

Metodología Para Diseño De Sistemas Urbanos De Drenajes Sostenibles En Vías Urbanas

Methodology For The Design Of Sustainable Urban Drainage Systems In Urban Roads

Autores

Jenny Goretty Gonzalez Aguilar¹, Carlos Eugenio Sánchez Mendieta², Yudy Patricia Medina Sánchez³, Fresia Luisana Campuzano Vera⁴

¹Ingeniero Civil, Universidad Técnica de Machala, Machala, gore_25@hotmail.es

²Ingeniero Civil, Universidad Técnica de Machala, Machala, csanchez@utmachala.edu.ec

³Ingeniero Civil, Universidad Técnica de Machala, Pasaje, ymedina@utmachala.edu.ec

⁴Arquitecto, Universidad Técnica de Machala, Machala, fcampuzano@utmachala.edu.ec

RESUMEN

La investigación atiende al riesgo de inundaciones en vías urbanas de ciudades intermedias, debido a que se ha notado que el sistema de alcantarillado no es suficiente para drenar el agua de escorrentía durante la temporada de lluvia en la ciudad de Machala, por ello analizaremos alternativas para minimizar los caudales que van al sistema de drenaje y así controlar las inundaciones. Analizamos las afectaciones en temporal invernal en el área que presenta puntos de inundaciones adyacentes al canal de drenaje de la ciudad para posteriormente proponer una metodología de diseño de drenaje sostenible mediante criterios de gestión de drenaje que permitan la disminución de riesgos de inundación en vías urbanas. Para la propuesta de los SUD's se analizó los elementos , drenajes, caudales e inundación de vías urbanas, además del contexto físico y ambiental. Se seleccionó el SUD en función de la tipología edificatoria de la ciudad. Finalmente como resultado del diseño se dimensionó un sistema de pavimento permeable, donde la estructura será de adoquín, capa de transición, base, subbase y un mejoramiento, además cuenta con un sistema de hormigón poroso, el cual acumula parte de la escorrentía, esta se conforma de un hormigón poroso, una subbase permeable y un tubo perforado de 250mm de diámetro. El otro sistema propuesto es un parterre inundable para un área de 11.65Has, con jardines inundables para abarcar con la escorrentía producida por el área impermeable. Se concluye que la implementación de la metodología sirve para el correcto diseño de un sistema urbano de drenaje sostenible.

Palabras claves: Alternativas , Diseño, Inundación, Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible, Vías Urbanas

ABSTRACT

The investigation attends to the risk of flooding in urban roads of intermediate cities, because it has been noticed that the sewage system is not sufficient to drain runoff water during the rainy season in the city of Machala, therefore we will analyze alternatives to minimize the flows that go to the drainage system and thus control flooding. We analyze the affectations in winter storms in the area that presents flood points adjacent to the city's drainage channel to later propose a sustainable drainage design methodology through drainage management criteria that allow the reduction of flood risks in urban roads. For the SUD's proposal, the elements, drainage, flow and flooding of urban roads were analyzed, in addition to the physical and environmental context. The SUD was selected based on the building typology of the city. Finally, as a result of the design, a permeable pavement system was sized, where the structure will be paving stone, transition layer, base, subbase and an improvement, it also has a porous concrete system, which accumulates part of the runoff, this is It is made up of porous concrete, a permeable subbase and a 250mm diameter perforated tube. The other proposed system is a floodable parterre for an area of 11.65Ha, with floodable gardens to cover the runoff produced by the impervious area. It is concluded that the implementation of the methodology serves for the correct design of a sustainable urban drainage system.

Keywords: Alternatives, Design, Flooding, Sustainable Urban Drainage Systems, Urban Roads

Nota Editorial: Recibido: Noviembre 2022 Aceptado: Febrero 2023

1. INTRODUCCIÓN

En muchas ciudades se trabaja en la formulación de estrategias que fortalezcan la resiliencia urbana en el tema de las inundaciones. Para ello algunos investigadores proponen cambios en la visión de la ciudad, que desmantele el modelo tradicional de la gestión del agua pluvial [1]. El estudio de los sistemas urbanos de drenaje de agua son un desafío para nuevos investigadores, por eso es necesario implementar investigaciones respecto al tema impulsando el interés en el modelaje del drenaje urbano, integrando cuestiones sociales/económicas y técnicas además del uso de software que faciliten el uso de estos sistemas. Es así que avanzamos hacia la gestión combinada de los diversos componentes del sistema de agua urbana como el tratamiento de agua, distribución, alcantarillado y drenaje pluvial, con el fin de la protección contra inundaciones [2].

Se han propuesto e implementado varias estrategias de gestión de aguas pluviales urbanas en los últimos años, especialmente las que controlan el área impermeable, como ejemplos de estas medidas incluyen el Diseño Urbano Sensible al Agua (WSUD) en Australia, los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) en el Reino Unido y las Mejores Prácticas de Gestión (BMP) y Desarrollo de Bajo Impacto (LID) en los EE. UU [3]. Debido a las intensas precipitaciones durante el temporal invernal, las zonas urbanas del cantón Machala en especial al norte de la ciudad, cuya zona presenta inundaciones anualmente ya que por la escorrentía superficial de las calles y viviendas el sistema de alcantarillado combinado colapsa, además de efectos ambientales provocan la demora en el drenaje de aguas y el desborde del canal natural utilizado para drenaje de aguas de la ciudad denominado "El Macho". El riesgo de inundación en el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2018 del GAD Municipal del Cantón Machala, indica que el territorio presenta susceptibilidades a inundaciones del 13% para muy alta y el 44% para alta.

En el presente estudio se analizaron las afectaciones durante el temporal invernal en las zonas urbanas del cantón Machala específicamente en el sector delimitado por las calles Circunvalación Norte, Palmeras, Sucre y Marcel Laniado cuya área presenta puntos de inundaciones adyacentes al canal de drenaje de la ciudad, en donde por las intensas precipitaciones la escorrentía superficial anega las calles y viviendas, colapsa el sistema de alcantarillado, y además en condiciones de marea alta provoca que se desborde el canal, perjudicando aún más a la población.

