



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA
INDOAMÉRICA
DIRECCIÓN DE POSGRADO**

MAESTRÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL

TEMA:

**EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE RETENCIÓN DE AGUA LLUVIA DE
SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE (SUDS) SOBRE ÁREAS
ALEDAÑAS A LA VÍA A LA PARROQUIA SANTA ROSA, VÍA ECOLÓGICA Y
AV. MAUELITA SÁENZ – AMBATO Y SU APOORTE A LA MITIGACIÓN DE
INUNDACIONES**

Trabajo de investigación previo a la obtención del título de Magister en Gestión Ambiental

Autor: Ing. Diego Saltos.

Tutor: Msc. Roberto Madera

QUITO – ECUADOR

2020

**AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL AUTOR PARA LA CONSULTA,
REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL
TRABAJO DE TÍTULACIÓN**

Yo Diego Armando Saltos Salazar, declaro ser autor del Trabajo de Investigación con el nombre “EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE RETENCIÓN DE AGUA LLUVIA DE SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE (SUDS) SOBRE ÁREAS ALEDAÑAS A LA VÍA A LA PARROQUIA SANTA ROSA, VÍA ECOLÓGICA Y AV. MAUELITA SÁENZ – AMBATO Y SU APORTE A LA MITIGACIÓN DE INUNDACIONES”, como requisito para optar al grado de MAGISTER EN GESTIÓN AMBIENTAL y autorizo al Sistema de Bibliotecas de la Universidad Tecnológica Indoamérica, para que con fines netamente académicos divulgue esta obra a través del Repositorio Digital Institucional (RDI-UTI).

Los usuarios del RDI-UTI podrán consultar el contenido de este trabajo en las redes de información del país y del exterior, con las cuales la Universidad tenga convenios. La Universidad Tecnológica Indoamérica no se hace responsable por el plagio o copia del contenido parcial o total de este trabajo.

Del mismo modo, acepto que los Derechos de Autor, Morales y Patrimoniales, sobre esta obra, serán compartidos entre mi persona y la Universidad Tecnológica Indoamérica, y que no tramitaré la publicación de esta obra en ningún otro medio, sin autorización expresa de la misma. En caso de que exista el potencial de generación de beneficios económicos o patentes, producto de este trabajo, acepto que se deberán firmar convenios específicos adicionales, donde se acuerden los términos de adjudicación de dichos beneficios.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Quito a los 7 días del mes de agosto de 2020, firmo conforme:

Autor: Diego Saltos

Firma:



Número de Cédula: 180380644-5

Dirección: Pichincha, Quito, Parroquia Mariscal Sucre

Correo Electrónico: ingdiegosaltos@gmail.com

Teléfono: 0984776811

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación “EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE RETENCIÓN DE AGUA LLUVIA DE SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE (SUDS) SOBRE ÁREAS ALEDAÑAS A LA VÍA A LA PARROQUIA SANTA ROSA, VÍA ECOLÓGICA Y AV. MAUELITA SÁENZ – AMBATO Y SU APORTE A LA MITIGACIÓN DE INUNDACIONES” presentado por Diego Armando Saltos Salazar, para optar por el Título Magister en Gestión Ambiental.

CERTIFICO

Que dicho trabajo de investigación ha sido revisado en todas sus partes y considero que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del Tribunal Examinador que se designe.

Quito, 12 de Agosto de 2020

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Roberto Madera', with a large, stylized flourish extending to the left.

Ing. Roberto Madera Msc.

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Quien suscribe, declaro que los contenidos y los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación, como requerimiento previo para la obtención del Título de Magister en Gestión Ambiental, son absolutamente originales, auténticos y personales y de exclusiva responsabilidad legal y académica del autor .

Quito 12 de Agosto de 2020



Diego Armando Saltos Salazar

CC. 180380644-5

APROBACIÓN TRIBUNAL

El trabajo de Titulación, ha sido revisado, aprobado y autorizada su impresión y empastado, sobre el Tema: EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE RETENCIÓN DE AGUA LLUVIA DE SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE (SUDS) SOBRE ÁREAS ALEDAÑAS A LA VÍA A LA PARROQUIA SANTA ROSA, VÍA ECOLÓGICA Y AV. MAUELITA SÁENZ – AMBATO Y SU APOORTE A LA MITIGACIÓN DE INUNDACIONES, previo a la obtención del Título de Magister en Gestión Ambiental mención en Planificación Ambiental, reúne los requisitos de fondo y forma para que el estudiante pueda presentarse a la sustentación del trabajo de titulación.

Quito, 24 de agosto de 2020



MSc. PABLO RON VALENZUELA
EXAMINADOR/ PRESIDENTE



MES. PAUL REMACHE VINUEZA
EXAMINADOR



MSC ROBERTO MADERA ARENDS

DIRECTOR

DEDICATORIA

A mi amada familia y amigos, a la sensatez como fuente de comprensión y a todos quienes
aúnan esfuerzos en la construcción de sistemas justos y sostenibles.

AGRADECIMIENTO

A mis padres y hermanos por el inmensurable amor y a todas las personas que imparten conocimiento con el único afán de ser parte del desarrollo de la sociedad.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA.....	i
AUTORIZACIÓN PARA EL REPOSITORIO DIGITAL.....	ii
APROBACIÓN DEL TUTOR.....	iii
DECLARCIÓN DE AUTENTICIDAD.....	iv
APROBACIÓN TRIBUNAL.....	v
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
INTRODUCCIÓN	1
Importancia y actualidad	1
Justificación.....	6
Planteamiento del problema	8
Objetivos	10
Objetivo general	10
Objetivos específicos	10
CAPÍTULO I	12
MARCO TEÓRICO.....	12
Antecedentes de la investigación	12
Desarrollo teórico del objeto y campo	15
Sistemas de Bioretención (Bioretention Systems) en espacios públicos.....	15
Esquema de los componentes básicos de un sistema de bioretención:.....	17
Jardines de lluvia	20
Tanques de retención de agua lluvia en espacios privados	22

Parámetros para el cálculo de Caudales máximos de escorrentía	24
CAPÍTULO II.....	26
DISEÑO METODOLÓGICO.....	26
Procedimiento para la búsqueda y procesamiento de los datos	26
Área de estudio	26
Cálculo del caudal máximo de escorrentía.....	34
CAPÍTULO III.....	35
RESULTADOS.....	35
Propuesta.....	39
Prototipos de SUDS	39
Sistemas de bioretención en espacio público (parques, plazas, canchas deportivas y estadios).....	40
Jardín de lluvia para aceras.....	45
Tanques de retención de agua lluvia en predios privados	50
Aporte de los prototipos a la captación del caudal de escorrentía	52
Aporte de sistemas de bioretención en parques, canchas deportivas y estadios.....	52
Aporte de los jardines de lluvia en aceras	53
Aporte de tanques en predios privados.....	53
Discusión.....	63
Conclusiones	68
Recomendaciones.....	69
BIBLIOGRAFÍA	70

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Coeficientes de escorrentía para ser usados en el método racional.....	25
Tabla 2 Intensidades Máximas de la Estación Querochaca	29
Tabla 3 Normativa de ocupación y edificación	31
Tabla 4 Normativa de ocupación y edificación parroquial.....	31
Tabla 5 Equipamiento para uso de suelo de Recreación.....	33
Tabla 6 Cálculo del caudal máximo de escorrentía por cada subcuenca	35
Tabla 7 Subcuenca 1. Volumen de escorrentía captado.....	54
Tabla 8 Subcuenca 2. Volumen de escorrentía captado.....	55
Tabla 9 Subcuenca 3. Volumen de escorrentía captado.....	56
Tabla 10 Subcuenca 4. Volumen de escorrentía captado.....	57
Tabla 11 Subcuenca 5. Volumen de escorrentía captado.....	58
Tabla 12 Subcuenca 6. Volumen de escorrentía captado.....	59
Tabla 13 Subcuenca 7. Volumen de escorrentía captado.....	60
Tabla 14 Subcuenca 8. Volumen de escorrentía captado.....	61
Tabla 15 Subcuenca 9. Volumen de escorrentía captado.....	62
Tabla 16 Porcentaje de volumen de agua lluvia captado por las propuestas.....	65

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Esquema de los componentes básicos de un sistema de bioretención.....	17
Gráfico 2 Vista en planta del sistema de bioretención.....	42
Gráfico 3 Sección transversal del prototipo de sistema de bioretención para espacios públicos (parques, canchas deportivas y más) Corte A – A’	42
Gráfico 4 Sección transversal del prototipo de sistema de Bioretención. Corte B - B’	43
Gráfico 5 Sección longitudinal del prototipo de sistema de bioretención para espacios públicos (parques, canchas deportivas y estadios).....	43
Gráfico 6 Vista en planta del prototipo de jardín de lluvia.....	47
Gráfico 7 Sección transversal del prototipo de jardín de lluvia para espacios públicos (aceras).....	47
Gráfico 8 Sección longitudinal del prototipo de jardín de lluvia para espacios públicos (aceras).....	50
Gráfico 9 Propuesta de tanque en retiros establecidos en la normativa.....	51

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1 Vías principales que integran el área de estudio.....	9
Imagen 2 Jardín de lluvia.....	20
Imagen 3 Carta topográfica del área de estudio.....	27
Imagen 4 Subcuencas de estudio.....	28
Imagen 5 Subcuenca 1. Inserción teórica de áreas a drenarse y SUDS.....	40
Imagen 6 Ejemplo teórico de un área de 2000,00m ² a drenarse.....	44
Imagen 7 Ejemplo teórico de un área de 500,0m ² a drenarse.....	49
Imagen 8 Subcuenca 1.....	55
Imagen 9 Subcuenca 2.....	56
Imagen 10 Subcuenca 3.....	57
Imagen 11 Subcuenca 4.....	58
Imagen 12 Subcuenca 5.....	59
Imagen 13 Subcuenca 6.....	60
Imagen 14 Subcuenca 7.....	61
Imagen 15 Subcuenca 8.....	62
Imagen 16 Subcuenca 9.....	63

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA
DIRECCIÓN DE POSGRADO
MAESTRÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL**

TEMA: EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE RETENCIÓN DE AGUA LLUVIA DE SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE (SUDS) SOBRE ÁREAS ALEDAÑAS A LA VÍA A LA PARROQUIA SANTA ROSA, VÍA ECOLÓGICA Y AV. MAUELITA SÁENZ – AMBATO Y SU APOORTE A LA MITIGACIÓN DE INUNDACIONES

Autor: Ing. Diego Saltos.

Tutor: Msc. Roberto Madera

RESUMEN EJECUTIVO

El presente estudio evaluó el caudal de escorrentía que podrían captar y retener tres prototipos de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) diseñados para espacio público y privado sobre un área de estudio ubicada al Sur Occidente de la ciudad de Ambato de 304,94 hectáreas dividida en 9 subcuencas. Esta área de estudio limita con las carreteras a la parroquia Santa Rosa, Vía Ecológica y la Av. Manuelita Sáenz y está conformada por pendientes características (desde leves a pronunciadas). Su zona baja (sector Universidad Católica, 2.582 m.s.n.m), en su mayoría urbanizada, de forma recurrente presenta problemas de inundaciones en temporadas de lluvia, pues recibe caudales de escorrentía provenientes de la zona alta (3.012 m.s.n.m), El problema se profundiza por la impermeabilización de los suelos con asfaltos producto del crecimiento urbano y la insuficiencia de los sistemas de drenaje pluvial convencionales. Por lo que se proponen SUDS para cada subcuenca que podrían ser instalados en parques, canchas deportivas, estadios, aceras y más y en predios privados en concordancia con lo establecido en la Normativa de Arquitectura y Urbanismo de la ciudad, que retengan caudales de agua lluvia y aporten con la reducción de escorrentía que puede originar anegamientos. Para ello, partiendo del análisis de imágenes satelitales de libre acceso a través de Google Earth 2020 y la carta topográfica de Ambato, se dividió el área de estudio y se estimó el área de los diferentes usos de suelo presentes en la zona, para posterior estimar el volumen máximo de escorrentía en cada una de las subcuencas para un evento con periodo de retorno de 10 años, 15 minutos de duración e intensidad de 30,83mm/h y compararlo con el volumen que recepta cada sistema propuesto, concluyéndose que el aporte en la reducción del total del volumen de escorrentía de las propuestas va desde el 3,62 al 13,32%, volumen que al no convertirse en escorrentía superficial no es parte de un volumen que pueda producir inundaciones.

DESCRIPTORES: SUDS, escorrentía, drenaje, usos de suelo

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA
DIRECCIÓN DE POSGRADO
MAESTRÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL**

TEMA: EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE RETENCIÓN DE AGUA LLUVIA DE SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE (SUDS) SOBRE ÁREAS ALEDAÑAS A LA VÍA A LA PARROQUIA SANTA ROSA, VÍA ECOLÓGICA Y AV. MAUELITA SÁENZ – AMBATO Y SU APORTE A LA MITIGACIÓN DE INUNDACIONES

Autor: Ing. Diego Saltos.

Tutor: Msc. Roberto Madera

ABSTRACT

This study evaluated the runoff flow that could capture and retain three prototypes of Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS) designed for public and private spaces on a study area located in the South West area in Ambato city, 304.94 hectares divided in 9 sub-basins. This study area borders “Santa Rosa” parish roads, “Ecológica” road and “Manuelita Sáenz” avenue and is made up of characteristic slopes (from slight to pronounced). Its lower area (“Católica” University area, 2,582 meters above sea level), mostly urbanized, has recurrent problems of flooding in rainy seasons, as it receives runoff flows from the upper area (3,012 meters above sea level). The problem is deepened by the soils waterproofing with asphalt as a result of urban growth and the insufficiency of conventional storm drainage systems. Therefore, SUDS are proposed for each sub-basin that could be installed in parks, sports fields, stadiums, sidewalks and more and in private properties in accordance with the provisions of the city's Architecture and Urban Planning Regulations, which retain rainwater flows, and contribute to the reduction of runoff that can cause flooding. For this, based on the analysis of free access satellite images through Google Earth 2020 and Ambato topographic map, the study area was divided and the area of the different land uses present in the area was estimated, to later estimate the maximum volume of runoff in each of the sub-basins for an event with a return period of 10 years, 15 minutes of duration and intensity of 30.83mm/h and compare it with the volume received by each proposed system, concluding that the contribution in the reduction of the total volume of runoff from the proposals ranges from 3.62% to 13.32%, a volume that, since it does not become surface runoff, is not part of a volume that can cause flooding

KEYWORDS: SUDS, runoff, drainage, land uses

INTRODUCCIÓN

Importancia y actualidad

Los cambios de usos de suelo a nivel global son evidentes, así como el espacio que ganan las coberturas con asfaltos impermeables producto de la urbanización. Que, citando a Angeoletto et al., (2015), el aumento de estas superficies deteriora de forma continua los sistemas naturales mediante la pérdida de hábitats y reducción de la biodiversidad.

Todas las ciudades se enfrentan y enfrentarán a una serie de problemas, relacionados con el cambio climático y/o crecimiento poblacional, entre estos los desafíos concernientes con las escorrentías pluviales, que pueden convertirse en inundaciones. Se propone como una solución viable para muchos de estos desafíos la inclusión de Sistemas Urbanos de Drenaje sostenible como parte de una gestión integrada del agua en las ciudades (Burn, Maheepala y Sharma, 2012).

Las urbes crecen de manera desmedida impermeabilizando el suelo y reduciendo la capacidad de infiltración natural del agua lluvia. Esto aumenta el caudal de escorrentía superficial, modificando de forma importante los ciclos hidrológicos naturales en medios urbanos y periurbanos (Jaume, 2016). Este hecho puede desencadenar el deterioro y exceso en la capacidad de mitigación de inundaciones de los sistemas convencionales de drenaje (alcantarillado) urbano en períodos de lluvias intensas.

Los sistemas de drenaje convencionales son construidos, en parte, para evitar el arrastre de sedimentos por las vías, sin embargo, es evidente que no se considera que conducir agua de escorrentía que arrastra cargas contaminantes considerables para luego verterlas a cuerpos hídricos u otros medios, comprende un daño ambiental, pues la mayoría de estos sistemas descargan sin mayor tratamiento, (Jiménez, Caviedes y Luis, 2015).

Por tal razón, en la actualidad varios países promueven la planificación urbanística considerando la gestión de aguas de escorrentía urbana, a través de técnicas que emulan

procesos naturales de infiltración previos a la impermeabilización por urbanización y con ello disminuir los picos de crecientes de caudales de agua de lluvia (Jiménez et al., 2015).

Estas técnicas y sistemas son parte de los llamados Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), en habla inglesa “*Sustainable Urban Drainage System*” (SUDS). Estos sistemas están muy desarrollados en Europa, principalmente en el Reino Unido, siendo referentes en la implementación de SUDS como métodos de gestión sostenible de precipitaciones. Estos países cuentan con suficientes estudios y experiencia que se refleja incluso en su normativa ambiental. En Sudamérica, Colombia, Uruguay y Chile son países que cuentan con proyectos, estudios y normativa de interés, con mucho potencial de ser replicados.

En el viejo continente, en el 2012 se concibió el “Documento de Trabajo de la Comisión Europea (ISBN 978-92-79-26211-1)” “*Directrices sobre mejores prácticas para limitar, mitigar o compensar el sellado del suelo*” que, establece medidas enfocadas en el uso de superficies y materiales permeables, como conceptos relacionados con las nuevas infraestructuras verdes, que replican el proceso natural de captación y filtración de agua, para mitigar los efectos de la impermeabilización del suelo.

En el Reino Unido se actualiza cada determinado tiempo el manual de los SUDS (The SuDS Manual) por parte de CIRIA (Asociación de Investigación en la Industria de la Construcción e Información, por sus siglas en inglés). Esta organización sin fines de lucro opera en varios sectores del mercado en especial en la construcción amigable con el ambiente. Este manual es una guía enfocada en integrar superficies de gestión de agua en el diseño de las ciudades, obteniendo los mayores beneficios socioambientales (Woods et al., 2015).

Por otra parte, en Barcelona – España, dentro de un convenio de colaboración entre la Agencia de Ecología Urbana de Barcelona y el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural

y Marino fue presentado en 2007 *“El Libro Verde de Medio Ambiente Urbano”*. Este libro es una guía para construir ciudades con visiones de sostenibilidad, abordando las problemáticas ambientales dentro del metabolismo urbano, con soluciones enfocadas en la relación urbanismo - biodiversidad, así como la relación entre el medio urbano y medio rural (Rueda et al., 2007).

Ya en la región, en Colombia la alcaldía de Bogotá a través de la Secretaría Distrital de Ambiente elaboró el “Documento técnico de Soporte SUDS” sistemas urbanos de drenaje sostenible SUDS para el plan de ordenamiento zonal norte POZN” que es un informe que recoge información pluviométrica de Bogotá y aborda el tema de las inundaciones causadas por la impermeabilización excesiva del suelo, mostrando la pertinencia de los SUDS como sistemas no convencionales de gestión de agua lluvia (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2011).

