

Diseño de área de bio-retención de sistemas urbanos de drenaje sostenible para la ciudad de Guayaquil

Liliana Avilés-Merchán¹  José Paucar-Camacho¹  Carlos Matovelle-Bustos² 

¹ Universidad Católica de Cuenca. Unidad de Postgrados. Maestría en Construcciones con mención en Administración de la Construcción Sustentable. Cuenca, Ecuador

² Universidad Católica de Cuenca, HYDROLAB, CIITT, Cuenca, Ecuador.

✉ Correspondencia: liliana.aviles.83@est.ucacue.edu.ec  + 593 968352102

DOI/URL: <https://doi.org/10.53313/gwj62074>

Resumen: La investigación que se propone a continuación busca la adaptabilidad de un sistema de drenaje sostenible de tipología área de bio-retención para las condiciones particulares de inundaciones en zonas de concentración de escorrentías que presenta la ciudad de Guayaquil, el caso de estudio se elaboró en el Hospital General Universitario de Guayaquil, se plantea una propuesta de diseño geométrico de una estructura de bio-retención que enmarque en los criterios sostenibles con la capacidad de retener el volumen de agua que se genera por las intensas lluvias, que actualmente se descargan de forma directa al sistema de alcantarillado pluvial causando severas inundaciones en los sectores agua abajo, basados en la metodología de los sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS) y las mediciones de variables hidrológicas, como resultado se espera tener una propuesta de diseño geométrico de un área de bio-retención adaptables que cumpla con los requisitos planteados, para que en una posterioridad sea un modelo replicable para varios puntos de la ciudad de Guayaquil con la finalidad de gestionar de manera más eficiente y responsables las aguas provenientes de intensas lluvias.

Palabras claves: Suelo, Drenaje, Guayaquil, alcantarillado pluvial, SUDS, bio-retención.

Maternal preference in parental authority in light of Ecuadorian constitutional law

Abstract: The research proposed below seeks the adaptability of a sustainable drainage system of bio-retention area typology for the particular conditions of flooding in areas of runoff concentration that presents the city of Guayaquil, the case study was developed in the General University Hospital of Guayaquil, a geometric design proposal of a bio-retention structure that frames in sustainable criteria with the ability to retain the volume of water generated by heavy rains is proposed, based on the methodology of sustainable urban drainage systems (SUDS) and measurements of hydrological variables, as a result we expect to have a geometric design



Check for updates

Cita: Avilés-Merchán, L., Paucar-Camacho, J., & Matovelle-Bustos, C. (2023). Diseño de área de bio-retención de sistemas urbanos de drenaje sostenible para la ciudad de Guayaquil. Green World Journal, 6(2), 74.

<https://doi.org/10.53313/gwj62074>

Received: 30/mayo /2023

Accepted: 15/julio /2023

Published: 18/julio /2023

Prof. Carlos Mestanza-Ramón, PhD.
Editor-in-Chief / CaMeRa Editorial
editor@greenworldjournal.com

Editor's note: CaMeRa remains neutral with respect to legal claims resulting from published content. The responsibility for published information rests entirely with the authors.



© 2023 CaMeRa license, Green World Journal. This article is an open access document distributed under the terms and conditions of the license. Creative Commons Attribution (CC BY). <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>

proposal of an adaptable bio-retention area that meets the requirements set out, so that later it can be a replicable model for several points of the city of Guayaquil in order to manage more efficiently and responsibly the water from heavy rains.

Keywords: Soil, Drainage, Guayaquil, storm sewer, SUDS, bioretention.

1. Introducción

Es necesario un nuevo enfoque para el manejo de las aguas pluviales a fin de satisfacer las demandas climáticas actuales, esto ha provocado un aumento en el interés por la adopción como alternativa de soporte y gestión a los sistemas urbanos sostenibles de drenaje (SUDS). Estos sistemas cuentan con una amplia gama de opciones para abordar la planificación, el diseño y la gestión de estas aguas, considerando las preocupaciones sociales y ambientales, así como a las hidrológicas e hidráulicas [1].

El uso de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) como parte integral de los sistemas tradicionales de drenaje está experimentando un importante auge, ya que se evidencia la necesidad de encontrar nuevas alternativas para reducir el impacto de la escorrentía en las redes de aguas lluvias proyectadas y, al mismo tiempo, ser amigables con el medio ambiente, reduciendo el impacto [2].

El objetivo de la infraestructura urbana verde es imitar el ciclo hidrológico que existía en el área de forma natural antes del desarrollo urbano, usando herramientas para almacenar, infiltrar, evaporar o capturar escorrentías cerca de su fuente y evitar el colapso del sistema de drenaje pluvial. Existen varios tipos de estructura verde para el control de inundaciones, y su implementación depende de las características particulares del área a implementar el sistema [3]. Como se observa en la tabla 1, tomada de la adaptación de la investigación "Evaluación de infraestructura verde urbana mediante el uso de la herramienta SWMM. Caso de estudio: Durán" [3].

Tabla 1. Estructuras verdes para la gestión de inundaciones.

Estructura Verde	Características
Techos ajardinados	Estructura que se instala parcial o totalmente sobre los techos de los edificios. consiste en una membrana impermeable sobre la cual crece la vegetación.
Cosecha de agua	Estructura en forma de cisterna utilizada para recolectar, almacenar y tratar la escorrentía de superficies impermeables como tejados, patios y otras superficies de iguales características.
Pavimento permeable	Alta porosidad que permite la filtración del agua de lluvia al subsuelo es usada en áreas de poco tráfico de vehículos livianos.
Estanque de detención	Su función es retener la escorrentía de las aguas pluviales durante un periodo antes de ser devuelta paulatinamente al sistema de drenaje o cuerpo de agua cercano.
Laguna de retención	Se caracteriza por siempre tener agua en su estructura funciona como una laguna artificial, brinda beneficios recreativos y permite el desarrollo de microclimas.
Estanque de infiltración	Es una depresión con vegetación en campos abiertos recibe y almacena el agua de lluvia y crea un estanque poco profundo.
Filtro de arena	Se asemejan a los sistemas de retención, pero su superficie carece de vegetación debido a la instalación bajo tierra o porque el medio filtrado no retiene suficiente humedad.
Zanja de infiltración	Este tipo de estructura transporta la escorrentía a través de pendientes suaves con vegetación disminuyendo el flujo del agua.
Franja de infiltración	La estructura es poco profunda y está cubierto de material poroso como piedras. eso permite que la escorrentía pluvial ingrese al suelo.

