

REVISIÓN DE LOS MODELOS EMPLEADOS EN HIDROLOGÍA PARA LA SIMULACIÓN
DEL CANOPY Y SU IMPLEMENTACIÓN EN SUDS.

Luis Alfredo Cabrales Carrillo

321741

Laura Vanessa Daza Carrillo

320599

Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Bucaramanga

Escuela de Ingeniería

Bucaramanga

2021

REVISIÓN DE LOS MODELOS EMPLEADOS EN HIDROLOGÍA PARA LA SIMULACIÓN
DEL CANOPY Y SU IMPLEMENTACIÓN EN SUDS.

Luis Alfredo Cabrales Carrillo

321741

Laura Vanessa Daza Carrillo

320599

Proyecto de grado presentado como requisito para optar al título de:

INGENIERO CIVIL

Director del Proyecto

Diego Alejandro Guzmán Arias

Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Bucaramanga

Escuela de Ingeniería

Bucaramanga

2021

TABLA DE CONTENIDOS

TABLA DE CONTENIDOS.....	3
LISTA DE TABLAS.....	4
LISTA DE FIGURAS	5
LISTA DE ESQUEMAS.....	5
1. RESUMEN	6
2. INTRODUCCIÓN	8
3. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA.....	12
4. ANTECEDENTES	14
5. JUSTIFICACIÓN	16
6. OBJETIVOS	17
6.1 OBJETIVO GENERAL	17
6.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	17
7. MARCO TEORICO.....	18
7.1 El artículo de revisión.....	18
7.2 Análisis bibliométrico.....	18
7.3 Science Mapping Analysis Software Tool (SciMAT).....	19
7.4 Canopy	19
8. METODOLOGÍA	22
8.1 SciMAT	23
9. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	27
9.1 Análisis de clusters	28
10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	36
11. REFERENCIAS	37
12. ANEXOS.....	40

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Documentos antecedentes del tema a investigar	14
Tabla 2. Palabras clave utilizadas para la búsqueda en base de datos	22

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Beneficios de la implementación de SUDS. Tomado de (GreenBlue Urban, 2018).....	21
Figura 2. Documents mánger SciMAT.	24
Figura 3. Periods Manager SciMAT.	25
Figura 4. Paso a paso análisis SciMAT.....	25
Figura 5. Vista longitudinal del análisis SciMAT.....	27
Figura 6. Vista periodo 2. Cluster Urban Área.	29
Figura 7. Cluster “Urban Area” análisis SciMAT.....	30
Figura 8. Cluster “Groundwater” análisis SciMAT.	31
Figura 9. Cluster “Energy Cost” analisis SciMAT.	32
Figura 10. Cluster “Monte-Carlo Method” análisis SciMAT.	33
Figura 11. Cluster “Tree” análisis SciMAT.	34
Figura 12. Cluster “Ecosystem” análisis SciMAT.....	35

LISTA DE ESQUEMAS

Esquema 1. Diagrama resumen de metodología	26
--	----

1. RESUMEN

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: REVISIÓN DE LOS MODELOS EMPLEADOS EN HIDROLOGÍA PARA LA SIMULACIÓN DEL CANOPY Y SU IMPLEMENTACIÓN EN SUDS.

AUTOR(ES): LUIS ALFREDO CABRALES CARRILLO
LAURA VANESSA DAZA CARRILLO

PROGRAMA: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR(A): DIEGO ALEJANDRO GUZMÁN ARIAS

RESUMEN

Los problemas en el drenaje urbano están asociados a la falta de planeación urbana. Por lo tanto, se plantean los sistemas de drenaje urbano sostenible (SUDS), siendo los componentes que participan en el drenaje de las ciudades, permitiendo contribuir a la reducción de caudal circulante y a los contaminantes de dichas aguas, que a su vez implementando vegetación, estas interceptan el agua llamándose este fenómeno como Canopy. El trabajo de grado presentado se dirige a la realización de un artículo de revisión a través de la búsqueda de los modelos y métodos en hidrología que permitieron abarcar vacíos en cuanto a canopy se refiere. Por medio de una búsqueda en bases de datos y su posterior análisis bibliométrico mediante el software SciMAT se obtuvieron grupos de palabras que explicasen la importancia del tema. Finalmente se realizó un artículo de revisión el cual abarca modelos originales que con el paso del tiempo fueron modificados para aplicaciones específicas de canopy y una visión urbana de esto aplicándose en zonas de bioretención como tipología SUDS.

PALABRAS CLAVE:

canopy, hidrología urbana, sistemas urbanos de drenaje sostenible

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: The models used in hydrology for the simulation of the canopy and its implementation in SUDS a review.

AUTHOR(S): LUIS ALFREDO CABRALES CARRILLO
LAURA VANESSA DAZA CARRILLO

FACULTY: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR: DIEGO ALEJANDRO GUZMÁN ARIAS

ABSTRACT

Problems in urban drainage are associated with a lack of urban planning. Therefore, sustainable urban drainage systems (SUDS) are proposed, being those elements that participate in the drainage of cities, allowing them to cooperate to the reduction of circulating flow and pollutants of said waters, which in turn implementing vegetation, these intercept the water, calling this phenomenon as Canopy. This degree work focuses on the realization of a review article through the search for models and methods in hydrology that allowed to cover gaps in terms of canopy. Through a database search and subsequent bibliometric analysis using the SciMAT software, groups of words were obtained that explained the importance of the topic. Finally, a review article was made which covers original models that over time were modified for specific canopy applications and an urban vision of this applied in bioretention areas as a SUDS typology.

KEYWORDS:

canopy, urban hydrology, sustainable urban drainage systems

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

2. INTRODUCCIÓN

El Canopy se refiere al fenómeno de intercepción de agua lluvia que realizan los árboles y la vegetación de tamaño corto y largo como el césped y los arbustos, al momento de ocurrir la precipitación. El aumento en la urbanización ha provocado cambios estructurales y ambientales en las cuencas urbanas aumentando la pavimentación, lo que reduce la infiltración del suelo y aumenta la deposición de los contaminantes (de Macedo, do Lago, & Mendiondo, 2019) las consecuencias de estos cambios producen un aumento considerable de la escorrentía superficial, convirtiéndose en problemas urbanos. Los eventos de lluvia extrema acarrear problemas para la población quienes son los más vulnerables a inundaciones y deslizamientos de tierra (de Macedo et al., 2019). Los sistema de drenaje urbano sostenibles (SUDS) son componentes que participan en el sistema de aguas pluviales de las ciudades, reduciendo la escorrentía (Ariza et al., 2019) y a su vez permiten una disminución en la contaminación que es arrastrada por el agua, ya que se conoce que la superficie de las hojas y los tallos absorben cantidades de aire contaminante dependiendo de la especie, para el caso de las partículas en suspensión estas se depositan o acumulan sobre la superficie de las hojas, aunque una fracción es retenida en el viento, también es adherida a la planta, por tanto, se promueve el uso de vegetación urbana, esto permite reducir la concentración de dichos contaminantes a través del proceso llamado fitofiltración. (Viecco et al., 2018)

La revisión bibliográfica a continuación presentada, profundiza sobre los modelos empleados en hidrología para la simulación del canopy y su implementación en SUDS.

Un modelo es una manera de representar un conjunto real con un grado específico de precisión y en la forma más cercana posible de variables que simulan el comportamiento de la realidad. Son muy usados para dar a entender de manera que se pueda comprender de mejor forma algo real,

cuando no es muy fácil llevarlo directamente a la realidad. Estos modelos se dividen en varios tipos como son los modelos matemáticos que caracteriza de manera resumida a través de funciones, ecuaciones y fórmulas matemáticas, un fenómeno que relaciona una o más variables involucradas en el comportamiento de un sistema. También están los modelos experimentales que a través de métodos estadísticos pretenden identificar y cuantificar las causas y efectos de las variables que intervienen en determinado sistema.

Existe una marcada ruta o línea a través del tiempo de como la sociedad científica ha ido desarrollado metodologías necesarias para representar el canopy. Inicialmente, el tema causó interés debido a como esto afectaba el comportamiento de la escorrentía en bosques y distintos cultivos por la intersección de agua por parte de los árboles y las plantas en sus hojas. Debido a esto se empezaron a desarrollar técnicas experimentales con las cuales se hizo posible la medición del volumen de agua interceptada en las hojas de los árboles con mayor precisión. Además de estos experimentos empiezan a surgir modelos matemáticos comprobados experimentalmente como lo son el modelo original de Rutter y Gash (Gash, 1979; Rutter, Kershaw, Robins, & Morton, 1972), que hacen parte de los modelos pioneros en el estudio y modelamiento del canopy y el dosel. Posteriormente a estos dos modelos muchos más científicos interesados en simplificar y mejorar las metodologías de cálculo generan modificaciones a los mismos, así como nuevos modelos que permiten establecer medidas, análisis y estudios simplificados para los científicos. Así, con la intención de facilitar los métodos se fue dirigiendo el modelamiento matemático y experimental durante muchos años hasta obtener los modelos que conocemos hoy en día. Los cuales han permitido el estudio de la incidencia en los bosques urbanos, árboles, pequeñas plantas y césped; y como esto afecta positivamente entre otras cosas al volumen de escorrentía generada durante las

tormentas, permitido estimar el beneficio que genera en el aumento de la capacidad hidráulica de los sistemas pluviales urbanos.

Para el análisis de la evolución de modelos se realizó una revisión bibliográfica, esta tiene como propósito el desarrollo de un compendio de conocimientos, actualizar e informar sobre el estado de un tema por medio de la recopilación de la información, evaluar dicha literatura, detectar nuevas líneas de investigación, comparar la información, entre otras.

La recopilación de esta información en un artículo de revisión se realiza con el interés de posibilitar acceso a información académico-científica actual a toda la comunidad educativa interesada en este tema de tan amplio interés y relevancia. Así como también genera un interés en el ámbito profesión ya que representa una gran alternativa en manejo de escorrentía y conservación del medio ambiente.

Como complemento, se realizó un estudio bibliométrico basado en la tecnología del software SciMAT: que realiza análisis de mapas científicos dentro de un marco longitudinal. El mapeo científico, o mapeo bibliométrico, es una importante temática de análisis dentro de la bibliometría. Es una idea de cómo las diferentes campos, profesiones, documentos y autores se relacionan. Se centra a monitorear el ámbito científico y delimita áreas de investigación para determinar su relación en la estructura y la evolución. (M.J. Cobo, A.G. López-Herrera, E. Herrera-Viedma, 2012)

La metodología usada para el artículo de revisión consiste en el análisis del material bibliográfico precisando las fuentes y estrategias de búsqueda. Se realizó un resumen de la información y este resumen se organizó para que una vez sistematizada y analizada la información,

se establezcan las brechas del conocimiento, proponer estrategias futuras y presentamos las conclusiones.

3. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

La utilización de árboles como elementos constitutivos del entorno integrados a los sistemas de drenaje urbano como las estructuras de bioretención.(Brasil et al., 2021) El aporte en las zonas urbanas consiste en una implementación de estrategias que ayudan a gestionar la escorrentía de aguas lluvias reduciendo las inundaciones, que representan muchas pérdidas económicas directas e indirectas y de gran incertidumbre en su estimación. Los perjuicios económicos ocasionados por los desbordamientos se catalogan entre daños materiales que pueden ser medidos mediante una valoración económica e intangibles que representa las pérdidas mortales, perjuicio al bienestar de las personas y daños en sitios históricos o arquitectónicos. (Baró et al., 2012) Los árboles tienen un inmenso potencial en la reducción de escorrentía de aguas pluviales mediante la intersección y retención de agua lluvia que hacen sus hojas, dependiendo del tipo de follaje y constitución foliar esta interceptará en mayor o menor medida.

