

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK



FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y AMBIENTALES

Trabajo de Fin de Carrera Titulado:

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE DRENAJE SOSTENIBLE PARA LA GESTIÓN DE
AGUA LLUVIA EN EL VALLE DE LOS CHILLOS”**

Realizado por:

ALEJANDRO HERNÁN FLORES VEGA

Director del proyecto:

PH.D. MIGUEL MARTÍNEZ-FRESNEDA

Como requisito para la obtención del título de:

INGENIERO AMBIENTAL

Quito, 10 de mayo de 2017

DECLARACIÓN JURAMENTADA

Yo, ALEJANDRO HERNÁN FLORES VEGA, con cédula de identidad # 1725470056, declaro que bajo juramento el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley De Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.


1725470056-6
FIRMA Y CÉDULA

DECLARATORIA

El presente trabajo de investigación titulado:

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE DRENAJE
SOSTENIBLE PARA LA GESTIÓN DE AGUA LLUVIA
EN EL VALLE DE LOS CHILLOS”**

Realizado por:

ALEJANDRO HERNÁN FLORES VEGA

como Requisito para la Obtención del Título de:

INGENIERO AMBIENTAL

ha sido dirigido por el profesor:

MIGUEL MARTÍNEZ-FRESNEDA

quien considera que constituye un trabajo original de su autor



FIRMA

LOS PROFESORES INFORMANTES

Los Profesores Informantes:

KATTY CORAL

JOSÉ SALAZAR

Después de revisar el trabajo presentado, lo han calificado
como apto para su defensa oral ante el tribunal examinador



FIRMA



FIRMA

Quito, 21 de diciembre de 2017

Dedicatoria.

A mi familia, mis hermanos y principalmente mis padres, Javier Flores y Sandra Vega, quienes con su cariño, guía, apoyo incondicional y gran ejemplo han sido el pilar fundamental para alcanzar esta importante meta en mi vida, ya que sin ellos y su constante motivación por salir adelante nada de esto se hubiera logrado. A ellos, siempre Gracias.

10-05-2017 9:21 a.46.p.46.

Para someter a: Interiencia. Revista de Ciencia y Tecnología de América

To be submitted: Interiencia. Science and Technology Magazine of America

Diseño de un sistema de drenaje sostenible para la gestión de agua lluvia en el Valle de los Chillos

Alejandro Flores¹, Miguel Martínez-Fresneda^{1*}

¹Universidad Internacional SEK, Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales, Quito,

Ecuador. 10-05-2017 9:21 a.46.p.46.

*AUTOR DE CORRESPONDENCIA: Ph.D. Miguel Martínez-Fresneda, Universidad Internacional SEK, Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales, Quito, Ecuador.

Teléfono: 0958786432; email: mestre.martinez@uisek.edu.ec

Título corto o Running Tittle: Diseño de un sistema de drenaje sostenible...

Resumen.

Durante los últimos años las catástrofes naturales han ido en aumento debido al cambio climático que está atravesando el planeta. Los fuertes temporales invernales, específicamente en Latinoamérica, han provocado desastres que han dejado como consecuencia grandes pérdidas tanto humanas como económicas, como lo ocurrido en el poblado colombiano Mocoa donde las inundaciones, provocadas por las fuertes lluvias y el deficiente o inexistente sistema de drenaje, destruyeron parte del mismo en el año 2017. Muchas de las ciudades o poblaciones que se ven afectadas por la fuerza de la naturaleza, en este caso por las fuertes lluvias, no cuentan con sistemas de drenaje adecuados o son diseños que colapsan cuando la cantidad de agua pluvial sobrepasa su capacidad de trabajo. Las zonas topográficamente más bajas de Sangolquí son vulnerables a inundaciones debido a que el poblado se encuentra en un valle. Una de las alternativas a la gestión de agua lluvia son los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), los cuales están enfocados a realizar un mejor manejo de estas aguas, empezando por su captación, realizando la depuración adecuada, y reinsertándolas en la naturaleza o dándoles un mejor uso en las actividades humanas. Estas medidas permitirán disminuir las aguas de escorrentía que se pudieran generar en las zonas bajas de Sangolquí, evitando que se produzcan mayores daños a infraestructuras o eventos no deseados como las inundaciones.

Palabras clave: SUDS, Desastres Naturales, Ecuador, Inundaciones, Agua de Escorrentía, Ciclo Urbano del Agua.

Abstract.

