Ecosistémicos y Trade-off (InvEST) en un entorno GIS, para evaluar la cantidad de escurrimiento debido a eventos extremos de lluvia en la Región de Liguria de Italia.

Artículo	Contribuciones
experimental de inundaciones repentinas a través del modelo de mitigación del riesgo de inundaciones urbanas (UFRM): el estudio de caso de las ciudades costeras de Liguria).	Dentro de las variables que se tuvieron en cuenta para el modelo, incluyen el tipo de suelo considerando las interacciones entre las superficies permeable e impermeables; drenaje y características del suelo para comprender el proceso de generación de escurrimiento, dentro de las características esta la conductividad del suelo y el coeficiente de infiltración que se mapearon utilizando datos del análisis de uso de suelos y sistemas de clasificación; reducción de escorrentía que representa la cantidad de escorrentía retenida por píxel en comparación con los volúmenes de tormenta y variación pluvial por medio de un análisis de sensibilidad local para evaluar la influencia de la variación de la lluvia en los parámetros de entrada del modelo, ayudando a comprender la respuesta del modelo a diferentes escenarios de lluvia. Las estrategias propuestas para la reducción de la escorrentía debido a lluvias extremas, resalta la importancia de considerar factores como la textura del suelo y la tipología de uso del suelo en la evaluación de estrategias de adaptación. Además, enfatiza la gestión del agua superficial como una estrategia más adaptable para enfrentar los desafíos del cambio climático (Quagliolo, Comino, & Pezzoli, 2021).
Accounting for soil moisture in rainfall-runoff modelling of urban areas. (Contabilización de la humedad del suelo en el modelado de lluvia-escorrentía de áreas urbanas).	Se presentan diferentes enfoques para modelar la infiltración y el escurrimiento en áreas urbanas y como estos enfoques mejoran la precisión de los modelos hidrológicos. Se discuten los métodos para clasificar la urbanización. Para el mejoramiento de simulaciones de lluvia – escorrentía se vincula la humedad del suelo y la generación de la escorrentía urbana. Mostrando que un modelo con un vínculo explicito con la humedad del suelo se desempaña de mejor que un modelo con un porcentaje fijo. Se obtiene del modelo el cálculo de flujo de salida en un paso del tiempo determinado usando el método de diferencia finita. El modelo determina la escorrentía

Artículo	Contribuciones
	directa de las zonas urbanas y la combina con el flujo superficial total y el flujo base de la sección rural para generar el flujo total en la salida de captación. Se incorpora el descriptor de captación BFIHOST, el cual se basa en la Hidrología de Tipos de Suelo (HOST) y el Índice de Flujo Base (BFI). Este descriptor ayuda a evaluar el desempeño de los modelos en cuencas dominadas por el agua base, siendo el agua base la porción de flujo de corriente que es sostenida por la descarga de agua subterránea, incluso durante períodos secos cuando no hay entrada directa de lluvia o escorrentía superficial. Representa el aporte lento y constante del agua de fuentes subterráneas a arroyos y ríos. Se sugiere el uso de parámetros de eficiencia, como la eficiencia de Nash-Sutcliffe, y un enfoque de muestreo sistemático para calibrar y validar los modelos hidrológicos urbanos. Estos métodos son esenciales para garantizar la precisión y la confiabilidad de los resultados del modelo (Fidal & Kjeldsen, 2020).
Dealing with shallow groundwater contexts for the modelling of urban hydrology – A simplified approach to represent interactions between surface hydrology, groundwater and underground structures in hydrological models. (Manejo de contextos de aguas subterráneas poco profundas para el modelado de la hidrología urbana: un enfoque simplificado para representar	Los aportes están dirigidos a un conjunto de módulos que describen las interacciones entre los procesos subsuperficiales y la hidrología superficial en ambientes subterráneos poco profundos. Estos módulos permiten la simulación de la influencia del agua subterránea en la superficie y la influencia de las estructuras subterráneas en el almacenamiento subterráneo y la gestión de redes de alcantarillado. Los parámetros relevantes para estas interacciones están: Las tasas de saturación de los embalses subsuperficiales; presión capilar, que es la diferencia de presión entre el agua subterránea y la superficie, es un parámetro importante para comprender el movimiento del agua entre el subsuelo y la superficie; presión capilar al valor de entrada del aire, representa la presión capilar a la que el aire ingresa a los reservorios subsuperficiales,

Artículo	Contribuciones
las interacciones entre la hidrología superficial, las aguas y las estructuras subterráneas en modelos hidrológicos).	afectando el movimiento del agua y el comportamiento de la humedad del suelo; la conductividad hidráulica saturada, representando la capacidad del suelo para transmitir agua; contenido de agua, siendo éste el contenido de agua de los embalses subsuperficiales, incluyendo el contenido de agua saturada y el contenido de agua residual; espesor de los embalses o los reservorios subsuperficiales y la diferencia entre el contenido de agua saturada y el contenido inicial de agua (Pophillat, Sage, Rodriguez, & Braud, 2021).
Regionalización de Caudales Mensuales en la Región Hidrográfica del Titicaca, Perú.	El desarrollo de modelos regionales para la estimación de flujo medios mensuales y persistencia de los principales ríos de la Región Hidrográfica del Titicaca, Perú. Siendo estas las variables dependientes y las características climáticas y fisiográficas de las cuencas de estudio como variables independientes. La identificación de las regiones hidrológicas homogéneas mediante las técnicas Ward y Moments-L, el cual es un método de agrupamiento que agrupa cuencas similares en función de sus atributos hidrológicos. Siendo algunos de los atributos precipitación, temperatura y elevación. La determinación de ecuaciones regionales utilizando modelos de regresión potencial, con la superficie de la cuenca y la longitud del río principal como variables explicativas. La evaluación de la significancia estadística de los modelos regionales utilizando indicadores de eficiencia como la eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE) y el error cuadrático medio (RMSE) (Lujano Laura, Quispe Aragón, Lujano Laura, & Tapia Aguilar, 2017).
Regionalización de los parámetros del modelo DIT para predicción de lluvias máximas en diseño hidrológico.	El comportamiento regional de los parámetros del modelo DIT, en dos etapas; la primera es la calibración de los cuatro parámetros del modelo DIT a partir de funciones empíricas i-D-T de diferentes ubicaciones del país y la segunda a partir de la interpolación espacial

Artículo	Contribuciones
	de los parámetros mediante un Sistema de Información Geográfica (SIG) con diferentes métodos. El modelo DIT es un modelo de predicción de lluvia que estima la relación entre la intensidad de la lluvia, su duración y el periodo de retorno con base en series pluviográficas con una distribución Log-normal. Los cuatro parámetros A, B, C y q, siendo A y C incorporan las características de la precipitación local, mientras, que los parámetros B y q son parámetros zonales. Los resultados consisten en mapas de isolíneas para cada parámetro, mostrando su variación espacial en las regiones centro y norte del país. Las interpolaciones están dadas por los métodos de distribución espacial Kriging, IDW y Spline (Rico, Dasso, García, & Nelli, 2011).
Ecuaciones regionales de caudales de Sinaloa, México.	Se presenta un proceso de regionalización para estimar los flujos instantáneos máximos en la región de Sinaloa, México. Este proceso implica la agrupación de estaciones hidrológicas con comportamiento similar y construir funciones regionales de distribución de probabilidad. Las ecuaciones que son utilizadas para estimar la media de los flujos instantáneos máximos basados en características fisiográficas y datos de precipitación. Estas toman en cuenta variables como la cantidad de lluvia, la producción de escurrimiento directo, y el proceso de tránsito de la precipitación efectiva. La mejor ecuación obtenida para la región es una distribución doble de Gumbel, que considera todas las estaciones en un solo grupo (Domínguez, Arganis, Carrizosa, & Esquivel, 2017).