Los sistemas de drenaje pluvial tradicionales se diseñan basados en una vida útil y capacidad de la red. Cuando estos están por llegar al límite de su vida útil y máxima capacidad por causa de una mayor densificación urbana o a razón de cambios de origen climático, el riesgo de saturación y eventual desbordamiento del sistema es más alto. En este sentido la retención foliar o implementados mediante SUDS en ambientes urbanos, en donde los tiempos de concentración del sistema son considerablemente más bajos comparado con una cuenca no urbana, ayudan a disminuir la velocidad y volumen de escorrentía que se acumula en el sistema de drenaje pluvial. Esto se traduce en el restablecimiento de la capacidad hidráulica de las tuberías del sistema, necesario para no saturar el drenaje y prolongar el tiempo útil de un sistema pluvial.

Los SUDS pueden definirse a su vez como áreas de renovación urbana ya que contribuyen al manejo de los riesgos ambientales asociados a la escorrentía urbana, teniendo tipologías según su función. Por medio de este trabajo de grado se desarrolló una revisión científica que dejó como resultado la escritura de un artículo. El tema de trabajo de grado se enfoca en identificar las metodologías existentes para el estudio del canopy en estructuras tipo zonas de bioretención, es decir, con poca área de tierra o de sembrado en donde el mayor efecto de retención lo haría el follaje del árbol; el alcance de la tesis propuesta servirá de aporte a futuros proyectos de investigación que deseen incursionar en el tema; estudiantes, docentes y público interesados en utilizar la información obtenida en este proyecto de grado.

4. ANTECEDENTES

A continuación, se presenta la Tabla 1. con 5 columnas las cuales están organizadas de la siguiente manera: en primer lugar, se encuentra el título del documento o artículo tomado como referencia, seguido de los autores y el año de publicación, finalizando con el tipo de documento y la revista en la cual se encuentra publicado.

Tabla 1. Documentos antecedentes del tema a investigar

TITULO	AUTORES	AÑO	TIPO DE DOCUMENTO	REVISTA CIENTIFICA
A predictive model of rainfall interception in forests, Derivation of the model from observations in a plantation of corsican pine	A. J. Rutter, k. A. Kershaw 1, p. C. Robins and a. J. Morton	1971	Artículo de investigación	Agricultural Meteorology
An analytical model of rainfall interception by forests	By J. H. C. Gash.	1979	Artículo de investigación	Royal Meteorological Society
A stochastic model of rainfall interception	Ian R. Calder	1986	Artículo de investigación	Journal of Hydrology
A new model for the prediction of rainfall interception in forest canopies	Shuguang Liu	2001	Artículo de investigación	Hydrological Processes
A review of rainfall interception modelling	A. Muzylo, P. Llorens, F. Valente, J.J. Keizer,	2009	Artículo de revisión.	Journal of Hydrology.

F. Domingo,
J.H.C. Gash.

- Potential of Particle Matter Dry Deposition on Green Roofs and Living Walls Vegetation for Mitigating Urban Atmospheric Pollution in Semiarid Climates
- Viecco, M., 2018
Vera, S.,
Jorquera, H.,
Bustamante, W.,
Gironás, J.,
Dobbs, C.,
& Leiva, E.
- Artículo de Sustainability Journal.
investigación.
- A Multicriteria Planning Framework to Locate and Select Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS) in Consolidated Urban Areas
- Jiménez 2019
Ariza,
Martínez,
Muñoz,
Quijano,
Rodríguez,
Camacho, &
Díaz-
Granados.
- Artículo de Sustainability Journal.
investigación.
- Nature-Based Solutions and Real-Time Control: Challenges and Opportunities
- Brasil, J.; 2021
Macedo,
M.; Lago,
C.; Oliveira,
T.; Júnior,
M.;
Oliveira, T.;
Mendonça,
E.
- Artículo de Water Journal.
investigación.
-

5. JUSTIFICACIÓN

La necesidad de tener mayor claridad sobre la información que se maneja actualmente en la comunidad científica y académica sobre el canopy y su uso en SUDS, esto, permitiendo que en el futuro profesionales de distintas áreas puedan hacer uso de esta información como punto de partida para ampliar la información que sea necesario o la aplicación en proyectos que tengan un impacto en la sociedad.

Este artículo de revisión permitirá sentar un precedente sobre la base conceptual de algunos de los modelos matemáticos más importantes de actualidad en cuanto a canopy se refiere, estableciendo vacíos de conocimiento que puedan ser investigados y completados en el futuro.

Algunas de las problemáticas que aquejan hoy en día a las ciudades del mundo y en consecuencia a sus habitantes son las inundaciones y la contaminación, dos fenómenos que pueden ser apaciguados en distintos niveles mediante métodos de sustitución de cobertura, la implementación de árboles como sistema urbano de drenaje sostenible.

6. OBJETIVOS

6.1 OBJETIVO GENERAL

- Realizar un análisis y revisión sistemática de los modelos y métodos empleados en hidrología urbana a partir de los estudios existentes para la estimación del efecto de retención foliar (Canopy).

6.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Determinar las pautas a seguir para la realización de un artículo de revisión científico.
- Desarrollar un artículo científico de revisión sobre los distintos modelos y métodos empíricos y teóricos empleados en la estimación del Canopy para la implementación de estrategias de bioretención en cuencas urbanas.
- Determinar los requisitos para someter el artículo a la revista Urban Water Journal1. (IF 1.88 – Q2)

7. MARCO TEORICO

7.1 El artículo de revisión

Es un tipo de artículo científico que no se define exactamente como original, sino que reúne información más específica acerca del asunto en cuestión. Estos artículos tienen el propósito de simplificar conocimientos, actualizar e informar sobre los avances del tema en específico, por medio de la recopilación de información, evaluación, detectar focos de investigación, comparar dicha información, etc.

7.2 Análisis bibliométrico

Analizar las publicaciones científicas ha evolucionado de tal manera que es una herramienta que posibilita la estimación de la relevancia y el efecto que este genera en el conocimiento. La bibliometría proporciona las bases acerca de lo obtenido del proceso informativo en cuanto a su volumen, la manera en que este evoluciona, como se visualiza y la esquematización. Esto ayuda a dar un valor agregado a la actividad científica, y a la huella que tiene la búsqueda y sus fuentes.

La bibliometría permite obtener las pautas para conocer el desarrollo del estudio y la conducta, es decir, la organización que tuvieron los autores. Gracias a esto puede estimarse los indicadores dependiendo con el tipo de documento, como los artículos publicados en revistas de investigación para su posterior análisis bibliométrico.

Existen indicadores bibliométricos que se clasifican en dos; indicadores de actividad e indicadores de impacto. Los primeros permiten conocer la situación real en que se encuentra, es decir, la distribución, dispersión y colaboración de las publicaciones, productividad, tiempo de las citas, vínculo entre los autores, etc. En los indicadores de impacto está la estimación de las

publicaciones con uso de sus citas elevado o llamados “Hot Papers” y el factor de impacto (FIN). (Escorcia, 2008).

Para el uso correcto de los indicadores, se tienen ocho condiciones las cuales hacen de la bibliometría una herramienta que permite obtener resultados fiables. (Escorcia, 2008)

7.3 Science Mapping Analysis Software Tool (SciMAT)

El mapeo científico, o mapeo bibliométrico es relevante para la bibliometría (M.J. Cobo, A.G. López-Herrera, E. Herrera-Viedma, 2012). Este tiene como objetivo mostrar la estructuración y los aspectos dinámicos que hacen parte de la investigación científica. (M.J. Cobo, A.G. López-Herrera, E. Herrera-Viedma, 2012)

SciMAT es un software que realiza un análisis científico, es decir, proporcionando diferentes módulos permiten realizar el proceso para el desarrollo del mapeo científico. SciMAT presenta además tres características que lo convierten en factor diferenciador de otras herramientas de software cartográficas científicas: posee un módulo de preprocesamiento el cual limpia la bibliografía sin procesar datos, usa medidas bibliométricas para el estudio del impacto para cada elemento que se desee estudiar y cuenta con un asistente para configurar el análisis. (M.J. Cobo, A.G. López-Herrera, E. Herrera-Viedma, 2012).

7.4 Canopy

Los árboles son un elemento importante en nuestro medio ambiente, ya sea que formen parte de bosques naturales, bosques en entornos urbanos cada vez más reconocidos o parte de infraestructura verde en áreas urbanas. Independientemente de su ubicación, los árboles influyen significativamente en los ciclos ecológicos e hidrológicos. En hidrología, por ejemplo, la división de la lluvia consta de tres componentes: la precipitación que cae a través de los huecos en el dosel

o gotea desde ella hacia el suelo (es decir, la caída), la precipitación que cae por el tallo (es decir, el flujo del tallo) y la precipitación retenida en el dosel y se evapora de nuevo a la atmósfera (es decir, pérdida de intercepción). En general, la pérdida de intercepción de lluvia disminuye dependiendo de las características de la lluvia. (Rojo, Dhillon, Upadhyaya, & Jenkins, 2020)

La implementación de árboles es de gran aporte en las zonas urbanas ya que ayudan a gestionar la escorrentía urbana de aguas lluvia. Los árboles tienen un inmenso potencial en la reducción de escorrentía de aguas pluviales, en algunos estudios se llegó a determinar que para las especies *Ginkgo biloba*, *Spiraea japonica*, *Aesculus turbinata* y *Zelkova serrata* llegaron a tener una intercepción en algunas lluvias del 57.93%, 35.79%, 30.58% y 20.59% respectivamente (Yang, Lee, Heo, & Biging, 2019)

El drenaje tradicional se diseña basados en una escorrentía superficial muy rápida, la cual hace fluir de manera muy veloz el agua, desde donde se acumula en red de alcantarillado pluvial aumentando el riesgo de inundación, daños ambientales, y contaminación urbana. La implementación de un sistema urbano de drenaje sostenible que en este caso son árboles, disminuye la velocidad en la que la escorrentía se acumula en el sistema de drenaje pluvial, generando una restitución de la capacidad hidráulica del sistema, lo que permite controlar el flujo de agua sin aumentar diámetros de tubería como es mostrado en la Figura 1. (GreenBlue Urban, 2018) a comparación de las soluciones tradicionales que solo se basa en aumentarle capacidad al sistema mediante la implementación de tubería de mayor diámetro, lo que acarrea un gran gasto económico y una difícil logística para su implementación.

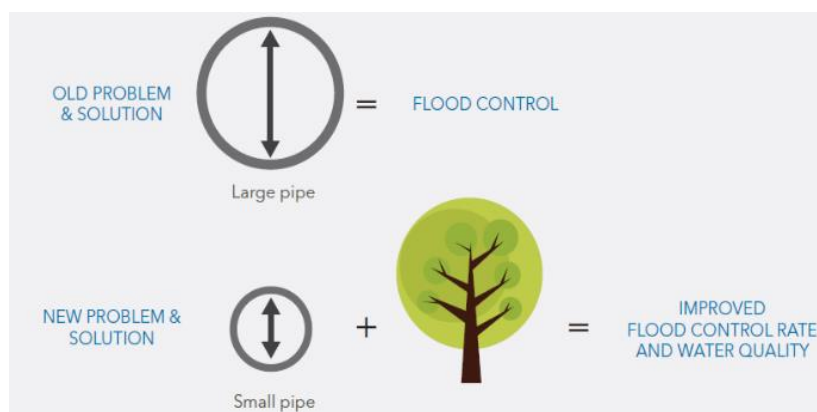


Figura 1. Beneficios de la implementación de SUDS. Tomado de (GreenBlue Urban, 2018)

No siempre es posible emplear una gran concentración de capa verde de árboles en las zonas urbanas por esto es necesario conocer y escoger las especies de árboles adecuadas para esta implementación, es importante seleccionar arboles con alta intercepción de agua “CANOPY”, esto para favorecer el ciclo hidrológico local. La intercepción se puede medir como la resta entre la precipitación y el volumen de precipitación que ingresa en el sistema pluvial, A medida que caen las gotas de lluvia, algunas gotas caen directamente pasar a través del follaje y los espacios entre las ramas para llegar a la tierra, que se llama "caída libre". Las gotas de lluvia interceptados por hojas o ramas se almacenan temporalmente en su superficie. (Webber et al., 2020)

Se han desarrollado modelos para sistemas forestales por autores como Rutter quien fue el primero en presentar un modelo físico el cual interpreta el procedimiento de la intercepción mediante el balanceo de agua (Rutter et al., 1972) y (Gash, 1979) quien estableció el primer modelo de intercepción analítico, representando series de lluvias en las que los intervalos de tiempo eran largos lo que permitía que las hojas se secaran completamente. A su vez, estos métodos han sido modificados para ser usados en ciertas condiciones.(Muzylo et al., 2009) (Ver Anexos).