2. OBJETIVO Y ALCANCE

Es evidente que el sistema de alcantarillado no es suficiente para drenar el agua de escorrentía durante la temporada de lluvia, siendo imperioso realizar un estudio que permita plantear alternativas para minimizar los caudales que van al sistema de drenaje y así controlar las inundaciones, es por ello que los administradores necesitan herramientas para evaluar y controlar las aguas pluviales en los sistemas urbanos en un evento de tormenta. Por esta razón el objetivo es proponer una metodología de diseño de drenaje urbano sostenible mediante criterios de gestión de drenaje que permitan la disminución de riesgos de inundación en vías urbanas.

3. METODOLOGÍA

Los Sistemas de Drenaje Urbano Sostenibles (SUDS) son una red integrada de áreas con vegetación y espacios abiertos tales como techos verdes, jardines de lluvia, pavimentos porosos, entre otros. Estos son utilizados para proteger los principios y funciones de los ecosistemas naturales y ofrecer una amplia variedad de beneficios a las personas y la vida silvestre, abordan problemas de gestión de aguas pluviales y brindan una variedad de beneficios a los residentes en términos de servicios ecosistémicos [4], [5].

3. METODOLOGÍA

Garantizar la reducción de descargas de agua lluvia de las áreas urbanas mediante una gestión adecuada de sistemas pluviales será de gran importancia ya que los sistemas de alcantarillado son inadecuados y pueden ser altamente contaminantes para las escorrentías. Por ello se recomienda una gestión integrada de aguas pluviales para reducir el impacto por las precipitaciones. La infraestructura verde, especialmente los jardines de lluvia y pavimentos permeables ayudan a restablecer el equilibrio hídrico al capturar, retener y mejorar la capacidad de infiltración en las áreas urbanas[6]. Existen diversos modelos de desarrollo, planificación y diseño urbano que son homólogos a la Infraestructura Verde. Existen tres modelos: Desarrollo de Bajo Impacto (LID, por sus siglas en inglés: Low Impact Development); Sistemas de Drenaje Sostenible (SuDS, por sus siglas en inglés: Sustainable Drainage Systems) y Diseño Urbano Sensible al Agua (WSUD, por sus siglas en inglés: Water Sensitive Urban Design)

La investigación se centró en los SUDS, por ello se definieron estrategias diseñadas para gestionar los riesgos ambientales resultantes de la escorrentía urbana, los cuales contribuirán siempre que sea posible a la mejora de la ecología urbana. Los objetivos de los SUDS, son minimizar los impactos del desarrollo urbano sobre la cantidad y calidad de los escurrimientos y maximizar oportunidades de biodiversidad [7].

La metodología de diseño se fundamenta mediante información como antecedentes, teorías, modelos y referencias bibliográficas. Los antecedentes indican que es necesario la obtención de información del sector público respecto al sistema de drenaje, además de información como riesgo de inundación, calidad de agua lluvia, entre otros. Con esta información se realizan levantamientos topográficos, estudios hidrológicos, alcantarillado además de la selección del tipo de SUD's. Se adaptaron criterios en la gestión de escorrentías de aguas pluviales, donde se involucra tanto al sector público y el sector privado que desarrollan acuerdos mutuos al desarrollo de problemas de control y tratamiento del drenaje de aguas. Este autor utiliza características como almacenamiento y control de inundaciones, adaptabilidad del sistema, impacto del volumen de agua, costo, financiación, operación y mantenimiento del sistema, estos criterios se subdividen en indicadores y servirán de diagnóstico para la descripción de los criterios [8]. Para la toma de decisiones en la gestión del agua, se evalúan criterios múltiples para combinar los diseños de varios candidatos en ellos se deberán considerar cuatro criterios: técnico, ambiental, económico y social. En cada criterio, las tecnologías individuales se clasifican según una serie de métricas en una escala de 0 a 5 dependiendo de la opinión de expertos [9]. Esta fundamentación científica asistió a la creación de la Metodología que se muestra en la Figura 1, la cual evalúa los criterios técnicos, ambientales, planificación urbana, económicos y operaciones y de mantenimiento.