Artículo	Contribuciones
Identificación de regiones hidrológicas homogéneas mediante análisis multivariado.	Identificar regiones hidrológicamente homogéneas, para ello se cuantificó 20 variables climáticas y fisiográficas en 17 cuencas para predecir el flujo. Estas variables fueron: área de la cuenca, ancho máximo, ancho medio, coeficientes de asimetría, cobertura vegetal, densidad de drenaje, elevación media de la cuenca, coeficiente de Fournier, desnivel de la cuenca, longitud de la cuenca, longitud del cauce principal, longitud de todos los cauces, perímetro de la cuenca, pendiente del cauce principal, parámetro de forma, precipitación media anual, suelos, tiempo de concentración, temperatura media y velocidad. Dentro del estudio se identificaron variables más representativas al momento de predecir el flujo medio anual, estas se definieron a partir de un análisis estadístico multivariado, en donde se correlacionaron las variables predictoras y los coeficientes de correlación parcial con respecto al gasto medio, encontrando el área y la precipitación promedio anual como las mejores variables predictivas (Álvarez-Olguín, Hotait-Salas, & Sustaita-Rivera, 2011).
Nueva evaluación del impacto futuro del cambio climático en los recursos hídricos en España**.**	El artículo analiza las tasas de infiltración de diferentes tipos de superficies, como los hoyos de los árboles, los patios con vegetación y el hormigón poroso, e indica que el tipo de superficie es un parámetro importante en el modelado de la infiltración. También se destaca el papel de la vegetación a la hora de promover la infiltración y preservar la calidad del suelo, lo que sugiere que la presencia o ausencia de vegetación puede influir significativamente en las tasas de infiltración. Así mismo, el artículo menciona que el impacto de las gotas de lluvia puede provocar el sellado del suelo, lo que afecta a la infiltración. La vegetación puede ayudar a prevenir el sellado del suelo y a mantener la permeabilidad.

Artículo	Contribuciones
	En general, el artículo contribuye al conocimiento de la infiltración al examinar diferentes tipos de superficie, destacar el papel de la vegetación y enfatizar la importancia de tener en cuenta la variabilidad en los modelos de infiltración (Barranco, Dimas, Jiménez, & Estrada, 2018).
Modelo hidrológico, calidad del agua y cambio climático: soporte para la gestión hídrica de la cuenca del río Soto la Marina.	El articulo desarrolló de un modelo hidrológico para la cuenca del río Soto la Marina que considere el cambio climático mediante la regionalización de dos modelos de circulación global (GFDL-CM3 y HAGDGEM2-ES) y dos rutas de concentración representativas (RCP). Las propiedades del suelo, como la textura, la porosidad y la conductividad hidráulica, influyen en la velocidad a la que el agua se infiltra en el suelo, del mismo modo, la topografía, y la elevación, el uso del suelo y la cobertura, ya que los diferentes tipos de vegetación y las condiciones de la superficie afectan las tasas de infiltración. Por otro lado, los datos climáticos, incluidos los patrones y la intensidad de las precipitaciones, las características de la vegetación, como la densidad de las raíces y la cubierta vegetal, influyen en las tasas de infiltración al afectar la estructura del suelo y a la escorrentía superficial. Finalmente, las escalas espacio temporales, se deben aplicarse con una resolución adecuada para captar las variaciones regionales en los procesos hidrológicos, así como, las técnicas estadísticas, como el análisis de regresión, la agrupación en clústeres o los algoritmos de aprendizaje automático, que se utilizan para analizar y modelar las relaciones entre los diferentes parámetros y variables del modelo de regionalización (Vázquez-Ochoa, Correa-Sandoval, Vargas-Castilleja, Vázquez-Sauceda, & Rodríguez-Castro, 2021).

Artículo	Contribuciones
Regionalización de ecuaciones para el cálculo de curvas de intensidad, duración y frecuencia mediante mapas de isolíneas en el departamento de Boyacá.	La investigación presenta un modelo práctico y preciso que permite definir ecuaciones que relacionen las variables de intensidad, duración y frecuencia (IDF). La regionalización de las curvas IDF mediante mapas de isolíneas establece una relación entre los parámetros que describen una ecuación del IDF y su ubicación geoespacial, lo que permite el proceso de regionalización. El articulo señala los siguientes parámetros para tener en cuenta para el modelo matemático de regionalización: • Precisión de los mapas de isolíneas • Fiabilidad: el error presentado en el método de regionalización debe ser aceptable en términos de confiabilidad para su aplicación como información válida. • Área de estudio: se debe establecer un área de estudio adecuada, garantizando las condiciones mínimas para realizar un estudio adecuado y tener un límite máximo en cuanto a su extensión. • Disponibilidad de datos: Para el proceso de regionalización es fundamental disponer de datos suficientes y fiables, como los datos de precipitación de las estaciones hidrometeorológicas. • Evaluación de las constantes: se debe realizar una evaluación general de las constantes que se van a regionalizar para determinar sus magnitudes y su proximidad entre sí (Muñoz Barragán & Zamudio Huertas, 2018).
Regionalización de caudales. Propuesta metodológica para la identificación de regiones homogéneas.	El artículo presenta los resultados obtenidos mediante la aplicación de métodos estadísticos y matemáticos multivariantes, como el análisis de conglomerados, el análisis de componentes principales y la gráfica de Andrews, en la identificación de regiones hidrológicas homogéneas.

Artículo	Contribuciones
	El articulo señala que se debe tener en cuenta la variabilidad espacial de las condiciones que se están estudiando, como las características hidrológicas, el enfoque multivariante cuando se abordan numerosas variables del problema, ya que permite interpretar las interrelaciones entre estas variables, la caracterización conceptual preliminar del problema con el fin de comprender la naturaleza de los datos y seleccionar los métodos de análisis apropiado y los métodos estadísticos desempeñan un papel importante en la gestión de los datos, ya que permiten optimizar y sintetizar la información. En cuanto a las contribuciones en infiltración el articulo señala que se deben considerar las características del suelo, como la textura, la porosidad y la conductividad hidráulica, el tipo y la densidad de la cubierta vegetal afectan las tasas de infiltración al influir en la rugosidad de la superficie, la intercepción y la evapotranspiración. El uso del suelo y los tipos de cobertura terrestre tienen un impacto variable en las tasas de infiltración, factores como la urbanización o las prácticas agrícolas afectan las condiciones de la superficie y al movimiento del agua. Los patrones de precipitación, la temperatura, las tasas de evaporación, la pendiente y la forma de la superficie terrestre impactan en la dirección y la velocidad del movimiento, así como, el contenido de humedad inicial del suelo antes de una lluvia, logran afectar las tasas de infiltración, dado que las condiciones del suelo saturado o seco limitan la capacidad de infiltración (del Carmen Paris & Zucarelli, 2004).
Regionalización basada en variables geomorfológicas como herramienta	El estudio destaca la homogeneidad hidrológica del área de estudio es crucial para la modelización de la regionalización. La disponibilidad de datos hidrológicos de las cuencas

Artículo	Contribuciones
para el cálculo de crecidas. Aplicación a la zona centro sur de Chile.	donantes que forman parte de la clasificación es necesaria para transferir información a cuencas no calibradas. La instrumentación de las cuencas donantes por parte de las autoridades hídricas competentes garantiza que la información sea fiable y transferible a las cuencas no calibradas. La longitud mínima del registro de datos en las cuencas donantes debería ser de 30 años, a fin de garantizar una información fiable para la regionalización. Por otro lado, la selección de técnicas estadísticas apropiadas como el análisis multivariante, logran identificar grupos homogéneos de cuencas en función de diversas características hidrológicas, considerando los factores geográficos, como la ubicación y la topografía, los cuales impactan en los procesos hidrológicos y la regionalización (Cifuentes-Santibáñez & Vargas-Baecheler, 2021).
Las seis reglas de la regionalización en hidrología.	En general, el artículo contribuye al modelo matemático de la regionalización al proporcionar un marco integral y directrices para el proceso, que incluyen la identificación de variables, la verificación de la calidad de los datos y la construcción de ecuaciones de transferencia regional. El articulo sugiere que las 6 reglas para regionalización son las siguientes: **1.** Caracterizar la variabilidad (espacio temporal) de las mediciones. **2.** Identificar las variables que describen el fenómeno a estimar. **3.** Verificar la homogeneidad e independencia de las series temporales. **4.** Identificar regiones hidrológicamente homogéneas. **5.** Construya ecuaciones de transferencia regional para obtener información.