During the last years natural disasters have been increasing due to the climate change that is going through the planet. The strong winter storms, specifically in Latin America, have caused disasters that have resulted in great losses both human and economic, as happened in the Colombian town of Mocoa where floods, caused by heavy rains and the deficient or nonexistent drainage system, They destroyed part of it in the year 2017. Many of the cities or towns that are affected by the force of nature, in this case due to heavy rains, do not have adequate drainage systems or are designs that collapse when the amount of rainwater exceeds their capacity to work. The topographically lower Sangolquí areas are vulnerable to flooding because the town is in a valley. One of the alternatives to rainwater management is the Best Management Practices (BMP's), which are focused on making a better management of these waters, starting with their catchment, performing the appropriate purification, and reinserting them into nature or giving them a better use in human activities. These measures will allow reducing runoff water that could be generated in the lower areas of Sangolquí, avoiding greater damage to infrastructures or undesired events such as floods.

Key words: BMP's, Natural Disasters, Ecuador, Floods, Runoff, Urban Water Cycle.

Introducción.

En la actualidad las fuertes lluvias y el evidente cambio climático que está atravesando el planeta impulsan a que sectores vulnerables, como poblaciones con deficiente estructura o malos servicios de alcantarillado, se vean más afectadas por estas catástrofes debido a la gran acumulación de agua que se produce (Khamis & Osorio, 2013).

Una de las problemáticas más graves por la que están pasando muchas poblaciones a nivel mundial y específicamente latinoamericano, son las inundaciones. Estos fenómenos naturales causan devastación generalizada, graves daños económicos e incluso pérdidas humanas (Fernández & Buss, 2016).

Otro de los factores que impulsan a que se den estos siniestros es el gran crecimiento de la población, y el consecuente aumento de la infraestructura urbana, provocando principalmente pérdida de la cubierta vegetal haciendo que el suelo pierda su capacidad de infiltración del agua.

Esta modificación de la naturaleza aumenta las superficies impermeables provocando que los sistemas de drenaje colapsen y se acumulen las aguas de escorrentía superficial, dando paso a las inundaciones (Martínez, 2013).

En lo que respecta a América del Sur, la región es una de las más afectadas por los desastres naturales. Países como Colombia, Venezuela, Perú, Paraguay, Bolivia y Ecuador se encuentran muy expuestos a catástrofes tales como fuertes lluvias debido al cambio climático; y a inundaciones y corrimientos de tierra; sin embargo la capacidad local para reaccionar frente a tales desastres es muy limitada (Comisión Europea, 2015).

Uno de los casos más recientes de tragedias por consecuencia de desastres naturales en la región es lo ocurrido en el municipio colombiano de Mocoa en donde, según la información conocida hasta el 2 de abril de 2017, el número de víctimas mortales llegaba a 206 personas, 202 heridos

y aun se buscaba a 220 individuos desaparecidos, todo como resultado de las fuertes lluvias e inundaciones que destruyeron parte del poblado (Betín, 2017).

El Ecuador se encuentra en una región donde sus costas se ven afectadas por las sequías e inundaciones de forma regular debido a las características del relieve de la zona, lo que hace difícil el drenaje del agua lluvia. Los fenómenos relacionados con el cambio climático aumentan la intensidad, la impredecibilidad y la frecuencia de sus efectos (Cadier & Gómez, 1997).

Fenómenos como El Niño o La Niña, causan temperaturas inusualmente altas y frías respectivamente en el Pacífico ecuatorial, se mantienen generando cambios extremos en el clima y provocan fuertes daños en la economía local, así como pérdidas significativas de animales de granja, cosechas e infraestructura de las poblaciones afectadas (Comisión Europea, 2015).

Las constantes lluvias que se presentan en la parte occidental y central del Ecuador se concentran especialmente entre los meses de febrero y mayo, durante los cuales la Corriente Cálida de “El Niño” propasa la Corriente Fría de Humboldt en dirección al sur, provocando así fuertes lluvias (Cadier, Gómez, Calvez, & Rossel, 1993).

Estas fuertes precipitaciones pueden extenderse durante varios meses provocando graves inundaciones, principalmente en las zonas bajas. Las provincias que suelen verse afectadas por el temporal invernal son Manabí, Esmeraldas, Guayas, El Oro, Chimborazo, Tungurahua, Pichincha, Imbabura, Los Ríos, Santo Domingo de los Tsáchilas, Carchi y Santa Elena (Zorrilla, 2013).

Las intensas épocas invernales que atraviesa nuestro país afectan principalmente a aquellas zonas en las que el ciclo natural del agua se ve alterado por la remoción de cobertura vegetal y

aumento de infraestructura urbana, lo que implica que aumente el agua de escorrentía produciéndose grandes inundaciones que afectan a la población en general.