Debido al tamaño relativo y la ubicación de estos SUDS en el sistema de aguas pluviales, las curvas de respuesta para estanques inundables y jardines pluviales requieren diferentes estrategias de adaptación. En áreas de bio-retención, la respuesta al aumento de las cargas hidráulicas aumenta proporcionalmente el tamaño del área. Las áreas de retención de aguas pluviales deben tener el tamaño adecuado para los

volúmenes de escorrentía [4]. El plan de infraestructura verde de la ciudad de Nueva York se publicó en 2010 y se define como la táctica de las infraestructuras verde ayudando a reducir el volumen de vertidos al medio ambiente, controlar el volumen de escorrentías a través de los SUDS y promover la sostenibilidad de la ciudad. Por otra parte, Filadelfia creó el plan ciudad verde, Aguas Limpias, inspirado en la experiencia de Nueva York, con el objetivo de maximizar el beneficio retornado al ciudadano y contribuyendo con el ambiente [5]

En Colombia, la problemática es la gestión de las escorrentías en áreas públicas caso puntual presentados en la ciudad de Bogotá, uno de los factores a contemplar es la rápida expansión urbana generando impermeabilización del suelo reduciendo la capa de vegetación lo que ayuda a la captación natural de las aguas pluviales [6]

Latinoamérica es vulnerables a los estragos del cambio climático y Ecuador no es la excepción, las constantes inundaciones ocasionadas por las intensas precipitaciones causan que las áreas urbanas se inunden producto de las escorrentías en zonas impermeables impidiendo que estas se infiltren de manera natural, en Guayaquil se está volviendo común lluvias en periodos cortos que ocasionan inundación de algunas cooperativas y avenidas principales de la urbe, en un diario nacional se hace énfasis que estos eventos se agravan por el histórico crecimiento demográfico sin planificación urbana pero también es el resultado de que está prevaleciendo más la obra gris, que áreas naturales [7]. En un comunicado de la secretaría nacional de gestión de riesgo (SNGR) al igual que la empresa Interagua coinciden que la lluvia del 23 de marzo del 2023, es la más intensa registrada de la actual temporada invernal, ese día Interagua reportó que en el norte de la ciudad se acumularon aproximadamente 22 millones de metros cúbicos de agua, mientras que en el sur hubo 18 millones de metros cúbicos, que incluso consideraron que el volumen de agua que cayó en ese evento alcanzaría para llenar 16000 piscinas olímpicas [8]. La escena de inundaciones en Guayaquil se repite cada invierno, lo que produce múltiples problemas a los ciudadanos de la urbe. Además de la congestión vehicular, lo más preocupante es que anualmente existen casos de viviendas y negocios que sufren severas afectaciones debido a las fuertes precipitaciones. Es una repetición del mismo escenario todos los años donde la temporada invernal afecta a la comunidad de manera cíclica [9]

En Guayaquil 10 de las 15 parroquias urbanas son altamente vulnerables a inundaciones, esto equivale aproximadamente al 70% de parroquias que se encuentran en riesgo alto de inundaciones [10], como se lo muestra en la tabla 2.

Tabla 2: Riesgo de inundación en (%) para las parroquias urbanas de Guayaquil.

Parroquias de Guayaquil	Riesgo de inundación en %
9 de octubre	73
Ayacucho	73
Bolívar	72
Carbo	34
Febres Cordero	74
García Moreno	71
Letamendi	76
Olmedo	71
Pascuales	55
Roca	38
Rocafuerte	72
Sucre	72
Tarqui	40
Urdaneta	74
Ximena	60
Monte Sinai	86
Expansión urbana	1

Esta investigación busca diseñar un sistema urbano de drenaje sostenible mediante la tipología bio-retención, aplicando la técnica de análisis y síntesis se evaluarán los parámetros de diseño basándose en criterios hidráulicos apoyados en manuales técnicos y normativas internacionales de los SUDS, con el propósito de crear una propuesta de diseño geométrico aplicable que ayude a gestionar las aguas de lluvias

Green World Journal /Vol 06/Issue 02/074/ May-August 2023 /www.greenworldjournal.com

para controlar las inundaciones por concentración de escorrentías superficiales que se generan el Hospital General Universitario de Guayaquil. En la ciudad existen iniciativas de implementar infraestructuras sustentables para el control de inundaciones, así como una Ordenanza Municipal que fomente la construcción de edificios sostenibles el proyecto "Guayaquil Cielo Florido" surge de la cooperación de una fundación y la Municipalidad de Guayaquil [11].

La impermeabilización de los suelos urbanos y las intensas precipitaciones generan inundaciones por concentración de escorrentías superficiales, esto se debe a la reducción de capacidad de infiltración natural del suelo haciendo que los sistemas de alcantarillado pluvial convencional se saturen impactando principalmente al medio receptor. La expansión urbana y las lluvias con mayor frecuencia e intensidad aumentan el factor riesgo de colapso por saturación de las estructuras de drenaje existentes, incrementando su costo de construcciones y mantenimiento [12]

Guayaquil forma parte de la región costera del Ecuador, la cual se caracteriza por su gran diversidad de paisajes naturales que van desde exuberantes bosques húmedos, valles de bosques secos, esteros, manglares y hermosas áreas de playas en la costa. Esto se debe a que la región abarca desde la cordillera Chongón-Colonche hasta las planicies del río Guayas, lo que da lugar a una gran cantidad de ecosistemas y a una biodiversidad excepcional.

También es relevante mencionar la importancia de la preservación de especies de plantas endémicas como consideraciones ambientales, por ello en la tabla 3. que enumera varias plantas que forman parte de la biodiversidad del ecosistema de Guayaquil usadas en el arbolado urbano. La información se filtró de la Memoria de Biodiversidad de la Dirección del Ambiente emitida en febrero de 2020.

Tabla 3. Vegetación de Guayaquil usada en arbolado urbano.