3.1. METODOLOGÍA

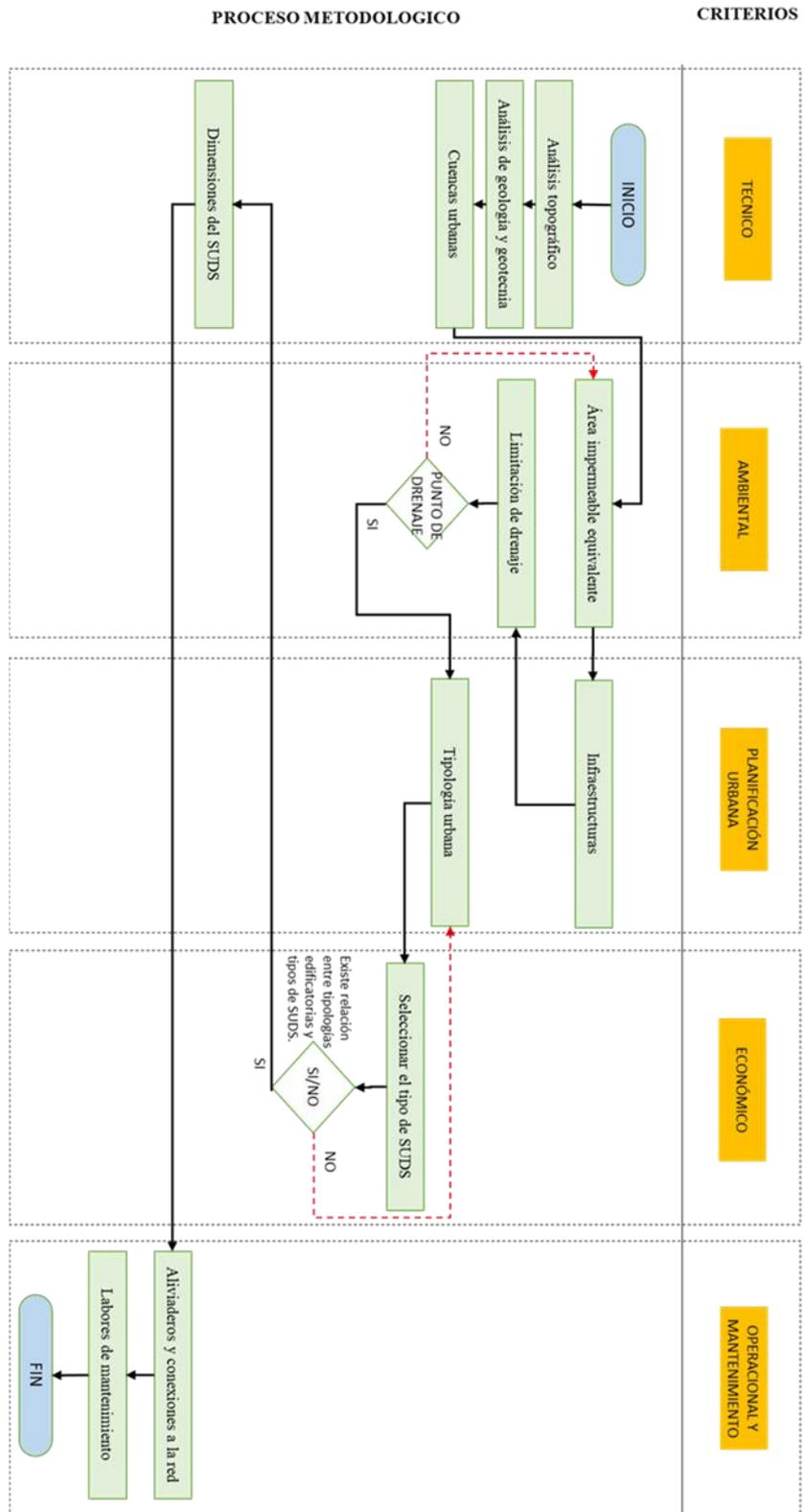


Figura 1: Metodología de diseño de sistemas urbanos de drenaje sostenible

3.2, DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA

Sobre la base de la Figura 1, a continuación se describe la propuesta metodológica donde en la Tabla 1 coloca a los procesos técnicos que se deberán cumplir, cada uno de ellos describe la aportación que ofrece a la metodología y propone los indicadores que se deberán obtener de cada proceso para finalizar con el diseño de un SUD's.

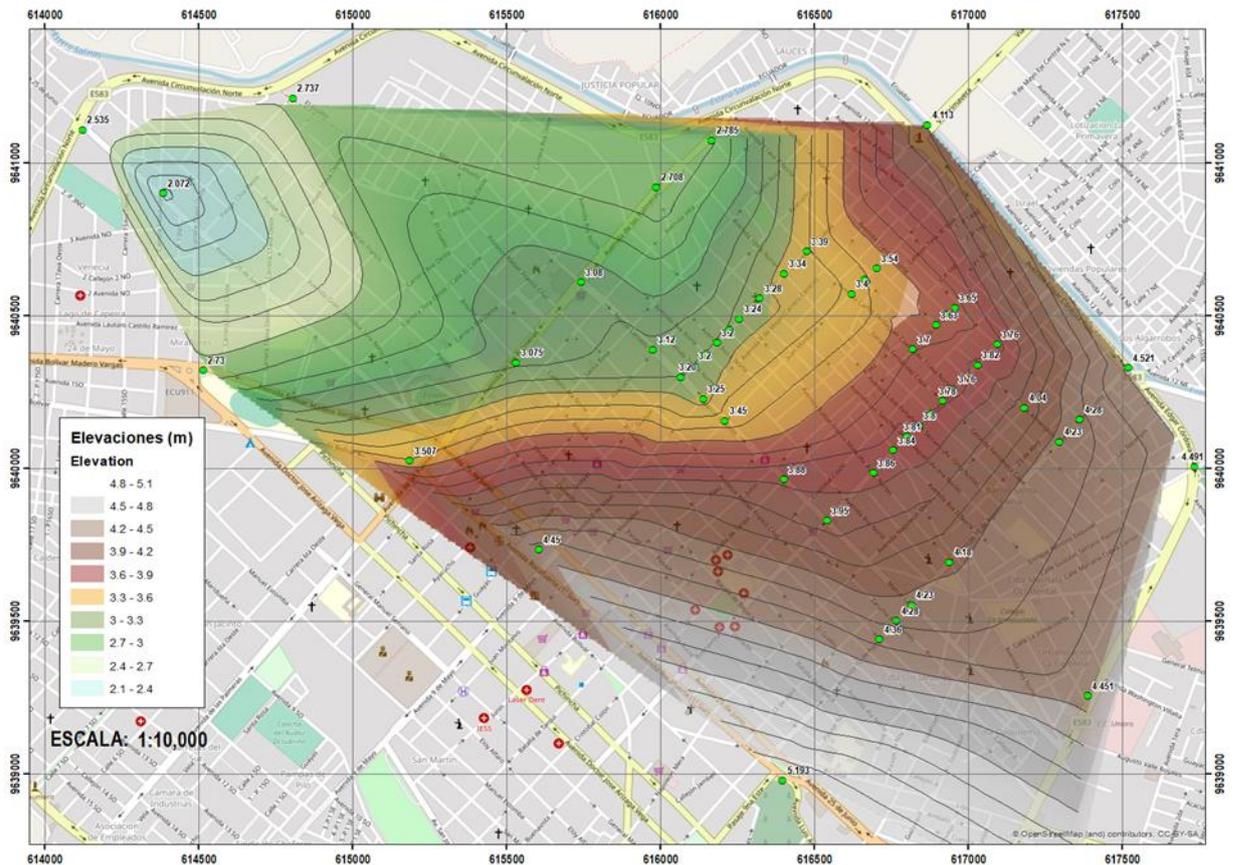
Tabla 1: Descripción del proceso metodológico