En este punto, es necesario recordar la conferencia de las Naciones Unidas sobre Vivienda y Desarrollo Urbano Sostenible Hábitat III, celebrada en Quito, del 17 al 20 de octubre de 2016, la cual reforzó el compromiso de las ciudades con la urbanización sostenible. Siendo el fruto de la conferencia y principal cometido la aplicación de la Nueva Agenda Urbana (Conferencia de las Naciones Unidas sobre Vivienda y Desarrollo Urbano, 2017).

Dentro del apartado *“Desarrollo urbano resiliente y ambientalmente sostenible”* del *“Plan de aplicación de Quito para la Nueva Agenda Urbana”* se encuentran los *“compromisos de transformación en pro del desarrollo urbano sostenible”*. Aquí se establece el compromiso, entre otros, de crear y mantener redes de espacios públicos de calidad, verdes y destinados a fines múltiples, con el propósito de incrementar la resiliencia de las ciudades frente al cambio climático y los desastres naturales como las inundaciones (CNUVDU, 2017).

Es por ello que la “*Nueva Agenda Urbana*”, reconoce que los centros urbanos, especialmente en los países en desarrollo, suelen tener características de vulnerabilidad ante efectos adversos del cambio climático y otros peligros naturales y antropogénicos, entre ellos las inundaciones (CNUVDU, 2017).

En este contexto, en Ecuador es interesante profundizar en el estudio de SUDS como formas de gestión de agua lluvia y su implementación en la región Sierra, donde la topografía de las ciudades puede ser un punto a favor en el desarrollo de estos sistemas, que contribuyan con la mitigación de inundaciones.

En la actualidad la planificación territorial debería ser determinada desde varias visiones, entre ellas la sostenibilidad ambiental y la gestión de riesgos. Es así que se destaca lo estipulado en el Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021 del Ecuador, en el acápite de la propuesta del Plan, dentro de los “*Lineamientos territoriales para cohesión territorial con sustentabilidad ambiental y gestión de riesgos*”, donde se reconocen principios que sustentan la búsqueda de nuevas formas de gestión de recursos. Por un lado, en los apartado a.5 en el que se destaca el objetivo de implementar sistemas constructivos eficientes en términos energéticos y seguros en zonas vulnerables a desastres naturales o de origen antrópico. Por otro, en el apartado a.6 se asienta la necesidad de desarrollar espacios públicos “*seguros, inclusivos y accesibles*” que propicien el desarrollo cultural y aprecio por la naturaleza (CNUVDU, 2017).

Luego, es posible y debería ser obligatorio el proceso de transformación a ciudades más sostenibles que, aunque pareciera un tema trivializado del que se habla en todo ámbito, son cambios que se adoptan de forma muy lenta, a pesar de la necesidad actual de inclusión de los principios de gestión sostenible del agua urbana que refuerzan la resiliencia de los ecosistemas (Wong y Brown, 2009).

La sostenibilidad, a través de la gestión integral del recurso hídrico y de riesgos, se la propone también como objetivo en el Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021, en los apartados: b.3, b10, b14, b15, que promueven la gestión integral y amigable del patrimonio hídrico, la construcción de ciudades más amigables con el ambiente, resilientes y sostenibles, también el diseño urbanístico con principios de adaptación y mitigación al cambio climático.

Asimismo, en los apartados c.1 y c.2 en el capítulo c) “*Fortalecimiento de un sistema de asentamientos humanos policéntricos, articulados y complementarios*” se establecen lineamientos territoriales para afianzar la “*construcción social del hábitat*” para regular la gestión de la urbe en relación con el ambiente (Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021).

Por otro lado, en la *Estrategia Nacional de Cambio Climático del Ecuador*, se establece el *Objetivo específico 4*, que tiene que ver con el manejo integral e integrado por Unidad Hidrográfica del patrimonio hídrico, para asegurar la disponibilidad del uso sostenible y calidad del recurso, frente a los impactos relacionados con el cambio climático (Ministerio del Ambiente de Ecuador, 2012).

Para este objetivo, se establece el “*lineamiento para la Acción para el 2017*”, que consiste en promover acciones en las ciudades encaminadas a minimizar los impactos de eventos climáticos extremos, como por ejemplo la diferenciación de los sistemas de distribución de agua y alcantarillado, recolección y uso de agua lluvia, entre otros sistemas (Ministerio del Ambiente de Ecuador, 2012).

Entonces, la implementación de SUDS en Ecuador toma mayor importancia debido a la creciente conciencia en relación con la sostenibilidad y resiliencia como medidas que protejan al recurso agua y salvaguarden la salud frente a posibles afectaciones, que según Wong y Brown (2009), serán producto del cambio climático.

De ahí la necesidad de proponer planes que protejan a la población y que a su vez conviertan a las urbes en ecosistemas resilientes. Una de las posibilidades de gestión es la del

agua lluvia mediante infraestructura verde que cuide y provea de servicios ecosistémicos a las ciudades (Wong y Brown, 2009).

Justificación

La implementación de los SUDS se ha convertido en una de las maneras de mitigar los problemas relacionados con la escorrentía superficial y la vida útil de los sistemas convencionales de drenaje en las ciudades andinas (Aguilar, 2018).

La importancia de los SUDS radica en que son sistemas capaces de emular sistemas naturales mediante infraestructura rentable y con impactos ambientales mínimos, para recolectar, almacenar y depurar aguas grises (Potocnik, J, 2012). De ahí el valor que adquieren estos sistemas, donde la ingeniería es sinónimo de adaptabilidad, en extremo necesaria en la planeación de proyectos relacionados a la implementación de SUDS e hidráulicos en general (Ávila, 2012).

En la región Sierra del Ecuador hay propuestas de introducir en las ciudades sistemas de drenaje que se conviertan en verdaderos modelos de gestión sostenible de agua. Incluyéndose enfoques de conservación a través de la gestión de espacios verdes que a su vez aportan con la mejora del paisaje urbano.

El parque Bicentenario es el área de estudio para una posible intervención de un modelo de gestión sostenible de agua en la ciudad de Quito, a través de espacios verdes que la retengan y almacenen, para mejorar su calidad y luego ser ingresada al medio natural mediante técnicas de depuración que reproduzcan de la manera más fiel posible el ciclo hidrológico natural y de este modo aportar con la conservación de la biodiversidad y recuperación del paisaje urbano (Caicedo, 2015).

La impermeabilización del suelo producto de los agresivos procesos de urbanización que cambian el ciclo natural del agua, y la búsqueda de la mitigación de los problemas derivados de los procesos mencionados, son el punto de partida para que el mencionado

estudio se catapulte como una propuesta replicable en varios parques urbanos de la ciudad de Quito y por la similitud de climas y suelos en varias localidades de la serranía ecuatoriana, generando estrategias que las ciudades puedan manejar en la construcción de modelos urbanos sostenibles.

El cantón Ambato está enclavado en una hondonada formada por seis mesetas: Píllaro, Quisapincha, Tisaleo, Quero, Huambaló; y Cotaló, a 2.577 metros sobre el nivel del mar, en su zona (urbana) más alta. Tiene una topografía peculiar caracterizada por pendientes pronunciadas. En esta ciudad desde hace 10 años, se ha venido trabajando en algunos mecanismos e instrumentos que aportan a una Gestión Integral de los Recursos Hídricos dentro de la subcuenca del río Ambato (Pérez, 2015) y en obras complementarias para el centro urbano.

El vertiginoso crecimiento urbano hacia el sur de la ciudad de Ambato y en general fuera de los límites del valle que conforman el centro de la misma (económico y sociocultural), ha disminuido notablemente áreas destinadas al cultivo, pastoreo y zonas boscosas.

Los cambios de cobertura en la ciudad se ven reflejados en extensas áreas impermeabilizadas en las zonas altas, que posibilita el aumento del caudal pluvial que descende hacia las partes bajas debido a la disminución de la capacidad de absorción natural del suelo. En estos casos se produce el acrecentamiento de la velocidad con que la escorrentía cae por las cuencas urbanas impermeabilizadas por coberturas asfálticas en su mayoría, provocando inundaciones en zonas deprimidas (Botero, 2018).

La tendencia de crecimiento de la urbe es reveladora y debe ser vista como el inicio de la regularización de estrategias de desarrollo urbano acordes con el concepto de sostenibilidad con planes de recuperación de espacios verdes urbanos (Caicedo, 2015).

Es por ello de la relevancia de contar con estudios en Ambato que analicen los efectos ambientales provocados por la impermeabilización de vastas zonas, que por cientos de años han servido de drenaje natural y de cuya problemática se piensa como única solución el diseño de sistemas de acarreo (colectores) de aguas lluvias de mediana y gran envergadura en la parte alta de la ciudad para mitigar inundaciones en la parte baja, con grandes costos de construcción y que resultan insuficientes en muchos casos.

En palabras de Chocat et al. (2001) y Fletcher et al. (2013), citados en Fletcher et al., 2015, la gestión de drenaje urbano será crítica y constituye un desafío significativo para la gestión de agua lluvia de las urbes debido al aumento de la urbanización y sus impactos.

Ambato necesita soluciones a los problemas relacionados con la escorrentía de agua lluvia, alternativas como los sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS) que integren el tratamiento de aguas lluvia al paisaje urbano, que trabajando en paralelo con los sistemas de drenaje ya construidos disminuyan su deterioro y alarguen su vida útil, además de reducir los costos de reparación o construcción de sistemas de drenaje. Propuestas que ayudarán a apreciar no solo problemas de anegamientos, sino oportunidades de obtener agua adicional para suministro, atraer y alojar la biodiversidad, medidas comprobadas en otros casos que incluso pueden mejorar microclimas (Ashley et al., 2013).

Ambato se enfrenta a retos ambientales y se debería esperar que las ingenierías de la mano con el uso de las nuevas tecnologías resuelvan problemas urgentes y proporcionen a la ciudadanía infraestructura hidráulica urbana sostenible (Chávez, 2012).

Planteamiento del problema

En Ambato, sobre la Vía a Santa Rosa (3.012 m.s.n.m.), avenida Manuelita Sáenz, Ruta Ecológica, que es un camino transversal a la vía a Sta. Rosa que interseca con la vía Manuelita Sáenz (Imagen 1), la capa asfáltica incrementa la velocidad con que la escorrentía superficial desciende, con ello el acarreo de sedimentos aumenta y los problemas de

anegamiento en zonas más bajas se presentan con frecuencia. Este sector bajo de la avenida Manuelita Sáenz (2.815 m.s.n.m. a 2.582 m.s.n.m.) al tener un alto grado de urbanización, recibe de forma directa los problemas derivados del descenso de sedimentos y anegamientos.

Por otro lado, la concentración reducida de viviendas en las urbes incrementa la posibilidad de que los sistemas de drenaje resultan insuficientes, posibilitando que los caudales de escorrentía circulen por calles y avenidas de manera incontrolada después de lluvias excesivas, generando inseguridad por posibles inundaciones (Kabisch, 2016)

Imagen 1

Vías principales que integran el área de estudio



Nota: Adaptada de Google Earth 2020

En el año 2005 se inició la construcción del proyecto denominado “Colector Lalama” en zonas altas y medias del sur de la urbe con el fin de mitigar inundaciones en el centro de Ambato y más zonas bajas provocadas por escorrentía superficial. En el 2018 se anunció la construcción de otro colector en la avenida Manuelita Sáenz y otras obras emergentes con un costo que supera los 3 millones de dólares (Diario la Hora 27 de septiembre de 2018). Estas inversiones en parte se deben a que varias obras han resultado insuficientes y se han producido problemas de anegamientos. Por otro lado, el 1° de marzo del 2018, el alcalde de la ciudad ratificó la contratación de estudios y construcción de infraestructura que permita

eliminar problemas de inundaciones en las zonas Santa Rosa, Vía Ecológica, Antonio Clavijo, Manuelita Sáenz y ciudadelas contiguas (Oromedios Noticias, 2018).

Estos acontecimientos no aislados ponen de manifiesto el hecho de que aún después de la construcción de obras civiles hidráulicas de gran envergadura se debe pensar en el desarrollo de propuestas de gestión ambiental responsables, que propicien procesos de urbanización sostenible, acordes con el objetivo de cuidar los ecosistemas y minimizar los impactos que puedan repercutir en el derecho de las nuevas generaciones de vivir en ambientes sanos.

En este sentido, para enfrentar el problema, este estudio plantea la necesidad de conocer, de forma teórica, si la retención de caudal de agua lluvia por parte de varios sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS), podría complementar el trabajo de los sistemas de drenaje convencionales ya construidos contribuyendo con su cuidado, con la mitigación de inundaciones en la parte baja de la avenida Manuelita Sáenz y por ende con la gestión ambiental, en este caso, relacionada de forma directa con la seguridad ciudadana.

Objetivos

Objetivo general

Evaluar el potencial de reducción de escurrimiento superficial, mediante la estimación de volúmenes de esorrentía retenidos por prototipos de SUDS en espacio público y predios privados, para determinar su contribución en la reducción de inundaciones sobre el área de estudio.

Objetivos específicos

- 1.** Analizar la compatibilidad de la normativa sobre diseño urbano de espacio público y arquitectura local vigente, por medio de revisión bibliográfica, para cotejar propuestas teóricas de SUDS con el espacio físico permisible.

- 2.** Estimar teóricamente el caudal de escorrentía que se produce en las subcuencas de estudio, a través del método racional, para luego estimar el volumen de escorrentía.
- 3.** Proponer prototipos de SUDS con base en el espacio físico determinado en la Normativa de Diseño Urbano y Arquitectura del Municipio de Ambato, que contribuyan con la retención temporal de agua lluvia.
- 4.** Evaluar cómo las estrategias propuestas (SUDS) reducen el volumen de escorrentía comparando el volumen retenido con el total generado en la subcuenca, para estimar el aporte en la mitigación de inundaciones.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

El reciente interés por el uso de SUDS se debe al apareamiento de nuevos enfoques para gestionar aguas lluvias, que incluyen la posibilidades de reducción de contaminación y atenuación de sequías e inundaciones (Woods et al., 2015).

Los SUDS son sistemas no convencionales de gestión de aguas pluviales que se integran al paisaje y que consideran enfoques hidrológicos, ambientales y sociales. Su objetivo principal es reproducir de una manera fiel el ciclo hidrológico previo a los procesos de urbanización, mejorando los procesos ambientales y minimizando los impactos antrópicos para así garantizar la cantidad y calidad de la escorrentía urbana. Abarcan una gama amplia de soluciones estructurales y no estructurales y pueden ser diseñados en combinación con sistemas de drenaje convencionales o como alternativas a ellos (Momparler., 2017).

Antecedentes de la investigación

De acuerdo con Jaume (2016), los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) contribuyen a revertir, al menos en parte, consecuencias adversas del proceso de urbanización como las inundaciones. Siendo necesario tomar muy en serio el análisis de las implicaciones hidrológicas e hidráulicas de su implantación en entornos urbanos.

Es así que, los estudios que impulsan nuevas alternativas de gestión de agua lluvia para reducir riesgos por inundaciones han ganado espacio con resultados probados y ya replicados en Colombia (Cubides, 2018). Donde se ha reconocido la necesidad de complementar las redes de alcantarillado con SUDS con características de retención para reducir caudales picos de escorrentía.

Es posible partir del supuesto de la urbanización de un típico sector urbano, mediante la aplicación de modelos de cálculo tradicionales, como son el Método Racional y la fórmula de Manning, para luego relacionar la implantación de SUDS con las correspondientes

reducciones del caudal pico y dimensionamiento de los elementos que drenan la cuenca. En ese mismo contexto, es viable evaluar la influencia de la escorrentía sobre el riesgo de inundación, con base en la probabilidad de ocurrencia de una precipitación determinada, según diferentes periodos de retorno (Jaume, 2016).

Para emprender este tipo de evaluaciones que pretenden mermar impactos del proceso de urbanización, es imprescindible un cambio en los viejos esquemas de gestión del agua y en las perspectivas del planeamiento urbano. En esa línea se presenta el concepto de “*diseño urbano sensible al agua*” WSUD por sus siglas en inglés (Water-sensitive urban design), que enmarca a los SUDS dentro de visiones de diseño y planeamiento territorial sensibles con los procesos ecológicos que integran la gestión del recurso agua, protección y conservación de su ciclo como parte fundamental del diseño de urbes (COAG, 2004 citado en Rodríguez et al., 2017).

Por otro lado, de acuerdo con Sharma (2019), a pesar de la nomenclatura variada, los conceptos de los WSUD y funcionalidades son similares a los conceptos de SUDS, *Mejores Prácticas de Gestión* o BMPs por su origen anglosajón (Best Management Practices), así como de “*infraestructura verde*” y “*diseño y desarrollo urbano de bajo impacto*”.

Las BMP’s por lo general son descritas como prácticas de gestión de aguas pluviales o métodos destinados a “*eliminar, reducir, retardar o prevenir*” la escorrentía de aguas pluviales que puede acarrear contaminantes (Young et al., 2010).

Estos nuevos modelos de gestión pueden tener un punto de partida en las propuestas metodológicas que van más allá de la implantación puntual de los SUDS, que planteen un uso sostenible del suelo, respetando los procesos hidrológicos, potenciando al máximo la infiltración y retención de la escorrentía y creando las oportunidades para la reutilización del recurso. Para ello, se pueden incorporar las edificaciones como una oportunidad para restaurar la calidad ambiental de las urbes (Gobattoni, 2017).

De este modo, los diseños urbanos deberían tender hacia la ocupación del territorio de una manera sostenible, sensible al agua y que genere beneficios a las urbes, pudiendo ser uno de los obstáculos la falta de coordinación entre autoridades e incluso el poco interés ambiental de las mismas (Rodríguez et al., 2017).

Es por ello que también es apropiado analizar la normativa y su contribución e impacto en el desarrollo de visiones más sostenibles de la gestión conjunta del entorno natural y social, sin olvidar que muchas veces las leyes son insuficientes o no incentivan el emprendimiento de obras de drenaje sostenible de tipo estructural amigables con el ambiente, o incluso en la fiscalización y control de los impactos causados por actividades de saneamiento urbano.

Arce y Alberto (2017) señalan la necesidad de profundizar el control ambiental partiendo de la existencia de un marco legal fuerte, apuntando a que las leyes y normas se ciñan a un tratamiento adecuado de las problemáticas ambientales en la vía pública y sus consecuencias sobre los sistemas de drenaje. Con conciencia de lo insuficiente que puede llegar a ser la normativa, llegando al punto de que la burocracia pueda entorpecer procesos o mecanismos de mitigación de catástrofes naturales como inundaciones (Schaller, 2016). Este tipo de barreras se pueden vivenciar en países de Sudamérica sin ser la excepción Ecuador, en donde la falta de leyes y normas obstaculizarían la planificación del crecimiento urbano de manera más sostenible.