8. METODOLOGÍA

La presente investigación es un artículo de revisión destinado a facilitar el acceso a información académica actual durante el proceso de búsqueda.

En general, la estructura de un artículo de revisión consiste en orientar el trabajo hacia una interrogante lo cual define junto al plan de trabajo la metodología para el análisis bibliográfico precisando fuentes y estrategias de búsqueda. En cuanto al estudio de los documentos requiere la implementación de estrategias para que, al seleccionar y sistematizar la información encontrada, se realice un resumen y pueda clasificarse ya sea mediante categorías o subtemas. Una vez se tenga esto, es importante discutir las brechas del conocimiento, proponer estrategias futuras y llegar a las conclusiones.

Se definieron parámetros para la búsqueda de la información, el cual consistió en usar palabras clave referentes al tema principal, presentadas en la Tabla 2.

Tabla 2. Keywords utilizados para la búsqueda en base de datos

Nº	Palabra clave	Relacionado
1	Canopy	Intercepción
2	Hydrological model	Modelos empíricos/teóricos para modelado del canopy.
3	Interception loss	Perdidas de intercepción por aguas lluvias
4	Methods for canopy	Modelos originales para la estimación de canopy.

De esta manera, se recopilaron estudios previos de este tema con el fin de estimar el estado actual del mismo, dado que se han originado métodos para la estimación del canopy a partir de varios modelos hidrológicos existentes los cuales se modificaron para cumplir este objetivo.

Es necesario considerar las fechas de publicación de los artículos recopilados, porque así se determinó la veracidad de la información. Se consideraron revistas de hidrología y ambientales debido a que también es importante la vegetación en el estudio del canopy.

Dichos artículos se almacenaron en una carpeta en la nube donde fueron organizados de manera alfabética y sistemática para su posterior análisis.

8.1 SciMAT

Para la realización del análisis bibliométrico es necesario como primer paso la descarga de la bibliografía en las fuentes de datos. Las empleadas para dicho proceso fueron: Scopus y Science Direct.

En ambas bases de datos se hizo una búsqueda con palabras relevantes para la investigación para que arrojase un número considerable de documentos. Las palabras fueron “urban canopy y hydrology”. Lo que nos permitió obtener luego de filtrar por artículos científicos y revisiones un total de 536 evidenciado en la Figura 2.

The screenshot displays the SciMAT 1.1.04 interface. On the left, a 'Documents list' table shows various documents with columns for ID, Title, Author, Year, Citations, words, and other metrics. Document 536 is highlighted. On the right, the 'Document detail' panel shows information for document 536, including its title 'Urban vegetation impacts on the hydrology of Dayton, Ohio', issue and volume information, DOI, and an abstract. Below the abstract, there are fields for Citations (set to 100) and Source identifier, along with buttons for 'Update', 'Journal info', 'Source', 'Publish date info', and 'Year'.

ID	Title	Aut...	Year	Cit...	words	Au...	So...	Ad...
512	Influ...	Hold...	2017	29	26	26	0	0
513	Reg...	ZÃ¶f...	2017	61	50	50	0	0
514	An e...	Willi...	2016	34	41	41	0	0
515	Stati...	Don...	2016	2	20	20	0	0
516	Hydr...	Wine...	2016	26	31	31	0	0
517	Iden...	Lope...	2016	5	33	33	0	0
518	Com...	Riem...	2016	8	43	43	0	0
519	Emer...	Pfel...	2015	8	66	66	0	0
520	The i...	Scho...	2015	21	6	6	0	0
521	Habi...	Lives...	2015	36	40	40	0	0
522	Subu...	Giral...	2015	2	21	21	0	0
523	Adv...	Yang...	2015	3	5	5	0	0
524	A wa...	Liu, ...	2015	5	40	40	0	0
525	Rain...	Lives...	2014	78	20	20	0	0
526	An e...	Arde...	2014	7	41	41	0	0
527	Impa...	Ni, G...	2013	1	5	5	0	0
528	A co...	Bou...	2013	130	24	24	0	0
529	Hydr...	Bou...	2013	63	26	26	0	0
530	Multi...	Naka...	2012	12	48	48	0	0
531	Tree...	Yang...	2011	10	48	48	0	0
532	Urba...	Imbe...	2011	12	6	6	0	0
533	A no...	Gash...	2008	11	16	16	0	0
534	Mec...	Endr...	2008	99	30	30	0	0
535	Dev...	Ni, G...	2001	104	26	26	0	0
536	Urba...	Sand...	1986	100	0	0	0	0

Figura 2. Documents manager SciMAT.

Posteriormente a la descarga, fue llevado al software SciMAT y se empezó con la depuración, dado que es probable que existan autores y palabras repetidas por el hecho de que contienen una letra o signo de más, como es el caso de los plurales. Así, se crearon los grupos de palabras y autores. Se crearon 3 grupos de periodos como se observa en la Figura 3. en los que se agruparon los documentos por años para obtener una visión más clara o si existe algún punto de diferencia en el tema con el paso del tiempo hasta la actualidad.

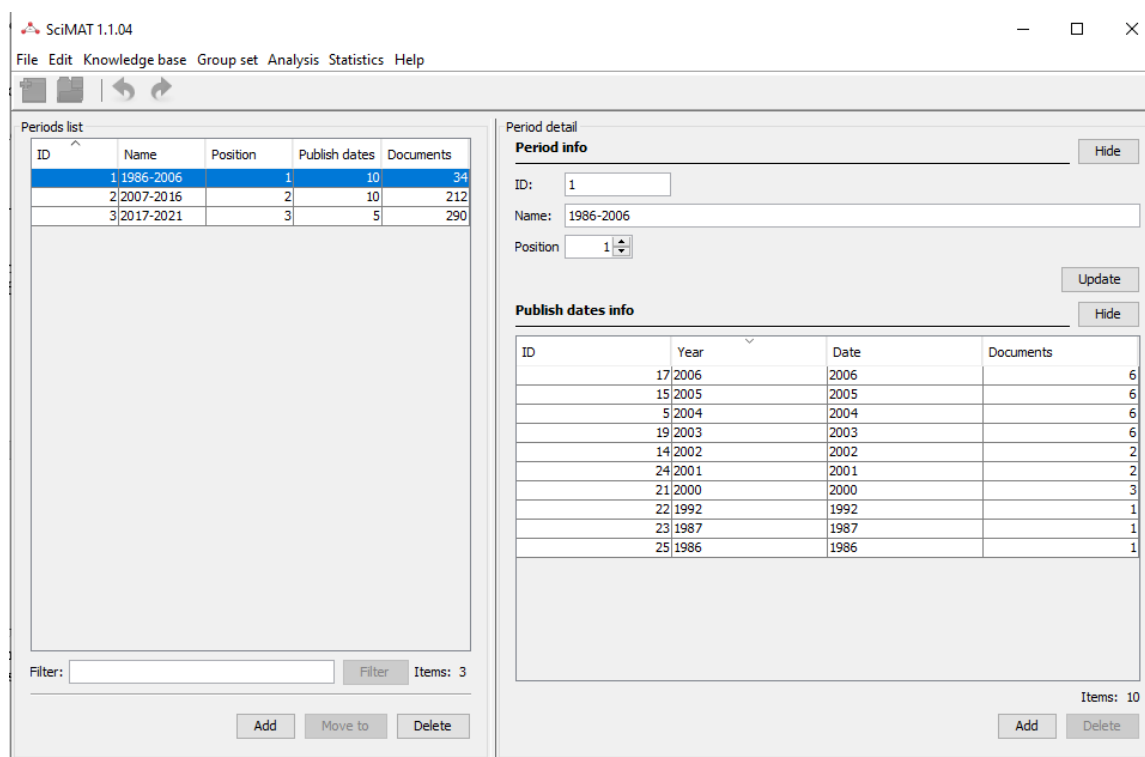


Figura 3. Periods Manager SciMAT.

Seguidamente se procedió a realizar el análisis teniendo en cuenta los diez pasos necesarios por el software mostrado en la Figura 4.

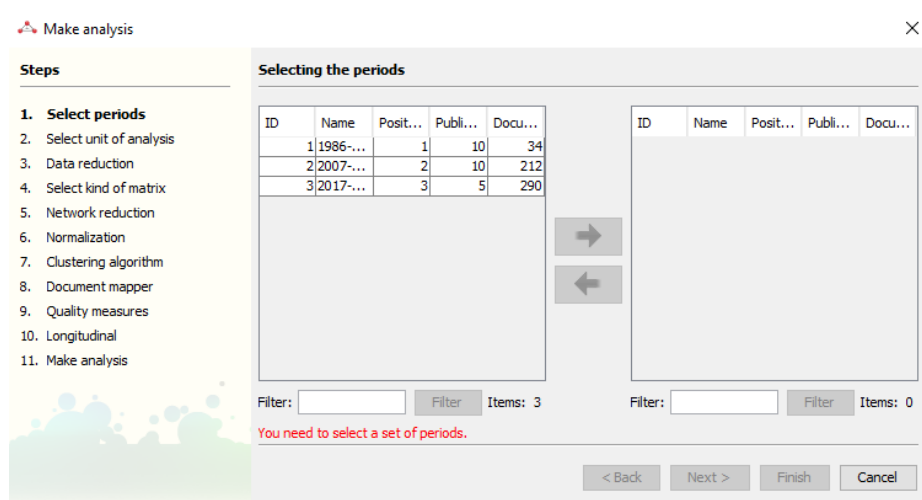
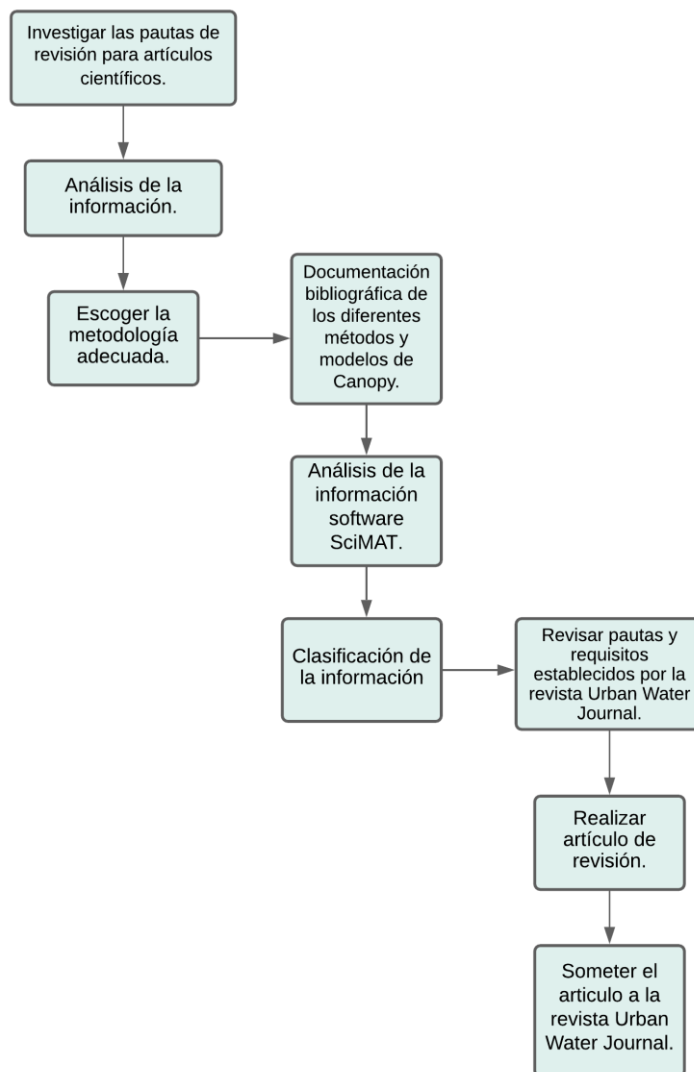


Figura 4. Paso a paso análisis SciMAT.