Propuesta metodológica	Descripción	Indicadores
Análisis topográfico	Identificar puntos bajos y puntos de difícil acceso.	<ul style="list-style-type: none"> Identificación de los patrones naturales de drenaje
Análisis de geología y geotecnia	Evaluar la posibilidad de infiltrar la escorrentía al terreno.	<ul style="list-style-type: none"> Caracterizar la permeabilidad del suelo
Análisis de cuencas urbanas	Identificar el drenaje que se gestionarán en el SUDS	<ul style="list-style-type: none"> Procesos hidrológicos naturales Estudio topográfico Elementos arquitectónicos Los flujos y las pendientes de las superficies. El tipo de suelo.
Análisis de área impermeable equivalente	Calcular las áreas impermeables a partir de los usos del suelo	<ul style="list-style-type: none"> Coefficientes de escorrentía asociados a cada tipo de suelo. Superficie del tipo de suelo
Evaluación de Infraestructuras	Evaluar otros condicionantes físicos, como infraestructuras existentes, que puedan condicionar el diseño o limitar el espacio disponible.	<ul style="list-style-type: none"> Red de alcantarillado pluvial
Análisis de limitación de drenaje	Establecer la existencia de alguna limitación de vertido o geométrica a considerar para el diseño.	<ul style="list-style-type: none"> Punto de drenaje
Identificación de Tipología urbana	Identificar la tipología urbana donde se va a efectuar la actuación con SUDS para partir del PUGS	<ul style="list-style-type: none"> Urbanización Condominios Red vial Parques Casco central Zona industrial Zona agropecuaria
Selección el tipo de SUDS	Proponer el tipo de SUD's teniendo en cuenta la tipología urbana y los condicionantes físicos existentes.	<ul style="list-style-type: none"> Cubiertas vegetales Parterres inundables Cunetas vegetales Pavimentos permeables Drenes filtrantes Zanjas y pozos de infiltración Humedales artificiales y estanques
Dimensionamiento del SUDS	Calcular las dimensiones del SUDS como se describe en los ejemplos, de modo que su geometría quede totalmente definida.	<ul style="list-style-type: none"> Superficie impermeable Volumen almacenamiento necesario Profundidad necesaria de SUDS índice de peligrosidad a los distintos usos del suelo índice de mitigación a las distintas técnicas SUDS.
Dimensionamiento de aliviaderos y conexiones a la red	Dimensionar las conexiones a la red, empleando la información pluviométrica de la curva IDF. Justificar debidamente al Ciclo Integral del Agua la laminación obtenida mediante los SUDS.	<ul style="list-style-type: none"> Conexiones a red existente o propuestas
Selección de Labores de mantenimiento	Definir las actividades de mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> Técnicas de mantenimiento Fichas de mantenimiento

4. RESULTADOS

4.1. ANÁLISIS TOPOGRÁFICO

Estudios preliminares aportan con información de la zona, en la Figura 2 se muestra un modelo digital de elevaciones de la ciudad el cual se delimita un área de drenaje y el desnivel que existe en la zona urbana. Se observan niveles de 6,2 msnm hasta 2,20 msnm. Con ellos se crea el mapa de elevaciones del estudio caso, dentro de las calles mencionadas.