Es decir que, al integrar los requerimientos de diseños sostenibles en los procesos de planificación y legislación, se reconoce la importancia de los ecosistemas en el desarrollo de las sociedades, donde los entes públicos y privados tendrían más herramientas y más presupuestos dirigidos a la toma de decisiones si cuentan con normativa y leyes a favor de la inclusión de SUDS como medidas de drenaje viables.

Un ejemplo puntual de la toma de malas decisiones Según Caicedo (2015), se evidencia en la construcción de infraestructura urbana en la ciudad de Quito, que no resalta precisamente por ser amigable con el ambiente y donde cerca del 80% de las quebradas han sido rellenadas generándose una problemática ambiental.

En la actualidad ya se ha planteado la factibilidad de instalación de SUDS en el Parque Bicentenario, entre ellos drenes filtrantes, filtros verdes de escorrentía superficial y humedales como tecnologías viables por su fácil instalación, por el impacto estético favorable y por reproducir el ciclo natural del agua (Caicedo, 2015). Resultando muy importante el alcance de los estudios mencionados que podrían ser replicados en otras ciudades, dependiendo de las características, necesidades y problemáticas propias de la zona.

Desarrollo teórico del objeto y campo

Las clasificaciones de los SUDS son variadas, sin embargo, por su aplicación es menester definir algunas de tipo estructural, que son aquellas que integran elementos constructivos o presumen la adopción de criterios urbanísticos (Jiménez et al., 2019).

Sistemas de Bioretención (Bioretention Systems) en espacios públicos

Los sistemas de bioretención (Gráfico 1), como los jardines de lluvia, son depresiones de terreno poco profundas que reducen los volúmenes de escorrentía y tratan la contaminación a través del uso de suelos y vegetación a manera de filtros. Estos sistemas pueden proveer terrenos visualmente atractivos y sustentables, conservan el hábitat, la biodiversidad e incluso contribuyen con el enfriamiento de microclimas (Woods et al., 2015).

Pueden ser implementados con el fin de mitigar los impactos de escorrentías contaminadas en todo tipo de zonas residenciales y no residenciales, privadas y públicas como áreas comunales, parterres, redondeles, senderos peatonales, como estructuras de amortiguación y más (Mah et al., 2018).

Los sistemas de bioretención lineales pueden emplazarse a lo largo de carretas, mermando incluso el ruido de las calzadas (Woods et al., 2015). El agua filtrada y recogida por una tubería perforada puede ser descargada en una estructura de control y reducir el riesgo de bloqueo. De igual manera podría ser apropiado unir sistemas adyacentes con el mismo fin.

Son elementos bastante flexibles de gestión del agua superficial que pueden ser integrados en una amplia variedad de paisajes en desarrollo utilizando capas, en diferentes medidas, de material vegetal y/o pétreo (Roy-Poirier, 2010). Generalmente se los utiliza para gestionar y tratar la escorrentía de lluvias frecuentes. Para eventos de larga duración se debe considerar el impacto de las velocidades de diseño sobre el sistema. Por lo que, es recomendable dirigir la escorrentía de eventos extremos directo al drenaje convencional aguas abajo mediante vertederos o bypass (Woods et al., 2015).

En estos sistemas la escorrentía es retenida en el estanque temporalmente en la superficie para luego ser filtrada a través de vegetación y capas de suelo con diferentes granulometrías. Esta mezcla específica de suelos actúa como un medio filtrante y es el encargado de mejorar el desempeño en el tratamiento de bioretención. Los diseños pueden incluir zonas anaeróbicas sumergidas para promover la renovación de nutrientes.

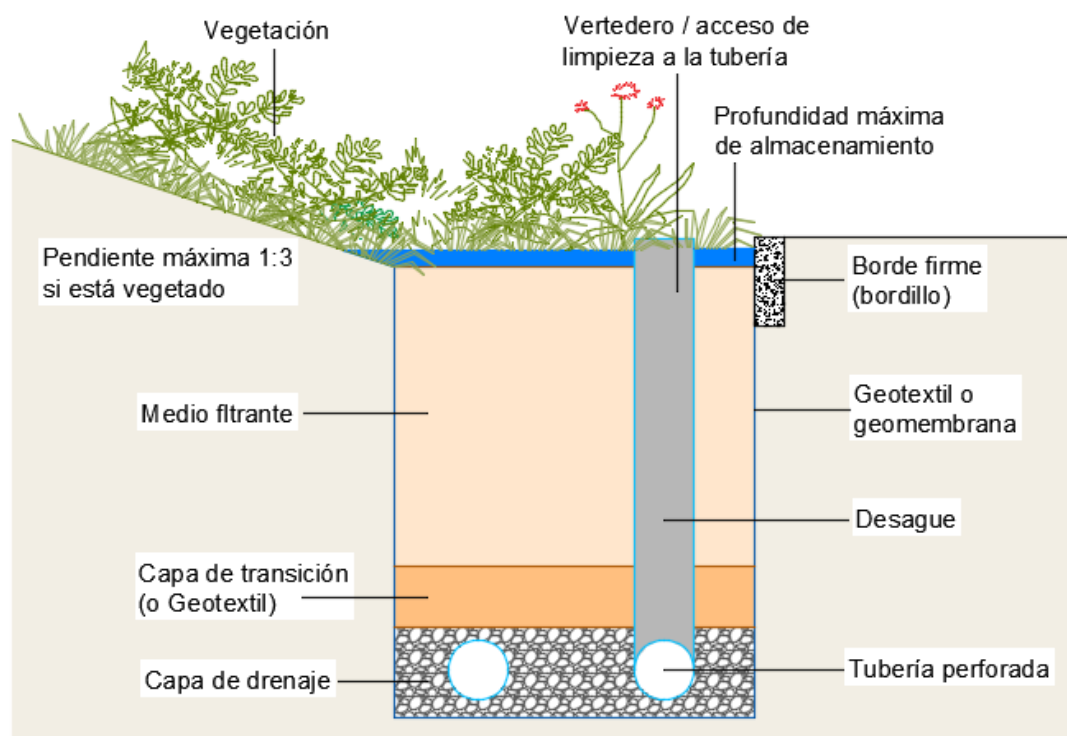
Los sistemas de bioretención son de los más recomendados dentro de las prácticas de las BMP's como obras de bajo impacto construidas para mejorar la calidad del agua de escorrentía reteniendo los contaminantes en su lecho filtrante, para de ser el caso, la reutilización del recurso (Lau et al., 2017)

La escorrentía filtrada, después puede ser recolectada utilizando un sistema de drenaje inferior con tubería (as) perforadas, que conduce el agua hacia tanques reservorios o cual sea la disposición que se le quiera dar, o caso contrario, si las condiciones del terreno lo permiten y no hay necesidades de utilización de agua, se infiltra de forma parcial o total en el suelo.

El principal beneficio hidráulico de usar los sistemas de bioretención es proveer detención a la escorrentía, es así que el almacenamiento y atenuación en la superficie o en las capas filtrantes puede ser utilizado para gestionar las tasas de escorrentía.

Gráfico 1

Esquema de los componentes básicos de un sistema de bioretención



Nota: Adaptado de Woods Ballard, B., Wilson, S., Udale-Clarke, H., Illman, S., Scott, T., Ashley, R., & Kellagher, R. (2015). *The SuDS Manual*; CIRIA: London, UK.

Esquema de los componentes básicos de un sistema de bioretención:

Vegetación. Influencia el rendimiento del sistema a través de la captación de los contaminantes facilitando también los procesos químicos en el suelo para absorber nutrientes.

La vegetación que crece en el medio filtrante mejora sus funciones y previene la erosión, pues mejora el rendimiento del sistema por medio de la continua ruptura del suelo, acción que se da por el crecimiento de las plantas y raíces. Y de este modo evitar el

taponamiento del sistema. A su vez, en las raíces se forman una capa a la que se adhieren los contaminantes (Shrestha et al., 2018).

El tipo de vegetación depende de los requerimientos del paisaje y del clima e impacta de forma directa en el rendimiento del tratamiento, por lo general una vegetación densa y alta mejora el proceso de filtración. Las plantas más efectivas para el tratamiento son las que se adaptan a condiciones de clima variable y tienen raíces extensas, las raíces superficiales no son efectivas en la remoción de nitrógeno. Incorporar áreas sumergidas ayuda a mantener la vegetación y evitar los picos de nitrógeno (Woods et al., 2015).

Se pueden optar por plantas perennes y caducas, helechos, hierbas, arbustos, hasta árboles de porte pequeño, con buenas raíces, que toleran condiciones tanto húmedas como secas. Son ideales las plantas de climas sumamente húmedos, pues no se ven afectadas por el estancamiento del agua y colaboran en su filtrado (Abellán, 2014).

Profundidad de almacenamiento. Almacenamiento temporal de agua sobre la superficie para captar el volumen que requiere tratamiento o atenuación. Normalmente la profundidad va de 150 a 300mm (Woods, 2015).

Medio filtrante. Es una capa a base de arena con cierto porcentaje de material orgánico y liberación lenta de nutrientes para mantener un crecimiento sano de las plantas. Este filtra los contaminantes y controla la velocidad a la que el agua ingresa al sistema, lo que lo convierte en un indicador de eficiencia. La profundidad del medio filtrante varía de 750mm a 1000mm, aunque dependerá del volumen de agua que se necesite drenar llegando hasta 400mm la profundidad mínima (Woods, 2015).

El suelo de bioretención debe ser una mezcla uniforme, libre de piedras, ramas, raíces u otros objetos con dimensiones mayores a 0,05m, que puede ser perjudicial para el crecimiento de las plantas o un inconveniente para el mantenimiento (Abellán, 2014).

Los tiempos de almacenamiento adecuados, permitirán la sedimentación de las partículas y con ello evitar malos olores o insectos derivados del estancamiento prolongado del agua.

Capa de transición. Es una capa con ancho mínimo de 100mm necesaria para evitar el lavado de las partículas más finas del medio filtrante hacia la capa de drenaje. De forma alternativa se pueden utilizar los geotextiles. Tanto la utilización de una capa de transición o la utilización de geotextiles, deben ser diseñados con criterios estandarizados. La correcta utilización de geotextiles con tamaños de poros apropiados reducirá el riesgo de taponamiento (Woods, 2015).

Capa de drenaje. El propósito de esta capa es recolectar el agua que pasó a través del medio filtrante y permitir q alcance la tubería perforada. Debe proporcionar un recubrimiento adecuado a la tubería por lo que su grosor no puede ser menor a 100mm, debe tener el suficiente grosor como para asegurar que la velocidad con que ingresa el agua a la tubería es mayor que la que se está drenando a través del medio filtrante y capa de transición (Woods, 2015).

El ancho de la capa de drenaje se establece entonces en relación al diámetro de la tubería, siendo el recubrimiento mínimo de 50mm, también se deben tener presente la inclinación y la longitud del sistema (Woods, 2015).

Tubería perforada. Recoge el agua del sistema y lo trasporta aguas abajo. No se utilizan si el sistema está diseñado para que se infiltre todo el volumen captado. Deben tener una rejilla de acceso para su limpieza y como sistema de rebose (Woods, 2015).

Acceso para limpieza, rebose. Son tuberías verticales, presas, o canales para dirigir el exceso de volumen en el sistema hacia otros sistemas de drenaje aguas abajo o como descarga (Woods, 2015).

Jardines de lluvia. Hay diferentes variaciones de sistemas de bioretención, uno de ellos son los jardines de lluvia (Imagen 2), éstos son sistemas pequeños que pueden adaptarse a propiedades privadas y públicas como techos y parqueaderos (Shuster et al., 2017).

Son sistemas menos complejos que los sistemas de bioretención que conducen el agua filtrada. Usualmente cuentan con un ingreso simple encargado de captar la esorrentía y deben tener un máximo de profundidad de agua estancada no superior a los 150mm. En ocasiones son necesarios los subdrenos y estructuras de control (Woods, 2015).

En jardines de lluvia simples el medio filtrante y la capa de drenaje características de los sistemas de bioretención más complejos suelen ser reemplazadas por una fina capa entre 200 a 500mm de arena y compost o una mezcla específica de suelo.

Imagen 2

Jardín de lluvia



Nota: Tomado de Woods Ballard, B., Wilson, S., Udale-Clarke, H., Illman, S., Scott, T., Ashley, R., & Kellagher, R. (2015). *The SuDS Manual*; CIRIA: London, UK.

Consideraciones generales de diseño y diseño hidráulico de sistemas de bioretención.

Los sistemas de bioretención pueden estar diseñados para gestionar un amplio rango de eventos, sin embargo como principio general, los sistemas deben drenar áreas relativamente pequeñas junto al cauce de la escorrentía (Shuster et al., 2017). Para captaciones extensas se deben considerar series de sistemas en cascada, siendo 0,8ha la superficie máxima que puede ser drenada por estos métodos (Davis, 2008 citado en Woods et al., 2015).

Por lo general se recomienda que el área del sistema de bioretención (lecho filtrante) sea del 2 al 4% del área máxima a drenarse, para prevenir la rápida obstaculización de los medios filtrantes (Woods et al., 2015).

El ancho del sistema debe ser mayor de 0,60m y menor de 20m. Si el acceso al sistema es solo por un lado el ancho es 10m como máximo. La longitud máxima debe ser 40m para evitar la distribución desigual del agua sobre la superficie y el área total del medio filtrante no debe exceder los 800,00m² (Woods et al., 2015).

El flujo de escorrentía deberá distribuirse uniformemente sobre la superficie del medio filtrante y las velocidades de ingreso deben estar alrededor de los 0,5m/s (1.5m/s para un evento con un periodo de retorno de 100 años). Los filtros pueden tratar las tormentas más frecuentes, para aquellos eventos extremos que exceden el volumen de diseño deben desviarse mediante vertederos o desagües y así evitar la saturación de los componentes del sistema (Woods et al., 2015).

Los sistemas de bioretención pueden ser utilizados en muchas condiciones de terreno, siempre y cuando el sistema esté nivelado con el fin de distribuir las corrientes de mejor manera, por ello se dificulta la introducción de estos sistemas junto a terrenos muy

empinados, aunque los jardines de lluvia funcionan bastante bien en terrenos inclinados (Shuster et al., 2017). Pueden proporcionar un tratamiento muy efectivo y funcional removiendo sedimentos y contaminantes asociados a la escorrentía a través de la infiltración del agua en capas suelo y cobertura vegetal. La remoción de contaminantes disueltos se da por la absorción de los mismo a través de medios filtrantes.

Estos sistemas también proveen tratamientos al agua por detención extendida y la vegetación y subsuelo aportan en la captación biológica.

Comprobación del dimensionamiento de sistemas de bioretención.

Para el dimensionamiento de sistemas de bioretención se aplica la siguiente fórmula basada en los principios de la ley de Darcy (Woods et al., 2015):

$$Af = \frac{V_T \cdot L}{K(h + L)t} \quad (1)$$

Donde:

Af = Área del lecho filtrante (m²)

L = Profundidad del medio filtrante (m)

K = Coeficiente de permeabilidad del medio filtrante (mm/h)

h = altura promedio de agua sobre el lecho filtrante. Mitad de la altura máxima de agua sobre el lecho filtrante (m)

t = tiempo requerido para que el volumen de tratamiento pueda percolar a través de las capas filtrantes (s) (Woods et al., 2015).

Tanques de retención de agua lluvia en espacios privados

La visión sostenible y el deseo de gestionar el agua lluvia en los hogares urbanos se ha incrementado sustancialmente en los últimos años. Una de las formas de gestión tiene como base el uso de tanques de retención.

Los tanques de retención de agua lluvia son sistemas de recolección de escorrentía de techos y cubiertas para su uso posterior, en propósitos que generalmente no requieran agua potable (Woods et al., 2015). Son considerados como una de las alternativas de almacenamiento del líquido vital más populares.

Estos sistemas de recolección presentan varios beneficios, entre los que se destacan la sostenibilidad en el aprovechamiento del recurso, su aporte en la reducción de volumen de escorrentía superficial y reducción de caudal en los sistemas de alcantarillado convencionales (Burns et al., 2015)

Se recomienda que el emplazamiento de este tipo de tanques se lo realice en lugares que en lo posible permanezcan bajo sombra y con ello mantener la temperatura del agua baja y evitar el deterioro en su calidad. Los materiales de los tanques y accesorios que se encuentran en el mercado son varios, siendo los más utilizados los tanques de Frp o Grp (fibra de vidrio).

Comprobación del área de captación.

El dimensionamiento deberá estar acorde con el promedio de lluvia local, la relación entre la captación y el almacenamiento y las necesidades de uso.

A continuación se presenta la fórmula con la que se puede calcular el área del techo o superficie impermeable necesaria para la captación, o a su vez el volumen del tanque, de acuerdo con Moreno (2013):

$$Ac = \frac{VT}{C \times Pm} \quad (2)$$

Donde:

Ac: Área de captación (m²)

VT: Volumen requerido (l)

C: Coeficiente de escorrentía

Pm: Precipitación promedio anual (mm)

Parámetros para el cálculo de Caudales máximos de escorrentía

Para el cálculo de los caudales máximos de escorrentía se utilizará la ecuación del método racional cuya fórmula es:

$$Q = \frac{A \cdot I \cdot C}{360} \quad (3)$$

Donde:

Q es el caudal en metros cúbicos por segundo (m^3/s),

A es la superficie de la cuenca en hectáreas (ha),

I es la intensidad en milímetros por hora (mm/h),

C es un coeficiente de escorrentía sin dimensiones.

Está claro que la impermeabilización del suelo tiene incidencia en el balance infiltración versus la escorrentía, en un área natural la infiltración supone entre el 80 y 90% de la precipitación, mientras que la escorrentía entre el 10 y 20%. En un área residencial de densidad media – baja, la infiltración puede representar entre el 50 y el 60% y la escorrentía entre el 40% y el 50%. Por otro lado, en una zona altamente urbanizada la infiltración corresponde del 0 al 10% y la escorrentía alcanza el 90 o 100% (Georgia Stormwater Management Manual, 2016)

El coeficiente C (coeficiente de escurrimiento o escorrentía), por tanto, es una medida de la proporción de volumen de lluvia que se convierte en escorrentía. Es decir, en un techo de metal un mayor volumen de lluvia se convertirá en escorrentía y el valor de C se aproximará a 1,0, mientras que en una arena con buen drenaje las nueve décimas partes del agua lluvia se infiltran en el terreno, por lo que el valor de C sería 0,1 (Hudson, 1997).

El coeficiente C dependerá entonces de los usos de suelo de la cuenca en estudio. La tabla seleccionada con valores de (C) que se escoja para el cálculo del caudal máximo de escorrentía, debe contar con parámetros y un número considerable de tipos de superficies replicables.