Artículo	Contribuciones
	6. Verifica la validez de las ecuaciones regionales. Dicho lo anterior, se debe tener en cuenta las características fisiográficas, climatológicas y geográficas para el proceso de selección y señala que la representación gráfica, incluidas las distancias de agregación para regiones homogéneas, puede ser útil en la regionalización (Gutiérrez-López & Aparicio, 2020).
Predictibilidad de la precipitación en la cuenca alta del Mantaro basadas en radiación de onda larga emergente.	En general, al aplicar un modelo matemático de infiltración es necesario tener en cuenta las características del suelo, como la porosidad, la permeabilidad y la conductividad hidráulica, las condiciones iniciales y límite, incluido el contenido inicial de humedad del suelo y las condiciones límite que afectan al proceso de infiltración. También se debe considerar la intensidad y la duración de las precipitaciones, la topografía de la zona, incluidas la pendiente y la rugosidad de la superficie, la cubierta vegetal y el uso del suelo los cuales afectan las tasas de infiltración y deberían incorporarse al modelo. Debe tenerse en cuenta la variabilidad temporal, espacial de la infiltración, y la disponibilidad de datos ya que las tasas de infiltración varían con el tiempo en diferentes lugares del área de estudio (Cárdenas & Vidangos, 2021).
Estimación de láminas de lluvias máximas diarias y parámetros estadísticos en el noroeste de Argentina.	La investigación estima la precipitación máxima diaria asociada a diferentes períodos de retorno en la región noroeste de Argentina, y proporciona una base para calcular la precipitación máxima asociada a diferentes duraciones utilizando un coeficiente de reducción o maximización y menciona el uso de un modelo de transformación (modelo P-Q) para calcular el flujo de diseño en función de la precipitación máxima estimada. Se sugiere tener en cuenta las tasas de evapotranspiración, ya que afectan a la disponibilidad de agua en el sistema, así mismo, las características de la cobertura y el

Artículo	Contribuciones
	uso del suelo influyen en los procesos hidrológicos, como las tasas de infiltración y los coeficientes de escorrentía y las propiedades del suelo, incluidas la porosidad y la permeabilidad que afectan al movimiento del agua a través del suelo. La topografía, incluidas la pendiente y la elevación, desempeña un papel importante en los procesos hidrológicos y en la formación de redes de drenaje, los datos climáticos, como la temperatura y la humedad, influyen en las tasas de evapotranspiración y en el balance hídrico general del sistema. Las observaciones hidrológicas existentes, como los datos sobre el caudal de los arroyos y los niveles de las aguas subterráneas, proporcionan información valiosa para la calibración y validación de los modelos (Botelli, Catalini, García, & Guillén, 2016)
Regionalização de vazões para a bacia do rio Paraíba do Sul, a montante de Volta Redonda, a partir de modelo digital de elevação hidrologicamente consistente (Regionalización de caudales para la cuenca del río Paraíba do Sul, aguas arriba de Volta Redonda, a partir de un modelo digital de elevación hidrológicamente consistente).	El artículo discute la importancia de considerar la extensión de series en la aplicación de un modelo matemático de infiltración, lo que permite una mejor comparación con otros estudios de regionalización. Hace hincapié en la importancia de contar con datos de precipitación precisos y fiables para impulsar el ciclo del agua e influir en los procesos de escorrentía e infiltración, señalando el papel de la cubierta terrestre y la topografía en la determinación de la distribución y el movimiento del agua, las propiedades del suelo, como el tipo, la porosidad y la conductividad hidráulica, en el modelo para simular con precisión el movimiento y el almacenamiento del agua. El artículo destaca la importancia de incluir en el modelo datos de evapotranspiración, caudales y datos climáticos para estimar la pérdida de agua, validar el rendimiento del modelo y captar las variaciones estacionales y a largo plazo en los procesos hidrológicos (Baena, 2002).

Artículo	Contribuciones
Regionalization of Flow-Duration Curves through Catchment Classification with Streamflow Signatures and Physiographic–Climate Indices. (Regionalización de las curvas flujo-duración mediante Clasificación de cuencas con firmas de flujo e índices fisiográficos-climáticos).	El artículo contribuye al desarrollo de un modelo matemático para la regionalización de las curvas de duración del flujo (FDC) mediante la clasificación de las cuencas hidrográficas. Propone dos marcos diferentes para la clasificación de las cuencas hidrográficas: uno basado en las características de los caudales y el otro basado en índices fisiográficos y climáticos. El artículo demuestra la mejora en el rendimiento del modelo de regionalización al considerar tres clases hidrológicas diferentes, lo que se traduce en una disminución del error porcentual absoluto medio, también destaca la importancia de tener en cuenta los índices de caudal representativos y no correlacionados, así como, las características climáticas, fisiográficas, de uso de la tierra y del suelo en el proceso de clasificación. Finalmente, la investigación describe el potencial del mapa autoorganizado (SOM) como un método prometedor para vincular las respuestas hidrológicas con los atributos físicos y climáticos en el proceso de regionalización (Boscarello, Ravazzani, Cislaghi, & Mancini, 2016).
Regionalização da vazão Q95: comparação de métodos para a bacia hidrográfica do Rio Taquari-Antas, RS. (Regionalización de caudales Q95: comparación de métodos para la cuenca del río Taquari-Antas, RS).	El artículo evalúa las estimaciones del caudal mínimo Q95 utilizando los métodos tradicionales y de conservación masiva en la cuenca del río Taquari-Antas en Rio Grande do Sul (Brasil), con el objetivo de facilitar la planificación de los recursos hídricos y la toma de decisiones en relación con los derechos de uso del agua. El estudio utiliza el área de drenaje como variable explicativa del modelo de regresión matemática, derivado del modelo digital de elevación condicionado hidrográficamente (MDEHC). Tanto el método tradicional como el de conservación masiva muestran resultados satisfactorios en la estimación del caudal del Q95, pero, el artículo hace énfasis

Artículo	Contribuciones
	en que estas técnicas no sustituyen la información obtenida de una red hidrométrica suficientemente densa (Bazzo, Guedes, Castro, Siqueira, & Teixeira-Gandra, 2017).
Avaliação de métodos para regionalização das vazões mínimas e médias na bacia do rio Itapemirim (Evaluación de métodos para la regionalización de los caudales mínimos y medios en la cuenca del río Itapemirim).	El método de regionalización para los caudales mínimos y medios en una cuenca hidrográfica debe considerar diferentes métodos de aplicación, cada uno con sus ventajas y desventajas. La evaluación del rendimiento de los diferentes métodos de regionalización debería incluir la determinación de los valores reales de los caudales mínimos con una duración de siete días y un período de retorno de diez años (Q7,10), los flujos mínimos con una permanencia del 90% y los caudales medios a largo plazo (Qmld). La inclusión de la precipitación como variable mejoró el rendimiento de los métodos alternativos (MIL y MC) para regionalizar los flujos mínimos, particularmente en el caso del Q7,10. Sin embargo, esta mejora no fue lo suficientemente significativa como para justificar su adopción debido a la necesidad de introducir más datos (Cecílio, Zanetti, Gasparini, & Catrinck, 2018).
Regionalization of hydrological model parameters using gradient boosting machine. (Regionalización de los parámetros del modelo hidrológico utilizando una máquina de aumento de gradiente).	El artículo enfatiza la importancia de incorporar la ecuación de Penman-Monteith-Leuning (PML) al modelo de ganancia variable en el tiempo distribuido (DTVGM) para mejorar la representación del proceso de evapotranspiración (ET). También señala la estrategia de calibración multivariable, incorpora como referencia conjuntos de datos espaciotemporales sobre la escorrentía y la ET. El uso de la máquina de aumento de gradiente (GBM) para describir la dependencia de los parámetros del modelo con respecto a los atributos del suelo y el terreno y la identificación de la pendiente, el contenido de humedad del suelo saturado y la elevación como las variables explicativas se deben considerar para el desarrollo de modelo hidrológico:

Artículo	Contribuciones
	Al incorporar la ecuación PML, utilizar una estrategia de calibración multivariable y utilizar el método GBM, el modelo puede captar mejor las relaciones complejas y no lineales entre los parámetros del modelo y las propiedades de las cuencas hidrográficas. Las variables identificadas, como la pendiente, el contenido de humedad del suelo saturado y la elevación, desempeñan un papel crucial a la hora de informar los parámetros del modelo y mejorar la precisión de las predicciones hidrológicas en cuencas no calibradas (Song, y otros, 2022).
A one-step similarity approach for the regionalization of hydrological model parameters based on Self-Organizing Maps. (Un enfoque de similitud de un solo paso para la regionalización de los parámetros del modelo hidrológico basado en mapas autoorganizados).	El articulo evalúa la asociación automática de los parámetros del modelo (MP) con los descriptores de las cuencas hidrográficas (CD) mediante el enfoque SOM-B, lo que reduce el problema de la equifinalidad y evita la predefinición subjetiva de las relaciones entre los CD y los MP. Este método es validado comparándolo con un conocido método de regionalización en un solo paso basado en funciones de transferencia lineal (LT-B), que muestra un rendimiento del modelo similar o ligeramente superior, así como, el ajuste automático de las relaciones hidrológicamente plausibles entre las CD y las MP sin ninguna predefinición mediante el enfoque SOM-B (Wallner, Haberlandt, & Dietrich, 2013).
Sediment load estimation using a novel regionalization sediment-response similarity method for ungauged catchments. (Estimación de la carga de sedimentos usando un novedoso método de similitud de respuesta de	El articulo sugiere que los modelos de regionalización deben tener en cuenta la variabilidad espacio temporal del clima y la relación entre la carga de sedimentos y las características de las precipitaciones de las distintas cuencas hidrográficas; para ello, se debe estimar la carga de sedimentos utilizando atributos de las cuencas hidrográficas, como un modelo de herramientas de evaluación del suelo y el agua y mapas autoorganizados. El modelo también debería minimizar la incertidumbre de la predicción de los sedimentos en las cuencas hidrográficas no calibradas.