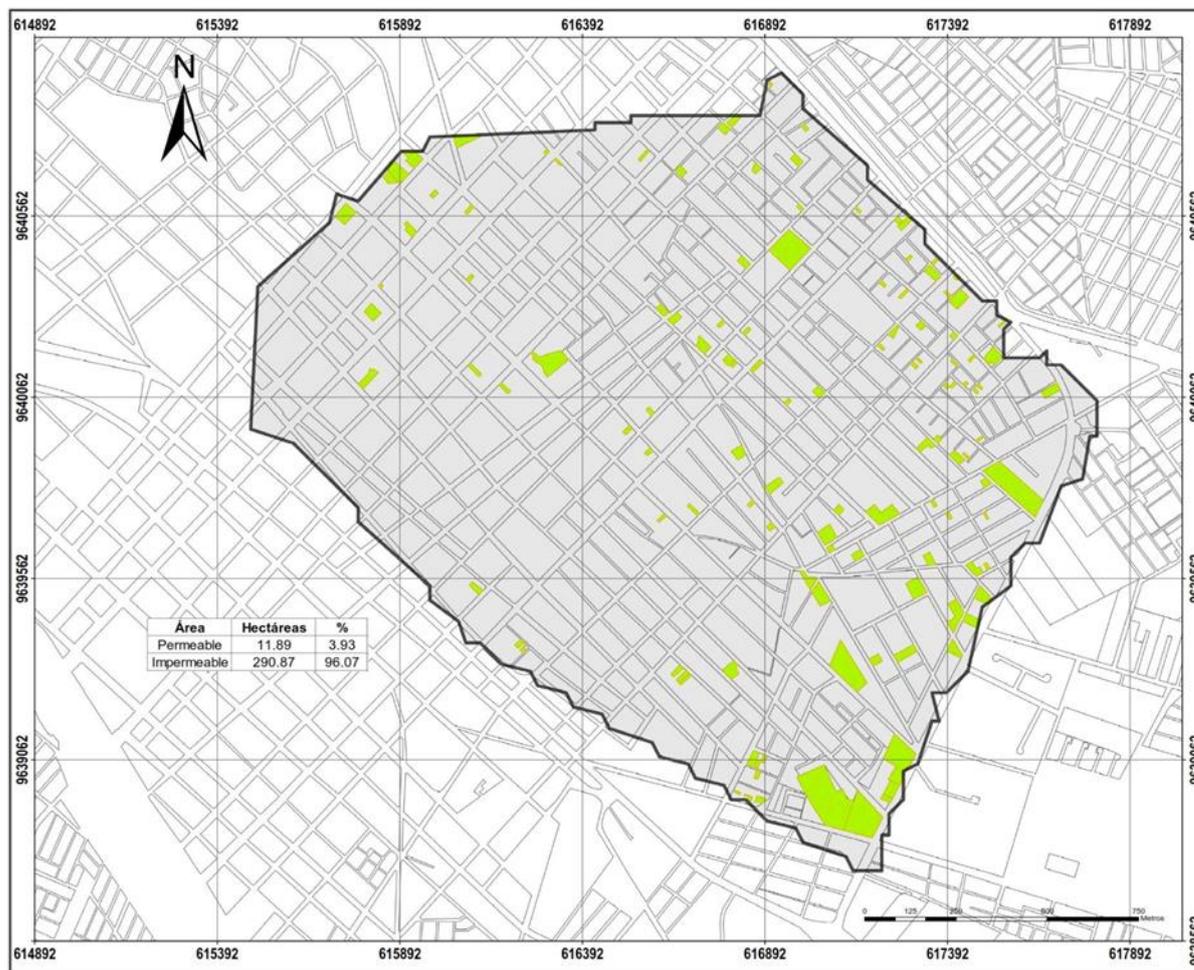


Figura 4: Mapa de áreas permeables e impermeables de la cuenca urbana

4.5. INFRAESTRUCTURAS

Se encontró que no existe un sistema de drenaje el cual separe las aguas lluvias y aguas servidas. En base a revisión de planos realizados por Aguas Machala se observó que existen un sistema de drenaje combinado, teniendo un total de 23,59 km de tuberías colectoras principales de alcantarillado en la zona Norte de Machala, generando un total de 27 descargas en el Canal El Macho.

4.6. LIMITACIÓN DE DRENAJE

Se escogió un periodo de retorno el de 25 años para el estudio y se presenta los resultados de las modelaciones donde se encontró que la altura de precipitación total que cae en la cuenca urbana estudiada es de 21,18 mm y las pérdidas por infiltración son de 0,75 mm, además la escorrentía superficial que se produce es de 19,27 mm. Con estas condiciones representa que la capacidad de inundación llega a igualar o sobrepasar los 0,20 m de profundidad en las zonas impermeables limitando el drenaje con eventos máximos de precipitaciones; por lo tanto, se provocará zonas de inundación como se observa en la Figura 5. Se observan calles y los nodos inundables como las calles Guayas, Marcel Laniado, Juan Montalvo, 11ava Norte, Los Almendros, Buenavista.

Tabla 3: Datos de precipitación de la Cuenca urbana

Cantidad de escorrentía	Altura de precipitación (mm)
Precipitación total	21,18
Infiltración	0,754
Escorrentía superficial	19,27

Cabe recalcar que el gran porcentaje de las inundaciones se debe a que el área impermeable de la cuenca es de más del 90% lo cual indica un limitante muy amplio en cuanto al drenaje.