Para dicho fin, una de las tablas con valores de C más citadas en bibliografías de trabajos relacionados al método de los coeficientes de escorrentía (Tabla 1), es la tabla usada por la municipalidad de Austin Texas para el diseño de sistemas de saneamiento. Puede aplicarse para el diseño de sistemas de recolección de agua siendo también muy utilizada en el diseño de zanjas de infiltración y canales de desviación (Azagra, 2006).

Tabla 1

Coefficientes de escorrentía para ser usados en el método racional

Tipo de superficie	Periodo de retorno (años)						
	2	5	10	25	50	100	500
Zonas urbanas							
Asfalto	0,73	0,77	0,81	0,86	0,90	0,95	1,00
Cemento, tejados	0,75	0,80	0,83	0,88	0,92	0,97	1,00
Zonas verdes (céspedes, parques, etc.)							
<i>Condición pobre (cobertura vegetal inferior al 50% de la superficie)</i>							
Pendiente baja (0-2%)	0,32	0,34	0,37	0,40	0,44	0,47	0,58
Pendiente media (2-7%)	0,37	0,40	0,43	0,46	0,49	0,53	0,61
Pendiente alta (> 7%)	0,40	0,43	0,45	0,49	0,52	0,55	0,62
<i>Condición media (cobertura vegetal entre el 50% y el 75% del área)</i>							
Pendiente baja (0-2%)	0,25	0,28	0,30	0,34	0,37	0,41	0,53
Pendiente media (2-7%)	0,33	0,36	0,38	0,42	0,45	0,49	0,58
Pendiente alta (> 7%)	0,37	0,40	0,42	0,46	0,49	0,53	0,60
<i>Condición buena (cobertura vegetal superior al 75%)</i>							
Pendiente baja (0-2%)	0,21	0,23	0,25	0,29	0,32	0,36	0,49
Pendiente media (2-7%)	0,29	0,32	0,35	0,39	0,42	0,46	0,56
Pendiente alta (> 7%)	0,34	0,37	0,40	0,44	0,47	0,51	0,58
Zonas rurales							
Campos de cultivo							
Pendiente baja (0-2%)	0,31	0,34	0,36	0,40	0,43	0,47	0,57
Pendiente media (2-7%)	0,35	0,38	0,41	0,44	0,48	0,51	0,60
Pendiente alta (> 7%)	0,39	0,42	0,44	0,48	0,51	0,54	0,61
Pastizales, prados, dehesas							
Pendiente baja (0-2%)	0,25	0,28	0,30	0,34	0,37	0,41	0,53
Pendiente media (2-7%)	0,33	0,36	0,38	0,42	0,45	0,49	0,58
Pendiente alta (> 7%)	0,37	0,40	0,42	0,46	0,49	0,53	0,60
Bosques, montes arbolados							
Pendiente baja (0-2%)	0,22	0,25	0,28	0,31	0,35	0,39	0,48
Pendiente media (2-7%)	0,31	0,34	0,36	0,40	0,43	0,47	0,56
Pendiente alta (> 7%)	0,35	0,39	0,41	0,45	0,48	0,52	0,58

Nota: Los valores son los utilizados en la ciudad de Austin (Texas, USA) para determinar caudales punta por el método racional (Chow et al., 1988 citado en Azagra, 2006).

CAPÍTULO II

DISEÑO METODOLÓGICO

El análisis del aporte de instalaciones hipotéticas de SUDS sobre áreas aledañas a la Vía a Santa Rosa, avenida Manuelita Sáenz, Ruta Ecológica, se realizó bajo el contexto del cálculo de intensidades de lluvia y caudales, para luego compararlos con la capacidad de retención (volumen) de las propuestas.

Para alcanzar esta meta se parte de la búsqueda de intensidades máximas de lluvia para la ciudad de Ambato, para posterior a ello, calcular los caudales máximos de escorrentía y proceder con la medición de áreas y longitudes sobre imágenes satelitales de acceso libre, acoplando el diseño metodológico a métodos actuales de diseño.

La estimación del dimensionamiento y demás parámetros necesarios para el diseño de las propuestas se basan en la recopilación de bibliografía de interés, con el fin de manejar suficiente información para poder evaluar los posibles aportes a la reducción del caudal de escorrentía del área de estudio.

Esta información recabada se sustenta en las estadísticas y cálculos matemáticos para describir la realidad teórica de los posibles aportes a la solución del problema, por lo que, el presente estudio encaja en un tipo de investigación con modalidad básica, que se alimenta de un paradigma cuantitativo.

Es así también, que la descripción del problema y posibles aportes a su solución, refuerzan los alcances descriptivos y explicativos de esta investigación, que contó además con limitaciones relacionadas con la aparición del virus SARS-CoV2.

Procedimiento para la búsqueda y procesamiento de los datos

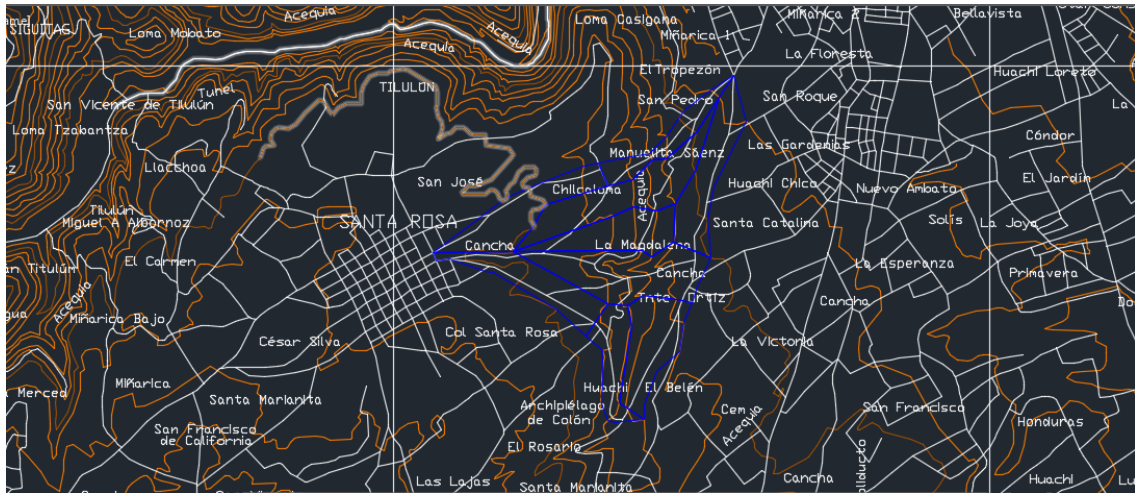
Área de estudio

El área de la cuenca de estudio se determina por medio de la interpretación de mapas topográficos (Imagen 3) e imágenes satelitales de Google Earth 2020.

Los diferentes usos de suelo y coberturas fueron dibujados y medidos sobre imágenes satelitales mediante Google Earth 2020 y cotejados con los coeficientes de escorrentía correspondientes a los usos de suelo y coberturas descritos en la Tabla 1.

Imagen 3

Carta topográfica del área de estudio

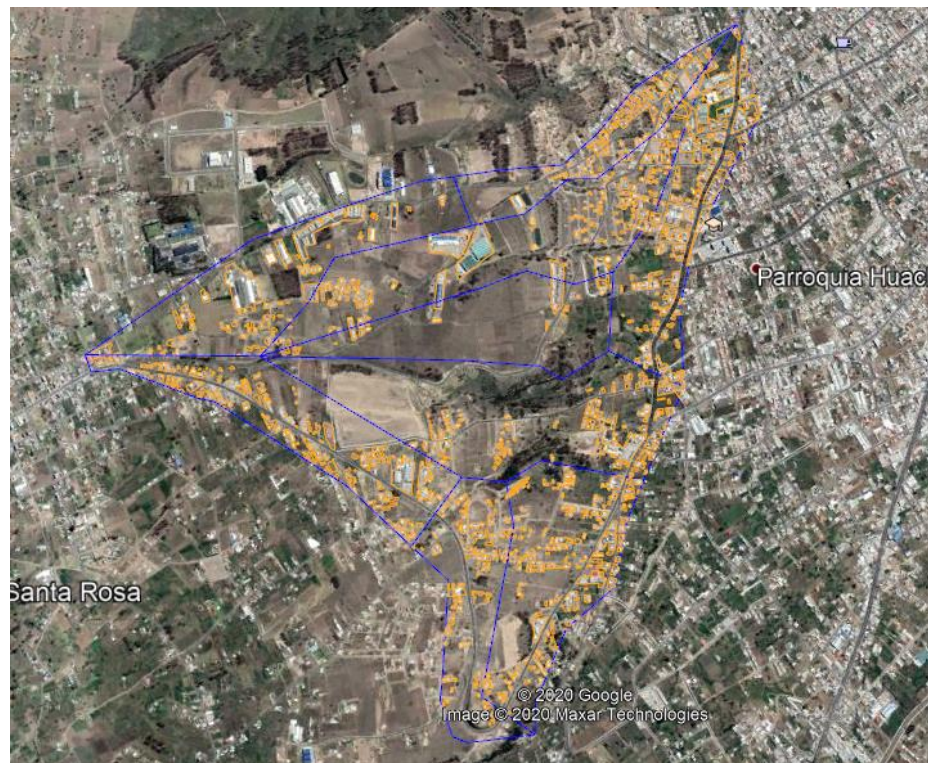


Nota: Adaptado de carta topográfica de la ciudad de Ambato. AutoCAD 2016

El área de estudio se dividió en 9 subcuencas (Imagen 4), considerando las áreas de aportación de caudales de escorrentía, que fueron posibles determinar partiendo de la carta topográfica de la ciudad (Imagen 3).

Imagen 4

Subcuencas de estudio



Nota: Adaptado de Google Earth 2020. — Subcuencas de estudio — Techos y áreas impermeabilizadas.

El área de la cuenca de estudio, está comprendida por la cuenca limitada por las calles Manuelita Sáenz, Vía a Santa Rosa y Monseñor Bernardino Echeverría. Cubre un área de 304,94 hectáreas ($3'049.381,42 \text{ m}^2$), con una altura de 3.004 m.s.n.m. en su parte más alta y 2.582 m.s.n.m en su parte más baja. Se la dividirá en subcuencas al igual que para diseñar sistemas de saneamiento urbano (alcantarillado).

Al sur de la ciudad de Ambato se ubica la estación meteorológica de Querochaca en los predios de la Universidad Técnica de Ambato, de cuyas mediciones se obtiene la intensidad máxima de lluvia más apegada a la realidad del área de estudio para un periodo de retorno de 10 años con una duración de intensidad de 15 minutos (Tabla 2). Tomando en cuenta que la duración puede ser proporcional a la intensidad de una tormenta, los caudales se calcularán con intensidades relativamente elevadas.

Tabla 2*Intensidades Máximas de la Estación Querochaca*

TR (Años)	Duraciones t (minutos)								
	5	10	15	20	30	60	120	360	1440
2	43,90	29,55	23,44	19,89	15,78	10,62	7,15	3,57	1,08
5	52,03	35,03	27,79	23,58	18,70	12,59	8,48	4,23	1,28
10	57,72	38,86	30,83	26,16	20,75	13,97	9,40	4,70	1,42
25	64,63	43,51	34,52	29,29	23,23	15,64	10,53	5,26	1,59
50	69,92	47,07	37,34	31,68	25,13	16,92	11,39	5,69	1,72
100	75,20	50,62	40,16	34,08	27,03	18,20	12,25	6,12	1,86
Intensidad máxima (mm / h)									
<i>Nota:</i> Intensidades Máximas de la estación Querochaca (Cantón Cevallos) Guachamín et al., 2015.									

En Ambato la zonificación del suelo urbano se lo realiza mediante plataformas urbanas, que se las ubica geográficamente a partir del sucesivo escalonamiento desde las laderas del río Ambato hacia las planicies sur orientales y declives occidentales de la cordillera (Ilustre Consejo Cantonal de Ambato, 2009). En la ciudad se reconocen 5 plataformas que se identifican por sus características y ubicación. Dentro de las plataformas urbanas se encuentran las piezas urbanas, que son áreas caracterizadas por cumplir un rol específico, tener una morfología urbana particular, constituida por tipologías arquitectónicas específicas.

En función de las estructuras territoriales identificadas, las piezas urbanas permiten la actuación y aplicación de tratamientos urbanísticos que se ejecutan a partir de políticas y planes específicos.

El área de estudio se encuentra dentro del casco urbano, específicamente sobre la Plataforma 3 que se define en el POT – AMBATO 2020 como la altiplanicie sur oriental más alta de la urbe que se extiende desde el centro hacia Huachi Grande, abriéndose entre las

laderas del Casigana y las del Pishilata, siendo el territorio con mayores posibilidades de expansión residencial y densificación (ICCA, 2009).

Dentro de esta plataforma, la zona baja del área de estudio se localiza en la Pieza Urbana 10, que se describe como una pieza cuya traza es definida solo en ciertos sectores, puesto que ha crecido en su mayor parte sin planificación y se da por sentado que la ladera del Casigana tendrá un tratamiento especial de forestación y la planicie se consolidará con construcciones residenciales (ICCA, 2009).

A la pieza urbana 10 se la califica como una pieza urbana con una estructura territorial en proceso de consolidación cuyo tratamiento también es de consolidación. Es decir:

De acuerdo con el Art. 35. del POT Ambato 2020, las estructuras urbanas en proceso de consolidación son aquellas zonas que están entre el 30% y el 60% de ocupación. En el Art. 40, se describen los tratamientos para estructuras en proceso de consolidación y futuros desarrollos, siendo la “*Consolidación*” un tratamiento que consiste en la “ocupación del suelo acorde con las características “tipológicas y morfológicas” de las estructuras existentes” (ICCA, 2009).

El sector de la Universidad Católica (área baja de estudio) cuenta con codificación de edificación 5B12-45 (Tabla 3), que significa que el retiro frontal es de 5,0m, lateral y posterior de 3,0m, edificación con implantación pareada, construcción de hasta 4 pisos, con un coeficiente de ocupación de suelo de 45% en planta baja, 180% total, lote mínimo de 240m² y frente mínimo de 12m (ICCA, 2009).

Tabla 3*Normativa de ocupación y edificación*

NORMATIVA DE OCUPACION Y EDIFICACION											FRACCIONAMIENTO		
PLATAFORMAS	PIEZA URBANA	SECTOR	NORMATIVA	ALTURA MÁXIMA		RETIROS MÍNIMOS			COS %	COS %	m ² /habitante	LOTE MÍNIMO	FRENTE MÍNIMO
				PISOS	METROS	F	L	P					
P3	PU03	U. CAT	5B12-45	4	12	5	3	3	45	180	24	240	12

Nota: Adaptada de POT Ambato 2020

Por otro lado, la zona alta del área de estudio (ingreso a la parroquia Santa Rosa) tiene tres formas de ocupación y edificabilidad del suelo, resumidas en la Tabla 4:

Tabla 4*Normativa de ocupación y edificación parroquial*

NORMATIVA DE OCUPACION Y EDIFICACION											FRACCIONAMIENTO	
PIEZA URBANA PU01	CABECERA PARROQUIAL	NORMATIVA	ALTURA MÁXIMA		RETIROS MÍNIMOS			COS %	COS %	m ² /habitante	LOTE MÍNIMO	FRENTE MÍNIMO
			PISOS	METROS	F	L	P					
PR8-PU01	SANTA ROSA	0D6-75	2	6	0	0	3	75	150	24	240	10
PR8-PU02		0D9-75	3	9	0	0	3	75	225	24	300	10
PR8-PU-04		5B9-45	3	9	5	3	3	40	120	24	300	10

Nota: Adaptada de POT Ambato 2020

Es decir, la cabecera parroquial de Santa Rosa (zona alta del área de estudio) tiene tres tipos de edificaciones permitidas:

0D6-75: sin retiros frontales y laterales, con un retiro mínimo posterior de 3m.

Edificación continua sobre línea de fábrica, dos pisos, con un coeficiente de ocupación de

suelo en planta baja del 75%, 150% total, lote mínimo de 240m² y frente mínimo de 10m (ICCA, 2009).

0D9-75: sin retiros frontales y laterales, con un retiro mínimo posterior de 3m.

Edificación continua sobre línea de fábrica, tres pisos, con un coeficiente de ocupación de suelo en planta baja del 75%, 225% en total. Lote mínimo de 300m² y frente mínimo de 10m (ICCA, 2009).

5B9-45: retiro mínimo frontal de 5m. lateral y posterior mínimo de 3m. Edificación con implantación pareada, tres pisos, con un coeficiente de ocupación de suelo en planta baja del 40%, 120% en total. Lote mínimo de 300m² y frente mínimo de 10m (ICCA, 2009).

El coeficiente de ocupación del suelo se determina mediante el reconocimiento del tratamiento urbanístico o territorial, la altura de la edificación y la interacción con las formas de ocupación. El POT Ambato determina índices de ocupación del suelo que van desde los 560% en áreas de uso múltiple especial hasta el 1,5% en zonas agrícolas.

En la “*sección Tercera: de los usos de suelo complementarios, condicionados y no permitidos*”, se detalla la dotación de áreas para equipamientos de servicio social y servicios públicos (Tabla 5). En áreas nuevas de urbanización el radio de influencia es el referente urbano de implantación de los equipamientos y en las áreas urbanas consolidadas es un parámetro de evaluación. El área de estudio planteada cuenta con espacios destinados a parques, canchas deportivas, estadios y más con un lote mínimo de 400m² por cada 1.000 habitantes hasta un lote mínimo de 5.000m² por cada 5.000 habitantes (Tabla 5).

Tabla 5*Equipamiento para uso de suelo de Recreación*

RECREACIÓN (ER)						
SIMB OLO GÍA	TOPOLOGÍA	ESTABLECIMIENTOS	RADIO DE INFLUENCIA (m)	NORMA (m ² /hab).	LOTE MÍNIMO (m ²)	POBLACIÓN BASE Habitantes
ERS	SECTORIAL	Parques infantiles, parque barrial, plazas, canchas deportivas.	400	0,40	400	1000
ERZ	ZONAL	Centros deportivos, públicos y privados, polideportivos, gimnasios y piscinas, parque zonal, polideportivos especializados y coliseos hasta 500 personas, galleras	1000	1,00	5000	5000
ERU	URBANO	Parques de la ciudad, centro de exposiciones, estadios, coliseos, jardín botánico, zoológico, plaza de toros, centro de espectáculos.	3000	0,50	10000	20000
				1,00	50000	50000

Nota: Adaptado de POT AMBATO 2020

Es así, que cabe precisar lo estipulado en el POT AMBATO 2020 en favor de estudios e implementación SUDS. El “*Art.66. Reglamentación del Uso de suelo de protección natural*” del POT AMBATO 2020, en su parte pertinente relativa al presente estudio, insta a precautelar el medio ambiente y bienestar de la comunidad contra riesgos urbanos a través de la protección de áreas naturales y propicia el adecuado aprovechamiento de la vocación natural del suelo. Siendo uno de los apartados del plan que promueve de cierto modo la búsqueda de la reducción de riesgos.