En el Ecuador, actualmente no existen Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (conocidos como SUDS) aplicados a la gestión del agua lluvia para complementar el trabajo realizado por los diseños de drenaje convencionales. La gestión del agua de escorrentía se da, en la mayoría de los casos, mediante el alcantarillado y los medios de drenaje comunes; sin embargo, se han diseñado sistemas para almacenar temporalmente el agua de las precipitaciones, un ejemplo es el “Diseño de un Sistema de Almacenamiento Temporal de Aguas de Drenaje Urbano” realizado por Karla García (2015), en la Universidad Central del Ecuador.

El ejemplo más cercano de uso de SUDS en la región son los proyectos e iniciativas sobre el control de inundaciones tomadas en la ciudad de Bogotá, Colombia. La Alcaldía de esta ciudad ya ha realizado varios estudios sobre estos diseños enfocados a la gestión de agua de lluvia, uno de los primeros fue *“Factibilidad técnica, ambiental, económica, y financiera para el desarrollo de la infraestructura de acueducto y alcantarillado sanitario y sistema de drenaje pluvial del borde norte de la ciudad de Bogotá”*, trabajo realizado en conjunto con la Empresa de Alcantarillado y Acueducto de esa ciudad.

En el caso de otras regiones, en países desarrollados como EE.UU. o el Reino Unido, la implementación de SUDS como alternativa a la gestión de agua lluvia está siempre considerada de forma prioritaria al momento de la planificación de la infraestructura para el manejo adecuado de aguas de escorrentía en las zonas urbanas (Molina, Gutiérrez, & Salazar, 2011).

La filosofía que manejan estos países consiste principalmente en tratar de reproducir, de la mejor manera posible, el ciclo natural del agua antes de que se diera la urbanización en la zona, teniendo siempre claras aquellas regulaciones que indican que el caudal que proviene de aguas

de escorrentía y que va a ser descargado a los cuerpos de agua, no debe ser mayor que el caudal que se generaba previo al desarrollo urbanístico (Molina, Gutiérrez, & Salazar, 2011).

La implementación de sistemas de control, remediación y prevención son necesarios para evitar que las pérdidas económicas y humanas que se producen, en este caso por las inundaciones, sean tan representativas considerando que las zonas más vulnerables o propensas a verse más afectadas son aquellas en donde la población no cuenta con grandes recursos económicos y su infraestructura no es la adecuada para soportar dichos desastres naturales.

El presente estudio tuvo como objetivo proponer una combinación de SUDS mediante el uso y análisis de los datos meteorológicos y topográficos de la parroquia urbana Sangolquí, ubicada en el cantón Rumiñahui, para conocer los meses en donde existen más lluvias y las zonas más vulnerables a inundaciones o zonas sumidero, y de esa manera gestionar de forma adecuada el agua lluvia y de escorrentía, evitando que se den inundaciones.

El Cantón Rumiñahui se ubica al sur de la Provincia de Pichincha, en el Valle de los Chillos, tiene una superficie total de 139 km² y una altitud de 2550 msnm. Se constituye políticamente por las parroquias urbanas de Sangolquí (49 km²), San Pedro de Taboada (4 km²) y San Rafael (2 km²), y por las parroquias rurales Cotogchoa (34 km²) y Rumipamba (40 km²) (Gobierno de Pichincha, 2002).

Está regido por el Gobierno Municipal de Rumiñahui (GADMUR), limita al norte, este y oeste con el Distrito Metropolitano de Quito, y al sur con el Cantón Mejía y su población, según el último censo realizado por el INEC en el 2010, es de 85852 habitantes (Gobierno de Pichincha, 2002).

En lo que respecta a Sangolquí, su cabecera cantonal, abarca un territorio de 55 km² de superficie, conteniendo a las parroquias urbanas San Pedro de Taboada, San Rafael y

Sangolquí. Se encuentra a 2500 msnm, su temperatura promedio oscila alrededor de los 17° C y su población es de 75080 habitantes, según los datos obtenidos en el 2010 (Gobierno de Pichincha, 2002).

Esta localidad fue la seleccionada para realizar el presente estudio debido a su cercanía a la ciudad de Quito, la problemática de inundaciones que se presenta en ciertos sectores por ubicarse en un valle, y el fácil acceso a la información necesaria referente a la intensidad de lluvias y topografía de la localidad.

Para comprender de mejor manera todo lo relacionado con los SUDS, se deben considerar los siguientes conceptos y definiciones:

Gestión de Agua Lluvia

La gestión del agua puede definirse como un complejo proceso que tiene como meta regular el ciclo que tiene este recurso en zonas urbanas, en donde está expuesta a ser alterada o contaminada, permitiendo que pueda ser utilizada en distintos procesos posteriores (Pinto, 1994).