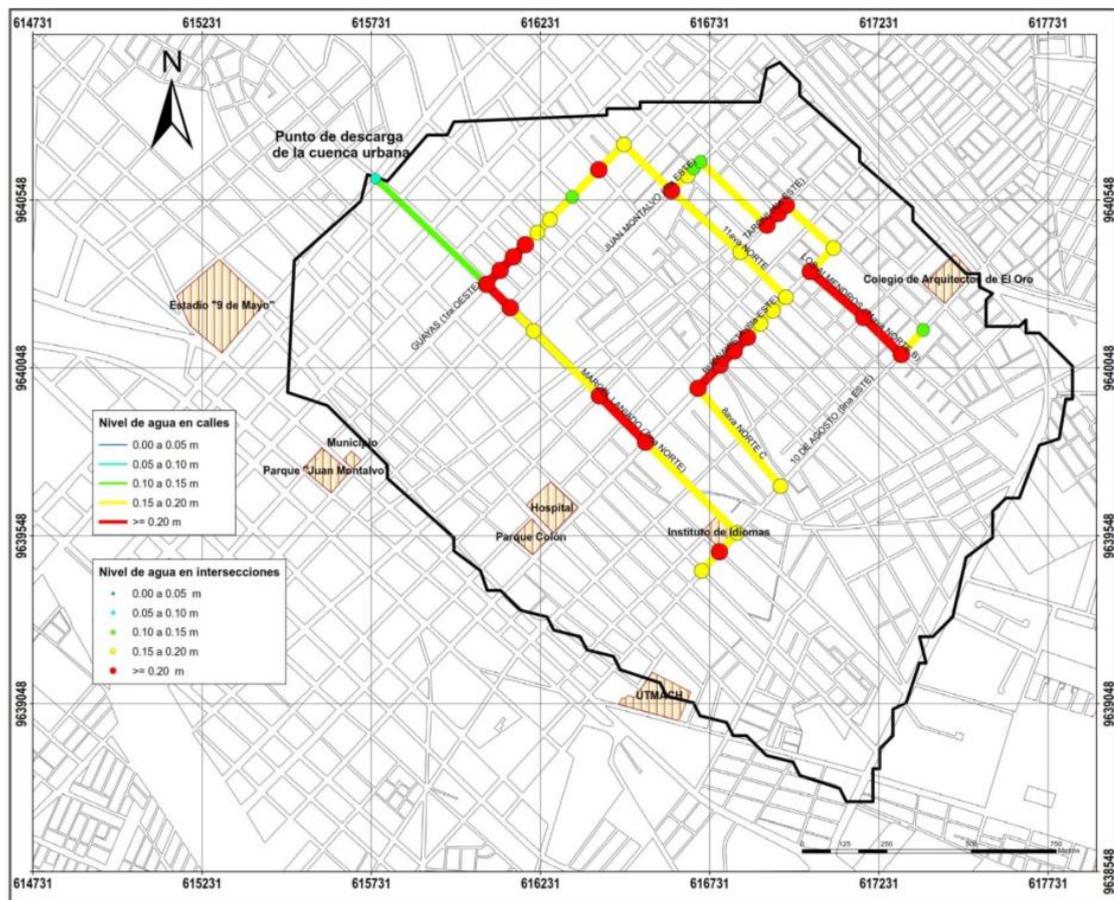


Figura 5: Mapa de nivel de agua y drenaje en intersecciones

4.7. TIPOLOGÍA URBANA

La Alcaldía Machala en su plan de desarrollo y ordenamiento territorial del cantón Machala establece un uso de suelo muy general en cuanto al uso del territorio, los cuales son: Arbórea/arbustiva, Camaroneras, Cuerpos de agua, Otras tierras, Tierras agropecuarias, Vegetación arbustiva y herbácea, Áreas urbanas. Para la investigación se realizó una tabla de tipologías edificatorias en base a la investigación científica como se observa en la Figura 6 en ella se encuentra la zona de Urbanización, Red vial y Casco central relacionada al uso de territorio de la ciudad.

SUD's	Tipología edificatoria					Zona de producción		
	Zonas urbanas					Industrial	Agropecuaria	
	Urbanización	Condominio	Red vial	Parques	Casco central			
Cubiertas vegetales	●	●	●	●	●	●	●	
Parterres inundables	●	●	●	●	●	●	●	
Cunetas vegetales	●	●	●	●	●	●	●	
Pavimentos permeables	●	●	●	●	●	●	●	
Drenes filtrantes	●	●	●	●	●	●	●	
Zanjas y pozos de infiltración	●	●	●	●	●	●	●	
Humedales artificiales y estanques	●	●	●	●	●	●	●	
●	USO ADECUADO		●	USO POSIBLE		●	USO NO ADECUADO	

Figura 6: Tipologías edificatorias Ciudad de Machala

4.8. SELECCIONAR EL TIPO DE SUDS

Sobre la base de la tipología urbana de la Figura 6 como lo es la zona urbana, constituida por viviendas, red viales y parte del casco central se propuso las siguientes alternativas tipos de SUDS. Se sabe que en zonas urbanas la infiltración debido al suelo es mínima, es por ello que en nuestro estudio proponemos el uso de pavimentos permeables o parterres inundables.

Parterres inundables

Son áreas con leves depresiones y ajardinadas que logran almacenar la escorrentía de las superficies impermeables cercanas. Estos parterres pueden ser: Jardines de lluvia o Áreas de bio-retención, las cuales se diferencian en el tratamiento de agua que deben realizar luego de su recolección [11].

Pavimentos permeables

En la tipología de sistemas de infiltración se encuentran en las superficies permeables, aplicando técnicas que faciliten la infiltración y almacenamiento. Para el caso estudiado al utilizar pavimentos permeables se puede aprovechar el manejo de aguas realizado in situ. Este funciona de tal manera que el agua pasa al suelo a través de poros, se evapora cuando la temperatura del material aumenta [12].

4.9. DIMENSIONES DEL SUDS

En el dimensionamiento del SUD definimos un área a intervenir, esta será la intersección de las calles Guayas y Marcel Laniado, cuyo nivel de agua basado en más investigaciones podría llegar a 1,20 m siendo este el punto de mayor intervención. En la Figura 7 observamos el área de aportación S23 situado en la intersección que se va a intervenir, en estos encontraremos la siguiente información:

Tabla 4: Datos iniciales para el dimensionamiento

DATOS DE PARTIDA	
Tipología urbana	Zona urbana
Superficie total de la actuación proyectada	11,65 Has
Superficie correspondiente a viario impermeable	3,02 Has
Superficie correspondiente a jardines	0,5 Has
Intensidad de lluvia	20 mm
Tubería	250 mm
Tipología de SUDS	Parterre inundable – Pavimentos permeables
Área de SUDS	5000 m ²
Índice de peligrosidad	Medio
	Sólidos suspendidos: 0,7
	Metales pesados: 0,6
Índice de mitigación SUDS	Hidrocarburos: 0,7
	Pavimento permeable
	Sólidos suspendidos: 0,7
	Metales pesados: 0,6
	Hidrocarburos: 0,7