Los proyectos especiales estipulados para la preservación del ambiente o entorno natural, deberán estar sujetos a regulaciones específicas y estatutos legales. De igual manera se deberán demarcar áreas para salvaguardar la belleza y los servicios ecosistémicos de la urbe (ICCA, 2009).

Asimismo, es un aliciente remarcar que en el plan de ordenamiento se concierta la realización de estudios para la previsión de dotación de infraestructura, impacto ambiental e incidencia en la calidad del paisaje (ICCA, 2009). Se establece también que las acciones manifestadas velarán por el mantenimiento de los rasgos morfotopográficos del suelo urbano, urbanizable y no urbanizable, que en términos generales concuerda con el concepto de los SUDS y su integración con el paisaje.

Cálculo del caudal máximo de escorrentía

El caudal máximo de escorrentía se determina mediante la ecuación del método racional, ecuación (3). Para este fin es procedente utilizar una hoja de cálculo de Excel, considerando todos los usos de suelo que en teoría se emplazan en el sector y los consiguientes coeficientes de escorrentía tomados de la tabla 1.

CAPÍTULO III

RESULTADOS

Los primeros resultados obtenidos corresponden a la estimación de los caudales máximos de escorrentía por cada subcuenca (Tabla 6), para ello se utilizó el método racional aplicado en una tabla de cálculo con información de las tablas 1 y 2. En otros términos, en la Tabla 6 se aplica la ecuación (3) con las medidas de las áreas de las coberturas o usos de suelo, intensidad y coeficientes de escorrentía respectivos (Tabla 1).

Tabla 6

Cálculo del caudal máximo de escorrentía por cada subcuenca

Área / Superficie	Subc 1	Subc 2	Subc 3	Subc 4	Subc 5	Subc 6	Subc 7	Subc 8	Subc 9
Área Total (m ²)	364477,74	190316,64	466255,92	297604,25	347044,98	305306,31	512300,02	224423,96	341651,6
Área Total (ha)	36,45	19,03	46,63	29,76	34,70	30,53	51,23	22,44	34,17
Área de techos y asfaltos (m ²)	79523,14	57600,45	109437,42	18795,68	160598,48	83098,20	64828,87	35681,10	76628,04
Área de techos y asfaltos (ha)	7,95	5,76	10,94	1,88	16,06	8,31	6,48	3,57	7,66
Coeficiente de escorrentía techos y asfaltos					0,83				
Intensidad (mm/h)					30,83				
Caudal máximo de escorrentía techos y asfaltos (m³/s)	0,57	0,41	0,78	0,13	1,14	0,59	0,46	0,25	0,54
Área Bosque Pendiente baja (0-2%) (m ²)	10658,00						5461,00		
Área Bosque Pendiente baja (0-2%) (ha)	1,07						0,55		
Coeficiente de escorrentía Bosque Pendiente baja (0-2%)					0,28				

Caudal máximo de escorrentía bosque Pendiente baja (0-2%) (m3/s)	0,026					0,01	
Área tierras para cultivo Pendiente baja (0-2%) (m2)	274296,60					222208,11	
Área tierras para cultivo Pendiente baja (0-2%) (ha)	27,43					22,22	
Coeficiente de escorrentía tierras para cultivo Pendiente baja (0-2%)				0,36			
Caudal máximo de escorrentía (tierras para cultivo Pendiente baja (0-2%) (m3/s)	0,85					0,69	
Área tierras para cultivo Pendiente media (2-7%) (m2)	66358,10	142727,40	108850,228	186446,50		225314,52	229246,7
Área tierras para cultivo Pendiente media (2-7%) (ha)	6,64	14,27	10,89	18,64		22,53	22,92
Coeficiente de escorrentía tierras para cultivo Pendiente media (2-7%)				0,41			
Caudal máximo de escorrentía tierras para cultivo Pendiente media (2-7%) (m3/s)	0,23	0,50	0,38	0,65		0,79	2,90
Área tierras para cultivo Pendiente alta (> 7%) (m2)	66358,10	214091,10	167285,142			56328,63	
Área tierras para cultivo Pendiente alta (> 7%) (ha)	6,64	21,41	16,73			5,63	

Coefficiente de escorrentía tierras para cultivo Pendiente alta (> 7%)			0,44			
Caudal máximo de escorrentía tierras para cultivo Pendiente alta (> 7%) (m3/s)	0,25	0,81	0,63		0,21	
Área Bosque Pendiente media (2-7%) (m2)			6683,00		95282,00	7839,00 10305
Área Bosque Pendiente media (2-7%) (ha)			0,67		9,53	0,78 1,03
Coefficiente de escorrentía Bosque Pendiente media (2-7%)				0,36		
Caudal máximo de escorrentía Bosque Pendiente media (2-7%) (m3/s)			0,02		0,29	0,024 0,11
Área cobertura vegetal menor al 50% del área. Pendiente baja (0-2%)					65085,00	72361,54
Área cobertura vegetal menor al 50% del área. Pendiente baja (0-2%)					6,51	7,24
Coefficiente cobertura vegetal menor al 50% del área. Pendiente baja (0-2%)				0,37		
Caudal máximo de cobertura vegetal menor al 50% del área.					0,21	0,83

**Pendiente baja
(0-2%) (m3/s)**

Área cobertura
vegetal menor
al 50% del
área. Pendiente
media (2-7%)

72361,54 25471,86

Área cobertura
vegetal menor
al 50% del
área. Pendiente
media (2-7%)

7,24 2,55

Coefficiente
cobertura
vegetal menor
al 50% del
área. Pendiente
media (2-7%)

0,43

**Caudal
máximo de
cobertura
vegetal menor
al 50% del
área.
Pendiente
media (2-7%)
(m3/s)**

0,27 0,34

Área cobertura
vegetal menor
al 50% del
área. Pendiente
alta (> 7%)

36180,77

Área cobertura
vegetal menor
al 50% del
área. Pendiente
alta (> 7%)

3,62

Coefficiente
cobertura
vegetal menor
al 50% del
área. Pendiente
alta (> 7%)

0,45

Caudal máximo de cobertura vegetal menor al 50% del área. Pendiente alta (> 7%) (m3/s)										0,50
Total Qmax (m3/s)	1,436	0,892	2,086	1,167	1,796	1,276	1,977	1,872	3,894	

Entonces, el caudal máximo en cada subcuenca que puede generarse en un evento con intensidad de 30,83mm/h (periodo de retorno de 10 años) y duración de 15 minutos (Tabla 2) es: para la subcuenca 1 (subc 1) = 1,436m³/s, Subc 2 = 0,892m³/s, Subc 3 = 2,086m³/s, Subc 4 = 1,167m³/s, Subc 5 = 1,796m³/s, Subc 6 = 1,276m³/s, Subc 7 = 1,977m³/s, Subc 8 = 1,872m³/s, Subc 9 = 3,894m³/s

Propuesta

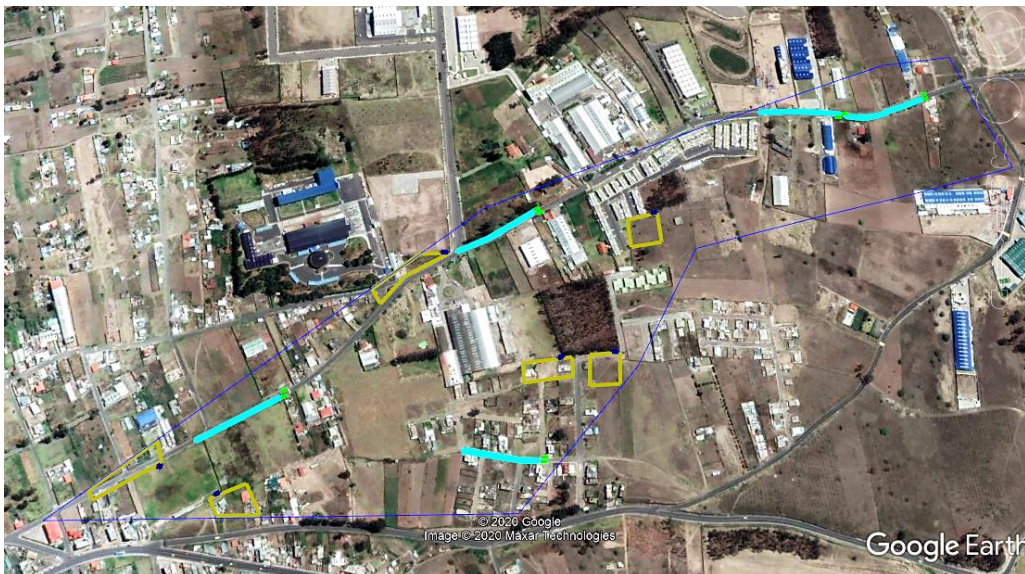
Prototipos de SUDS

Los prototipos de SUDS de tipo estructural que se proponen están considerados dentro de los sistemas de recolección de agua y bioretención, mismos que deberán cumplir lo establecido en el Plan de Ordenamiento Territorial Ambato 2020 (POT – AMBATO), en donde se determinan las normas y previsiones para el uso, ocupación, edificabilidad y fraccionamiento del suelo y se estipulan entre otros apartados, las normas de arquitectura y urbanismo.

El número de SUDS que se proponen para cada subcuenca, responde al espacio actual y ocupación de suelo, analizado a través de la imagen satelital con fecha de 2019 del área de estudio que se obtiene de Google Earth 2020, sin considerar el alcantarillado pluvial, como se puede observar en la Imagen 5.

Imagen 5

Subcuenca 1. Inserción teórica de áreas a drenarse y SUDS



Nota: Áreas con 2000m² a drenarse por sistemas de bioretención.
 Áreas con 500m² a drenarse por un jardín de lluvia (en los lados de la calle).
 El número de viviendas se estima graficando las áreas de los techos y cubiertas.

Sistemas de bioretención en espacio público (parques, plazas, canchas deportivas y estadios)

La propuesta de un prototipo de sistema de bioretención para ser instalado en espacio público parte de la estimación de un número de espacios verdes y de recreación existentes en las subcuencas de estudio, espacios como: parques, plazas, canchas deportivas y estadios (Tabla 5).

Características de un prototipo de sistema de bioretención.

El presente estudio propone un sistema de bioretención que permita filtrar volúmenes de escorrentía superficial con permeabilidad de hasta 100mm/h (10cm/h), cuyo sistema de filtración está conformado por tres capas filtrantes (Gráfico 3): suelo de bioretención que ayude al crecimiento de plantas, bajo este un geotextil permeable del tipo no tejido (NT

2000), espesor no menor de 2,8mm apropiado para drenaje para prevenir obstrucciones y, al final una capa de grava limpia con un tamaño de granos de 10 a 20mm

En cuanto al suelo de bioretención se recomienda una mezcla de arena en un 80% y alrededor de un 20% de materia orgánica (compost) y partículas franco arenosas. El contenido en arcillas deberá ser menor al 6%, el pH deberá estar entre 5,5 y 7 y la permeabilidad entre 2,5 y 10cm/h (100mm/h), el tamaño de los granos de arena deberá estar entre los 0,5 y 1,0mm (CMSWS, 2013).

El sistema de bioretención propuesto tiene un área de 20m² (Gráficos 2, 3, 4 y 5), cuenta con las siguientes características, apropiadas para parques, canchas deportivas, estadios y más:

Ancho = 2,00m

Longitud = 10,00m

Profundidad de detención/almacenamiento = 0,20m

Ancho del medio filtrante = 0,80m

Profundidad de la capa de drenaje = 0,25m

Diámetro de tubería perforada = 0,15m

h = altura promedio de agua sobre el lecho filtrante. Mitad de la altura máxima de agua sobre el lecho filtrante (m) = 0,10m

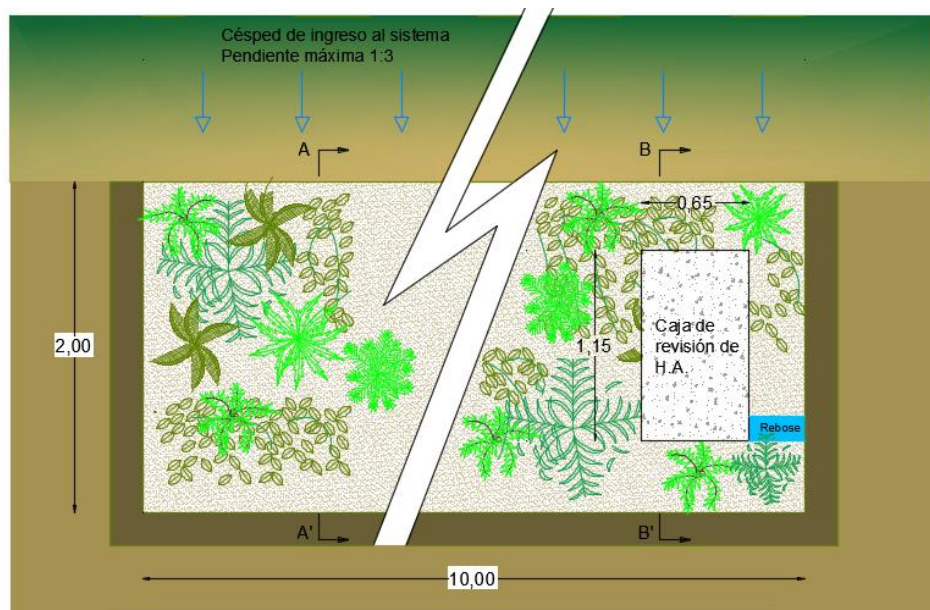
Coefficiente de permeabilidad = 100mm/h (Se consigue con arena fina y compost como medio filtrante y la especificación adecuada en el geotextil que funciona como capa filtrante (Woods et al., 2015).

Intensidad de lluvia = 30,83mm/h (TR = 10 años, 15 minutos de duración) (Tabla 2)

Área a drenarse (hipotética) = $A_{Drenada}$ = 2.000,00m² (Imagen 6). Ejemplo de una superficie a drenarse menor al área de 0,8ha recomendada como superficie de cuenca máxima para ser tratada en sistemas de bioretención (Woods et al., 2015).

Gráfico 2

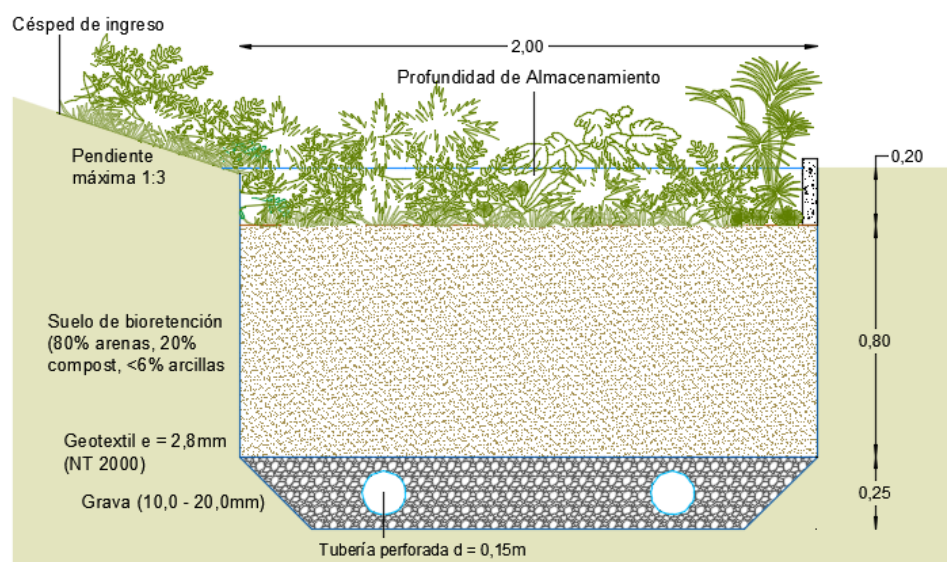
Vista en planta del sistema de bioretención



Nota: Vista del ingreso con pendiente vegetada

Gráfico 3

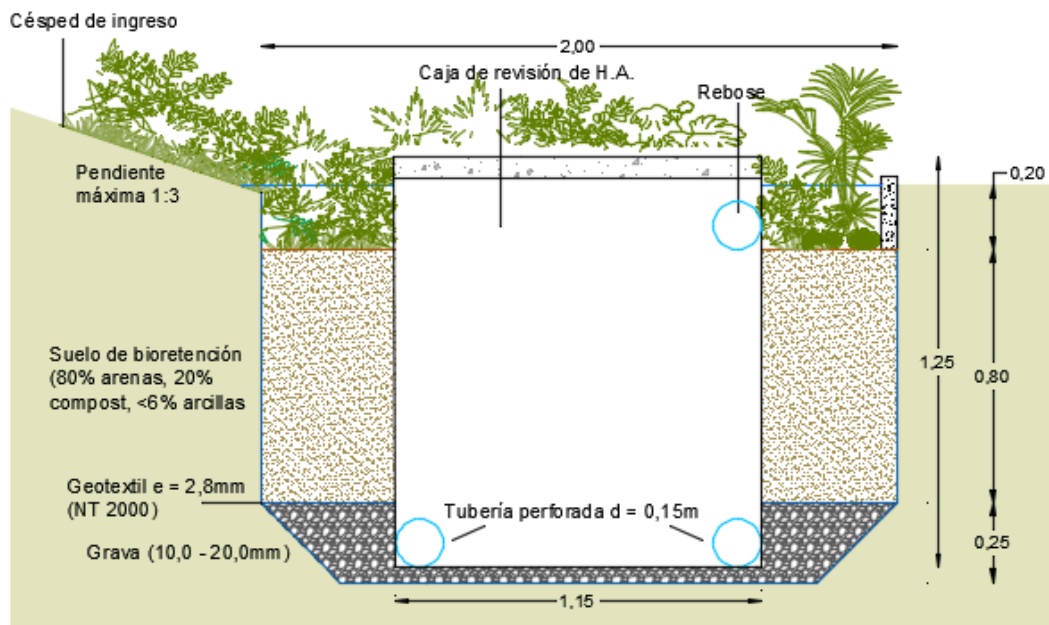
Sección transversal del prototipo de sistema de bioretención para espacios públicos (parques, canchas deportivas y más). Corte A – A'.