En el Esquema 1. se presenta un resumen en forma de diagrama el cual explica el paso a paso llevado a cabo en la metodología empleada en el trabajo de grado para la investigación, análisis y escritura de este.



Esquema 1. Diagrama resumen de metodología

9. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se obtuvo del análisis dos pestañas las cuales muestran en su primera parte la vista longitudinal del análisis, aquí se encuentra el recuento de palabras claves y se observa a manera de mapa la evolución y conexión de las palabras en los periodos de tiempo como se observa en la Figura 5.

Inicialmente, en la parte superior se tiene lo que constituye el paso de las palabras claves de cada periodo para su posterior análisis separadamente. Para el primer periodo comprendido entre 1986 y 2006 se obtuvieron 15 palabras de las cuales 3 salen del análisis y 12 pasaron al siguiente periodo. En el segundo periodo comprendido entre 2007 y 2016 aparecieron 52 palabras más las 12 que pasaron del primer periodo teniendo 64 palabras, de las que 18 salen del análisis y 46 siguen al tercer periodo comprendido entre 2017 y 2021, a esto se le suman 14 que se obtuvieron en este periodo, sumando un total de 60 palabras, siendo estas las más representativas y repetitivas en los documentos analizados.

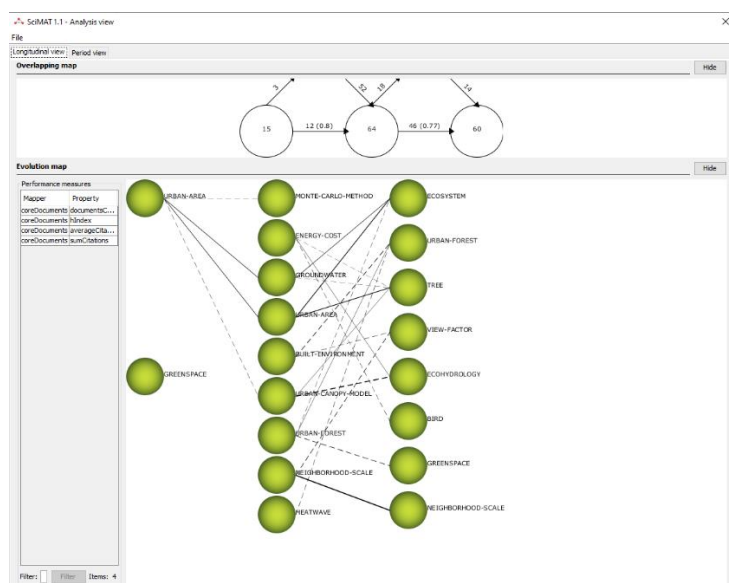


Figura 5. Vista longitudinal del análisis SciMAT.

En la segunda pestaña llamada “vista por periodos” (period view) como se observa en la Figura 6. se tienen varias ventanas en las que se seleccionan el periodo, ya sea 1, 2 o 3 y allí analizar las palabras que formaron un cluster y las palabras que son los nodos asociados.

Se encuentra también un diagrama estratégico, esto lo que indica la centralidad, es decir, la relación nodo-nodo dentro del diagrama y la densidad, que es la fortaleza que hay entre las palabras claves que están dentro del nodo.

Este tiene 4 cuadrantes, el primer cuadrante (en sentido del reloj), indica las palabras que son motor de investigación, en el segundo se encuentran las palabras básicas, representativas, pero no están desarrolladas en gran medida, en el tercero tenemos las palabras que están declinando y por último en el cuarto cuadrante tenemos las palabras que están siendo objeto de investigación, pero siguen siendo aisladas al tema principal.

9.1 Análisis de clusters

Se seleccionaron 6 palabras las cuales están directamente relacionadas con el tema de investigación (Urban Area, Groundwater, Energy-Cost, Monte Carlo Method, Tree y Ecosystem) las 4 primeras pertenecen al segundo periodo y las otras 2 al tercer periodo. Estas conformaron clusters y se analizó la relación que tenían con los diferentes nodos. Como se observa en la Figura 6. es la vista que se obtiene al seleccionar un periodo y escoger el cluster con un buen puntaje en cuanto a su centralidad y densidad. También puede variarse la información que se observa en el diagrama dependiendo de la sumatoria y promedio de citas y la cantidad de documentos en los que se encuentra la palabra.

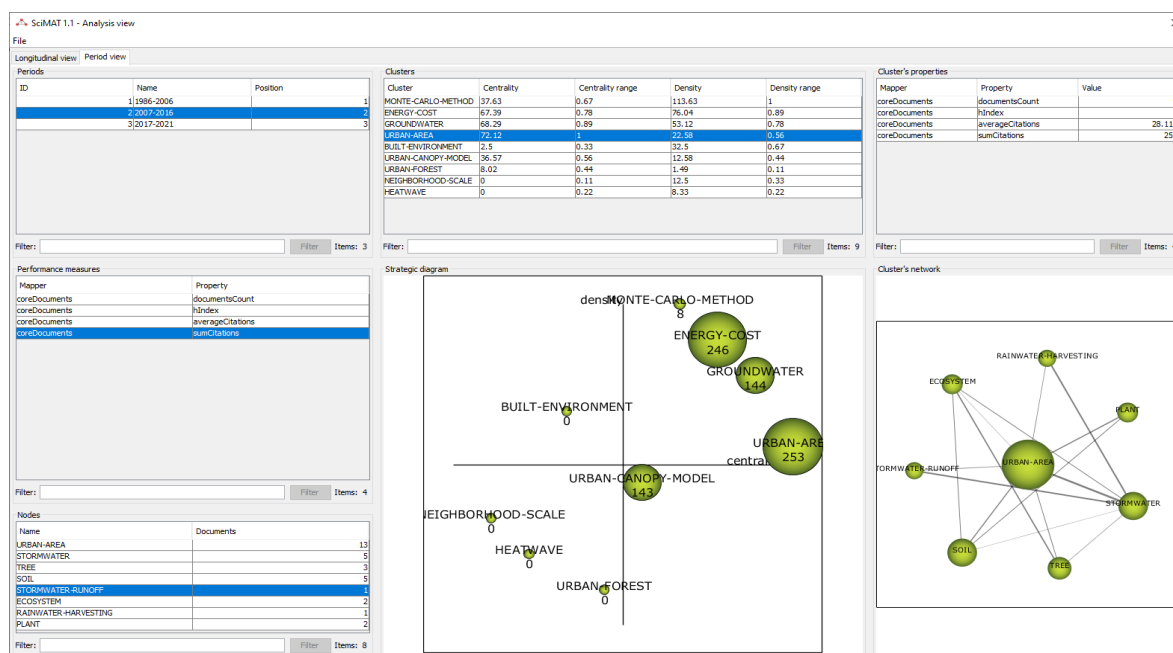


Figura 6. Vista periodo 2. Cluster Urban Área.

Periodo 2007-2016.

- Urban-Area

Este cluster posee una centralidad de 72.12 y una densidad de 22.58

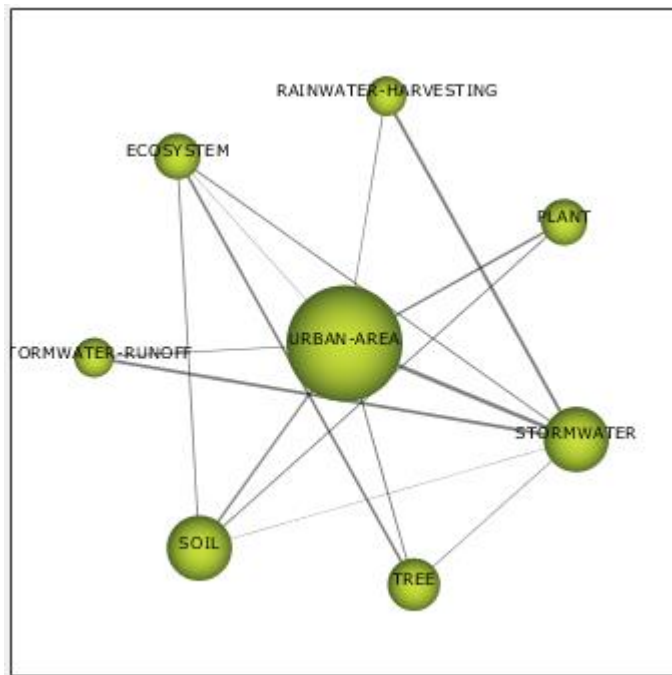


Figura 7. Cluster “Urban Area” análisis SciMAT.

Como sociedad estamos pasando por una situación crítica en la que el cambio climático amenaza día a día nuestro estilo de vida y nuestra estabilidad como sociedad. Entre los recursos naturales afectado por la mano humana resalta los escasos de agua potable. Mientras tanto muchas ciudades y poblaciones han sido afectadas por inundaciones esto debido a la escorrentía de aguas pluviales en áreas urbanas, tomando protagonismo el papel que realizan los árboles y plantas en la intercepción de agua en sus hojas ramas. Aquí es donde toma sentido que este “cluster’s network” que es resultado del análisis bibliométrico que fue generado de una gran cantidad de palabras claves en el estudio del canopy relacione palabras tales como Ecosystem, Rainwater-Harvesting, Plant, Stormwater, tree, stormwater-runoff, ecosystem, urban-area. Tomando como su núcleo o central las áreas urbanas que es la tendencia a la que se dirigen los estudios de esta temática.

- Groundwater

Este cluster posee una centralidad de 68.29 y una densidad de 53.12.

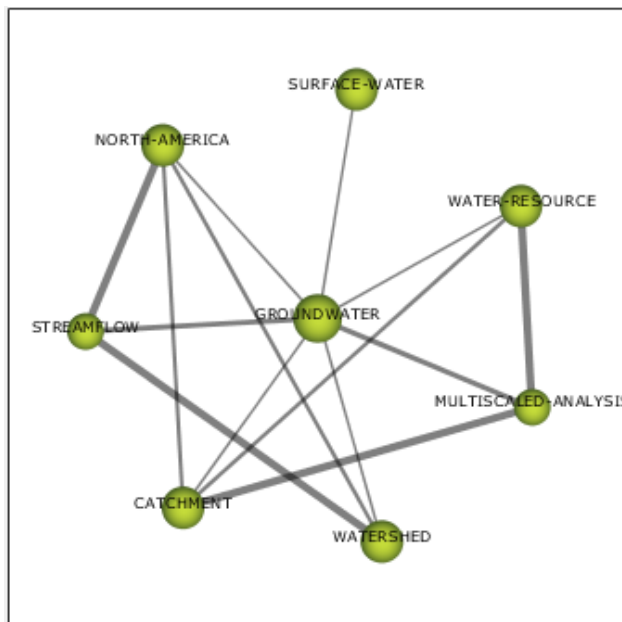


Figura 8. Cluster “Groundwater” análisis SciMAT.

El ciclo del agua es fundamental en estudio del canopy y como este lo afecta, sabemos que el agua fluye superficialmente y también de manera subterránea, a través de las cuencas y generando fuentes de agua. El canopy o la interrupción de agua por partes del árbol tales como ramas, hojas y tallo afectan principalmente al agua superficial generada por lluvias y en menor manera las aguas subterráneas que se infiltra. Es por esto por lo que se sustenta este “cluster’s network” resultado del análisis bibliométrico realizado en donde se relacionaron las palabras: Surface-Water, Water-Resource, Watershed, catchment, streamflow, North America, GrownWater.