Artículo	Contribuciones
sedimentos de regionalización para cuencas no aforadas).	Por otro lado, el modelo debe tener en cuenta los valores de C USLE, K USLE, Slope, CV y R derivados de las precipitaciones diarias y la respuesta de los sedimentos de las distintas subcuencas hidrográficas, los vectores de entrada utilizados en el modelo deben normalizarse para evitar la ponderación involuntaria de los atributos de los vectores durante el proceso de formación (Ang, Kinouchi, & Zhao, 2023).
Soil infiltration rates are underestimated by models in an urban watershed in central North Carolina, USA. (Los modelos subestiman las tasas de infiltración del suelo en una cuenca urbana en el centro de Carolina del Norte, EE. UU.).	El artículo destaca las limitaciones de los modelos tradicionales de escorrentía pluvial, como los modelos Horton y Green-Ampt, a la hora de estimar con precisión las tasas de infiltración del suelo en las cuencas hidrográficas urbanas y propone un enfoque alternativo que utiliza un modelo de bosque aleatorio creado con los datos geoespaciales disponibles, que captura con mayor precisión las tasas de infiltración de las cuencas hidrográficas. Por consiguiente, relaciona el método de clasificación de la cubierta terrestre HERCULES y los datos del Programa Nacional de Imágenes Agrícolas, lo cuales se utilizan para generar clases de cobertura terrestre para el modelo de bosque aleatorio, el cual tiene un tipo de enfoque de aprendizaje automático, el cual se utiliza como método alternativo para informar sobre la gestión de las aguas pluviales y priorizar las áreas de desconexión impermeable. Así mismo, sugiere basarse en los datos geoespaciales disponibles, incluido la información sobre la cubierta terrestre (hierba, musgo, paja de pino, hojarasca, mantillo y suelo desnudo), el tiempo transcurrido desde el desarrollo y la clase de tierra, se utilizan para generar predicciones de infiltración (Bergeson, Martin, Doll, & Cutts, 2022).

Artículo	Contribuciones
Sensibilidad y regionalización del parámetro de impermeabilidad en una cuenca urbana.	El artículo proporciona una contribución metodológica para la estimación indirecta del parámetro de impermeabilidad (% de imp.) en una cuenca hidrográfica urbana, a partir de la densidad de población y la proporción de hogares por área, por ello presenta un análisis de sensibilidad del parámetro de impermeabilidad en el contexto de la modelización del flujo superficial urbano, presentando curvas de dispersión preliminares que demuestran la respuesta directa del modelo a las variaciones en el parámetro de impermeabilidad, mostrando que ciertas variables hidráulicas permanecen constantes dentro de un rango significativo de respuesta del parámetro (Alejandro-Sánchez & Martínez-González, 2013).
Regulation characteristics of underlying surface on runoff regime metrics and their spatial differences in typical urban communities across China. (Características de regulación de la superficie subyacente en las métricas del régimen de escorrentía y sus diferencias espaciales en las comunidades urbanas típicas de China).	La investigación expone las características de regulación de la superficie, entre las cuales sugiere tener en cuenta la longitud de la tubería en el sistema de red de drenaje y las proporciones de área forestal, las medidas de esponjas, los pastizales y la superficie impermeable de las superficies subyacentes. También señala que, para la aplicación de un modelo matemático de infiltración, se deben incluir el factor de impacto de la humedad antecedente del suelo, la humedad del suelo, la capacidad de humedad del suelo saturado, la profundidad del suelo, la profundidad de escorrentía superficial, las precipitaciones y el coeficiente de ajuste del tipo de superficie (Zhang, y otros, 2022).
Using the present to estimate the future: A simplified approach for the quantification of climate change effects on urban flooding by scenario analysis. (Uso del presente para estimar el futuro: un enfoque simplificado para la	El artículo propone un enfoque simplificado para la estimación cuantitativa de los efectos del cambio climático en las inundaciones urbanas. Este enfoque no requiere simulaciones de inundaciones para futuros escenarios de precipitaciones, sino solo en las condiciones climáticas actuales, presentando una metodología flexible y rápida que se puede actualizar fácilmente con nuevos datos, escenarios o métodos sobre el cambio climático sin necesidad de realizar simulaciones de inundaciones adicionales.

Artículo	Contribuciones
cuantificación de los efectos del cambio climático en las inundaciones urbanas mediante el análisis de escenarios)	En consecuencia, reconoce la situación práctica común de información limitada sobre las propiedades del suelo, las redes de drenaje artificial y la falta de observaciones de inundaciones para detectar precipitaciones pasadas. Hace hincapié en la necesidad de enfoques simplificados en estos escenarios (Padulano, y otros, 2021).
The Influence of Soil Conditioning on Soil Infiltration Rate in Urban Facilities. (La influencia del acondicionamiento del suelo en la tasa de infiltración del suelo en instalaciones urbanas).	La investigación señala diferentes variables que intervienen en las tasas de infiltración, entre ellas destaca la compactación del suelo, la cual tiene un efecto significativo en la tasa de infiltración constante en las instalaciones urbanas, la textura del suelo, teniendo los suelos de textura franco-limosa una influencia más significativa de la cubierta vegetal, mientras, que los suelos con textura arcillosa se ven más afectados por la compactación y la cobertura vegetal, la cual aumenta la tasa de infiltración su escorrentía en las instalaciones urbanas (Nugroho & Hadi, 2021).

Fuente: Autores

7. CONCLUSIONES

- El estudio compiló un inventario digital de la literatura relevante, identificó setenta y dos (72) documentos para su análisis en un matriz y estableció los criterios de inclusión, con la identificación de variables y parámetros recurrentes, metodologías y técnicas eficaces en el campo de la infiltración urbana, la gestión de las aguas pluviales y la regionalización de los datos. En virtud de lo anterior, se define la modelación hidrológica como una de las metodologías relevantes en los estudios de infiltración urbana y se reconoce que se han generado avances significativos en la gestión de aguas pluviales.

- Para Google Scholar se presentó la mayor cantidad de resultados de documentos seguido de Scopus, Science Direct, EBSCO y finalmente Scielo. Esto sugiere que la base de datos de Google Scholar proporciona una cobertura en producción científica más amplia, demostrando su imparcialidad en ubicación geográfica e idioma. Es importante resaltar que dentro del contexto específico de la matriz la presencia de documentos a nivel mundial, México ocupó el tercer lugar en cantidad de producción científica en el estado del arte, evidenciando la diversidad lingüística y la geografía en la investigación.

- Conforme a los resultados obtenidos en la investigación, se logró establecer algunos criterios base para la estimación de los caudales que aportan las aguas de infiltración y abatimiento del nivel freático para el diseño de filtros pluviales en edificaciones como son cubiertas terrestres (cobertura vegetal, uso y tipo de suelo), propiedades del suelo (textura, porosidad, compactación y conductividad hidráulica) y parámetros hidráulicos (precipitaciones, velocidad de infiltración, altura del nivel freático, escorrentía superficial, humedad y profundidad del suelo). Es preciso señalar, que algunos estudios contemplan el tipo y porosidad de material, el revestimiento, las grietas y las juntas entre material de las edificaciones para el cálculo de las tasas de infiltración.

- Con base en el análisis de la matriz, se evidenciaron parámetros para la regionalización de datos hidrológicos tales como, el área de drenaje, la pendiente, el agrupamiento de estaciones meteorológicas y la longitud de los cauces principales y secundarios, con el propósito de identificar regiones hidrológicamente homogéneas, caracterizar la variabilidad espacio temporal de las mediciones, verificar la homogeneidad e

independencia de las series temporales para el planteamiento de modelos de curvas de regionalización.

- Dentro de los documentos analizados en la matriz se establecieron métodos para la calibración y validación de los modelos hidrológicos y de regionalización, con el fin de dar fiabilidad y veracidad a los mismos. Por consiguiente, se relaciona para la mayoría de los documentos de estudio el parámetro de eficiencia Nash-Sutcliffe, teniendo un enfoque de muestreo sistemático para calibrar y validar los modelos hidrológicos urbanos.