Nota: Autoría propia

Gráfico 4

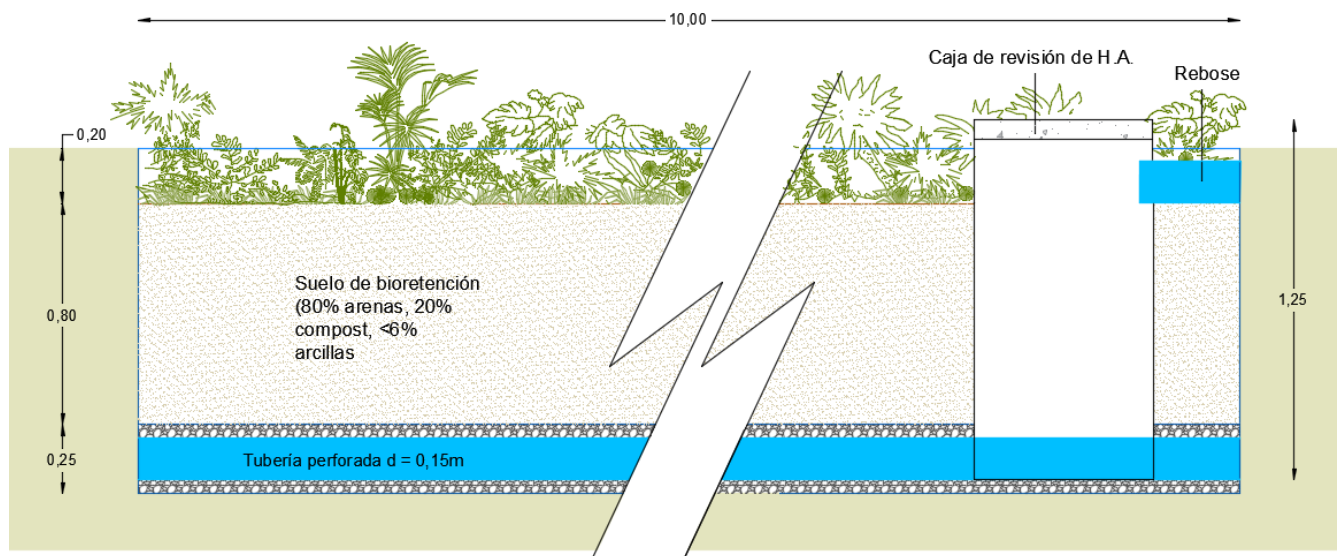
Sección transversal del prototipo de sistema de bioretención. Corte B – B'.



Nota: Corte de caja de revisión. Autoría propia

Gráfico 5

Sección longitudinal del prototipo de sistema de bioretención para espacios públicos (parques, canchas deportivas y estadios)



Nota: Autoría propia

Entonces de (1) con una intensidad de 30,83mm/h (Tabla 2), asumiendo que el 90% de esta se convierte en escorrentía, es decir que el área a drenarse es casi impermeable, poniendo a límite la capacidad del sistema, considerando también que no siempre todo el volumen de escorrentía de la zona a drenarse llegará al sistema, se tiene:

$V_T = \text{Volumen de agua a ser tratado (m}^3) =$

$$V_T = 2.000\text{m}^2 * \frac{30,83\text{mm}}{h} * 0,9 * \frac{15}{60} h * \left(\frac{1\text{m}}{1000\text{mm}}\right) =$$

$$V_T = 13,87\text{m}^3$$

Es decir, que un área de 2.000m² puede recibir 13,87m³ de agua lluvia para ser tratada en el sistema propuesto, en un evento con una intensidad de 30,83mm/h con una duración de 15 minutos.

Imagen 6

Ejemplo teórico de un área de 2000,00m² a drenarse.



Nota: Adaptado de Google Earth 2020

Verificación del área del lecho filtrante escogido.

Mediante la fórmula (1) se verifica si el área del lecho filtrante está en la capacidad de captar la escorrentía del área a drenarse:

Donde:

$A_f = \text{Área del lecho filtrante (m}^2\text{)} = 20,0\text{m}^2$

$L = \text{Profundidad del medio filtrante (m)} = 0,80\text{m}$

$V_T = \text{Volumen de agua a ser tratado (m}^3\text{)} = 13,87\text{m}^3$

$K = \text{Coeficiente de permeabilidad del medio filtrante (mm/h)} = 100\text{mm/h}$

$h = \text{altura promedio de agua sobre el lecho filtrante. Mitad de la altura máxima de agua sobre el lecho filtrante (m)} = 0,10\text{m}$

$t = \text{tiempo requerido para que el volumen de tratamiento pueda percolar por completo a través de las capas filtrantes (s)} = 48\text{h} = 172.800\text{s}$ (Woods et al., 2015).

$$A_f = \frac{13,87\text{m}^3 \times 0,8\text{m}}{(0,1/3.600)(0,1 + 0,8)\text{m} * (48 * 3.600)} =$$

$$A_f = \frac{11,096\text{m}^2}{4,32} = 2,57\text{m}^2$$

Entonces, al ser el área propuesta ($20,0\text{m}^2$) mayor a la efectivamente calculada para el volumen de agua lluvia que recibe el área de 2.000m^2 , se verifica que es correcta el área filtrante escogida (Woods et al., 2015).

Jardín de lluvia para aceras

En favor de estos sistemas, en el POT AMBATO 2020 en su artículo 37 de las Normas de Arquitectura y urbanismo se establece el espacio de circulación peatonal mínimo de $1,20\text{m}$, y se destaca que en el espacio restante se podrá ubicar vegetación y similares, entre otros.

Para la ubicación de jardineras y más mobiliario urbano se deberán considerar los espacios de ocupación y de influencia a fin de dejar libre la zona de tránsito peatonal efectiva requerida. El ancho de las aceras dependiendo del tipo de vías varía de $2,50$ en vías colectoras a $4,0\text{m}$ en vías principales, quedando un espacio suficiente para implementación de jardines

de lluvia de 0,60m de ancho respetando el espacio mínimo de 1,20m para la circulación peatonal (ICCA, 2009).

En relación a la altura máxima del follaje de vegetación en parterres y veredas, la normativa manifiesta que deberá ser 1,0m para evitar la obstrucción de la visibilidad, la vegetación que supere la altura de 1,50m debe tener un espacio suficiente de visibilidad de mínimo 1,80m si hay circulación peatonal, 1,50m en el caso contrario (ICCA, 2009). Esta especificidad no supone un obstáculo para la implementación de jardines de lluvia por el contrario, es un estímulo saber que si hay esta clase de consideraciones en la normativa.

Características de un prototipo de jardín de lluvia.

El prototipo de jardín de lluvia propuesto tiene un área de drenaje de 6,0m² (Gráficos 6,7 y 8), persigue filtrar volúmenes de escorrentía superficial con permeabilidad de hasta 100mm/h (10cm/h), para ello cuenta con un filtro de arena con partículas de tamaño de 0.5 a 1,0mm, que en la práctica normalmente arroja buenos resultados en la capacidad hidráulica y eliminación de contaminantes (CMSWS, 2013). Se emplean otros tamaños de granos en función de requerimientos específicos de los proyectos. Se proponen las siguientes características, apropiadas para el espacio físico determinado en la normativa para aceras:

Ancho = 0,60m

Longitud = 10,00m

Profundidad de detención/almacenamiento = 0,20m

Ancho del medio filtrante = 0,50m

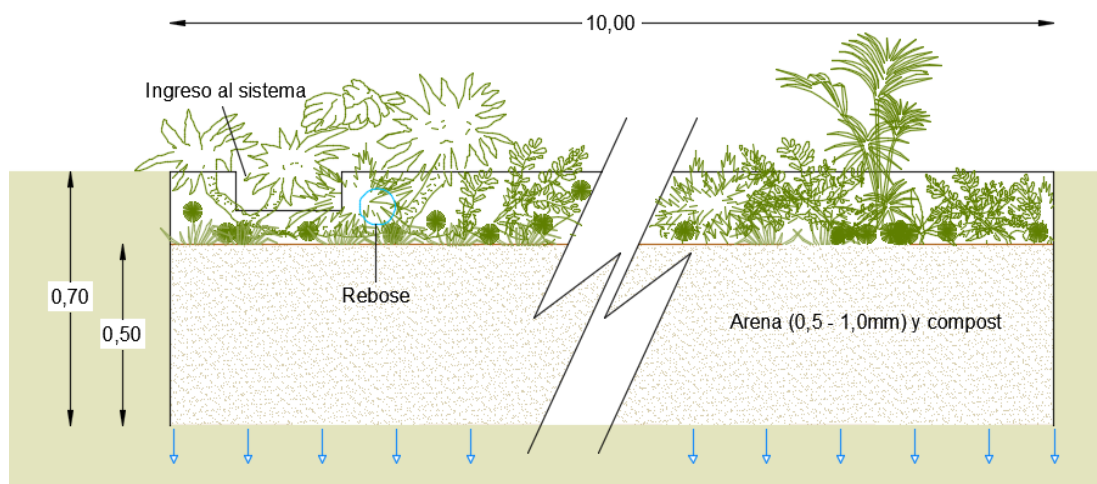
Coefficiente de permeabilidad = 100mm/h (Se consigue con arena fina como medio filtrante (Woods et al., 2015).

Intensidad de lluvia = 30,83mm/h (TR = 10 años, 15 minutos de duración) (Tabla 2)

Autoría propia

Gráfico 8

Sección longitudinal del prototipo de jardín de lluvia para espacios públicos (aceras)



Nota: Autoría propia

Entonces de (1) con una intensidad de 30,83mm/h (Tabla 2), asumiendo que el 90% de esta se convierte en escorrentía, es decir que el área a drenarse es casi impermeable, poniendo a límite la capacidad del sistema, considerando también que no siempre todo el volumen de escorrentía de la zona a drenarse llegará al sistema, se tiene:

$V_T =$ Volumen de agua a ser tratado (m^3) =

$$V_T = 500,00m^2 * \frac{30,83mm}{h} * 0,90 * \frac{15}{60} h * \left(\frac{1m}{1000mm} \right) =$$

$$V_T = 3,47m^3$$

Es decir, que un tramo de carretera de 500,00m² puede recibir 3,47m³ de agua lluvia para ser tratada en el sistema propuesto, en un evento con una intensidad de 30,83mm/h con una duración de 15 minutos.

Imagen 7

Ejemplo teórico de un área de 500,00m² a drenarse



Nota: Adaptado de Google Earth 2020

Verificación del área del lecho filtrante escogido.

Mediante la fórmula (1) se verifica si el área del lecho filtrante está en la capacidad de captar la escorrentía del área a drenarse.

Donde:

A_f = Área del lecho filtrante (m²) = 6,0m²

L = Profundidad del medio filtrante (m) = 0,5m

K = Coeficiente de permeabilidad del medio filtrante (mm/h) = 100mm/h

V_T = Volumen de agua a ser tratado (m³) = 3,47m³

h = altura promedio de agua sobre el lecho filtrante (mitad de la altura máxima de agua sobre el lecho filtrante) (m) = 0,10m

t = tiempo requerido para que el volumen de tratamiento pueda percolar través de las capas filtrantes (s) = 48h = 172.800s.

$$A_f = \frac{3,47m^3 \cdot 0,8m}{(0,1/3600)(0,1 + 0,5)m * (48 * 3600)} =$$

$$Af = \frac{2,78m^2}{2,88} = 0,97m^2$$

Entonces, al ser el área propuesta (6,0m²) mayor a la efectivamente calculada para el volumen de agua lluvia que recibe un área de 500,00m², se verifica que es correcta el área filtrante escogida (Woods et al., 2015).

Tanques de retención de agua lluvia en predios privados

Las condiciones de edificación de la zona baja de estudio con codificación 5B12-45, estipulan retiros frontal, lateral y posterior, asimismo, los tres tipos de edificaciones permitidos en el POT Ambato para la zona alta de la cuenca de estudio 0D6-75, 0D9-75, 5B9-45 cuentan con áreas (retiros) que pueden ser destinados a la instalación de un tanque de retención de agua lluvia.

Este hecho favorece al ordenamiento urbano y podría ser la base para que en la actualización del POT Ambato, se prevean sistemas de almacenamiento de agua lluvia como una de las formas de contribuir con el saneamiento y gestión ambiental de la ciudad.

Por otro lado en el Art. 20. *“Deberes y Atribuciones de los propietarios de suelo urbanizable”*, se insta a los propietarios a sujetarse a las normas de protección ambiental, del patrimonio arquitectónico y urbano y, de ser el caso, del patrimonio arqueológico.

Características de un prototipo de tanque de retención.

El tanque de retención propuesto tiene un volumen de 2,4m³ (Gráfico 9), cuenta con las siguientes medidas 0.60m x 2,0m x 2,0m, apropiadas para los retiros que establece la normativa para que de este modo ocupe un lugar angosto en los predios mencionados y no impida la circulación, También se considera que la adquisición en el mercado es más complicada para tanques domésticos con volumen superiores. Las condiciones son:

VT = Volumen total requerido = Supuesto uso de 50 litros diarios todo el año como promedio de uso en actividades de jardinería y limpieza = 50 litros x 360 días = 18.000 litros

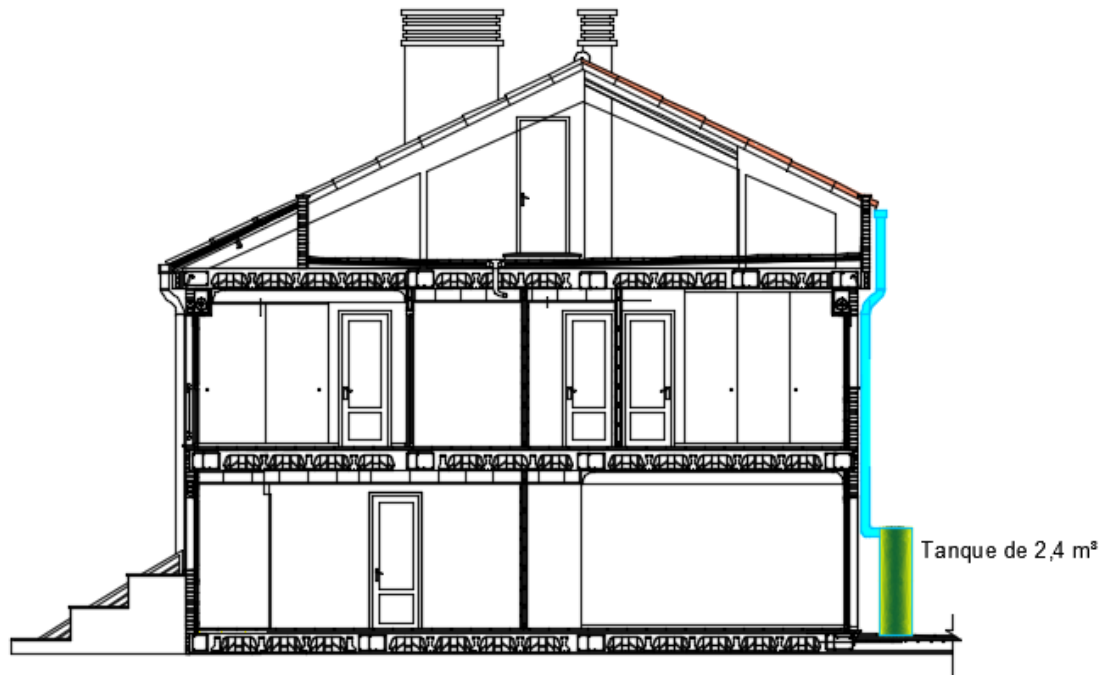
$C = 0,83$ (Coeficiente de escorrentía Tabla 1 para techos)

$P_m =$ precipitación media anual = 1.626 mm

(Fuente: <https://www.cuandovisitar.com.ar/ecuador/ambato-1187335/>)

Gráfico 9

Propuesta de tanque en retiros establecidos en la normativa



Comprobación del área de captación asumida.

Mediante (2) se calcula un área de captación asumida que pueda retener el volumen requerido:

$$A_c = \frac{18.000 \text{ l}}{0,83 \times 1.626 \text{ mm}} = 13,34 \approx 14,00 \text{ m}^2$$

Es decir, una cubierta de 14,00m² es suficiente para retener 18.000 l de lluvia al año.

Para calcular el volumen de lluvia captado por un techo de 16m² (área de ejemplo estimada como promedio de un techo o cubierta = A_{Techo}), se parte de (1) asumiendo que el 90% de la intensidad se convierte en escorrentía, es decir que la cubierta a drenarse es casi impermeable, poniendo a límite la capacidad del sistema, considerando también que no

siempre todo el volumen de escorrentía de la zona a drenarse llegará al sistema, se tiene entonces:

$V_T =$ Volumen de agua a ser almacenado (m^3) =

$$A_{Techo} = 16m^2$$

$I =$ Intensidad de lluvia = 30,83mm/h (Tabla 2)

$$V_T = 16m^2 * \frac{30,83mm}{h} * 0.90 * \frac{15}{60}h * \left(\frac{1m}{1000mm}\right) =$$

$$V_T = 0,11m^3$$

Es decir, el tanque almacenará 0,11m³ de lluvia proveniente de un techo de 16m², en un evento con una intensidad de 30,83mm/h con una duración de 15 minutos. Por lo que, en una hora, en un evento con la misma intensidad, aumentará el volumen retenido en el tanque.

Aporte de los prototipos a la captación del caudal de escorrentía

El aporte a la captación de caudal de escorrentía de las propuestas no considera la captación ni conducción de caudales de escorrentía por parte de las redes convencionales de saneamiento y alcantarillado pluvial. En este sentido, el aporte a la reducción de caudales de las propuestas para la Subcuenca 1 se calcula de la siguiente manera:

Aporte de sistemas de bioretención en parques, canchas deportivas y estadios

Área Subcuenca 1 = 36,45ha (Tabla 6)

Área máxima de una cuenca que puede drenar un sistema de bioretención = 0,8ha (Woods et al., 2015).

$$\text{Número de sistemas hipotético} = \frac{\text{Área sc1}}{\text{Área máxima capaz de drenar un sistema de bioretención}}$$

$$\text{Número de sistemas hipotético} = \frac{36,45ha}{0,8ha} = 45,56 \approx 46$$

Por el espacio disponible en parques, canchas deportivas y estadios, se recomienda la implantación de 6 sistemas en la subcuenca 1. Entonces, si un sistema puede drenar $13,87\text{m}^3$ de agua lluvia, 6 drenarán $83,22\text{m}^3$.

Aporte de los jardines de lluvia en aceras

Área aproximada de carreteras en subcuenca 1 = 16.757m^2 (Tabla 6)

Área de carretera a ser drenada por un jardín de lluvia = $500,00\text{m}^2$ (ejemplo de la superficie a drenarse, menor al área de 0,8ha recomendada como superficie de cuenca máxima para ser tratada en sistemas de bioretención (Woods et al., 2015).

$$\text{Número de sistemas hipotético} = \frac{16.757\text{m}^2}{500,00\text{m}^2} = 33,51 \approx 34$$

Por el espacio disponible en aceras, se sugiere la implementación de 10 jardines. Entonces si un sistema puede infiltrar $3,47\text{m}^3$, 10 jardines infiltrarán $34,70\text{m}^3$.

Aporte de tanques en predios privados

Número aproximado de viviendas en subcuenca 1 = 50 (estimación a través de imagen satelital)

Número de tanques sugerido = 25 (50% de las viviendas)

Por los retiros establecidos en la normativa, se sugiere la implementación de tanques por lo menos en el 50% de los hogares. Por lo que, si 1 tanque capta $0,11\text{m}^3$, 25 captarán $2,75\text{m}^3$.