- Energy Cost

Este cluster posee una centralidad de 67.39 y una densidad de 76.04

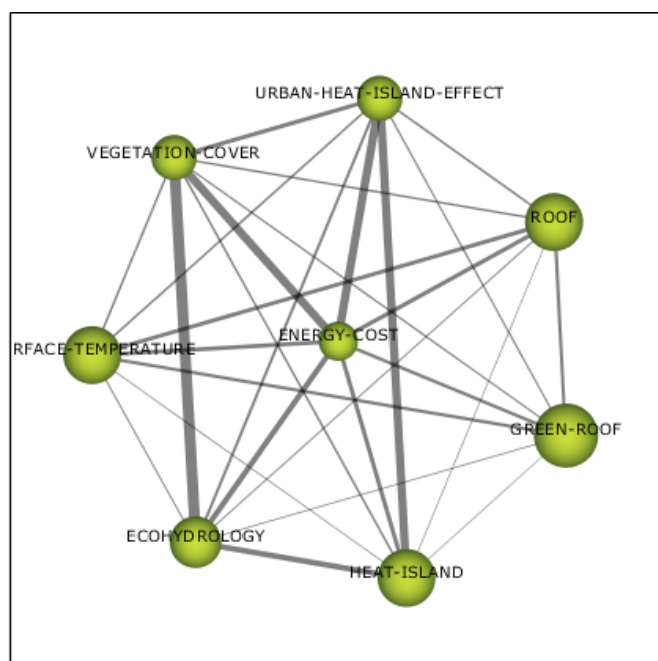


Figura 9. Cluster “Energy Cost” analisis SciMAT.

El costo energético es sin duda una problemática que necesita ser apaciguada de manera que se pueda evitar los cambios climáticos que conllevan al calentamiento global. Ha sido de gran ayuda los últimos años las alternativas que se han presentado para darle solución, entre ellas tenemos los techos y cubiertas verdes. Esto nos da una visión de que acarrea a su vez la construcción de edificaciones que crean islas de calor y aumentos en la temperatura. Este cluster nos presenta esa visión hacia lo que hoy en día se ve en dichas construcciones, se piensa en sostenibilidad para estar a la vanguardia y contribuir al medio ambiente. De aquí que las palabras que se asocian entre si sean: Surface temperatura, vegetation cover, urban-heat island effect, roof, green roof, heat-island, ecohydrology.

- Monte-Carlo-Method

Este cluster posee una centralidad de 37.63 y una densidad de 113.63

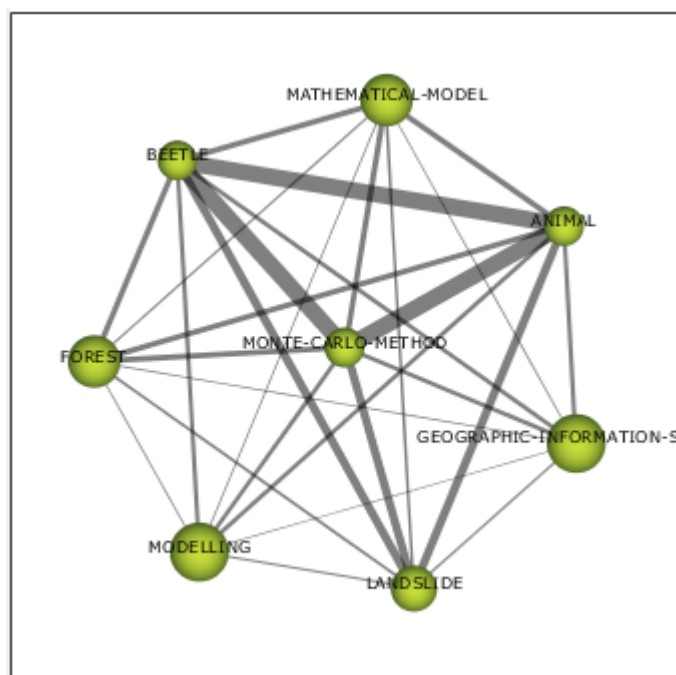


Figura 10. Cluster “Monte-Carlo Method” análisis SciMAT.

Las matemáticas es el fundamento de prácticamente todas las ciencias, Y el estudio del canopy no es ajeno a ello, por ende el uso de métodos estadísticos es imperativo en el desarrollo de modelos matemáticos y experimentales que han permitido a los investigadores determinar métodos tanto prácticos como teóricos para medir el volumen, comportamiento y beneficios que tiene el canopy en distintos ambientes estudiados, desde cultivos y bosques, pasando por cubiertas verdes y SUDS hasta el césped y los matorrales. Es por ello que al realizar un análisis bibliométrico de un gran número de artículos científicos relacionados con el tema hemos obtenido este “cluster’s network” el cual nos mostró la gran relación que tienen estas palabras entre sí y con el canopy. Generando una centralidad en el método estadístico Monte Carlo, que es esencialmente una estadística enfocada en el estudio de ecuaciones diferenciales o principalmente, de ecuaciones integro-diferenciales que ocurren en diversas ramas de las ciencias naturales (Granovskii & Ermakov, 1977).

Periodo 2017-2021

- Tree

Este cluster posee una centralidad de 33.04 y una densidad de 17.28

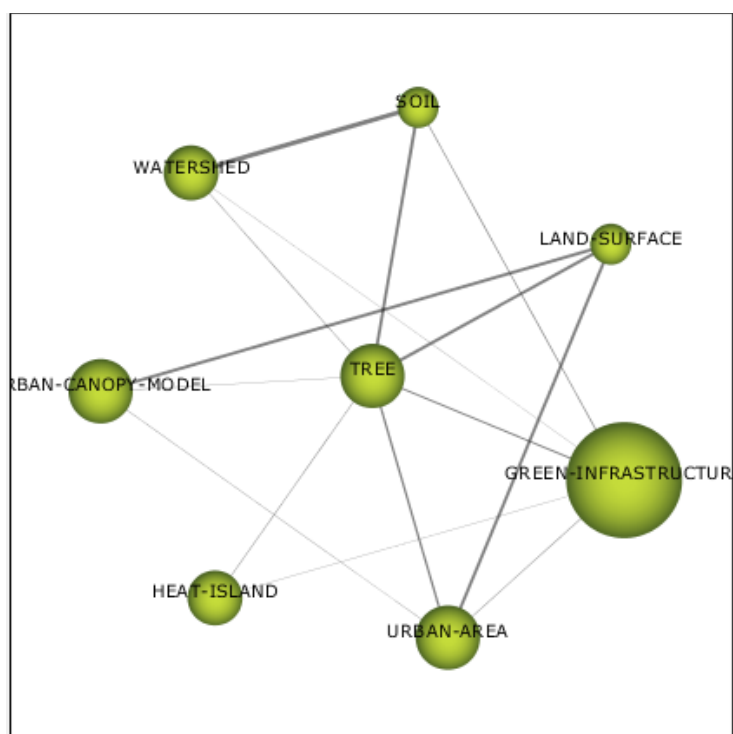


Figura 11. Cluster “Tree” análisis SciMAT.

Los árboles influyen significativamente en los ciclos ecológicos e hidrológicos ya que ayudan a gestionar la escorrentía urbana de aguas lluvia. Esto ha permitido su implementación como un sistema urbano de drenaje disminuyendo la velocidad en la que la escorrentía se acumula en el sistema de drenaje pluvial, generando una restitución de la capacidad hidráulica del sistema, lo que permite controlar el flujo de agua sin aumentar diámetros de tubería. Es importante destacar que los árboles y otros tipos de vegetación, ayudan a disminuir la cantidad de contaminantes que están presentes en el aire. Cabe resaltar la relación que existe entre las palabras de este cluster, las cuales

están claramente identificadas como canopy e infraestructura verde, haciendo énfasis en los árboles.

- Ecosystem

Este cluster posee una centralidad de 31.73 y una densidad de 53.34

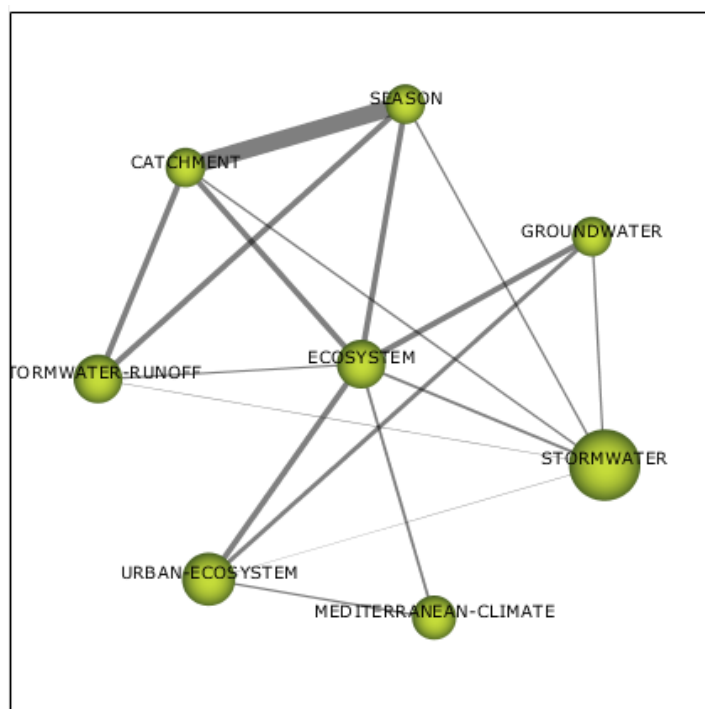


Figura 12. Cluster "Ecosystem" análisis SciMAT.

El recurso hídrico es un componente fundamental y funcional de todo ecosistema. Es por ello por lo que las lluvias intensas pueden producir consecuencias para el mantenimiento de los ecosistemas como también puede favorecer en ciertos aspectos. Es necesario entender los conceptos relacionados en este cluster como "urban ecosystem, groundwater, stormwater-runoff, catchment y season" ya que todos estos aportan para que aparezca la relación de ecosistema e hidrología con el fin de que se gestione de manera sostenible para mantener los procesos e intervenir simultáneamente.

10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Este trabajo permitió ver el auge que está generándose alrededor del tema Canopy y los SUDS para mitigar los efectos negativos de la urbanización, esto se le atribuye a que se convirtió en una problemática que nos afecta y también nos beneficia en varios ámbitos: social, económico y ecológico.

Se realizó un análisis de 538 documentos descargados de las bases de datos que fueron llevados para la bibliometría en el software SciMAT, estos reflejaron la conexión que existe entre las palabras que este arrojó con densidad y centralidad alta. Particularmente, aparecieron palabras en los nodos que permitió llevar la idea a otros campos del conocimiento, es decir, ver la relación que tiene el tema central.

Además, como resultado del análisis se pudo establecer ciertas bases para investigación, esto con el fin de realizar un artículo de revisión que permitió unir la información existente que no estaba muy clara al respecto. A su vez, se hizo posible la redirección de un enfoque urbano en el tema, el cual inicialmente era para un escenario de bosques y a través del tiempo fue tomando importancia en los drenajes urbanos como una solución sostenible.

El artículo fue enviado para revisión en la revista Urban Water Journal, esta es una revista internacional revisada por pares, la cual publica únicamente manuscritos en inglés.