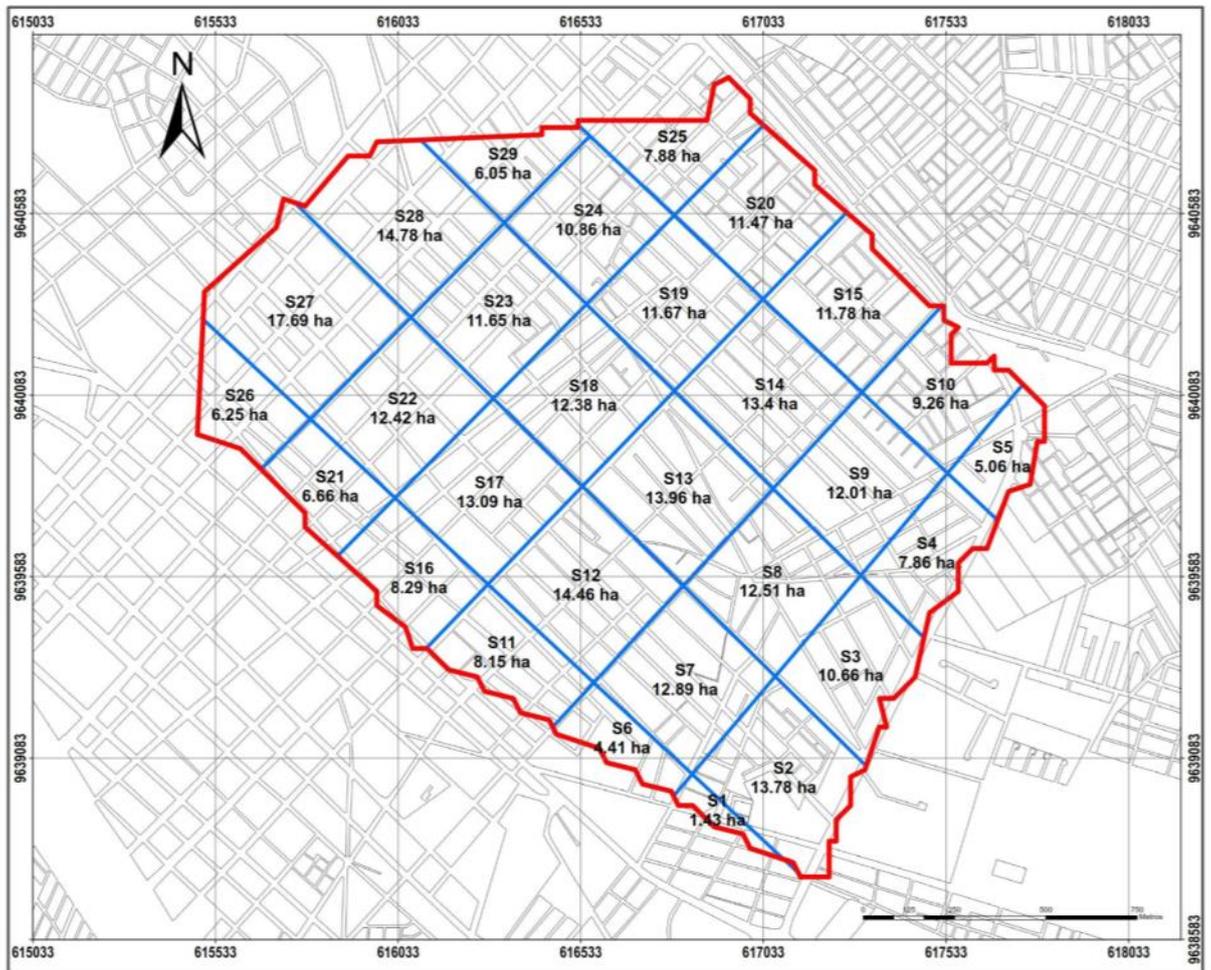


Figura 7: Áreas de aportación

Dimensionamiento parterre inundable

En la Tabla 5 se calcula que el parterre inundable tendrá un área de 5000 m² y 13 cm de profundidad el cual será suficiente para cubrir con la demanda obtenida. Con este tipo de SUD's se integra áreas verdes al paisaje urbano de la ciudad.

Tabla 5: Dimensiones del parterre inundable

DIMENSIONAMIENTO PARTERRE INUNDABLE	
Superficie impermeable	30261,8 m ²
Volumen almacenamiento necesario	605,2 m ³
Profundidad necesaria	0,13 m

Tabla 6 : Dimensiones del pavimento permeable

DIMENSIONAMIENTO PAVIMENTO PERMEABLE	
DRENAJE	
Uso de vía	Vía vehicular y peatonal
Área	720 m ²
Área propia pavimento permeable	120 m ²
Volumen afluente	53,257 m ³
Volumen sobre el pavimento	9,468 m ³
Volumen de tubería	40,32 m ³
Volumen de almacenamiento	22,405 m ³
Súbase	0,3 m
ASFALTO POROSO	
Hormigón Poroso	15 cm
Subbase permeable	45 cm

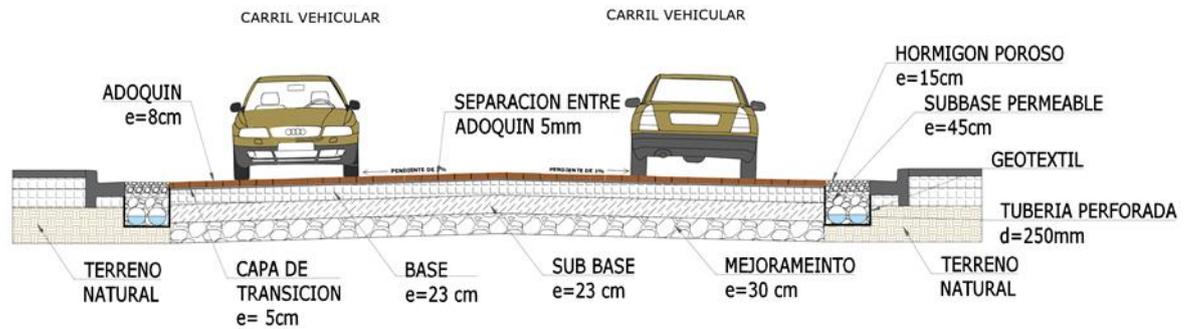


Figura 8 :Sección de propuesta de diseño de pavimento permeable

4.10. ALIVIADEROS Y CONEXIONES A LA RED

Se identificó la infraestructura existente del drenaje de agua recolectado por cada tipo de SUD. Es necesario que el diseñador proponga el tipo de conexión, además de una red de aguas lluvias que mejore el sistema de drenaje actual.

4.11. LABORES DE MANTENIMIENTO

Se finaliza con el tipo de mantenimiento a realizar a los pavimentos permeables los cuales deben garantizar su funcionalidad debido a que se ven obstaculizados en sus aberturas por materiales finos como arenas, polvos y basura. Simpson en su investigación presentó tres tipos de mantenimientos, los cuales son barrido de calles con aire regenerativo, Lavado a presión, rejuvenecedor y Vehículo de limpieza municipal indicando que el barrido no se recomienda en climas húmedos en comparación con los lavados a presión.