Volumen total captado por los sistemas propuesto en la Subcuenca 1 = $83,22 + 34,70 + 2,75 = 120,67\text{m}^3$.

La subcuenca percibe una intensidad de escorrentía máxima de $1,436\text{m}^3/\text{s}$ (Tabla 6), es decir un volumen de $1.296,00\text{m}^3$ en un evento con intensidad máxima de $30,83\text{mm/h}$ (tabla 2) con duración de 15 minutos.

$$V_{\text{escorrentía}} = Q_{\text{max}} \cdot 15(6) = 1.292,82\text{m}^3$$

Entonces, del total del volumen de escorrentía que se genera en la subcuenca 1, los sistemas propuestos podrían captar el 9,33% (120.67m³), durante un evento con intensidad máxima de 30,83mm/h y una duración de 15 minutos, sin tener en cuenta los sistemas convencionales de alcantarillado y cunetas. De forma individual el aporte en la reducción de volumen de escorrentía de los sistemas de bioretención sería del 6,44%, los jardines de lluvia aportarían con el 2,68% y el aporte de los tanques en predios privados sería el 0,21%

El mismo análisis es aplicado en las 9 subcuencas y su resumen se presenta en las Tablas de la 7 a la 15, donde también se calcula el porcentaje de reducción del volumen total de escorrentía de cada propuesta. Las imágenes satelitales de las subcuencas se muestran desde la Imagen 8 a la 16:

Tabla 7

Subcuenca 1. Volumen de escorrentía captado

Subcuenca	Propuestas	Volumen tratado por 1 sistema (m ³)	Área de la subcuenca (ha) / Área de carreteras (m ²) / Número de viviendas	Área capaz de drenar un sistema (ha) / Área a drenar en carreteras (m ²)	Número hipotético de sistemas	Número de sistemas sugeridos	Volumen tratado por el número de sistemas propuesto (m ³)	% de reducción del volumen total de Escorrentía
1	Sistemas de bioretención	13,87	36,45	0,8	46	6	83,22	6,44
	Jardín de lluvia	3,47	16757	500	34	10	34,70	2,68
	Tanques en predios privados	0,11	50		50	25	2,75	0,21
Volumen total a ser captado por las propuestas (m³)							120,67	
Volumen total de escorrentía en la subcuenca 1 (m³)							1292,82	
% de volumen captado							9,33	

Imagen 8

Subcuenca 1



Nota: Adaptada de Google Earth 2020

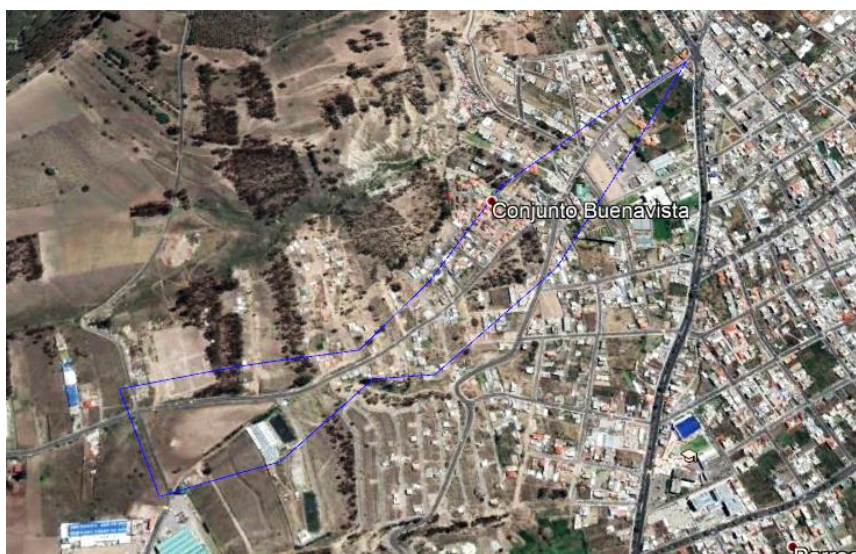
Tabla 8

Subcuenca 2. Volumen de escorrentía captado

Subcuenca	Propuestas	Volumen tratado por 1 sistema (m ³)	Área de la subcuenca (ha) / Área de carreteras (m ²) / Número de viviendas	Área capaz de drenar un sistema (ha) / Área a drenar en carreteras (m ²)	Número hipotético de sistemas	Número de sistemas sugeridos	Volumen tratado por el número de sistemas propuesto (m ³)	% de reducción del volumen total de Escorrentía
2	Sistemas de bioretención	13,87	19,03	0,8	24	5	69,35	8,63
	Jardín de lluvia	3,47	16730	500	33	10	34,70	4,32
	Tanques en predios privados	0,11	53		53	27	2,97	0,37
Volumen total a ser captado por las propuestas (m³)							107,02	
Volumen total de escorrentía en la subcuenca 2 (m³)							803,22	
% de volumen captado							13,32	

Imagen 9

Subcuenca 2



Nota: Adaptada de Google Earth 2020

Tabla 9

Subcuenca 3. Volumen de escorrentía captado

Propuestas	Volumen tratado por 1 sistema (m ³)	Área de la subcuenca (ha) / Área de carreteras (m ²) / Número de viviendas	Área capaz de drenar un sistema (ha) / Área a drenar en carreteras (m ²)	Número hipotético de sistemas	Número de sistemas sugeridos	Volumen tratado por el número de sistemas propuesto (m ³)	% de reducción del volumen total de Escorrentía
Subcuenca 3							
Sistemas de bioretención	13,87	46,63	0,8	58	10	138,70	7,39
Jardín de lluvia	3,47	30806	500	62	10	34,70	1,85
Tanques en predios privados	0,11	104		104	52	5,72	0,30
Volumen total a ser captado por las propuestas (m³)						179,12	
Volumen total de escorrentía en la subcuenca 3 (m³)						1877,17	
% de volumen captado						9,54	

Imagen 10

Subcuenca 3



Nota: Adaptada de Google Earth 2020

Tabla 10

Subcuenca 4. Volumen de escorrentía captado

Subcuenca	Propuestas	Volumen tratado por 1 sistema	Área de la subcuenca ha) / Área de carreteras (m ²) / Número de viviendas	Área capaz de drenar un sistema (ha) / Área a drenar en carreteras (m ²)	Número hipotético de sistemas	Número de sistemas sugeridos	Volumen tratado por el número de sistemas propuesto (m ³)	% de reducción del volumen total de Escorrentía
4	Sistemas de bioretención	13,87	29,76	0,8	37	6	83,22	7,93
	Jardín de lluvia	3,47	6110	500	12	5	17,35	1,65
	Tanques en predios privados	0,11	20		20	10	1,10	0,10
Volumen total a ser captado por las propuestas (m³)							101,67	
Volumen total de escorrentía en la subcuenca 4 (m³)							1050,07	
% de volumen captado							9,68	

Imagen 11

Subcuenca 4



Nota: Adaptada de Google Earth 2020

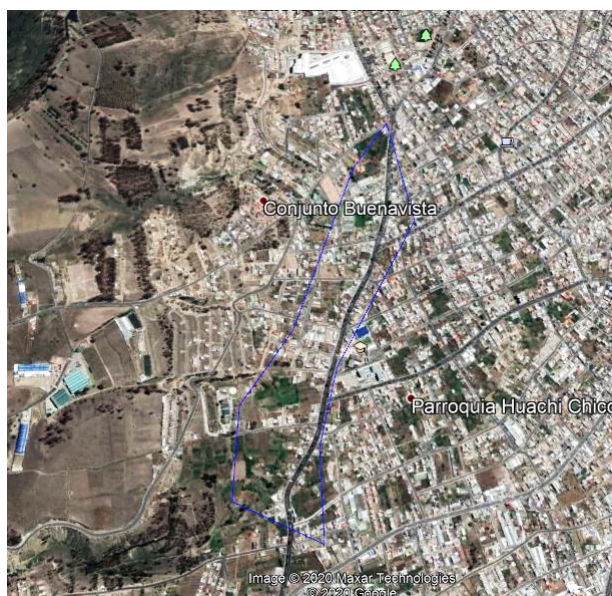
Tabla 11

Subcuenca 5. Volumen de escorrentía captado

Propuestas	Volumen tratado por 1 sistema (m ³)	Área de la subcuenca ha) / Área de carreteras (m ²) / Número de viviendas	Área capaz de drenar un sistema (ha) / Área a drenar en carreteras (m ²)	Número hipotético de sistemas	Número de sistemas sugeridos	Volumen tratado por el número de sistemas propuesto (m ³)	% de reducción del volumen total de Escorrentía
Subcuenca 5							
Sistemas de bioretención	13,87	34,7	0,8	43	3	41,61	2,57
Jardín de lluvia	3,47	48367	500	97	10	34,70	2,15
Tanques en predios privados	0,11	85		85	43	4,73	0,29
	Volumen total a ser captado por las propuestas (m³)					81,04	
	Volumen total de escorrentía en la subcuenca 5 (m³)					1616,57	
	% de volumen captado					5,01	

Imagen 12

Subcuenca 5



Nota: Adaptada de Google Earth 2020

Tabla 12

Subcuenca 6. Volumen de escorrentía captado

Subcuenca	Propuestas	Volumen tratado por 1 sistema (m ³)	Área de la subcuenca (ha) / Área de carreteras (m ²) / Número de viviendas	Área capaz de drenar un sistema (ha) / Área a drenar en carreteras (m ²)	Número hipotético de sistemas	Número de sistemas sugeridos	Volumen tratado por el número de sistemas propuesto (m ³)	% de reducción del volumen total de Escorrentía
6	Sistemas de bioretención	13,87	30,53	0,8	38	6	83,22	7,25
	Jardín de lluvia	3,47	29628	500	59	15	52,05	4,53
	Tanques en predios privados	0,11	123		123	62	6,82	0,59
	Volumen total a ser captado por las propuestas (m³)						142,09	
	Volumen total de escorrentía en la subcuenca 6 (m³)						1148,16	
	% de volumen captado						12,38	

Imagen 13

Subcuenca 6



Nota: Adaptada de Google Earth 2020

Tabla 13

Subcuenca 7. Volumen de escorrentía captado

Subcuenca	Propuestas	Volumen tratado por 1 sistema (m ³)	Área de la subcuenca (ha) / Área de carreteras (m ²) / Número de viviendas	Área capaz de drenar un sistema (ha) / Área a drenar en carreteras (m ²)	Número hipotético de sistemas	Número de sistemas sugeridos	Volumen tratado por el número de sistemas propuesto (m ³)	% de reducción del volumen total de Escorrentía
7	Sistemas de bioretención	13,87	51,23	0,8	64	3	41,61	2,34
	Jardín de lluvia	3,47	21799	500	44	10	34,70	1,95
	Tanques en predios privados	0,11	98		98	49	5,39	0,30
		Volumen total a ser captado por las propuestas (m³)					81,7	
		Volumen total de escorrentía en la subcuenca 7 (m³)					1779,54	
		% de volumen captado					4,59	

Imagen 14

Subcuenca 7



Nota: Adaptada de Google Earth 2020

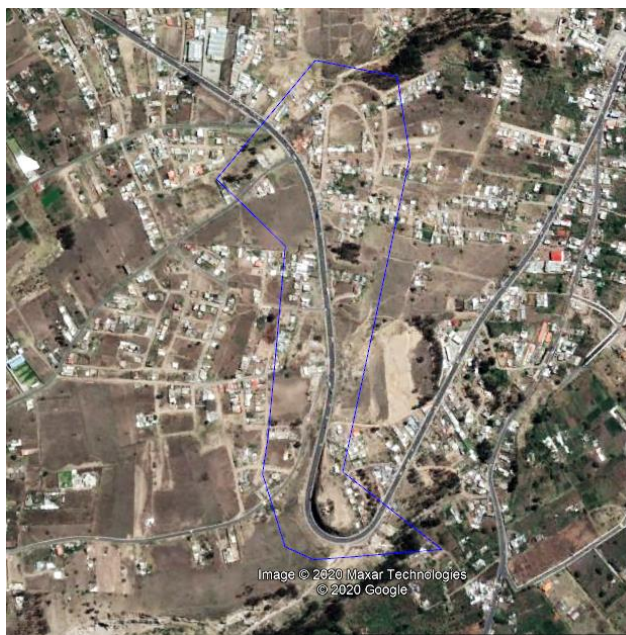
Tabla 14

Subcuenca 8. Volumen de escorrentía captado

Subcuenca 8	Propuestas	Volumen tratado por 1 sistema (m ³)	Área de la subcuenca ha) / Área de carreteras (m ²) /	Área capaz de drenar un sistema (ha) /	Número hipotético de sistemas	Número de sistemas sugeridos	Volumen tratado por el número de sistemas propuesto (m ³)	% de reducción del volumen total de Escorrentía
			Número de viviendas	Área a drenar en carreteras (m ²)				
	Sistemas de bioretención	13,87	22,44	0,8	28	4	55,48	3,29
	Jardín de lluvia	3,47	13651	500	27	6	20,82	1,24
	Tanques en predios privados	0,11	81		81	41	4,51	0,27
Volumen total a ser captado por las propuestas (m³)							80,81	
Volumen total de escorrentía en la subcuenca 8 (m³)							1684,48	
% de volumen captado							4,80	

Imagen 15

Subcuenca 8



Nota: Adaptada de Google Earth 2020

Tabla 15

Subcuenca 9. Volumen de escorrentía captado

Subcuenca	Propuestas	Volumen tratado por 1 sistema (m ³)	Área de la subcuenca (ha) / Área de carreteras (m ²) / Número de viviendas	Área capaz de drenar un sistema (ha) / Área a drenar en carreteras (m ²)	Número hipotético de sistemas	Número de sistemas sugeridos	Volumen tratado por el número de sistemas propuesto (m ³)	% de reducción del volumen total de Escorrentía
9	Sistemas de bioretención	13,87	34,17	0,8	43	6	83,22	2,37
	Jardín de lluvia	3,47	22676	500	45	10	34,70	0,99
	Tanques en predios privados	0,11	163		163	82	9,02	0,26
	Volumen total a ser captado por las propuestas (m³)						126,94	
	Volumen total de escorrentía en la subcuenca 9 (m³)						3505,03	
	% de volumen captado						3,62	

Imagen 16

Subcuenca 9



Nota: Adaptada de Google Earth 2020

Discusión

La normativa sobre diseño urbano de espacio público y arquitectura de Ambato puede ser interpretada de la manera más favorable por los actores involucrados en la gestión del espacio urbano, al momento de ordenar y construir el espacio público y privado. En esta se incentiva, aunque solo de forma retórica, el respeto por el medio ambiente y búsqueda del bienestar de la comunidad contra riesgos urbanos a través de la protección de áreas naturales aprovechando la vocación natural del suelo.

Esto significa, que aunque exista la disponibilidad física de espacios públicos y privados y disposiciones en la normativa sobre usos de suelo y arquitectura, no se dedica ni advierte planificación más específica de obras de drenaje urbano sensibles con el ciclo hidrológico, que reconozca la implementación de SUDS o el manejo de conceptos similares, como mecanismos viables de captación y detención de volúmenes de escorrentía que aporten a la reducción de caudales que aguas abajo pueden ocasionar anegamientos y con ello confirmar la premisa de que es posible abordar los conflictos ambientales productos de la

urbanización con soluciones, como son los SUDS, enfocadas en la relación urbanismo – biodiversidad (Rueda et al., 2007).

Ambato cuenta con un plan de ordenamiento territorial elaborado hace once años, por lo que podría parecer lógico que en aquel entonces no se haya profundizado en temas de drenaje urbano, sin embargo se puede evidenciar que en países de la región como Colombia, por nombrar un referente cercano, ya se contaba con estudios y bases técnicas como suministros para la elaboración de normativa de ordenamiento territorial con enfoques ambientales y que proponen a los SUDS como sistemas no convencionales de gestión de agua lluvia que aborden de forma sostenible la problemática de inundaciones por la impermeabilización del suelo y que se integren con el paisaje (AMB, 2011).

El POT AMBATO 2020 debe actualizarse en función del crecimiento poblacional y los desafíos ambientales promovidos por los procesos de urbanización. En principio se destaca la visión del plan actual de considerar como mecanismos de ordenamiento arquitectónico y de paisaje, la utilización de espacios verdes en lugares públicos y de los retiros normados en los predios privados. No obstante, a más de este tipo de enfoques, resulta urgente y más que necesario la elaboración de un plan de ordenamiento territorial con normas de arquitectura y urbanismo que consideren la gestión del agua dentro del metabolismo urbano como una visión viable y sostenible frente a problemas ambientales como las inundaciones promovidas por la impermeabilización del suelo. Soluciones como lo son los SUDS, cuyo aporte a la reducción de caudales de escorrentía se comprobó en el presente de estudio.

Referente al área de estudio, la Normativa de Diseño Urbano y Arquitectura prevé el equipamiento de “Recreación” (Tabla 5) como parques, plazas y centros deportivos con radios de influencia que van desde los 400m en lugares con tipología sectorial hasta los 3.000m en lugares con topología urbana y con lotes estipulados como mínimos de 400m² hasta los

50000m². Para predios privados en toda el área de estudio de acuerdo con la normativa, se establecen como mínimo retiros posteriores (en la zona baja de estudio se contemplan tres retiros) de 3 metros.

Por tal motivo, se puede aseverar que en todas las subcuencas de estudio si hay suficiente espacio físico público y privado para la inclusión de SUDS concebidos como mecanismos de control y aprovechamiento de escorrentías que se integren con el paisaje.

En todas las subcuencas de estudios, en la situación actual de uso de suelo es posible disminuir los caudales de escorrentía implementando SUDS, desde un 3,62% hasta un 21,06%, en la Tabla 16, se presenta el porcentaje de volumen de agua lluvia captado por el número de prototipos de diseños propuestos para las condiciones especificadas. El porcentaje de volumen de agua lluvia que se convierte en escorrentía y que puede ser captado dependerá del número teórico de sistemas que se necesiten implementar.

Tabla 16

Porcentaje de volumen de agua lluvia captado por las propuestas

Área de Estudio	Porcentaje del volumen de escorrentía captado por las propuestas
Subcuenca 1	9,33
Subcuenca 2	13,32
Subcuenca 3	9,54
Subcuenca 4	9,68
Subcuenca 5	5,01
Subcuenca 6	12,38
Subcuenca 7	4,59
Subcuenca 8	4,80
Subcuenca 9	3,62
Promedio	8,03

En la subcuenca 2 se nota una mayor influencia por la introducción teórica de SUDS, se capta el 13,32% (107,02m³) de un volumen de agua lluvia (803,22 m³), debido a que el caudal máximo de escorrentía (0,892m/s) es el más bajo en comparación con el resto de

subcuencas. El motivo reside en que la mayor parte del área de estudio son áreas para cultivo de pendiente media y alta y el 45,88% ($0,41\text{m}^3/\text{s}$) del total del caudal máximo de escorrentía ($0,892\text{m}^3/\text{s}$) se origina en los techos de las viviendas y áreas impermeabilizadas con asfaltos y puede ser gestionado con el número adecuado de diseños.