11. REFERENCIAS

- Ariza, S. L. J., Martínez, J. A., Muñoz, A. F., Quijano, J. P., Rodríguez, J. P., Camacho, L. A., & Díaz-Granados, M. (2019). A multicriteria planning framework to locate and select sustainable urban drainage systems (SUDS) in consolidated urban areas. *Sustainability (Switzerland)*, *11*(8). <https://doi.org/10.3390/su11082312>
- Baró, J., Díaz, C., Calderón, G., Esteller, M., Cadena, E., & Franco, R. (2012). *Metodología para la valoración económica de daños potenciales tangibles directos por inundación* (1st ed.). Toluca, Estado de México: Universidad Autónoma del Estado de México.
- Brasil, J., Macedo, M., Lago, C., Oliveira, T., Júnior, M., Oliveira, T., & Mendiondo, E. (2021). Nature-based solutions and real-time control: Challenges and opportunities. *Water (Switzerland)*, *13*(5), 0–18. <https://doi.org/10.3390/w13050651>
- de Macedo, M. B., do Lago, C. A. F., & Mendiondo, E. M. (2019). Stormwater volume reduction and water quality improvement by bioretention: Potentials and challenges for water security in a subtropical catchment. *Science of the Total Environment*, *647*, 923–931. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.002>
- Escorcía, T. A. (2008). El análisis bibliométrico como herramienta para el seguimiento de publicaciones científicas, tesis y trabajos de grado [tesis]. Pontificia Universidad Javeriana. *Director*, 1–61.
- Gash, J. H. C. (1979). An analytical model of rainfall interception by forests. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, *105*(443), 43–55. <https://doi.org/10.1002/qj.49710544304>
- Granovskii, B. L., & Ermakov, S. M. (1977). The Monte Carlo method. *Journal of Soviet*

- Mathematics*, 7(2), 161–192. <https://doi.org/10.1007/BF01084250>
- GreenBlue Urban. (2018). Trees and Water Sensitive Urban, 42. Retrieved from https://cms.esi.info/Media/documents/77739_1534320723395.pdf
- M.J. Cobo, A.G. López-Herrera, E. Herrera-Viedma, and F. H. (2012). SciMAT: A New Science Mapping Analysis Software Tool. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 64(July), 1852–1863. <https://doi.org/10.1002/asi>
- Muzylo, A., Llorens, P., Valente, F., Keizer, J. J., Domingo, F., & Gash, J. H. C. (2009). A review of rainfall interception modelling. *Journal of Hydrology*, 370(1–4), 191–206. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.02.058>
- Rojo, F., Dhillon, R., Upadhyaya, S., & Jenkins, B. (2020). Development of a dynamic model to estimate canopy par interception. *Biosystems Engineering*, 198, 120–136. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2020.06.009>
- Rutter, A. J., Kershaw, K. A., Robins, P. C., & Morton, A. J. (1972). A predictive Model of Rainfall Interception in Forests. *Agricultural Meteorology*, 9(1969), 367–384. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0002157171900343>
- Viecco, M., Vera, S., Jorquera, H., Bustamante, W., Gironás, J., Dobbs, C., & Leiva, E. (2018). Potential of particle matter dry deposition on green roofs and living walls vegetation for mitigating urban atmospheric pollution in semiarid climates. *Sustainability (Switzerland)*, 10(7). <https://doi.org/10.3390/su10072431>
- Webber, J. L., Fletcher, T. D., Cunningham, L., Fu, G., Butler, D., & Burns, M. J. (2020). Is green infrastructure a viable strategy for managing urban surface water flooding? *Urban Water*

Journal, 17(7), 598–608. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2019.1700286>

Yang, B., Lee, D. K., Heo, H. K., & Biging, G. (2019). The effects of tree characteristics on rainfall interception in urban areas. *Landscape and Ecological Engineering*, 15(3), 289–296. <https://doi.org/10.1007/s11355-019-00383-w>

12. ANEXOS

The models used in hydrology for the simulation of the canopy and its implementation in SUDS a review.

Laura Daza, Luis A. Cabrales, Diego A. Guzmán

Faculty of Civil Engineering, Universidad Pontificia Bolivariana, Bucaramanga, Colombia.

ABSTRACT

The problems in urban drainage systems are associated with the lack of urban planning that is affected by the rise in urbanization and the difficulty that exists to increase the hydraulic capacity of the storm sewer systems. This paper reviews the scientific literature written about the modeling of the interception of rainwater in the leaves of plants and trees (canopy), with emphasis on how they would be applied to urban areas as bioretention zones. This review also raises some applications of these models in urban environments as part of the solution and the benefits that the implementation of sustainable drainage systems brings for cities. Although this is being developed recently, it began to be indicated that this is something new and could be part of the plans developed by the cities to mitigate the consequences of global warming and increased rainfall. This document stands out the need for research in the future as to which would be the best model to apply in urban environments, since there may exist some gaps in the way of calculating said canopy interception.

Keywords: canopy, bioretention structures, urban hydrology, sustainable urban drainage systems.

Introduction:

Canopy refers to the phenomenon of rainwater interception carried out by trees and vegetation of short and long size such as grass and shrubs, at the time of precipitation. There have been changes in urban watersheds caused by the increase in urbanization, also increased paving, which reduces

23 soil infiltration and increases the deposition of pollutants (de Macedo et al., 2019) with the
24 waterproofing that implies the reduction of permeable areas in these systems (SUDS), the canopy
25 comes to play a fundamental role in fear of retention in urban environments and should be well
26 evaluated, so this document reviews the methods to mitigate the consequences of those changes
27 that produce a considerable increase in surface runoff, becoming an urban problem. Extreme rain
28 events cause loss of life and economic problems for the population who are the most vulnerable to
29 floods and landslides (Baró et al., 2012) due to the uncertainty of climate change, the impacts can
30 be magnified or increased. We have that climate change has shown more intense and more frequent
31 rains in some parts of the world. (de Macedo et al., 2019) Sustainable urban drainage systems
32 (SUDS) are those elements that integrate urban drainage systems in the drainage of cities, reducing
33 the runoff and in turn, reducing the amount of contamination carried by water since the surface of
34 the leaves and stems absorb an amount depending on the species, instead of the suspended particles
35 these are deposited or accumulated on the surface of the leaves, although a fraction is retained in
36 the wind, it is attached to the plant too (Viecco et al., 2018). This review delves into the models
37 used in hydrology for the canopy simulation and its implementation in SUDS.

38 Advances in research over time have led the interest of the scientific community to find a way to
39 implement and develop the necessary approaches to represent the canopy in urban areas,
40 bioretention zones, and SUDS. Initially, the topic was of interest because of how this affected the
41 behavior of runoff in forests and different crops due to the intersection of water by trees and plants
42 in their leaves. Due to this, experimental techniques began to be developed with which it became
43 possible to measure the volume of water intercepted in the leaves of the trees with greater precision.
44 In addition to these models, experimentally proven mathematical models are beginning to emerge,
45 such as the original model by Rutter and Gash (Gash, 1979; Rutter et al., 1971), who are among

46 the pioneers in the study and modeling of the canopy. After these two models, many more scientists
47 interested in simplifying and improving the calculation methodologies generate modifications to
48 them, as well as new models that allow establishing simplified measurements, analyzes, and studies
49 for scientists. Thus, to facilitate the methods, mathematical and experimental modeling was
50 directed for many years until obtaining the models that we know today. Which have allowed the
51 study of the incidence in urban forests, trees, small plants, and lawns; and how this positively
52 affects, among other things, the volume of runoff generated during storms, allowing us to estimate
53 the benefit it generates in increasing the hydraulic capacity of urban rainwater systems.

54 There may be a reduction in runoff from 36% to 96%, depending on the intensity of rainfall (Brasil
55 et al., 2021) which is possible due to the use of the typology of SUDS in which they are among the
56 most used; permeable pavements, infiltration ditches, filter drains, sinks, green roofs, ponds and
57 bioretention zones (Ariza et al., 2019). These terms can be cataloged for their specificity and
58 principal focus, that is, combining their principles of mitigating changes associated with hydrology
59 and improving water quality, they provide a general objective that is urban stormwater
60 management, although they have evolved in terms of its techniques and practices. (Fletcher et al.,
61 2015) Bioretention zones are those in which there is a small extension of vegetation in a way that
62 promotes the detention and subsequent treatment of the runoff, as this typology requires less area
63 compared to others, they can be applied in diverse spaces like road separators, platforms, residential
64 areas, parking lots, etc. This is known to have shown favorable results for both runoff control and
65 water improvement. (Brasil et al., 2021)

66 In addition, a bibliometric analysis based on the SciMAT software technology was performed:
67 Scientific or bibliometric mapping is an important research topic in the field of bibliometrics. It is
68 an idea of how different disciplines, fields, professions, documents, and authors are related. It

69 focuses on a systematic process for the scientific scope and delimits research areas to determine
70 their relationship in structure and evolution(M.J. Cobo, A.G. López-Herrera, E. Herrera-Viedma,
71 2012) Following the information extracted from the SciMAT software, some concepts could be
72 understood and how they were associated to understand the vision of this topic. Two groups of
73 words were selected and analyzed from a social, economic, and environmental stance. This lets us
74 know the progress of the subject and the importance that it was taking over the years. The two
75 words considered were: the word urban canopy and trees, which allows us to understand that as a
76 society we are going through a critical situation because many cities and towns have been affected
77 by floods, due to water runoff from rain in an urban environment, with the function by trees and
78 plants in the interception of water in their leaves and branches as the protagonist. Trees can also be
79 said to significantly influence ecological and hydrological cycles and help manage urban
80 stormwater runoff. It is worth highlighting the relationship that exists between the words in this
81 group, which are identified as canopy and green infrastructure, with an emphasis on trees.

82 **Models Description**

83 **2.1 Original Models**

84 The 3 main models of canopy interception are those of Rutter, Gash, and Liu, who formed the basis
85 of the research for the new models that modify the originals and others that take these models as a
86 starting point to develop their own.

87 **Rutter's Model**

88 Rutter was the first to present a physical model, which represents the interception of the water
89 balance in the canopy and tree trunks (Rutter et al., 1971). This requires meteorological variables
90 used to calculate certain parameters such as the evaporation of the intercepted rain when the canopy

91 is saturated. Other data used for the application are the storage capacity of the canopy S , which
 92 refers to the height of the water that remains in the canopy when the rain event ends, and
 93 evaporation is zero; free throughfall coefficient p , which refers to the rain that drops to the ground
 94 without hitting the canopy; trunk water storage capacity S_t ; and the rain diverted to the trunks p_t .
 95 (Rutter et al., 1971)

$$96 \quad (1 - p - p_t) \int R dt = \int D dt + \int E dt + \Delta C \quad (1)$$

$$97 \quad p_t \int R dt = S_f + \int E_t dt + \Delta C_t \quad (2)$$

98 **Gash Model**

99 According to Gash the interception of rainwater is the integral of the accumulative evaporative loss
 100 of the intercepted rainwater, Gash has developed a long-term multiple storm interception model
 101 replacing the actual rainfall rate. The amount of precipitation and evaporation applied to each storm
 102 during the study period, as well as the average speed of all storms. (Liu, 2001) The two main factors
 103 that control the interception of rainwater evaporation were determined. They are: first, the time that
 104 canopy reaches saturation during rainfall and the applicable evaporation rate; second, the saturation
 105 of the canopy and its number of drains from the reservoir after the end of the rainy season. Then a
 106 model was built, which is similar in concept to Rutter's model but replaces the numerical method
 107 of the model with storm analysis. The Penman-Monteith equation is used to estimate evaporation
 108 from the saturated canopy during rainfall. (Gash, 1979)

109 The interception during a given period is:

$$110 \quad I = n(1 - p - p_t)P_G + \frac{\bar{E}}{\bar{R}} \sum_{i=1}^n (P_i - P_G) + (1 - p - p_t) \sum_{j=1}^m P_j + qS_t + P_t \sum_{k=1}^{m+n-q} P_k \quad (3)$$

111 and

112
$$P_G = -\frac{\bar{R}}{\bar{E}} S \ln \left[1 - \frac{\bar{E}}{(1-p-p_t)\bar{R}} \right] \quad (4)$$

113 Where m is the rainfall events that do not saturate the canopy, n is the storms that are enough to
 114 saturate the canopy, E and R correspond to the average rates of evaporation and rainfall, PG is the
 115 rainfall required to saturate the canopy, St is the storage of tree trunks and q is the number of storms
 116 with stemflow (precipitation is greater than the critical precipitation St / pt).(Liu, 2001)

117 **Stochastic Model**

118 This model is an alternative because it proposes a stochastic way in which the components of the
 119 tree surface are individually wet and hit by raindrops.