Flora representativa del cantón Guayaquil usada en arbolado urbano		
Nombre común	Nombre científico	Información
Muyuyo de montaña	<i>Tecoma castanifolia</i>	Es una especie que se puede usar en el arbolado urbano. De 4 metros aproximadamente, originario de los bosques secos de Ecuador, a pesar de que se encuentra en terrenos rocosos sobre el parque histórico de Guayaquil. ha sido capaz de soportar la presencia transitoria de agua salobre durante las inundaciones [13]; [14].
Roble	<i>Tabebuia rosea</i>	Árbol que crece rápidamente y puede alcanzar una altura de hasta 20 metros. Preferir áreas con vegetación secundaria porque mantienen el suelo y reducen la erosión. Es muy Común y se siembra en zonas verdes de las ciudades [13,15].
Guachapelí	<i>Pseudosamanea guachapele</i>	Tiende a tener una altura aproximada de 25m, se suele usar en arbolado urbano, fija nitrógeno en el suelo y crece mejor si recibe la luz solar de forma directa [13-15].
Fernán Sánchez	<i>Triplaris cumingiana</i>	Por su crecimiento de forma recta se suele usar en arbolado de parterres. Esta planta tiene un rápido crecimiento y requiere de suelos bien drenados, aunque también puede tolerar inundaciones e incluso agua con bajo nivel de salinidad. Llega alcanzar los 20 metros, la semilla trialada se dispersa por el viento y es polinizada por insectos como abejas y avispas [13].
Pepito colorado	<i>Erythrina smithiana</i>	Es cultivado como ornamento. Es un árbol típico de Ecuador y puede llegar a alcanzar los 10 metros de altura, habita los bosques secos y húmedos del oeste del país [13].
Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	Es nativo de bosques primarios y secundarios de la costa, Amazonia y Galápagos, y crece entre 0-1000 metros sobre el nivel del mar. Durante la época seca pierde las hojas, es de rápido crecimiento. Es perfecto para parques y es de fácil mantenimiento [13,15].
Samán	<i>Samanea saman</i>	Este árbol que puede medir hasta los 25 metros de altura aportando sombra gracias a su vasto y entrelazado ramaje, su característica particular es que cierra sus hojas cuando llega la tarde-noche [14,15].
Orquídea de Guayaquil	<i>Encyclia angustiloba</i>	Es símbolo de Guayaquil, se origina en los bosques secos de esta ciudad, se distingue por su crecimiento en troncos y ramas de árboles; sus raíces absorben el agua de la lluvia y la humedad del viento. Está críticamente amenazada de extinción porque sus bosques están desapareciendo rápidamente. Esta especie se puede cultivar y usar como ornamento [13,16].

El objetivo de esta investigación es diseñar geoméricamente un área de bio-retención que ayude a gestionar las aguas lluvias generadas en el Hospital General Universitario de Guayaquil. Para lograrlo, se aplicará la metodología de los Sistemas Urbano de Drenaje Sostenible (SUDS) a partir de los registros de lluvias tomados por la estación pluviométrica Sergio Toral, dada su proximidad al área de estudio. Se espera obtener una propuesta de diseño geométrico que permita retener un volumen adecuado de aguas lluvias, disminuyendo así el caudal que normalmente se aportaría a la red de alcantarillado pluvial. De esta manera, se puede prevenir saturaciones y colapsos en el sistema, ocasionando inundaciones por concentración de escorrentías superficiales en sectores que se encuentran aguas abajo.

2. Materiales y métodos

Selección de zona de estudio. – La ciudad de Guayaquil se encuentra a 4msnm uno de los motivos por lo que es propensa a inundaciones, considerando la información presentada en la tabla 1, misma que establece el riesgo de inundación en porcentaje de las parroquias de la urbe porteña, se observa que Monte Sinaí es la zona con mayor riesgo, alcanzando un 86%, además de considerar varios eventos presentados en la época invernal en los periodos del 2021 al 2023, los cuales ocasionaron severas inundaciones en gran parte de este sector. Adicional a esto la figura 1 recoge los parámetros que se establecieron como mínimos necesarios que debe cumplir el sitio donde se ubique el área de bio-retención, tales como: contar con suficiente espacio para la ubicación del SUDs, su área mínima disponible debe ser del 5% del área de aporte, considerando que la estructura debe ubicarse a solo unos metros aguas abajo de las partes iniciales de la cuenca, para reducir la cantidad de agua de lluvia que fluye hacia la red de alcantarillado pluvial, permitiendo disminuir y gestionar el volumen de agua de escorrentía en la zona de estudio. También el sector debe tener un nivel freático por debajo de los 1.20 metros. Se debe considerar un sitio que tenga mala o nula gestión del alcantarillado pluvial. Otro parámetro para considerar es el crecimiento poblacional, este se está generando en el sector del noroeste y parte de vía a la costa como lo indica el plan de ordenamiento territorial de la M.I. Municipalidad de Guayaquil, el sector sur de la ciudad de Guayaquil está totalmente poblado por lo que no existen áreas grandes disponibles para este tipo de estructura.

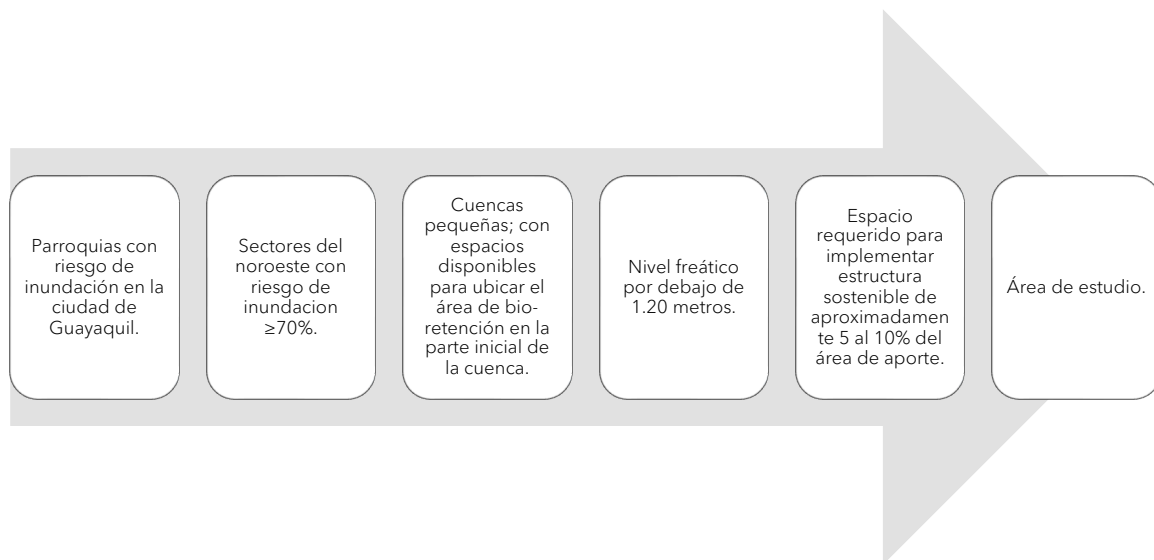


Figura 1. Proceso de selección de zona de estudio.

Selección de SUDS. – Para seleccionar la estructura del sistema urbano de drenaje sostenible, se lo hará con base en las recomendaciones de Storm Drainage Design and Technical Criteria de la ciudad de Denver. Esta fuente brinda criterios técnicos y de diseño para la gestión de aguas pluviales y la construcción de BMPs. Con este enfoque, buscamos asegurar que la estructura diseñada sea adecuada para reducir el volumen de escorrentías que ingresa al sistema de pluvial existente, reduciendo así el riesgo de inundaciones y de sobrecarga de la red pluvial, con el fin de proteger los sectores que están aguas abajo.

La estructura de bio-retención puede aplicarse en las inmediaciones de los edificios, en las islas de los aparcamientos y en otras zonas paisajísticas, donde no haya probabilidad de contaminación de las aguas subterráneas o problemas geotécnicos. Siempre que se desee implementar un área de bio-retención, deben abordarse los criterios geotécnicos relacionados con el drenaje de los cimientos de los edificios y los suelos expansivos [14].