5. CONCLUSIONES

Se fundamentó teórica y conceptualmente mediante la revisión bibliográfica sobre los estudios para la aplicación tecnológica al diseño de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible que minimicen el riesgo de inundación en vías urbanas. Estos consideran procesos y criterios donde intervienen las siguientes áreas: técnica, ambiental, planificación urbana, económica, y de operación y mantenimiento para la implementación de un SUD's en vías urbanas.

Se caracterizaron los tipos de diseños de Sistemas Urbanos de Drenaje sostenible y se configuró una matriz en la cual consta de la tipología urbana relacionando los tipos de sistema de drenajes sostenibles aplicados en vías urbanas. La tipología urbana está definida por: zonas urbanas y de producción. Mientras que los sistemas de drenaje aplicados a vías urbanas son: cubiertas vegetales, parterres inundables, cunetas vegetales, pavimentos permeables, drenes filtrantes, zanjas y pozos de infiltración y humedales artificiales y estanques. Ambas tipologías se clasificaron y se validó el uso mediante tres niveles: uso adecuado, posible y no adecuado. Esta valoración dependerá de la zona involucrada sustentándose en los parámetros de diseño propuestos en la metodología.

Se elaboró una Metodología para el Diseño de Sistemas Urbanos de Drenajes Sostenibles el cual consta de las siguientes partes: Criterios y Proceso metodológico. Los criterios están definidos en la fundamentación teórica descrita anteriormente. Mientras el proceso metodológico para el diseño consta de varias actividades que se encuentran entrelazadas y ligadas a condiciones que dependerán del uso y tipología de SUD. El análisis técnico consta de topografía, geología e hidrología, los cuales se complementan para la obtención de datos de áreas, infraestructuras, drenajes, tipología urbana para finalizar con el diseño y el mantenimiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. L. Molina, "Resiliencia a inundaciones: nuevo paradigma para el diseño urbano.," *Revista de Arquitectura (Bogotá)*, vol. 18, no. 2, pp. 82–94, Aug. 2016, doi: 10.14718/REVARQ.2016.18.2.8.
2. P. M. Bach, W. Rauch, P. S. Mikkelsen, D. T. McCarthy, and A. Deletic, "A critical review of integrated urban water modelling – Urban drainage and beyond," *Environmental Modelling & Software*, vol. 54, pp. 88–107, Apr. 2014, doi: 10.1016/J.ENVSOFT.2013.12.018.
3. F. Kong, Y. Ban, H. Yin, P. James, and I. Dronova, "Modeling stormwater management at the city district level in response to changes in land use and low impact development," *Environmental Modelling & Software*, vol. 95, pp. 132–142, Sep. 2017, doi: 10.1016/J.ENVSOFT.2017.06.021.
4. P. Ferrans, M. N. Torres, J. Temprano, and J. P. Rodríguez Sánchez, "Sustainable Urban Drainage System (SUDS) modeling supporting decision-making: A systematic quantitative review," *Science of The Total Environment*, vol. 806, p. 150447, Feb. 2022, doi: 10.1016/J.SCITOTENV.2021.150447.
5. D. Johnson and S. Geisendorf, "Valuing ecosystem services of sustainable urban drainage systems: A discrete choice experiment to elicit preferences and willingness to pay," *J Environ Manage*, vol. 307, p. 114508, Apr. 2022, doi: 10.1016/J.JENVMAN.2022.114508.
6. M. Kasprzyk, W. Szpakowski, E. Poznańska, F. C. Boogaard, K. Bobkowska, and M. Gajewska, "Technical solutions and benefits of introducing rain gardens – Gdańsk case study," *Science of The Total Environment*, p. 155487, Apr. 2022, doi: 10.1016/J.SCITOTENV.2022.155487.
7. G. A. Villalba et al., "Techos verdes. Contribución de *Carpobrotus acinaciformis* al manejo integrado de escurrimientos superficiales urbanos," *Rev Fac Cienc Agrar*, vol. 49, no. 2, pp. 169–181, 2017.
8. J. B. Ellis et al., "The DayWater decision support approach to the selection of sustainable drainage systems: A multi-criteria methodology for BMP decision makers," *Water Pract Technol*, vol. 1, no. 1, Mar. 2006, doi: 10.2166/WPT.2006.002.
9. P. M. Bach et al., "A planning algorithm for quantifying decentralised water management opportunities in urban environments," *Water Science and Technology*, vol. 68, no. 8, pp. 1857–1865, Oct. 2013, doi: 10.2166/WST.2013.437.
10. Alcaldía de Machala, "Plan de desarrollo y ordenamiento territorial el canton Machala," 2019. Accessed: Apr. 20, 2022. [Online]. Available: https://www.machala.gob.ec/SIL/ter/plate/PDOT_CANT%C3%93N%20MACHALA%202019.pdf
11. L. Fuente García, S. Perales Momparler, M. Rico Cortés, I. Andrés Doménech, and J. B. Marco Segura, "Guía Básica para el Diseño de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible en la Ciudad de Valencia," Valencia, 2021. Accessed: Apr. 18, 2022. [Online]. Available: https://www.ciclointegraldelagua.com/files/normativa/Guia_Basica_para_el_Diseño_de_Sistemas_Urbanos_de_Drenaje_Sostenible_en_la_Ciudad_de_Valencia_V01.pdf
12. E. Cárdenas Gutiérrez, Á. Albitzer Rodríguez, and J. Jaimes Jaramillo, "Pavimentos permeables. Una aproximación convergente en la construcción de vialidades urbanas y en la preservación del recurso agua," 2016. Accessed: Apr. 20, 2022. [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=10450491009>.
13. I. M. Simpson, R. J. Winston, and R. A. Tirpak, "Assessing maintenance techniques and in-situ pavement conditions to restore hydraulic function of permeable interlocking concrete pavements," *J Environ Manage*, vol. 294, p. 112990, Sep. 2021, doi: 10.1016/J.JENVMAN.2021.112990.