120 Unlike Rutter's model, this stochastic model concentrates on the raindrops that, when hitting a
 121 certain area, are stored and to count that storage in the leaf requires to imply evaporation, so this
 122 model does not calculate the drainage per canopy as a unique relationship but as a proportion
 123 related to the number of drops that fall per element. (Calder, 1986)

124 **Liu Model**

125 This is based on Rutter's, unlike this one, data requirements were minimized applying four: rainfall
 126 amount, the ratio of mean wet canopy evaporation to rainfall intensity, canopy gap fraction, and
 127 canopy storage capacity (Linhoss & Siegert, 2016)

128 This interception model doesn't use the empirical parameters of the general of rainfall interception
 129 (Liu, 1997)

130
$$I = (S + S_t) \left[1 + \exp \left(-\frac{(1-p)}{S+S_t} P_G \right) \right] \left[1 - \frac{\bar{E}_p}{(1-p)\bar{R}} \right] + \frac{\bar{E}_p}{\bar{R}} P_G \quad (5)$$

131 The new models are simpler and require less data, these derivatives of the Gash, Mulder, and Rutter
132 models, are mostly models without empirical parameters. It is important to mention these models
133 that took place before and considered empirically measured variables, as well as assumed some
134 parameters when making their predictions (Liu, 1997). Some of these empirical models that had a
135 specific use are: Initially, the Horton model in which the dryness index of the canopy is equal to 1
136 ($D = 1$) and during the rain the evaporation of the canopy proceeds as if it were fully saturated.
137 (Horton, 1919)., the Linsley model is extracted from the general model by taking into account two
138 things: (a) the canopy is completely dry previously the precipitation event and (b) the canopy is
139 completely uniform and has no gaps. (Linsley, R.K. et al., 1949). The Merriam model like the
140 previous model assuming two things: (a) the canopy is totally dry before the precipitation event
141 and (b) the canopy is completely uniform and in addition to these two (c) The evaporation rate of
142 the canopy in the rain is as if the canopy was completely saturated. So, the effect of evaporation is
143 not considered by this model (Merriam, 1960). Lastly, Aston found by experimenting with the
144 surface of eight small trees that the number of k is approximately the same as the value of $1-p$
145 (being p a coefficient of free fall) he showed that $1-p$ and k coincided except for one species of
146 pine studied. (Aston, 1979).

147 These empirical models were used specifically for special cases during the study and development
148 of new more general and analytical models.

149 **2.2 Models with application in urban environments**

150 Based on the original models that were mainly focused on the investigation of canopy interception
151 in forests and crops, new models and variations were developed that allowed investigation in urban
152 areas from parks and bioretention zones to SUDS.

153 **Huang et al. Model**

154 The model developed by (Huang et al., 2017) is based on modifications to previous versions that
155 were developed by Gash (Gash et al., 1995; Pereira et al., 2009; Valante et al., 1997). From this,
156 the necessary components for the formulation of the rainwater interception were calculated,
157 considering several situations. (Huang et al., 2017)

158 In equation 6 you can see the general formula to calculate the interception:

159
$$I = I_c + I_s + I_{ts} + I_t \quad (6)$$

160 Where I mean the interception, I_c is the amount of interception when the rain is not enough to
161 saturate the canopy, I_s is the amount of interception when the rain is able to saturate the canopy, I_t
162 is when the rain is able to saturate the trunk of the vegetation, and finally, I_t is when the rain is not
163 able to saturate the trunk.

164 Next, in equations 7,8,9, and 10, the formula with which it is feasible to calculate the necessary
165 data to know the total amount of intercept I can be shown.

166
$$I_c = (1 - p) \sum_{j=1}^m P_{G,j} \quad (7)$$

167
$$I_s = c \left[n(1 - p)P_g + \frac{(1-\varepsilon)\bar{E}_c}{\bar{R}} \sum_{j=1}^n (P_{G,j} - P_g) \right] \quad (8)$$

168
$$I_{ts} = qS_t \quad (9)$$

169
$$I_t = p_d c \left[1 - \frac{(1-\varepsilon)\bar{E}_c}{\bar{R}} \right] \sum_{j=1}^{n-q} (P_{G,j} - P_g) \quad (10)$$

170 Taking into account that the model considers the combination of effects of different variables, it is
171 normal that some effects are more noticeable in the intercept result than others when they are
172 modified, when analyzing the three main parameters (S, p, and E_c / R) It is defined that the variable

173 with the upper sensitivity at the time of being modified is E_c / R (Huang et al., 2017), which is
174 corroborated by a study carried out by (Šraj et al., 2008) who in modeling obtained that modifying
175 this parameter by 10% represented a change of 7% in the interception loss.

176 In the analysis carried out by (Huang et al., 2017), an interception loss of almost 40% was obtained
177 by reducing E_c / R by 30%

178 where E_c and R are the evaporation rate and the average precipitation (mm h^{-1}) when the canopy
179 is saturated. (Huang et al., 2017). The value of E_c was evaluated using the water vapor diffusion
180 equation used by (Pereira et al., 2009)

181 **Tao et al. Model**

182 For Tao, the interception varies depending on the capacity of the plants at each stage of their
183 growth, making it necessary to calculate individually as an interception rate (Int). This occurs,
184 when the rain event starts, the plant has a greater interception capacity that as time passes it can
185 decrease due to its saturation, which is why it is explained by an exponential function (Tao et al.,
186 2020), such as seen in equation 11.

$$187 \quad Int = C \cdot Int_m \exp(-kt) \quad (11)$$

188 Where Int is the interception rate, C is the cover of vegetation, t refers to the rain time, Int_m is the
189 maximum capacity of interception and k is an empirical coefficient.

190 From this, two scenarios were considered to evaluate and verify the function. The first was divided
191 into two sub-processes in which initially the rain intensity and the interception rate were equal, as
192 the second sub-process the interception rate would have to decrease exponentially.

193 For the second scenario, the interception process was considered as the exponential function
 194 directly, which led to testing it in two examples with different values in the parameters, reflecting
 195 that by increasing the values of Intm or in turn, decreasing the values of K can cause that increases
 196 the time, which means that the canopy has a greater storage capacity. (Tao et al., 2020)

197 One of the concerns generated among 23 that have not been resolved in hydrology, is about how
 198 hydrological models can be adapted to be able to extrapolate the changing conditions, including
 199 the dynamics of the changing vegetation (Blöschl et al., 2019) because it has not been resolved, the
 200 interest science revolves around this. Our research is not alien to this; we want to generate a
 201 conceptual basis that can provide a solution to the question.

202 For our research, we are specifically concentrating on variable I, which is the retention by
 203 interception of precipitation in vegetation that is part of the general equation of the water balance
 204 in a time interval (Brown & Isensee, 1975), as shown in equation 1.

205
$$P + Qsa + Qza = E + ET + I + Qse + Qze + \Delta SL + \Delta SS + \Delta SZ + \Delta SN \quad (12)$$

206 To give a general view of what was explained above, in Table 1, we can observe the characteristics
 207 of the model in terms of what it considers for its measurement and its limitation.

208 *Table 1. Models for calculating the canopy.*

MODEL	CHARACTERISTICS	LIMITATIONS	REFERENCE
RUTTER	Considers the canopy and trunk of the tree	They assume that the parameters to calculate the canopy remain constant.	(Rutter et al., 1971)
GASH	Considers the canopy and trunk of the tree	They assume that the rains are discreet. Between each storm it	(Gash, 1979)

dries up completely, returning to its maximum capacity. They also replace actual rates with average rates deducted from all storms.

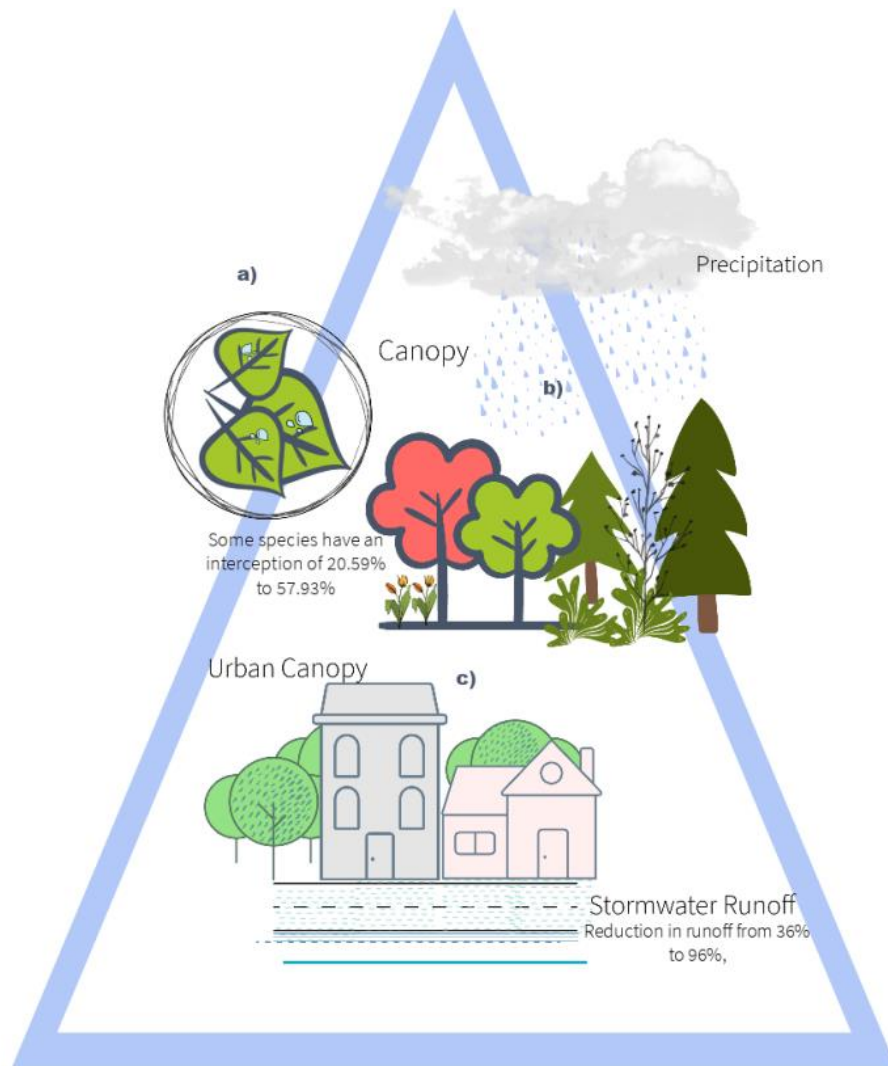
STOCHASTIC	Considers the canopy	It does not calculate the canopy as a single ratio but takes each element into account.	(Calder, 1986)
LIU	Considers the canopy	They do not declare a limitation, an efficiency of 89% is highlighted.	(Liu, 1997)
HUANG et al.	Considers the canopy and trunk of the tree	Calculate the interception considering saturated conditions in the canopy and in the trunk and when the rain is not enough to saturate it.	(Huang et al., 2017)
TAO et al.	Considers the canopy	It depends on an empirical coefficient K.	(Tao et al., 2020)

209

210 **Urban Canopy**

211 Traditional urban drainage systems are designed based on network and service life. When these are
212 about to reach the limit of their useful life and maximum capacity due to greater urban densification
213 or due to changes of climate origin, the risk of saturation and eventual overflow of the system is
214 higher, being necessary the implementation of rainwater strategy systems (Guohao Li, Jiaqing

215 Xiong, Junguo Zhu, Yanzheng Liu, 2021). In this sense, foliar retention, or implementation through
216 SUDS in urban environments, where the concentration times of the system are lower compared to
217 a non-urban basin, help to reduce the speed and volume of runoff that accumulates in the storm
218 drainage system. This translates into the restoration of the hydraulic capacity of the pipes of the
219 system, necessary to avoid saturating the drainage and prolong the useful time of a rainwater
220 system. This vision of the canopy is explained as shown in Figure 1.