- Finalmente, los estudios resaltan la necesidad de desarrollar estrategias de adaptación y mitigación para enfrentar los efectos del cambio climático en la hidrología. Presentando un enfoque integral que incorpore la comprensión de los eventos extremos, la variabilidad espacial y temporal del clima y la adaptación de los sistemas de gestión del agua.

8. RECOMENDACIONES

- Extender la búsqueda en otras áreas de investigación, que permitan una perspectiva más amplia y diversa sobre la infiltración urbana y la regionalización de datos, tales como la arquitectura, la hidrogeología, geografía, la física, la topografía, la geología, la edafología, la cartografía entre otros.

- Considerar la inclusión de otros idiomas diferentes a los presentados en la metodología, para la búsqueda de documentación científica sobre enfoques teóricos y prácticos realizados a estudios de infiltración urbana, tendencias, perspectivas metodológicas y regionalización.

- Definir criterios de regionalización que delimiten la ubicación geográfica del estudio para la aplicación de modelo matemático, teniendo en cuenta las condiciones climatológicas, geológicas e hidrológicas de la región.

- Retroalimentar la base de datos de la matriz con estudios recientes y relevantes que contribuyan a la actualización y precisión del modelo matemático.

9. BIBLIOGRAFÍA

Abbaspour, K., Rouholahnejad, E., Vaghefi, S., Srinivasan, R., Yang, H., & Klove, B. (2015). A continental-scale hydrology and water quality model for Europe: Calibration and uncertainty of a high-resolution large-scale SWAT mode. *Journal of Hydrology, 524*, 733-752.

Abd-Elhamid, H. F., Zeleňáková, M., Vranayová, Z., & Fathy, I. (2020). Evaluating the impact of urban growth on the design of storm water drainage systems. *Water, 12*(6), 1572. doi:https://doi.org/10.3390/w12061572

Abellán, A. (2013). *Coordinación estatal de ciencias ambientales*. Obtenido de Técnicas de drenaje sostenible: http://drenajeurbanosostenible.org/tecnicas-de-drenaje-sostenible/

Alejandro-Sánchez, L., & Martínez-González, Y. (2013). Sensibilidad y regionalización del parámetro de impermeabilidad en una cuenca urbana. *Tecnología y ciencias del agua, 4*(1), 203-212.

Ali, Q. W., Pandey, S., Chaudhuri, R. R., Behera, S., & Jeyakumar, L. (2021). Development of rainfall-infiltration measurement system and recharge strategies for urban flooding areas: a case study of Delhi, India. *Modeling Earth Systems and Environment*, 1-13. doi:https://doi.org/10.1007/s40808-020-01050-y

Alizadehtazi, B., DiGiovanni, K., Foti, R., Morin, T., Shetty, N. H., & Montalto, F. A. (2016). Comparison of observed infiltration rates of different permeable urban surfaces using a cornell sprinkle infiltrometer. *Journal of Hydrologic Engineering, 21*(7), 06016003. doi:https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0001374

Alizadehtazi, B., DiGiovanni, K., Foti, R., Morin, T., Shetty, N. H., Montalto, F. A., & Gurian, P. L. (2016). Comparison of observed infiltration rates of different permeable urban surfaces using a cornell sprinkle infiltrometer. *Journal of Hydrologic Engineering, 21*(7), 06016003. doi:https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0001374

Álvarez-Olguín, G., Hotait-Salas, N., & Sustaita-Rivera, F. (2011). Identificación de regiones hidrológicas homogéneas mediante análisis multivariado. *Ingeniería, investigación y tecnología, 12*(3), 277-284.

Andrade, E., & Hawkins, R. (2000). plicação da função de Andrews na avaliação da regionalização de bacias em regiões áridas esemi-áridas. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 5*(4), 17-24.

Ang, R., Kinouchi, T., & Zhao, W. (2023). Sediment load estimation using a novel regionalization sediment-response similarity method for ungauged catchments. *Journal of Hydrology, 618*, 129198. doi:https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129198

Arévalo Paredes, J. (2022). Parque inundable para el sector centro urbano del cantón Milagro. *Guayaquil. ULVR. Posgrado / Maestría en Ingeniería Civil Mención Construcción Civil Sustentable / Tesis Maestría en Ingeniería Civil Mención Construcción Civil Sustentable.*, 56.

Arjenaki, M. O., Sanayei, H. Z., Heidarzadeh, H., & Mahabadi, N. A. (2021). Modeling and investigating the effect of the LID methods on collection network of urban runoff using the SWMM model (case study: Shahrekord City). *Modeling Earth Systems and Environment, 7*(1), 1-16. doi:https://doi.org/10.1007/s40808-020-00870-2

Arnbjerg-Nielsen, K. (2012). Quantification of climate change effects on extreme precipitation used for high resolution hydrologic design. *Urban Water Journal, 9*(2), 57-56. doi:https://doi.org/10.1080/1573062X.2011.630091

Baena, L. G. (2002). *Regionalização de vazões para a bacia do rio Paraíba do Sul, a montante de Volta Redonda, a partir de modelo digital de elevação hidrologicamente consistente.* Obtenido de Locus UFV: http://www.locus.ufv.br/handle/123456789/9466

Bajracharya, A. R., Rai, R. R., & Rana, S. (2015). Effects of Urbanization on Storm Water Run-off: A Case Study of Kathmandu Metropolitan City, Nepal. *Journal of the Institute of Engineering, 11*(1), 36-49. doi:10.3126/jie.v11i1.14694

Barbosa Chacón, J. W., Barbosa Herrera, J. C., & Rodríguez Villabona, M. (2013). Revisión y análisis documental para estado del arte: una propuesta metodológica desde el contexto de la sistematización de experiencias educativas. *Investigación bibliotecológica*, 27(61), 83-105.

Barranco, L. M., Dimas, M., Jiménez, A., & Estrada, F. (2018). Nueva evaluación del impacto futuro del cambio climático en los recursos hídricos en España. *Revista Digital del Cedex*(191), 34-55. doi:Recuperado a partir de https://ingenieriacivil.cedex.es/index.php/ingenieria-civil/article/view/2354

Bazzo, K. R., Guedes, H. S., Castro, A. S., Siqueira, T. M., & Teixeira-Gandra, C. A. (2017). Regionalization of Q95: comparison of methods for the Taquari-Antas River Basin. *Ambiente & Água, 12*(5), 855-870. doi:10.4136/ambi-agua.2032

Bean, B. Z., Hunt, W. F., & Bidelspach, D. A. (2007). Field survey of permeable pavement surface infiltration rates. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 133*(3), 249-255. doi:https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(2007)133:3(24

Becker, D. (1997). *Global warming central: Debate number three.* doi:https://law.pace.edu/

Bergeson, C., Martin, K., Doll, B., & Cutts, B. (2022). Soil infiltration rates are underestimated by models in an urban watershed in central North Carolina, USA.

Journal of Environmental Management, 313, 115004. doi:https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115004

Boogaard, F. (2022). Spatial and time variable long term infiltration rates of green infrastructure under extreme climate conditions, drought and highly intensive rainfall. *Water, 14*(6), 840. doi:https://doi.org/10.3390/w14060840

Boscarello, L., Ravazzani, G., Cislaghi, A., & Mancini, M. (2016). Regionalization of flow-duration curves through catchment classification with streamflow signatures and physiographic–climate indices. *Journal of Hydrologic Engineering, 21*(3), 05015027. doi:https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0001307

Botelli, M. C., Catalini, C. G., García, C. M., & Guillén, N. F. (30 de 12 de 2016). *Estimación de láminas de lluvias máximas diarias y sus parámetros estadísticos en el norte de Argentina.* Obtenido de Cuadernos de Ingeniería repositorio institucional UCASAL: Recuperado de: http://bibliotecas.ucasal.edu.ar/opac_css/index.php?lvl=cmspage&pageid=24&id_notice=65140

Bouarafa, S., Lassabatere, L., Lipeme-Kouyi, G., & Angulo-Jaramillo, R. (2019). Hydrodynamic characterization of sustainable urban drainage systems (SuDS) by using Beerkan infiltration experiments. *Water, 11*(4), 660. doi:https://doi.org/10.3390/w11040660

Bradley, C. (1996). Transient modelling of water-table variation in a floodplain wetland, Narborough Bog, Leicestershire. *Journal of Hydrology, 185*(1-4), 87-114. doi:https://doi.org/10.1016/0022-1694(95)03005-0