Trazando inferencias de las recomendaciones previas, se muestra en la tabla 4, la valoración detallada de la efectividad en los diseños de las estructuras para retener y reducir los volúmenes de aguas lluvias descargados en la red. Este análisis adicional permitirá identificar cualquier mejora necesaria en el diseño de la estructura, asegurando el funcionamiento óptimo y evitando la sobrecarga en el sistema de alcantarillado.

Tabla 4. Eficiencia de las tipologías disminuyendo el volumen de escorrentías.

Criterio de Volumen	Reducción de Volumen	Reducción de descarga máxima
Tipología		
Cunetas Verdes	B	B
Tanques de almacenamiento	M	M
Zonas de bio-retención	M	B
Alcorques inundables	B	B
Cuencas secas de drenaje	B	M
Zanjas de infiltración	A	A
Pavimento permeable	A	M

Después de las recomendaciones de Storm Drainage Design and Technical Criteria de la ciudad de Denver y el análisis de la eficiencia de los SUDS, se opta por diseñar una zona de bio-retención para el área previamente seleccionada.

El manual de diseño de los SUDS [16], establece como condición de espacio requerido para las zonas de bio-retención entre un 5 al 10% de la superficie total del área tributaria.

2.1. Área de estudio

El área de estudio del Hospital General Universitario de Guayaquil se sitúa en el sector norte de la ciudad, perteneciente a la parroquia Monte Sinaí. Limita al norte con la av. Dr. Marcel J. Laniado de Wind, al sur con terrenos industriales, al este con la urbanización Loma Vista y al oeste con la vía perimetral E40. Su elevación aproximada de 30.5 msnm y cuenta con 5.80 Ha de área poco permeable como se lo muestra en la figura 2.

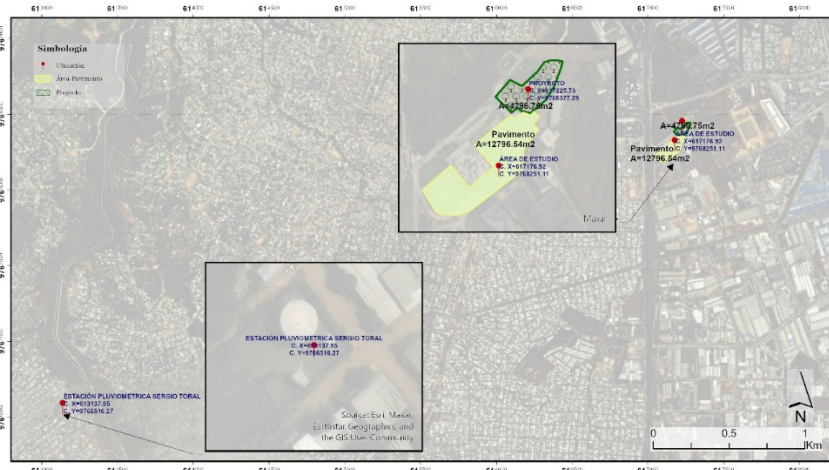


Figura 2. Ubicación del área de estudio, Hospital General Universitario de Guayaquil; proyecto de bio-retención y estación pluviométrica Sergio Toral.

Dado que el área de estudio y el área del proyecto son de gran amplitud, se han definido las coordenadas centrales correspondientes, las cuales se muestran en la tabla 5.

Tabla 5. Coordenadas del área de estudio, proyecto y estación pluviométrica Sergio Toral; proyección UTM–Guayaquil, Zona 17S. Datum WGS84.

Ubicación	este	norte
Área de estudio	617176.92	9768251.11
Ubicación del proyecto	617225.73	9768377.29
Estación pluviométrica Sergio Toral	613137.85	9766516.27

2.1.1. Área tributaria

El suelo bien drenado es una característica importante por considerar al momento de construir los sistemas urbanos sostenibles, por esto conocer el nivel freático es indispensable, este debe encontrarse por debajo de los 30 cm de la superficie [17]. En este análisis, se clasificó la estimación de las áreas aportantes por tipo de superficie y su relación con el coeficiente de escorrentía. Debido a que el área aportante total supera los 10 acres recomendados en el manual, se consideró trabajar la propuesta de diseño con superficie pavimentadas que tiene un área de aporte 1.27 Ha como se muestra en la figura 3, esta área se la puede considerar casi impermeable, por tanto, lo que llueve escurre en un 90 a 95% según, Storm water Management for construction activities: Developing pollution prevention plans and best Management practices, de Washington DC, hacia el sistema de alcantarillado pluvial, por lo que se propone interceptar este volumen de agua y gestionarlo hacia un sistema de bio-retención.



Figura 3. Selección de área tributaria con superficie tipo pavimento.

2.1.2. Información pluviométrica y profundidad de lluvia.

Basándonos en conceptos hidrológicos y en los criterios de diseños recomendados por Stormwater Management Manual for Western Washington, las áreas de bio-retención se definen como depresiones ajardinadas poco profundas. Estas áreas se componen de una mezcla de suelo diseñada para plantaciones, así como una variedad de material vegetal, que incluye árboles, arbustos, hierbas y otras plantas herbáceas, todas adaptables para las condiciones de humedad del suelo. Asimismo, estas áreas reciben las aguas pluviales de una zona contribuyente por lo que pueden tener o no un drenaje inferior [18].

Cuando se diseña una estructura de retención, la base hidrológica del diseño es difícil de representar debido a la naturaleza estocástica de las precipitaciones. Por lo tanto, el dimensionamiento para una determinada probabilidad no garantiza que otro escenario procedente de la naturaleza (por ejemplo, una

serie de pequeñas tormentas que se suman a grandes volúmenes en una o dos semanas) se produzca. Por esta razón, los estanques de retención se han utilizado en algunos casos como medidas temporales hasta que se desarrolla un sistema formal aguas abajo [14].

En este caso se carece de información histórica de los registros de precipitaciones de estaciones cercanas al sitio de emplazamiento de la estructura, pero se cuenta con registros horarios de lluvias en el lugar, por lo que se plantea convertir los eventos de lluvias en escorrentías mediante modelación de hietograma. Por ende, se procedió a estimar la profundidad de lluvia considerando que se cuenta con los registros de los años 2021 y 2022 de la estación pluviométrica Sergio Toral. Se optó por trabajar con una lluvia máxima de 3 horas con intervalo de 5 minutos. Como se muestra en la tabla 6, en la figura 4 que pertenece al hietograma del año 2022 y en la figura 5 se presenta el hidrograma de caudales con periodos de retorno de 5, 10 y 25 años.

Tabla 6. Registros de lluvia de la estación pluviométrica Sergio Toral del año 2022.