221

222 *Figure 1 Canopy global vision. a) Canopy interception view b) rain interception in the trees and vegetation c) reduced runoff*
223 *thanks to canopy interception in urban environments*

224 The implementation of trees is of great contribution in urban areas as they help to manage urban
225 rainwater runoff. Trees have immense potential in reducing stormwater runoff, in some studies, it
226 was determined that for the species Ginkgo biloba, Spiraea japonica, Aesculus turbinata and
227 Zelkova serrata they had an interception in some rains of 57.93%, 35.79 %, 30.58% and 20.59%
228 respectively. (Yang et al., 2019)

229 Urban tree canopy (UTC) refers to the layer of leaves, that cover the ground (Nowak et al., 1996).
230 In urban areas these fulfill the function of intercepting the rain, which is then carried to the drainage
231 systems, carrying pollutants with it. It has some other benefits such as the reduction of effects
232 produced by urban heat island, reducing air pollutants, aesthetics to the city, among others.

233 Said that UTC provides a certain of ecological and benefits to the residents of urban areas such as
234 economics and social (Hilbert et al., 2019). This has caused cities to commit to increasing the
235 coverage of urban tree canopy, even if this generates an increase in the value of residential
236 properties. They could indeed mitigate stormwater runoff, reducing the load on the drainage
237 infrastructure, which leads to a lower maintenance and expansion cost over time which in turn
238 translates to reduce the risks associated with floods. (Greene et al., 2018)

239 **Conclusions and discussion**

240 This paper pretends to give an orientation about the problems that exist today because of the
241 intensity of floods and overflow caused by rain, which causes much material damage in cities, and
242 the lack of capacity in the traditional drainage systems. First, it was imperative to review the models
243 that were taken as a basis in the research over time (Rutter and Gash), these models took the
244 intensity of the rain to give a canopy concept that would allow a quantification of the amount of
245 rainwater retained in the trees, specifically in the leaves, although at the beginning this was

246 analyzed in forest environments, which allowed the study of some species that were considered for
247 their later use in urban areas. The relationship between these models evolved in such a way that it
248 was simpler to use them without requiring so many empirical parameters since at the time it was
249 difficult and expensive to obtain some of these because there was not enough technology as at
250 present, which makes it possible for these models to have been modified so that even taking the
251 original parameters, thanks to modernization, they are obtained through government entities and
252 are most easily and freely accessible. Then it was essential to see the influence of this issue on the
253 urban environment since it needs to be considered the benefits of implementing SUDS to mitigate
254 the consequences caused by the rains, not only of the capacity of the system, but it also helps in
255 contamination and long-term maintenance of these.

256 In the future, an investigation is required regarding the gaps that this review may leave, since we
257 are only considering the leaf, there may be methods in which the infiltration through the soil is
258 considered, being complementation. In turn, when choosing the models, the parameters must be
259 considered, since these may fluctuate because of the situation in which the implementation or
260 experimentation is carried out.

261 **References**

- 262 Ariza, S. L. J., Martínez, J. A., Muñoz, A. F., Quijano, J. P., Rodríguez, J. P., Camacho, L. A., &
263 Díaz-Granados, M. (2019). A multicriteria planning framework to locate and select
264 sustainable urban drainage systems (SUDS) in consolidated urban areas. *Sustainability*
265 *(Switzerland)*, *11*(8). <https://doi.org/10.3390/su11082312>
- 266 Aston, A. R. (1979). Rainfall interception by eight small trees. *Journal of Hydrology*, *42*(3–4),
267 383–396. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(79\)90057-X](https://doi.org/10.1016/0022-1694(79)90057-X)

268 Baró, J., Díaz, C., Calderón, G., Esteller, M., Cadena, E., & Franco, R. (2012). *Metodología para*
269 *la valoración económica de daños potenciales tangibles directos por inundación* (1st ed.).
270 Universidad Autónoma del Estado de México.

271 Blöschl, G., Bierkens, M. F. P., Chambel, A., Cudennec, C., Destouni, G., Fiori, A., Kirchner, J.
272 W., McDonnell, J. J., Savenije, H. H. G., Sivapalan, M., Stumpff, C., Toth, E., Volpi, E.,
273 Carr, G., Lupton, C., Salinas, J., Széles, B., Viglione, A., Aksoy, H., ... Zhang, Y. (2019).
274 Twenty-three unsolved problems in hydrology (UPH)—a community perspective.
275 *Hydrological Sciences Journal*, *64*(10), 1141–1158.
276 <https://doi.org/10.1080/02626667.2019.1620507>

277 Brasil, J., Macedo, M., Lago, C., Oliveira, T., Júnior, M., Oliveira, T., & Mendiondo, E. (2021).
278 Nature-based solutions and real-time control: Challenges and opportunities. *Water*
279 *(Switzerland)*, *13*(5), 0–18. <https://doi.org/10.3390/w13050651>

280 Brown, E., & Isensee, C. G. Y. P. (1975). *Capítulo 2 balance hidrológico*. 13–28.

281 Calder, I. R. (1986). A stochastic model of rainfall interception. *Journal of Hydrology*, *89*(1–2),
282 65–71. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(86\)90143-5](https://doi.org/10.1016/0022-1694(86)90143-5)

283 de Macedo, M. B., do Lago, C. A. F., & Mendiondo, E. M. (2019). Stormwater volume reduction
284 and water quality improvement by bioretention: Potentials and challenges for water security
285 in a subtropical catchment. *Science of the Total Environment*, *647*, 923–931.
286 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.002>

287 Fletcher, T. D., Shuster, W., Hunt, W. F., Ashley, R., Butler, D., Arthur, S., Trowsdale, S.,
288 Barraud, S., Semadeni-Davies, A., Bertrand-Krajewski, J. L., Mikkelsen, P. S., Rivard, G.,
289 Uhl, M., Dagenais, D., & Viklander, M. (2015). SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The

290 evolution and application of terminology surrounding urban drainage. *Urban Water Journal*,
291 12(7), 525–542. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2014.916314>

292 Gash, J. H. C. (1979). An analytical model of rainfall interception by forests. *Quarterly Journal*
293 *of the Royal Meteorological Society*, 105(443), 43–55.
294 <https://doi.org/10.1002/qj.49710544304>

295 Gash, J. H. C., Lloyd, C. R., & Lachaud, G. (1995). Estimating sparse forest rainfall interception
296 with an analytical model. *Journal of Hydrology*, 170(1–4), 79–86.
297 [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(95\)02697-N](https://doi.org/10.1016/0022-1694(95)02697-N)

298 Greene, C. S., Robinson, P. J., & Millward, A. A. (2018). Canopy of advantage: Who benefits
299 most from city trees? *Journal of Environmental Management*, 208, 24–35.
300 <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.12.015>

301 Guohao Li, Jiaqing Xiong, Junguo Zhu, Yanzheng Liu, M. D. (2021). Design influence and
302 evaluation model of bioretention in rainwater treatment: A review. *Science of the Total*
303 *Environment*, 104743. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147592>

304 Hilbert, D. R., Koeser, A. K., Roman, L. A., Hamilton, K., Landry, S. M., Hauer, R. J.,
305 Campanella, H., McLean, D., Andreu, M., & Perez, H. (2019). Development practices and
306 ordinances predict inter-city variation in Florida urban tree canopy coverage. *Landscape and*
307 *Urban Planning*, 190(July), 103603. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2019.103603>

308 Horton, R. E. (1919). Rainfall Interception. *Science*, 47(653), 604–622.
309 <https://doi.org/10.1126/science.26.653.25>

310 Huang, J. Y., Black, T. A., Jassal, R. S., & Lavkulich, L. M. L. (2017). Modelling rainfall
311 interception by urban trees. *Canadian Water Resources Journal*, 42(4), 336–348.

312 <https://doi.org/10.1080/07011784.2017.1375865>

313 Linhoss, A. C., & Siegert, C. M. (2016). A comparison of five forest interception models using
314 global sensitivity and uncertainty analysis. *Journal of Hydrology*, 538, 109–116.
315 <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.04.011>

316 Linsley, R.K., J., Kohler, M. A., & Paulhus, J. L. (1949). Applied Hydrology. In *McGraw-Hill*,
317 (Vol. 10, Issue 4). <https://doi.org/10.1080/1573062X.2012.726360>

318 Liu, S. (1997). A new model for the prediction of rainfall interception in forest canopies.
319 *Ecological Modelling*, 99(2–3), 151–159. [https://doi.org/10.1016/S0304-3800\(97\)01948-0](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(97)01948-0)

320 Liu, S. (2001). Evaluation of the Liu model for predicting rainfall interception in forests world-
321 wide. *Hydrological Processes*, 15(12), 2341–2360. <https://doi.org/10.1002/hyp.264>

322 M.J. Cobo, A.G. López-Herrera, E. Herrera-Viedma, and F. H. (2012). SciMAT: A New Science
323 Mapping Analysis Software Tool. *Journal of the American Society for Information Science*
324 *and Technology*, 64(July), 1852–1863. <https://doi.org/10.1002/asi>

325 Merriam, R. A. (1960). A note on the interception loss equation. *Journal of Geophysical*
326 *Research*, 65(11), 3850–3851. <https://doi.org/10.1029/jz065i011p03850>

327 Nowak, D., Rowntree, R. A., Mcpherson, E. G., Sisinni, S. M., Kerkmann, E. R., & Stevens, J. C.
328 (1996). LANDSCAPE AND URBAN PLANNING Measuring and analyzing urban tree
329 cover. *Landscape and Urban Planning*, 36, 49–57.

330 Pereira, F. L., Gash, J. H. C., David, J. S., & Valente, F. (2009). Evaporation of intercepted
331 rainfall from isolated evergreen oak trees: Do the crowns behave as wet bulbs? *Agricultural*
332 *and Forest Meteorology*, 149(3–4), 667–679.

333 <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2008.10.013>

334 Rutter, A. J., Kershaw, K. A., Robins, P. C., & Morton, A. J. (1971). A predictive Model of
335 Rainfall Interception in Forests. *Agricultural Meteorology*, 9(1969), 367–384.
336 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0002157171900343>

337 Šraj, M., Brilly, M., & Mikoš, M. (2008). Rainfall interception by two deciduous Mediterranean
338 forests of contrasting stature in Slovenia. *Agricultural and Forest Meteorology*, 148(1),
339 121–134. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2007.09.007>

340 Tao, W., Wang, Q., Guo, L., Lin, H., Chen, X., Sun, Y., & Ning, S. (2020). An enhanced
341 rainfall–runoff model with coupled canopy interception. *Hydrological Processes*, 34(8),
342 1837–1853. <https://doi.org/10.1002/hyp.13696>

343 Valante, F., David, J. S., & Gash, J. H. C. (1997). Modelling interception loss for two sparse
344 eucalypt and pine forests in central Portugal using reformulated Rutter and Gash analytical
345 models. *Journal of Hydrology*, 190(1–2), 141–162. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(96\)03066-1](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(96)03066-1)

346

347 Viecco, M., Vera, S., Jorquera, H., Bustamante, W., Gironás, J., Dobbs, C., & Leiva, E. (2018).
348 Potential of particle matter dry deposition on green roofs and living walls vegetation for
349 mitigating urban atmospheric pollution in semiarid climates. *Sustainability (Switzerland)*,
350 10(7). <https://doi.org/10.3390/su10072431>

351 Yang, B., Lee, D. K., Heo, H. K., & Biging, G. (2019). The effects of tree characteristics on
352 rainfall interception in urban areas. *Landscape and Ecological Engineering*, 15(3), 289–296.
353 <https://doi.org/10.1007/s11355-019-00383-w>