Brezonik, P. L., & Stadelmann, T. H. (2002). Analysis and predictive models of stormwater runoff volumes, loads, and pollutant concentrations from watersheds in the Twin Cities metropolitan area, Minnesota, USA. *Water research, 36*(7), 1743-1757. doi:https://doi.org/10.1016/S0043-1354(01)00375-X

Burrel, B. C., Davar, K., & Hughes, R. (2007). A review of flood management considering the impacts of climate change. *Water International, 32*(3), 342-359. doi:https://doi.org/10.1080/02508060708692215

(2014). *Cambio Climático:Impactos, Adaptación y Vulnerabilidad - Guía Resumida del Quinto Informe de Evaluación del IPCC.* Guia , Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (Fundación Biodiversidad,, Madrid. Recuperado el 2023, de https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/cambio-climatico/temas/el-proceso-internacional-de-lucha-contra-el-cambio-climatico/guia-resumida-gt2-impactos-adaptacion-vulnerabilidad-ar5_tcm30-177778.pdf

Cárdenas, K. C., & Vidangos, V. A. (2021). Predictibilidad de la precipitación en la cuenca alta del mantaro basadas en radiación de onda larga emergente. *TecnoHumanismo, 1*(10), 70-88. doi: ISSN-e 2710-2394

Carlos Alfonso Zafra Mejía, J. T. (2007). Contaminación por escorrentía superficial urbana: metales pesados acumulados sobre la superficie de una vía. *Scielo*. Recuperado el 2023, de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-56092007000100001

Cassiraga, E., Sanz, D., Castaño, S., Álvarez , O., & Sahuquillo, A. (2013). *Modelo de flujo subterráneo de los acuíferos de la Mancha Oriental y sus relaciones con el río Júcar.* Obtenido de Confederación Hidrográfica del Júcar.

Castro Fresno, D. R. (2005). SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE (SUDS). *Scielo*. Recuperado el 2023, de https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442005000500004

Cecílio, R. A., Zanetti, S. S., Gasparini, K. C., & Catrinck, C. N. (2018). Avaliação de métodos para regionalização das vazões mínimas e médias na bacia do rio Itapemirim. *Revista Scientia Agraria, 19*(2), 122-132.

Chiarito, E., Zimmermann, E., & Zacarías, S. M. (2018). Metodologías para la estimación del coeficiente de escorrentía en áreas urbanizadas mediante teledetección. *Cuadernos del CURIHAM, 24*, 25-36. doi:https://doi.org/10.35305/curiham.v24i0.126

Chile Cubica. (s.f.). Obtenido de https://www.chilecubica.com/vocabularios-definiciones/pozos-de-infiltraci%C3%B3n/

Cifuentes-Santibáñez, D., & Vargas-Baecheler, J. (2021). Regionalización basada en variables geomorfológicas como herramienta para el cálculo de crecidas. Aplicación a la zona centro sur de Chile. *Tecnología y ciencias del agua, 12*(6), 36-89. doi:https://doi.org/10.24850/j-tyca-2021-06-02

Coronel Armas, L. D. (2014). *Modelo de simulación continua de lluvias en la determinación del caudal de escorrentía de la ciudad Nueva Fuerabamba-Apurimac.* Obtenido de Universidad Nacional del Centro de Perú: https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/429

Cruces de Abia, J., & Martinez Cortina, L. (2006). *Modelos matemáticos en hidrogeología. Módulo I Contaminación Ambiental.* Escuela de Negocios EOI.

del Carmen Paris, M., & Zucarelli, G. V. (2004). Regionalización de caudales. Propuesta metodológica para la identificación de regiones homogéneas. *Tecnología y ciencias del agua, 19*(4), 5-19. doi:http://revistatyca.org.mx/index.php/tyca/article/view/973

Delgado, E., & Repiso, R. (2013). El impacto de las revistas de comunicación: comparando Google Scholar Metrics, Web of Science y Scopus. *Comunicar, 21*(41), 45-52. doi:http://dx.doi.org/10.3916/C41-2013-04

Domínguez, R., Arganis, M., Carrizosa, E., & Esquivel, G. (octubre de 2017). *Ecuaciones regionales de caudales de Sinaloa, México.* Obtenido de V Jornadas de Ingeniería del Agua, 24-26: Recuperado el 2023, de https://geama.org/jia2017/wp-content/uploads/ponencias/posters/rb7.pdf

Dupont, S., Mestayer, P. G., Guilloteau, E., Berthier, E., & Andrieu, H. (2006). Parameterization of the urban water budget with the submesoscale soil model. *Journal of applied meteorology and climatology, 45*(4), 624-648. doi:https://doi.org/10.1175/JAM2363.1

Ekström, M., Fowler, H. J., Kilsby, C. G., & Jones, P. D. (2005). New estimates of future changes in extreme rainfall across the UK using regional climate model integrations. 2. Future estimates and use in impact studies. *Journal of Hydrology, 3*(1-4), 234-251. doi:https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2004.06.019

Elsevier Connect. (12 de 09 de 2019). *Elsevier* . Obtenido de Elsevier Connect: https://www.elsevier.com/es-es/connect/ciencia/en-que-idioma-publico-mi-articulo-la-incuestionable-hegemonia-del-ingles

Environmental Services, C. of P. B. of. (2020). *Sewer and Drainage Facilities Design Manual*. Obtenido de Environmental Services City of Portland: Recuperado de: https://www.portlandoregon.gov/bes/article/756518.

Fetter, C. (1994). *Applied Hydrogeology.* Third Edition. Prentice Hall. New Jersey.

Fidal, J., & Kjeldsen, T. R. (2020). Accounting for soil moisture in rainfall-runoff modelling of urban areas. *Journal of Hydrology, 589*, 125122. doi:https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125122

Franchini, M., & Suppo, M. (1996). Regional analysis of flow durationcurves for a limestone region. *Water resource management, 10*, 199-218.

Freeze, R., & Cherry, J. (1979). *Groundwater.* Prentice Hall, NJ.

Fuirellat Muriel, M. (2 de Junio de 2021). *ebuah.* Recuperado el 2023, de Revisión de modelos matemáticos aplicados a la gestión de recursos hídricos o cuencas: https://ebuah.uah.es/dspace/bitstream/handle/10017/49411/TFM_FUILLERAT_MURIEL_2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Furumai, H., Jinadasa, H. P., Murakami, M., Nakajima, F., & Aryal, R. (2005). Model description of storage and infiltration functions of infiltration facilities for urban runoff analysis by a distributed model. *Water Science and Technology, 52*(5), 53-60. doi:https://doi.org/10.2166/wst.2005.0108

Galindo Martínez, J. (1999). Modelos hidrogeológicos. *Revista de la Universidad de la Salle*(28), 63-74.

Goh, X. P., Radhakrishnan, M., Zevenbergen, C., & Pathirana, A. (2017). Effectiveness of runoff control legislation and Active, Beautiful, Clean (ABC) Waters design features in Singapore. *Water, 9*(8), 627. doi:https://doi.org/10.3390/w9080627

Gómez-Valentín, M., Macchione, F., & Russo, B. (2009). Comportamiento hidráulico de las calles durante lluvias extremas en zonas urbanas. *Ingeniería hidráulica en México, 24*(3), 51-62.

Gonzalez Elizondo, M., Jurado Ybarra, E., Gonzalez Elizondo, S., Aguirre Calderon , O. A., Jimenez Perez , J., & Navar Chaidez, J. D. (2003). Cambio climático mundial: origen y consecuencias. *Ciencia uanl, 6*, 3.

Guanumen, D. A. (2020). *Repositorio de la Universidad Antonio Nariño.* Obtenido de UAN: http://repositorio.uan.edu.co/bitstream/123456789/2120/1/2020DuvanArleyGuanumenCastillo.pdf

Gutiérrez-López, A., & Aparicio, J. (2020). Las seis reglas de la regionalización en hidrología. *Aqua-LAC, 12*(1), 81-89. doi:https://doi.org/10.29104/phi-aqualac/2020-v12-1-07

Henríquez, C., & Azócar, G. (2006). Cambio de uso del suelo y escorrentía superficial: aplicación de un modelo de simulación espacial en Los Ángeles, VIII Región del Biobío, Chile. *Revista de Geografía Norte Grande*(36), 61-74. doi:http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022006000200004

Hernández Limón, L. (2006). *Modelación de la interacción río acuífero y su aplicación a un caso práctico-Edición Única.*

Holanda, M. R., & Soares, W. A. (2019). Analysis of the effect of impermeability of urban soils on the infiltration of rainwater in the city of Recife, PE. *Revista Ambiente & Água, 14*, e2386. doi:https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2386

Huertas, J. E. (2018). Regionalización de ecuaciones para el cálculo de curvas de intensidad, duración y frecuencia mediante mapas de isolíneas en el departamento de Boyacá. *Tecnura*, 58. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-921X2018000400053

Huong, H., T. L., & Pathirana, A. (2013). Urbanization and climate change impacts on future urban flooding in Can Tho city, Vietnam. *Hydrology and Earth System Sciences, 17*(1), 379-394. doi: https://doi.org/10.5194/hess-17-379-2013, 2013.