Min	P(mm)
5	0
10	1.75
15	11.36
20	14.79
25	11.85
30	9.63
35	8.64
40	8.13
45	5.86
50	3.83
55	3.09
60	3.99
65	2.44
70	2.15
75	0.82
80	0.20
85	0.28
90	0.25
95	0.10
100	0.07
105	0.27
110	0.25
115	0.18
120	0.35
125	0.03
130	0
135	0
140	0
145	0
150	0
155	0
160	0
165	0
170	0
175	0
180	0
ph=	90.31

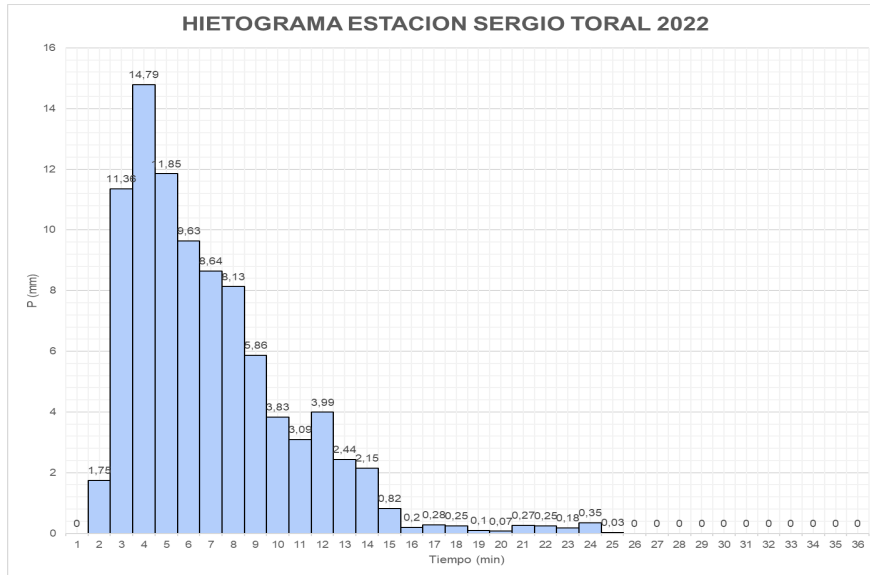


Figura 4. Hietograma de precipitación máxima registrada en la estación Sergio Toral en el 2022.

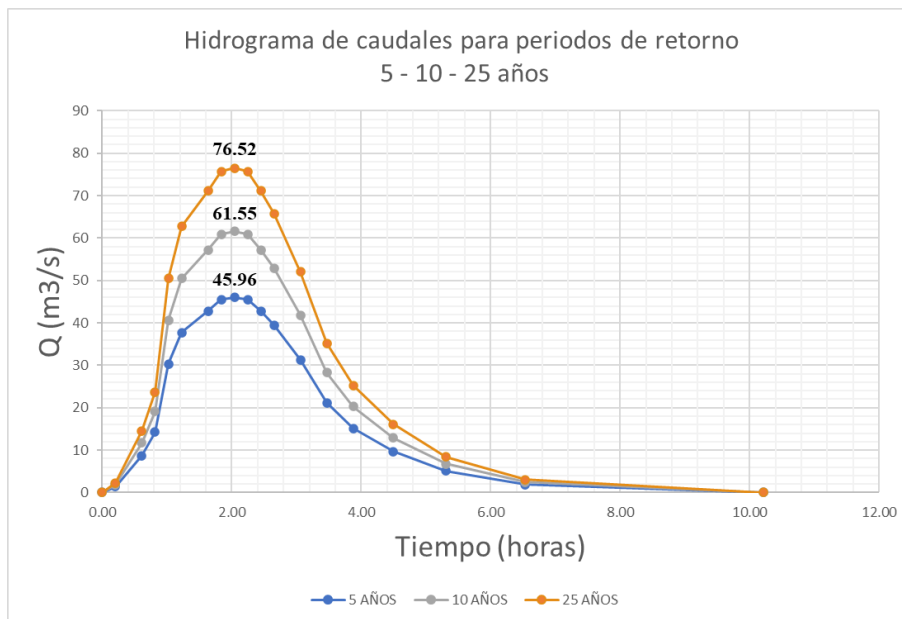


Figura 5. Hietograma de caudales periodos de retornos de 5, 10 y 25 años.

El manual de diseño de aguas pluviales de Maryland, volúmenes I y II; en su capítulo 3 Criterios de desempeño para el diseño de BMP urbanas recomienda que el área tributaria máxima a un sistema individual de filtrado de aguas pluviales debe ser inferior a 10 acres; siempre que se proporcione un pretratamiento adecuado para los sistemas de bio-retención y el diseño cumpla las siguientes condiciones, (a) una franja filtrante de césped de 20'' y debajo un esparcidor de nivel o una capa filtrante de arena opcional, (b) un diafragma de grava y (c) una capa de mantillo [20].

La CIA propone que independientemente del grupo de suelo, las áreas como vías o acceso a ellas, calles pavimentadas y techos se presentan como superficies completamente impermeables y se los asocia con el valor de número de curva de la fracción de áreas impermeable directamente conectada al sistema de drenaje (CNI) de 95 [21]. Como se presenta el resumen en la tabla 7.

Tabla 7. Datos para CNI y CNp con circunstancias de humedad.

Áreas	Cobertura	A	B	C	D
Áreas Impermeables (pavimentos, concreto, etc.)	Techos	95	95	95	95
	Aceras	95	95	95	95
	Accesos	95	95	95	95
	Parqueaderos	95	95	95	95
	Pavimentada/Concreto	95	95	95	95
Calles / Vías	Grava	76	85	89	91
	Afirmado	72	82	87	89
	Pasto (cobertura < 50%)	68	79	86	89
Espacios abiertos (patios, parques, cementeros, linderos, relictos de vegetación nativa, etc.)	Pasto (cobertura < 50% a 75%)	49	69	79	84
	Pasto (> 75%)	39	61	74	80
	Suelo desnudo	77	86	91	94
	Árboles	36	60	73	79
	Matorrales	46	62	74	84

Según el Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental, 2017 en su Producto 3- Guía técnica de diseño y construcción de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), la determinación del factor de escorrentía K_i se obtiene en función del área tributaria, dependiente de la impermeabilidad del lugar.

Ecuación 1.

$$K_i = 2.326(0.91I^3 - 1.19I^2 + 0.78I)$$

Donde: K_i = Factor de escorrentía e I = Factor de impermeabilidad efectiva para el área tributaria.

La escorrentía del sistema de drenaje se incluye en el factor I , tanto las áreas impermeables directamente conectadas como las porciones de áreas impermeables no conectadas que también contribuyen a la escorrentía del sitio, excepto las áreas impermeables no conectadas que drenan hacia áreas permeables. Si esto ocurre se obtiene la fracción impermeable total I_t [21].