En la subcuenca 9, el caudal máximo de escorrentía es el más elevado del resto de subcuencas por las condiciones, uso de suelo y pendiente del terreno, el área predominante son tierras para cultivo y áreas con cobertura vegetal pobre menor al 50% con una pendiente media (2 al 7%). La introducción de un número determinado de SUDS en el área que captan el 3,62% ($126,94\text{m}^3$) del total del volumen de agua lluvia ($3.505,03\text{m}^3$) que se convierte en escorrentía en la subcuenca, mejoraría las condiciones del suelo, lo que a su vez haría que el coeficiente de escorrentía disminuya, pues se evitaría que el agua lluvia se convierta en su totalidad en un caudal de escorrentía.

Esto en parte confirma la relación lineal que hay entre el coeficiente de escorrentía y el caudal punta, es decir, cuando disminuye el coeficiente C, disminuye el caudal pico de escorrentía, esto a su vez disminuye el dimensionamiento de los sistemas de recolección de agua y aporta con el control de inundaciones (Jaume, 2016)

El coeficiente de escorrentía disminuye cuando se implementan SUDS, de acuerdo con Botero (2018) se redujo hasta en un 76% el coeficiente de escorrentía y por ende el caudal máximo de escorrentía en una cuenca de estudio (Municipio de La Estrella en Antioquia - Colombia) por la implementación de SUDS, cuyo desempeño es mejor en eventos con lluvias promedio.

Las subcuencas 3 y 4 presentan porcentajes similares de disminución del volumen de escorrentía (9,54 y 9,68% respectivamente), a pesar de que en la subcuenca 3 se produce un mayor caudal de escorrentía ($2,086\text{ m}^3/\text{s}$ vs $1,167\text{m}^3/\text{s}$) que en su mayoría se origina en los techos y zonas impermeabilizadas. Esto fue posible gracias a que en la subcuenca 3 se

duplicó el número de propuestas de sistemas de bioretención y jardines de lluvia y se recomendaron, por tener una mayor tasa de urbanización, 5 veces más el número de tanques de retención en predios privados.

Lo propio ocurre entre las subcuencas 7 y 8 con porcentajes de disminución de volumen de escorrentía similares (4,59 y 4,80% respectivamente), debido a que aunque el caudal máximo de escorrentía es mayor en la subcuenca 7, en esta subcuenca por la posibilidad de propuesta de un número mayor de jardines de lluvia en las aceras, hubo un aporte importante por parte de estos sistemas en la disminución del caudal de casi 43% del total del volumen captado (34,70m³ de 81,70m³).

Alrededor del 65% del volumen de escorrentía captado por las propuestas corresponde al volumen captado y tratado por los sistemas de bioretención. El número de sistemas propuestos responde a la disponibilidad de áreas verdes en espacios públicos y a la efectividad de la biorretención para reducir efectivamente los impactos del desarrollo sobre los procesos hidrológicos en zonas urbanas (Roy-Poirier, 2010).

Los jardines de lluvia por su lado, promedian el 31% del volumen de escorrentía captado por las propuestas, aportando a la reducción del volumen de escorrentía mediante la captura de precipitación y al control de contaminación de la escorrentía para lluvias cortas y de baja y mediana intensidad. No necesariamente disminuirán el caudal pico, sin embargo si se reportará disminución del caudal de escorrentía (Ávila, 2012).

El aporte de los tanques de retención en la disminución del volumen de escorrentía parecería ser mínimo (4,36%), sin embargo cabe recalcar que la propuesta estipula un área de captación en techos de 16m² y en solo el 50% de las viviendas existentes, por lo que la mejora de las variables y aplicación de estudios a detalle aumentarían el volumen de lluvia captado por los tanques en predios domiciliarios, pudiendo este tipo de sistemas, como

demuestran varios estudios en la ciudad de Barranquilla Colombia, llegar a reducir más de un 20% del caudal pico (Ávila, 2012).

Conclusiones

1. El Plan de Ordenamiento Territorial de Ambato 2020 que incluye la Normativa de Arquitectura y Urbanismo, promueve y establece la implantación de zonas verdes en espacios públicos como parques, plazas, canchas deportivas, centros deportivos, polideportivos, estadios, etcétera y distancias de retiro en las viviendas dentro del área de estudio de tres metros como mínimo, en la parte posterior de las viviendas, que pueden ser utilizados para la implementación de SUDS.
2. El Plan de Ordenamiento Territorial de Ambato 2020 estipula que los proyectos urbanísticos deberán contener estudios del paisaje con el fin de evaluar alternativas y grado de incidencia de los mismos, sin embargo, no contempla la construcción de SUDS como sistemas alternativos sostenibles de gestión de la esorrentía que se integren con el paisaje de la urbe.
3. Las subcuencas 2 y 4 soportan los caudales de esorrentía con los valores más bajos de toda el área de estudio ($0,892\text{m}^3/\text{s}$ y $1,167\text{m}^3/\text{s}$ respectivamente) y las subcuencas 3 y 9 los más altos ($2,086\text{m}^3/\text{s}$ y $3,894\text{m}^3/\text{s}$), debido básicamente al uso de suelo y sus coberturas y a la densidad poblacional, que determinan si el agua lluvia se convierte o no en esorrentía superficial.
4. Los sistemas de bioretención de 20m^2 propuestos pueden construirse en espacios públicos como parques, canchas deportivas, estadios, bosques, parqueaderos y más espacios de recreación que tienen un lote mínimo de 400 a 5000m^2 dependiendo de la población base de 1000 o 5000 habitantes. Los jardines de lluvia de $6,0\text{m}^2$ pueden construirse en aceras cuyos anchos para la zona de estudio varían de 2 a 4m, siendo un aliciente que la normativa si prevé espacios para vegetación en acera y por último

los tanques de retención pueden instalarse sobre los retiros de viviendas establecidos en la normativa, que para la zona de estudio es un mínimo de 3m en la parte posterior.

5. Los prototipos de SUDS (bioretención, jardines de lluvia y tanques de retención) propuestos en espacio público y predios privados reducen los volúmenes máximos de escorrentía en la subcuenca 1: 9,33%, subcuenca: 2 13,32%, subcuenca 3: 9,54%, subcuenca 4: 9,68%, subcuenca 5: 5,01%, subcuenca 6: 12,38%, subcuenca 7: 4,59%, subcuenca 8: 4,80%, subcuenca 9: 3,62% del total del volumen de escorrentía que soporta cada subcuenca.
6. La inclusión de SUDS en espacio público y predios privados disminuye el volumen de escorrentía que corre por la zona de estudio, la cantidad de sistemas y su localización determinan su aporte en la atenuación de inundaciones.

Recomendaciones

1. Se recomienda al Gobierno Autónomo Descentralizado de la ciudad de Ambato actualizar El Plan de Ordenamiento Territorial de Ambato considerando la inclusión de SUDS en espacios públicos como formas de gestión de aguas pluviales, que aporten con la disminución de riesgos naturales.
2. Impulsar políticas ambientales relacionadas a la gestión del agua en las ciudades, que permitan afrontar problemas de drenaje de una manera más sostenible.
3. Analizar la posibilidad de inclusión de tanques de retención en predios privados que contribuyan en la disminución de caudales de escorrentía y que permitan la utilización posterior del recurso.
4. Tener presente, si es un actor involucrado en procesos de urbanismo o construcción, que la impermeabilización excesiva con asfaltos, puede provocar cambios en el ciclo hidrológico con consecuencias que pueden llegar a ser catastróficas.

BIBLIOGRAFÍA

- Abellán, A. (2014). Sud Sostenible: Componentes típicos de un sistema de bioretención. Madrid España. Recuperado de: <http://sudsostenible.com/componentes-tipicos-de-un-sistema-de-biorretencion/>
- Aguilar Rojas, L. Y., Calderón Gómez, A., & Medina Piza, D. L. (2018). Análisis comparativo de los sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS) caso de estudio carrera 4 y carrera 5 entre calles 68 y 71, sector Chapinero alto, Bogotá, Colombia.
- Alcaldía Mayor de Bogotá, Secretaria de Medio Ambiente (2011) Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible SUDS para el plan de Ordenamiento Zonal Norte POZN, disponible en [http:// ambientebogota.gov.co/ documents/ 10157/73754/Sistema Urbano +de+Drenaje+ Sostenible](http://ambientebogota.gov.co/documents/10157/73754/SistemaUrbano+de+Drenaje+Sostenible).
- Angeoletto, F., Essy, C., Sanz, J. P. R., da Silva, F. F., Albertin, R. M. y Santos, J. W. M. (2015). Ecología Urbana: La Ciencia Interdisciplinaria del Planeta Ciudad. *Desenvolvimento em Questão*, 13(32), 6-20. <https://doi.org/10.21527/2237-6453.2015.32.6-20>
- Ávila, H. (2012). Perspectiva del manejo del drenaje pluvial frente al cambio climático-caso de estudio: Ciudad de Barranquilla, Colombia. *Revista de Ingeniería*, (36), 54-59.
- Azagra, A. (2006). Particularización al método de los coeficientes de escurrimiento. Valladolid, España.
- Botero Franco, A. (2018). Definición de un procedimiento para la planeación de sistemas de drenaje sostenibles y flexibles en cuencas urbanas en expansión. Escuela de Geociencias y Medio Ambiente.
- Brown, R., & Clarke, J. (2007). The transition towards Water Sensitive Urban Design: a socio-technical analysis of Melbourne, Australia. NOVATECH 2007.

- Burn, S., Maheepala, S., & Sharma, A. (2012). Utilising integrated urban water management to assess the viability of decentralised water solutions. *Water Science and Technology*, 66(1), 113-121.
- Burns, M. J., Fletcher, T. D., Duncan, H. P., Hatt, B. E., Ladson, A. R., & Walsh, C. J. (2015). The performance of rainwater tanks for stormwater retention and water supply at the household scale: an empirical study. *Hydrological Processes*, 29(1), 152-160.
- Caicedo Mafla, M. A. (2015). *Propuesta para un modelo sostenible del ciclo del agua en el Parque Bicentenario de Quito, Ecuador* (Master's thesis, Barcelona/Universidad Politécnic de Catalunya).
- Charlotte-Mecklenburg Stormwater Services (CMSWS). (2013). Charlotte-Mecklenburg BMP design manual (Revised Edition).
- Chávez, O. A. R. (2012) PANORAMA DE LA INGENIERÍA EN MÉXICO Y EL MUNDO. Academia de ingeniería de México
- Chocat, B., Krebs, P., Marsalek, J., Rauch, W., & Schilling, W. (2001). Urban drainage redefined: from stormwater removal to integrated management. *Water Science and Technology*, 43(5), 61-68.
- Council of Australian Governments (COAG) Meeting. (2004); Celebrado en Canberra 25 Junio, 2004. Disponible en http://archive.coag.gov.au/coag_meeting_outcomes/2004-06-25/index.cfm
- Conferencia de las Naciones Unidas sobre la Vivienda y el Desarrollo Urbano Sostenible Hábitat III. (2017). Nueva Agenda Urbana. Quito – Ecuador.
- Cubides, E., & Santos, G. (2018). Control de escorrentías urbanas mediante Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS): Pozos/Zanjas de infiltración. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 12(24), 32-42.

- Fletcher, T. D., Andrieu, H., & Hamel, P. (2013). Understanding, management and modelling of urban hydrology and its consequences for receiving waters: A state of the art. *Advances in water resources*, 51, 261-279.
- Fletcher, T. D., Shuster, W., Hunt, W. F., Ashley, R., Butler, D., Arthur, S., & Mikkelsen, P. S. (2015). SUDS, LID, BMPs, WSUD and more—The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. *Urban Water Journal*, 12(7), 525-542.
- Gobattoni, F., Pelorosso, R., Piccinni, A. F., & Leone, A. (2017). The sustainability of the urban system from a hydrological point of view: a practice planning proposal. *UPLanD-Journal of Urban Planning, Landscape & environmental Design*, 2(3), 101-122.
- Georgia Stormwater Management Manual, Vol. 2 (GSMM) (2016). Atlanta Regional Commission, Atlanta, GA, USA.
- Guachamín, W., García, F., Arteaga, M., & Cadena, J. (2015). Determinación de ecuaciones para el cálculo de intensidades máximas de precipitación.
- Hudson, N. W. (1997). Medición sobre el terreno de la erosión del suelo y de la escorrentía (Vol. 68). Food & Agriculture Org.
- Ilustre Consejo Cantonal de Ambato. ICCA. (2009). Plan de Ordenamiento Territorial Ambato 2020. Ambato, Ecuador, 151p.
- Jaume, A. T. (2016). Gestión de las aguas pluviales en entornos urbanos mediante técnicas de Drenaje Sostenible. *Journal of Engineering and Technology*, 5(2), 26-40.
- Jiménez Ariza, S. L., 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*, 11(8), 2312.

- Kabisch, N., Frantzeskaki, N., Pauleit, S., Naumann, S., Davis, M., Artmann, M., & Zaunberger, K. (2016). Nature-based solutions to climate change mitigation and adaptation in urban areas: perspectives on indicators, knowledge gaps, barriers, and opportunities for action. *Ecology and Society*, 21(2).
- La Hora, Diario (2018). Continúan los trabajos en los proyectos emergentes. *La Hora*. Recuperado de <https://lahora.com.ec/tungurahua/noticia/1102189135/continuan-los-trabajos-en-los-proyectos-emergentes-de-ambato>
- Lau, A. Y., Tsang, D. C., Graham, N. J., Ok, Y. S., Yang, X., & Li, X. D. (2017). Surface-modified biochar in a bioretention system for *Escherichia coli* removal from stormwater. *Chemosphere*, 169, 89-98.
- Maisanche, Fabián (2015). Avenidas y calles de Ambato se inundaron por una intensa lluvia. *El Comercio*. Recuperado de <https://www.elcomercio.com/actualidad/ambato-inundacion-lluvia-clima.html>
- Mah, Y. S., Wong, A. E. L., & Teo, F. Y. (2018). Modelling of Grassed Road Divider as Bio-Retention System for Urban Road Drainage. *Journal of Applied Science & Process Engineering*, 5(2), 266-276.
- Momparler, P., Doménech, A., Hernández-Crespo, C., Vallés-Morán, F., Bueno, M., & Andreu, J. (2017). The role of monitoring sustainable drainage systems for promoting transition towards regenerative urban built environments: a case study in the Valencian region, Spain. *Journal of Cleaner Production*, 163, S113-S124.
- Morales, M. S. R., Mendoza, J. A. S. P., & Esparza, A. R. (2015). Drenaje Pluvial: Manejo del drenaje pluvial mediante control de la fuente de escurrimientos superficiales. *CULCyT*, (56).

Moreno, S. (2013) *CAPTACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE AGUA DE LLUVIA.*

Opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe. Santiago de Chile.

Oromedios, Noticias (2018). Medidas para solventar problemas por inundaciones plantea alcalde de Ambato. *Oromedios*. Recuperado de <http://www.oromedios.com/medidas-para-solventar-problemas-por-inundaciones-plantea-el-alcalde-de-ambato/>

Pérez, S. (2015). Recursos Naturales y páramos. H. Gobierno Provincial de Tungurahua. Ambato. Recuperado de <http://rrnn.tungurahua.gob.ec/documentos/ver/56cc9a4283ba88c90ac8c289>.

Petit-Boix A, Sevigné-Itoiz E, Rojas-Gutierrez LA, Barbassa AP, Josa A, Rieradevall J, Gabarrell X, Floods and consequential life cycle assessment: Integrating flood damage into the environmental assessment of stormwater Best Management Practices, *Journal of Cleaner Production* (2017), doi: 10.1016/j.jclepro.2017.06.047.

Pinto, Wilson (2018). Intensa lluvia causó estragos en Ambato. *El Universo*. Recuperado de <https://www.eluniverso.com/noticias/2018/02/19/nota/6631216/intensa-lluvia-causo-estragos-ambato>

Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021. Toda una Vida © Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo Senplades 201. Quito – Ecuador

Potocnik, J. (2012). Directrices sobre mejores prácticas para limitar, mitigar o compensar el sellado del suelo. Unión Europea. Luxemburgo.

República del Ecuador. Ministerio del Ambiente (2012). *Estrategia Nacional de Cambio Climático del Ecuador 2012-2025*

Rodríguez-Rojas, M. I., Cuevas-Arrabal, M. D. M., Moreno Escobar, M. B., & Martínez Montes, G. (2017). El cambio de paradigma de la gestión del drenaje urbano desde la perspectiva del planeamiento. Una propuesta metodológica.

- Roy-Poirier, A., Champagne, P., & Fillion, Y. (2010). Review of bioretention system research and design: past, present, and future. *Journal of Environmental Engineering*, 136(9), 878-889.
- Rueda, S., Cuchí, A., Subirats, J., de Mingo, M., & Díaz, A. (2007). Libro verde del medio ambiente urbano. Agencia de ecología Urbana de Barcelona. Barcelona.
- Sharma, A. K., Rashednia, S., Gardner, T., & Begbie, D. (2019). WSUD Design Guidelines and Data Needs. In *Approaches to Water Sensitive Urban Design* (pp. 75-86). Woodhead Publishing.
- Schaller, S., Jean-Baptiste, N., & Lehmann, P. (2016). Oportunidades y obstáculos para la adaptación urbana frente al cambio climático en América Latina: Casos de la Ciudad de México, Lima y Santiago de Chile. *EURE (Santiago)*, 42(127), 257-278.
- Schwab, G. O., Frevert, R. K., Edminster, T. W., & Barnes, K. K. (1981). *Soil and water conservation engineering*. John Wiley and Sons.
- Shrestha, P., Hurley, S. E., & Wemple, B. C. (2018). Effects of different soil media, vegetation, and hydrologic treatments on nutrient and sediment removal in roadside bioretention systems. *Ecological Engineering*, 112, 116-131.
- Shuster, W. D., Darner, R. A., Schifman, L. A., & Herrmann, D. L. (2017). Factors contributing to the hydrologic effectiveness of a rain garden network (Cincinnati OH USA). *Infrastructures*, 2(3), 11.
- Wong, T. H., & Brown, R. R. (2009). The water sensitive city: principles for practice. *Water science and technology*, 60(3), 673-682.
- Woods Ballard, B., Wilson, S., Udale-Clarke, H., Illman, S., Scott, T., Ashley, R., & Kellagher, R. (2015). *The SuDS Manual*; CIRIA: London, UK.
- Young, K. D., Younos, T., Dymond, R. L., Kibler, D. F., & Lee, D. H. (2010). Application of the analytic hierarchy process for selecting and modeling stormwater best

management practices. *Journal of Contemporary Water Research & Education*, 146(1), 50-63.