Ibañez Asensio, S., Moreno Ramón , H., & Gisbert Blanquer, J. M. (2011). *RuiNet .* Obtenido de Métodos para la determinación del coeficiente de escorrentía (c):

https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/10781/Coeficiente%20de%20escorrent%C3%ADa.pdf

Jack, L. B., & Kelly, D. A. (2012). Property-based rainwater drainage design and the impacts of climate change. *Building Services Engineering Research and Technology, 33*(1), 19-33. doi:https://doi.org/10.1177/0143624411428952

Juncosa Rivera, R. (1989). *Hidrología 1: Ciclo hidrológico.* Obtenido de caminos.udc.es: Recuperado: https://caminos.udc.es/info/asignaturas/grado_itop/415/pdfs/Capitulo%206.pdf

Kibler, D. F. (1982). Desk-top methods for urban stormwater calculation. En D. F. Kibler, *Urban Stormwater Hydrology* (Vol. 7, págs. 87-135). American Geophysical Union.

Kure, S., Watanabe, A., Akabane, Y., & Yamada, T. (2008). Field observations of discharge and runoff characteristics in urban catchments area. *In Proceedings of the 11th International Conference on Urban Drainage.* Edinburgh, Scotland, UK. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Tadashi-Yamada/publication/267948338_Field_Observations_of_Discharge_and_Runoff_Characteristics_in_Urban_Catchments_Area/links/5547ec860cf26a7bf4da9ad1/Field-Observations-of-Discharge-and-Runoff-Characteristics-in-Urba

Lashof, D. (1997). *Global warming central: Debate number three.* doi:https://law.pace.edu/

Leopold, L. B. (1968). *Hydrology for urban land planning: A guidebook on the hydrologic effects of urban land use (Vol. 554).* US Geolgoical Survey.

Li, C., Liu, M., Hu, Y., Shi, T., Zong, M., & Walter, M. T. (2018). Assessing the impact of urbanization on direct runoff using improved composite CN method in a large urban area. *International journal of environmental research and public health, 15*(4), 775. doi:https://doi.org/10.3390/ijerph15040775

Li, C., Liu, M., Hu, Y., Zong, M., Zhao, M., & Todd Walter, M. (2019). Characteristics of impervious surface and its effect on direct runoff: a case study in a rapidly urbanized area. *Water Supply, 19*(7), 1885-1891. doi:https://doi.org/10.2166/ws.2019.064

Li, F., Duan, H. F., Yan, H., & Tao, T. (2015). Multi-objective optimal design of detention tanks in the urban stormwater drainage system: framework development and case study. *Water Resources Management, 29*(7), 2125-2137. doi:10.1007/s11269-015-0931-0

Liu, W., Feng, Q., Deo, R. C., Yao, L., & Wei, W. (2020). Experimental study on the rainfall-runoff responses of typical urban surfaces and two green infrastructures using scale-based models. *Environmental management, 66*, 683-693. doi:https://doi.org/10.1007/s00267-020-01339-9

Lobo, J. R., & Kearney, M. (2013). Acumulación y dirección de la escorrentía superficial a través del método del Número de Curva (nc) y SIG en una vertiente urbana de la ciudad de Trujillo-Venezuela. *Revista geográfica venezolana, 54*(2), 273-300.

Lujano Laura, A., Quispe Aragón, J. P., Lujano Laura, E., & Tapia Aguilar, B. (2017). Regionalización de caudales mensuales en la región hidrográfica del Titicaca, Perú. *Revista de Investigaciones Altoandinas, 19*(2), 219-230. doi:http://dx.doi.org/10.18271/ria.2017.281

Mahapatra, S., Jha, M. K., Biswal, S., & Senapati, D. (2020). Assessing variability of infiltration characteristics and reliability of infiltration models in a tropical sub-humid region of India. *Scientific Reports, 10*(1), 1515. doi:https://doi.org/10.1038/s41598-020-58333-8

Mailhot, A., & Duchesne, S. (2010). Design criteria of urban drainage infrastructures under climate change. *Journal of Water Resources Planning and Management, 136*(2), 201-208. doi:https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.000002

Marazuela, M., García-Gil, A., Santamarta, J., Gasco-Cavero, S., Cruz-Pérez, N., & Hofmann, T. (2022). Stormwater management in urban areas using dry gallery infiltration systems. *Science of the Total Environment, 823*, 153705. doi:https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153705

McWhorter, D., & Sunada, D. (1977). *Ground-Water Hydrology and Hydraulics.* Water Resources Publications.

Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. (11 de 2014). *Ministerio de Transición Ecológica.* Obtenido de Cambio Climático: Impactos, Adaptación y Vulnerabilidad guía resumida del quinto informe de evaluación del IPCC: https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/cambio-climatico/temas/el-proceso-internacional-de-lucha-contra-el-cambio-climatico/guia-resumida-gt2-impactos-adaptacion-vulnerabilidad-ar5_tcm30-177778.pdf

Monsalve, R. L. (2009). *Simulación continua de lluvias para el diseño de sistemas de drenaje urbano.* Pontificia Universidad Catolica de Chile (Chile).

Monsalve, R. L. (2009). *Simulación continua de lluvias para el diseño de sistemas de drenaje urbano.* Pontificia Universidad Catolica de Chile (Chile). doi: 2009. 28183087

Muñoz Barragán, J. E., & Zamudio Huertas, E. (2018). Regionalización de ecuaciones para el cálculo de curvas de intensidad, duración y frecuencia mediante mapas de isolíneas en el departamento de Boyacá. *Tecnura, 22*(58), 53-64. doi:https://doi.org/10.14483/22487638.14295

Nugroho, S., & Hadi, W. (2021). The Influence of Soil Conditioning on Soil Infiltration Rate in Urban Facilities. *Geosfera Indonesia, 6*(2), 222-240. doi:https://doi.org/10.19184/geosi.v6i2.24646

Ordoñez, S. (1974). *Modelos matemáticos en hidrología.* Bogotá, Colombia.

Padulano, R., Costabile, P., Costanzo, C., Rianna, G., Del Giudice, G., & Mercogliano, P. (2021). Using the present to estimate the future: A simplified approach for the quantification of climate change effects on urban flooding by scenario analysis. *Hydrological Processes, 35*(12), e14436. doi:https://doi.org/10.1002/hyp.14436

Pascual Aguilar, J., & Díaz Martín, M. (2016). *Guía práctica sobre la modelización hidrológica y el modelo HEC-HMS.* Obtenido de Información tecnológica. Universidad de Alcalá de Henares.

Piqueras, V. Y. (10 de Abril de 2020). *Universidad Politécnica de Valencia*. Recuperado el 2023, de https://victoryepes.blogs.upv.es/tag/eyector/

Pophillat, W., Sage, J., Rodriguez, F., & Braud, I. (2021). Dealing with shallow groundwater contexts for the modelling of urban hydrology–A simplified approach to represent interactions between surface hydrology, groundwater and underground structures in hydrological models. *Environmental Modelling & Software, 144*, 105144. doi:https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2021.105144

Praskievicz, S., & Chang, H. (2009). A review of hydrological modelling of basin-scale climate change and urban development impacts. *Progress in Physical Geography, 33*(5), 650-671. doi:10.1177/0309133309348098

Qiang, Y., Zhang, L., He, J., Xiao, T., Huang, H., & Wang, H. (2021). Urban flood analysis for Pearl River Delta cities using an equivalent drainage method upon combined rainfall-high tide-storm surge events. *Journal of Hydrology, 597*, 126293. doi:https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126293

Quagliolo, C., Comino, E., & Pezzoli, A. (2021). Experimental flash floods assessment through urban flood risk mitigation (UFRM) model: The case study of Ligurian coastal cities. *Frontiers in Water, 3*, 663378. doi:https://doi.org/10.3389/frwa.2021.663378

Rammal, M., & Berthier, E. (2020). Runoff losses on urban surfaces during frequent rainfall events: a review of observations and modeling attempts. *Water, 12*(10), 2777. doi:https://doi.org/10.3390/w12102777

Randall, M., Fensholt, R., Zhang, Y., & Bergen Jensen, M. (2019). Geographic object based image analysis of worldview-3 imagery for urban hydrologic modelling at the catchment scale. *Water, 11*(6), 1133. doi:https://doi.org/10.3390/w11061133

Riaño, Á. A. (2020). *Infraestructura urbana un reto para el desarrollo verde y sostenible.* Obtenido de Universidad Militar de Nueva Granada: Recuperado de: http://hdl.handle.net/10654/36315.