En su artículo de Gou, hace referencia que el método racional es principalmente utilizado para predecir la escorrentía en cuencas pequeñas al diseñar estructuras de drenaje urbano. Una cuenca pequeña es definida por su hidrograma perceptivo a la intensidad de las precipitaciones de corta duración y a los efectos de almacenamiento de la escorrentía superficial [22]. Por lo general, se considera que una cuenca es pequeña cuando su área es menor a 100 acres. El método racional toma en cuenta variables como el área tributaria y la intensidad promedio del exceso de lluvia en el pasado hasta el tiempo de concentración del punto de diseño. El tiempo de concentración y el coeficiente de escorrentía son parámetros del proceso hidrológico, pero no se miden directamente. Por lo tanto, se considera que el método racional es una herramienta útil para el diseño de instalaciones de drenaje en la planificación urbana.

Considerando la recomendación que la EAB propone para áreas de drenaje pequeñas, el método racional usado para la estimación de caudales de escorrentía resulta conveniente aplicar de igual manera para el cálculo de volúmenes de calidad [21].

Ecuación 2.

$$V_c = Ch_p A$$

$$V_c = 1097.87 m^3$$

Donde V_c = volumen de tratamiento (m^3), A = área de drenaje (m^2), h_p =profundidad de lluvia en (m), y C = Coeficiente de escorrentía del área.

Las técnicas de planificación y de diseño deberán reducir los volúmenes y velocidades de escorrentía en la mayor medida posible mediante la aplicación de medidas que reduzcan al mínimo la superficie impermeable directamente conectada [14].

2.2. Métodos

Por tanto, la metodología de la propuesta de diseño a seguir se basa en criterios y técnicas provenientes de referencias bibliográficas y un análisis exhaustivo de información acerca de las zonas afectadas por inundaciones en la ciudad de Guayaquil con impacto socioeconómico alto, a partir de las cuales se puede implementar una estructura de control y gestión de las inundaciones aguas abajo. Posteriormente, se recolectó información proveniente de las estaciones pluviométricas cercanas al punto de análisis seleccionado. A continuación, se diferencian las áreas obtenidas con el objetivo de priorizar las áreas potenciales que puedan tener una mayor capacidad para optimizar el manejo de las escorrentías, mejorando la calidad del agua que posteriormente se descarga en el sistema pluvial, promoviendo el urbanismo sostenible.

El diseño geométrico de las zonas de bio-retención permite su uso para todas las partes de un emplazamiento. La forma no es crítica para las zonas de bio-retención, pero se recomienda una anchura mínima de 3 metros y una relación longitud/anchura de 2:1 permitirán la plantación aleatoria de árboles pequeños, arbustos leñosos. El lecho de tierra debe tener una profundidad mínima de 1 metro, pero generalmente va de 1,2–1,5 m [16].

Se tomo de modelo el diagrama de procedimiento de diseño geométrico, figura 6, planteado por la Universidad de los Andes [21].

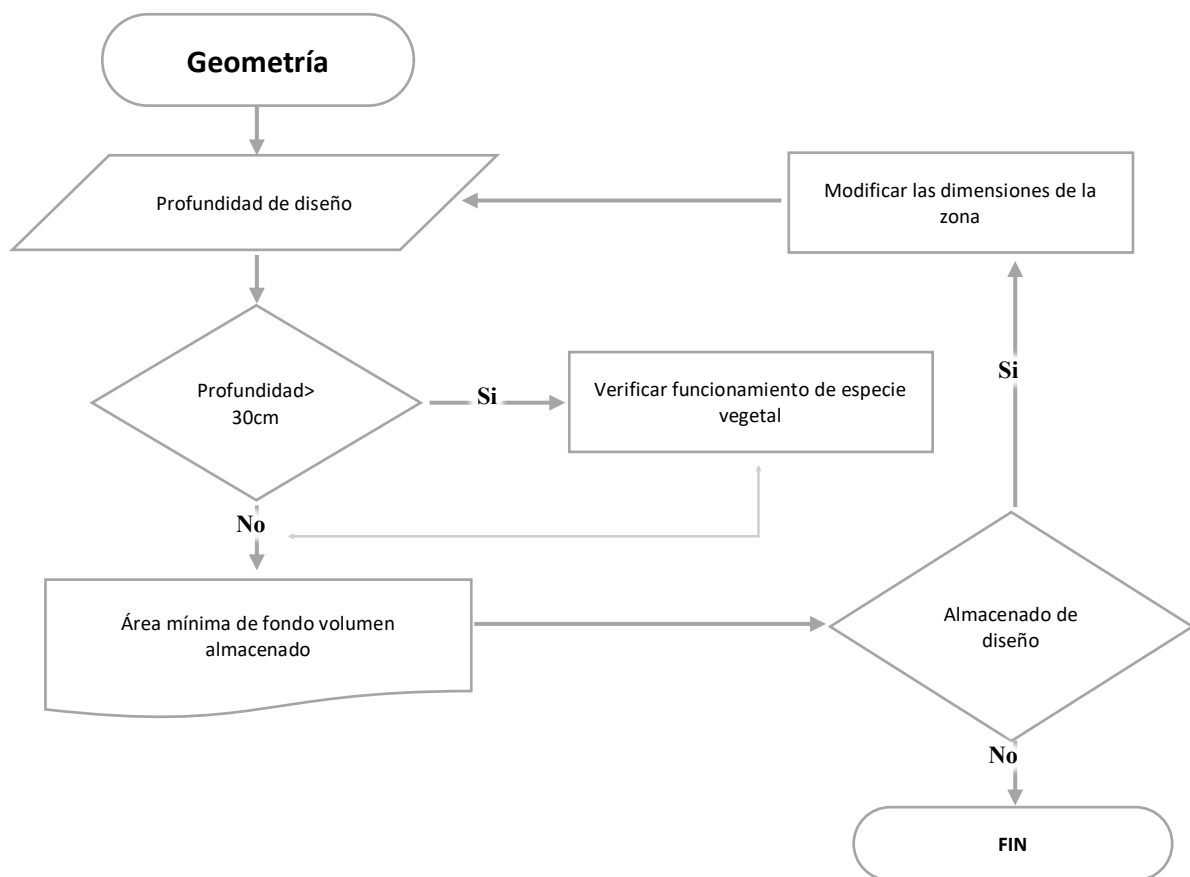


Figura 6. Jerarquía de pasos por seguir para el diseño geométrico de las áreas de bio-retención

Para determinar una sección de no infiltración, de infiltración parcial o total es necesario llevar a cabo una exploración del subsuelo. La elección de la sección adecuada dependerá del uso del suelo, las actividades y proximidad a estructuras adyacentes y las características del suelo. Para este caso, se optó por una sección de infiltración parcial que no incluye un revestimiento impermeable y permite cierta infiltración. Las aguas pluviales que no se infiltran son recogidas y eliminadas mediante un sistema de drenaje inferior [23].