Rico, A., Dasso, C., García, C., & Nelli, G. (2011). Regionalización de los parámetros del modelo DIT para predicción de lluvias máximas en diseño hidrológico. *Cuadernos del CURIHAM, 17*, 15-24.

Rodríguez, A. T. (Noviembre de 2016). *mediambiente.* Obtenido de Técnicas de Drenaje Urbano Sostenible : https://mediambient.gva.es/documents/163005665/163975683/AGRICULTURA8-16I+memoria/1d8cb413-3eb3-4f5e-a247-e4466a59b21c

Rosenberger, L., Leandro, J., Pauleit, S., & Erlwein, S. (2021). Sustainable stormwater management under the impact of climate change and urban densification. *Journal of Hydrology*(596), 126137. doi:https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126137

Sánchez-Vila, X., & Fernández-García, D. (2007). Gestión de los recursos hídricos: Los modelos hidrogeológicos como herramienta auxiliar. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, 15*(3), 250-256.

School, E. B. (Septiembre de 2022). Modelos predictivos: tipos y ejemplos de uso en la actualidad. *TECNOLOGY*.

Secretaria Distrital de Ambiente. (24 de 09 de 2020). *Sistemas urbanos de drenaje sostenible*. Obtenido de https://www.ambientebogota.gov.co/sistemas-urbanos-de-drenaje-sostenible#:~:text=Los%20sistemas%20urbanos%20de%20drenaje,el%20ciclo%20natural%20del%20agua.

Semadeni-Davies, A., Hernebring, C., Svensson, G., & Gustafsson, L. G. (2008). The impacts of climate change and urbanisation on drainage in Helsingborg, Sweden: Combined sewer system. *Journal of Hydrology, 350*(1-2), 100-113. doi:https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2007.05.028

Shao, Z., Fu, H., Li, D., Altan, O., & Cheng, T. (2019). Remote sensing monitoring of multi-scale watersheds impermeability for urban hydrological evaluation. *Remote Sensing of Environment, 232*, 111338. doi:https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111338

Silva OJ. (2022). *360 en concreto*. Obtenido de Construcción de tanques de almacenamiento y pozos eyectores en edificaciones ¿Qué y cómo?: https://360enconcreto.com/blog/detalle/construccion-tanques-almacenamiento-pozos-eyectores-edificaciones/

Sobol, I. (1976). *Método de montecarlo.* Moscow.

Song, Z., Xia, J., Wang, G., She, D., Hu, C., & Hong, S. (2022). Regionalization of hydrological model parameters using gradient boosting machine. *Hydrology and Earth System Sciences, 26*(2), 505-524. doi:https://doi.org/10.5194/hess-26-505-2022

Tucci, C. (1987). *Hidrología.* Universidad Federal do Rio Grande so Sul Editora.

Tucci, C. (2002). *Regionalizacao de vazoes.* EDUSP/Editora Da Universidade.

Valdivielso, A. (2020). *iagua*. Obtenido de Serie de seminarios web Innovyze de Autodesk: https://www.iagua.es

Van Linden, S., & Van Den Bossche, N. (2022). Review of rainwater infiltration rates in wall assemblies. *Building and Environment, 219*, 109213. doi:https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109213

Vázquez-Ochoa, L. A., Correa-Sandoval, A., Vargas-Castilleja, R. C., Vázquez-Sauceda, M. L., & Rodríguez-Castro, J. H. (2021). Modelo hidrológico, calidad del agua y cambio climático: soporte para la gestión hídrica de la cuenca del río Soto la Marina. *CienciaUAT, 16*(1), 20-41. doi:https://doi.org/10.29059/cienciauat.v16i1.1498

Velásquez, N., Mantilla, R., Krajewski, W., Quintero, F., & Zanchetta, A. (2022). Identification and Regionalization of Streamflow Routing Parameters Using Machine Learning for the HLM Hydrological Model in Iowa. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems, 14*(7), e2021MS002855. doi:https://doi.org/10.1029/2021MS002855

Vélez, M. V., & Vásquez, L. M. (2004). Métodos para determinar la recarga en acuíferos. *Avances en recursos hidráulicos*(11), 51-62. doi:https://revistas.unal.edu.co/index.php/arh/article/view/93044

Villón Béjar, M. (2016). *Hidrología Estadística*. Recuperado el 2023, de Tecnológico de Costa Rica: https://www.tec.ac.cr/hidrologia-estadistica

Voter, C. B., & Loheide, S. P. (2018). Urban residential surface and subsurface hydrology: synergistic effects of low-impact features at the parcel scale. *Water Resources Research, 54*(10), 8216-8233. doi:https://doi.org/10.1029/2018WR022534

Wallner, M., Haberlandt, U., & Dietrich, J. (2013). A one-step similarity approach for the regionalization of hydrological model parameters based on Self-Organizing Maps. *ournal of hydrology, 494*, 59-71. doi:https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.04.022

Willems, P., & Olsson, J. (2012). *Impacts of climate change on rainfall extremes and urban drainage systems.* IWA publishing.

Wouters, H., Demuzere, M., De Ridder, K., & van Lipzig, N. P. (2015). The impact of impervious water-storage parametrization on urban climate modelling. *Urban Climate, 11*, 24-50. doi:https://doi.org/10.1016/j.uclim.2014.11.005

Wu, W., Ren, L., & Zhu, L. (2021). A study of urban stormwater runoff and water quality control based on system coupling simulations. *In IOP Conference Series: Earth*

and Environmental Science, 826(1), 012001. doi:IOP Publishing. DOI 10.1088/1755-1315/826/1/012001

Xu, C., Rahman, M., Haase, D., Wu, Y., Su, M., & Pauleit, S. (2020). Surface runoff in urban areas: The role of residential cover and urban growth form. *Journal of Cleaner Production, 262*, 121421. doi:https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121421

Xu, H., Ma, C., Xu, K., Lian, J., & Long, Y. (2020). taged optimization of urban drainage systems considering climate change and hydrological model uncertainty. *Journal of Hydrology, 587*, 124959. doi:https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124959

Xu, Z., Xiong, L., Li, H., Xu, J., Cai, X., Chen, K., & Wu, J. (2019). Runoff simulation of two typical urban green land types with the Stormwater Management Model (SWMM): sensitivity analysis and calibration of runoff parameters. *Environmental monitoring and assessment, 191*, 1-16. doi:https://doi.org/10.1007/s10661-019-7445-9

Yao, L., Wei, W. I., Yu, Y., Xiao, J., & Chen, L. (2018). Rainfall-runoff risk characteristics of urban function zones in Beijing using the SCS-CN model. *Journal of Geographical Sciences, 28*, 656-668. doi:https://doi.org/10.1007/s11442-018-1497-6

Yin, J., Gentine, P., Zhou, S., Sullivan, S. C., Wang, R., Zhang, Y., & Guo, S. (2018). Large increase in global storm runoff extremes driven by climate and anthropogenic changes. *Nature communications, 9*(1), 4389. doi:https://doi.org/10.1038/s41467-018-06765-2

Zapata, C., Piñeros, L., & Castaño, D. (2004). El método de simulación de Montecarlo en estudios de confiabilidad de sistemas de distribución de energía eléctrica. *Scientia et technica, 10*(24), 55-60.

Zhang, K., & Parolari, A. (2022). Impact of stormwater infiltration on rainfall-derived inflow and infiltration: A physically based surface–subsurface urban hydrologic model. *Journal of Hydrology, 610*, 127938. doi:https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.127938

Zhang, Y., Hou, J., Xia, J., She, D., Wu, S., & Pan, X. (2022). Regulation characteristics of underlying surface on runoff regime metrics and their spatial differences in typical urban communities across China. *Science China Earth Sciences, 65*(8), 1415-1430. doi:https://doi.org/10.1007/s11430-021-9945-9

Zucarelli, G. V. (Septiembre de 2017). *Repositorio da Universidade da Coruña.* Recuperado el 2023, de https://core.ac.uk/reader/95054330