3. Resultados

Se presenta un resumen de la propuesta de diseño para el sistema de bio-retención, de acuerdo con los criterios de diseños citados en los textos que le antecede a la tabla 8 y figura 7.

Tabla 8. Resumen de datos obtenidos para la propuesta de diseño geométrico.

Tipo de variable	Variable	Datos		Unidad
Hidrológica	Área tributaria	1.28		Ha
	Coefficiente de escorrentía	0.95		adimensional
	Profundidad de lluvia	90.31		mm
	Volumen de tratamiento	1097.87		m ³
Geográfica	Área disponible para zona de bio-retención	4796.75		m ²
	Nivel freático	Por debajo de los 3m		m
Geométrica	Profundidad de sustrato	0.5		m
	Sustrato	Capas	tamaño (mm)	Porcentaje
		arena	0.05 - 2	70 - 80
		limo	0.002 - 0.005	15 - 20
	arcilla	<0.002	5 - 10	
	Lámina inundable	0.25		m
	Capa de separación	Espesor de 0.05 m de gravilla fina		m
Capa de drenaje	0.20		m	
Tubería de drenaje	Ø6" con orificios de 3/8" espaciados a 6 m y con una pendiente mínima de 0.5%.		pulgadas	

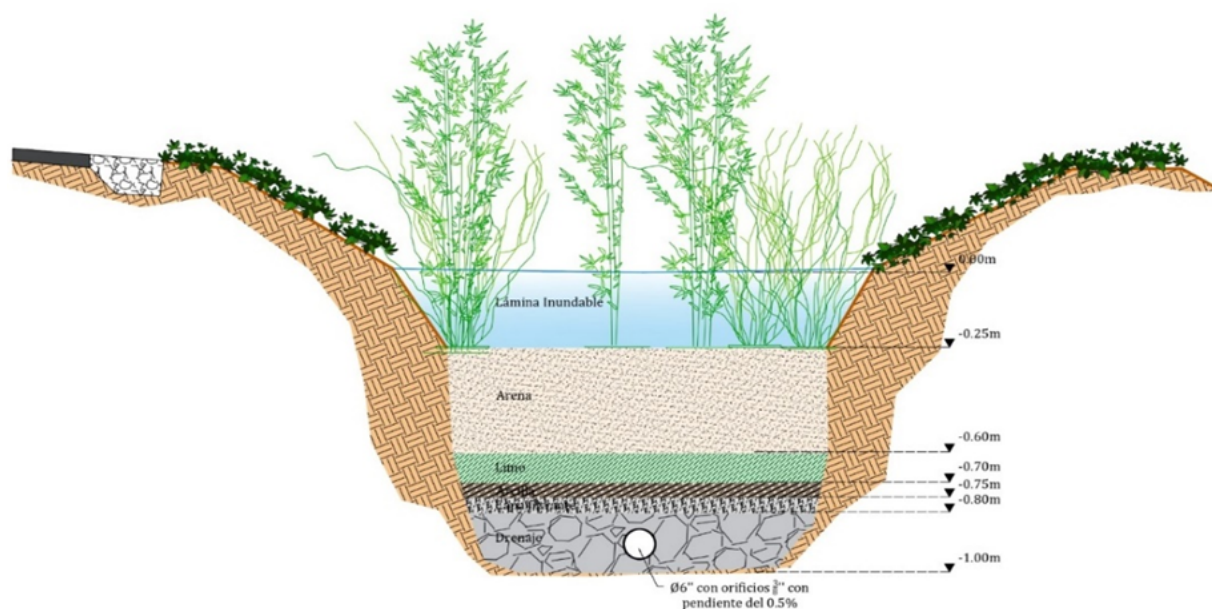


Figura 7. Propuesta de diseño geométrico del área de bio-retención.

En las áreas de bio-retención, es importante que la vegetación sea propia del ecosistema y lo suficientemente fuerte para resistir la contaminación del agua de escorrentía. Generalmente, se aplican las mismas condiciones que en las cunetas verdes, pero es recomendable incluir al menos tres tipos de arbustos para aumentar la diversidad y proteger contra plagas y enfermedades. De esta manera se facilitará la evacuación de agua y la absorción de nutrientes de manera más uniforme. Se sugiere cubrir el suelo con plantas herbáceas para evitar la erosión del mantillo. Las áreas de bio-retención también se pueden enfocar en plantaciones ornamentales para mejorar la amenidad del paisaje urbano y praderas de bajo mantenimiento [21]. Considerando las recomendaciones del Centro de Investigación en Ingeniería Ambiental de Bogotá y examinando descripción en la memoria de la biodiversidad del cantón Guayaquil presentada por la municipalidad, la cual presenta una lista de la flora representativa de la urbe, se buscó las mejores especies que se adapten a climas cálidos y húmedos, con una temperatura óptima de crecimiento entre 20 y 30°C y que estén entre las recomendadas para los sistemas de bio-retención, por lo que se opta por la familia de los Cyperaceae que tienen a los *Cyperus esculentus*, *Cyperus distans*, *Cyperus luzulae*, *Cyperus odoratus*, *Cyperus rotundus* *Cyperus surinamensis* son plantas herbácea perenne que puede crecer hasta los 70 cm de altura, crecen bien en suelos de arena, limo y arcilla, considerando que estas plantas están dentro de las recomendadas para este tipo de sistemas. Adicional por la extensión del terreno se puede incluir arbustos como *Tecoma castanifolia* o *Triplaris cumingiana* recomendados en la tabla 3, por su uso en procesos de arborización urbana de Guayaquil.

4. Discusión

La evaluación de las tipología a implementar para un sistema urbano de drenaje sostenible que ayude a gestionar el volumen de escorrentías que generan las superficies pavimentadas del hospital General Universitario de Guayaquil condujo a un sistema de bio-retención, el cual ayudará a retener parte del gran volumen de aguas lluvias que generan las intensas precipitaciones en periodos cortos, en el análisis se determinó que la zona de bio-retención propuesta necesita un área de 4796,75m² con una lámina inundable de 0.25m para retener aproximadamente 1199.18 m³ de escorrentías por tormenta, que servirán de amortiguamientos para la red de alcantarillado pluvial convencional previniendo posibles colapsos aguas abajo.

La metodología empleada para la propuesta de diseño geométrico pertenece a la Guía técnica de diseño y construcción de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) de la Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Bogotá, en conjunto con el Manual de Criterios de Drenaje Pluvial Urbano Volumen 3, Mejores prácticas de gestión de aguas pluviales de la ciudad de Denver y el Manual de los SUDS (C697)

de la Asociación de Investigación e Información de la Industria de la Construcción (CIRIA), proceso que consiste en iterar valores de área superficial destinada para el sistema de bio-retención mientras se mantienen constantes la profundidad de la lámina inundable dentro de los parámetros que establece la norma y los manuales de diseño, la metodología que establece la guía técnica de diseño de Bogotá tienden a establecer áreas pequeñas, esto por los rangos de profundidades recomendadas, suposiciones de porosidad del sustrato o por porcentaje de reducción de contaminantes del volumen de escorrentías.

5. Conclusión

Es importante tener en cuenta las recomendaciones de los manuales para esta tipología de SUDS, deberá considerarse la implementación de estructuras de pretratamiento como la franja de césped o trampas de sedimentos, estructuras anexas a la entrada del sistema como disipadores de energía o baipás y estructuras anexas a la salida como tuberías perforadas subterráneas, con la finalidad de garantizar el óptimo funcionamiento de la zona de bio-retención.

Una de las partes esenciales de los sistemas de bio-retención es la evaluación de la flora local agregando una estrategia efectiva para la conservación del ecosistema, es importante la selección de plantas nativas que cumplan la función principal del sistema de bio-retención para el que fue diseñado ya sea que sirva de aliviadero de escorrentías y/o de mejoramiento de la calidad del agua que se devuelve a los afluentes cercanos al sistema.

Es trascendental sugerir que se realicen más investigaciones para evaluar la efectividad de los sistemas de bio-retención, así como otras tipologías de SUDS, estudios para ampliar el área de aporte de estos sistemas, o también analizar la factibilidad de sistemas urbanos de drenaje sostenible duales que podrían implantarse bajo parámetros climatológicos de la ciudad de Guayaquil.

Es apropiado decir que sería enriquecedor establecer una mesa técnica de discusión entre los planificadores urbanos, ingenieros ambientales, hidráulicos e hidrólogos del Ecuador para crear normativas y manuales de diseño de los sistemas urbanos de drenajes sostenibles efectivos para los diversos ecosistemas del país.

Contribución de autores: conceptualización, A.M.L.L. y C.M.; metodología, A.M.L.L. y C.M.; análisis formal, A.M.L.L. y C.M.; investigación, A.M.L.L. y C.M.; redacción-revisión y edición, A.M.L.L. y C.M.; visualización, A.M.L.L. y C.M.; supervisión, C.M.

Financiamiento: Los autores financiaron a integridad el estudio.

Conflictos de interés: Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Referencias

1. Perales Momparler, S.; Andrés-Doménech, I. *Los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible: Una Alternativa a La Gestión Del Agua de Lluvia*; Valencia, 2006.
2. Cubides, E.D.; Santos, G.E. Control de Escorrentías Urbanas Mediante Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS): Pozos/Zanjas de Infiltración. *Entre Ciencia e Ingeniería* **2018**, *12*, 32–42, doi: <http://dx.doi.org/>.
3. Real Rojas, J.E.; Hack, J.; Rincón, G. Evaluación de Infraestructura Verde Urbana Mediante El Uso de La Herramienta SWMM. Caso de Estudio: Durán. Tesis, Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL): Guayaquil, 2021.
4. Semadeni-Davies, A. Implications of Climate and Urban Development on the Design of Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS). *Journal of Water and Climate Change* **2012**, *3*, 239–256, doi:10.2166/wcc.2012.043.
5. Congreso Nacional del Medio Ambiente Agua y Ciudad. *Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible.*; Madrid – España, November 26 2018; pp. 1–21.
6. Molina León, M.P.; Gutiérrez, L.; Salazar, J. *Sistema Urbanos de Drenaje Sostenible SUDS*; Bogotá, 2011.

7. El Universo La Mayor Lluvia Del 2021 En Guayaquil Provocó Afectaciones En 64 Zonas, Entre Inundaciones, Árboles Caídos, Canales Rebosados y Otros. *Comunidad* 2021.
8. Rodríguez, A. Inundaciones En Guayaquil ¿por Qué Se Acumula Más Agua En El Norte Que En El Sur de La Ciudad? 2023.
9. ESPOL Politécnicos Proponen Soluciones Sostenibles y Viables Para Contrarrestar Las Cíclicas Inundaciones de Guayaquil Available online: <https://www.espol.edu.ec/es/noticias/polit%C3%A9cnicos-proponen-soluciones-sostenibles-inundaciones-Guayaquil> (accessed on 15 June 2023).
10. I Care Environnement *Vulnerabilidad y Adaptación al Cambio Climático En Guayaquil*; CAF, Ed.; Guayaquil, 2018; ISBN 978-980-422-099-9.
11. Fundación Proyecta Verde; M.I. Municipalidad de Guayaquil Guia Cielo Florido. **2019**, 4-53.
12. Perales Momparler, S.; Calcerrada Romero, E.; Badenes Catalán, C.; Beltrán Pitarch, I. *Guía Básica de Diseño de Sistemas de Drenaje Sostenible Para El Término Municipal de Castelló de La Plana*; España, 2019; pp. 5-85.
13. Dirección de Ambiente *Memoria de Biodiversidad*; Guayaquil, 2020.
14. Department of Public Works, D. *Storm Drainage Design and Technical Criteria*; USA, 2013.
15. Borrero García, C.; Giraldo González, M.; Vega Salazar, L. Evaluación Del Diseño y Monitoreo de Sistemas de Drenaje Urbano Sostenible. Casos de Estudio-Avenida Rincón Tabor y Jardín Botánico de Bogotá, Universidad de los Andes: Bogotá, 2016.
16. Woods-Ballard B; Kellagher R; Martin P; Jefferies C; Bray R; Shaffer *The SUDS Manual*; Ciria C697.; London, 2007; ISBN 978-0-86017-697-8.
17. IGM *Generación de Información Geo-Espacial a Escala 1: 5 000 Para La Determinación de La Aptitud Física Del Territorio y Desarrollo Urbano Mediante El Uso de Geotecnologías*; 2019.
18. Departament of Ecology State of Washington *Stormwater Management Manual for Western Washington*; Washington, 2012.
19. García de la Rosa, D. Análisis de La Vulnerabilidad Ante Inundaciones En El Sector Mi Lote, Cantón Guayaquil, Provincia Del Guayas, Mediante El Programa Hec-Ras e Implementación de Posibles Soluciones a La Problemática Planteada. Tesis, Universidad de Guayaquil: Guayaquil, 2022.
20. Maryland Departament of the Environment *Chapter 3. Performance Criteria for Urban BMP Design*; USA, 2009.
21. CIIA *Investigación de Las Tipologías y/o Tecnologías de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) Que Más Se Adapten a Las Condiciones de La Ciudad de Bogotá D.C. Producto 3 – Guía Técnica de Diseño y Construcción de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS)*.; Bogotá, 2017.
22. Guo, J.C.Y. Rational Hydrograph Method for Small Urban Watersheds. *J Hydrol Eng* **2001**.
23. UDFCD *Urban Storm Drainage Criteria Manual: Volume 3 Best Management Practices*; Denver, 2010.



© 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>