De esta manera también se puede dar solución a conflictos entre usuarios que dependen de compartir el agua y de su correcta administración. Por esta razón el proceso de gestión del agua requiere un equipo capacitado en distintas ramas que actúen en conjunto para obtener un correcto uso del recurso dependiendo de las necesidades del sector (Pinto, 1994).

Para Gonzaga (2015), la gestión del agua de lluvia ha existido desde la antigüedad y ha tenido siempre como objetivo dar un aprovechamiento adecuado a las aguas pluviales.

Lo que busca es almacenar la mayor cantidad de agua que se produce en las precipitaciones para que pueda ser tratada y distribuida hacia las necesidades básicas, sistemas de riego, actividades industriales, o devueltas a su ciclo natural (Gonzaga, 2015).

Ciclo Urbano del Agua

El aumento de población y de urbanización conlleva impactos negativos sobre la naturaleza, alterando los distintos ciclos naturales que allí se dan. Como ya se conoce, el ciclo que realiza el agua en la naturaleza atraviesa las siguientes etapas: Evaporación, Condensación, Precipitación e Infiltración; sin embargo el Ciclo Urbano del Agua es muy distinto (Prieto, 2010).

El Ciclo Urbano del Agua inicia desde que las precipitaciones que se generan en las nubes de agua atraviesan una gran nube de contaminación atmosférica la cual es generada por las ciudades y sus zonas aledañas, hasta que finalmente es depurada y reinsertada a su ciclo natural o reutilizada por el hombre.

Una vez que el agua llega al suelo arrastra toda la contaminación que se encuentra en las superficies que se han vuelto prácticamente impermeables hasta llegar a los sistemas de drenaje. A partir de esto lo que se busca es captar y almacenar el agua para que ingrese a los procesos de saneamiento y depuración, y finalmente es reutilizada o reinsertada en la naturaleza (Sánchez, 2014).

Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS)

Durante los últimos años, el aumento progresivo del desarrollo urbano ha provocado que los sistemas de alcantarillado y de drenaje convencional de las ciudades se vean sobrepasados en su capacidad de trabajo durante el temporal de lluvias debido a que estos reciben gran cantidad

de agua, provocándose así las inundaciones (Fernández & Buss, 2016). Por esta razón se ha buscado implementar los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible.

Los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible, conocidos por sus siglas como SUDS son muy utilizados en varias ciudades del mundo como una alternativa a la gestión adecuada del agua de lluvia. Mediante el uso de SUDS lo que se busca es reducir el agua de escorrentía y proporcionar un sistema de drenaje adicional a los ya existentes, dando un manejo adecuado del recurso e incluso buscando su adecuado manejo y de ser posible, su remediación.

Los SUDS, también conocidos como BMP's (Best Management Practices), tienen como objetivo principal *“disminuir tanto los problemas de calidad como de cantidad de las escorrentías urbanas, maximizando la integración paisajística y los valores sociales y ambientales de las actuaciones programadas, y minimizando los impactos del desarrollo urbanístico”* (Molina, Gutiérrez, & Salazar, 2011).

En otras palabras, la ideología de los SUDS es reproducir de la forma más adecuada el ciclo que realizaba el agua de forma natural antes de que se dé la urbanización o exista intervención humana. Lo que se busca es disminuir los daños urbanísticos producidos por la cantidad y la calidad de la escorrentía, considerando su origen, transporte y destino; y mejorando la calidad del paisaje y del ambiente en general (Lara & Prieto, 2014).

Sin embargo, la utilidad de los SUDS no se limita únicamente a la resolución de la acumulación del agua lluvia, si no que se puede aplicar también a la gestión de la escorrentía superficial que se produce por el baldeo de las calles, sobrantes de riego, estanques ornamentales, vaciado de fuentes, etc. (Perales & Andrés-Doménech, 2008).

Según lo descrito por Perales & Andrés-Doménech (2016), los objetivos de los SUDS son:

- *Proteger la calidad del agua:* cuidar la calidad de los cuerpos de agua encargados de recibir el agua de escorrentía urbana.
- *Incrementar el valor añadido minimizando costes:* disminuir el valor de las infraestructuras de drenaje a la par del aumento del valor del entorno.
- *Proteger los sistemas naturales:* mejorar y cuidar el ciclo del agua en los entornos urbanos.
- *Reducir volúmenes de escorrentía y caudales punta:* disminuir los caudales punta que provengan de zonas urbanizadas por medio de elementos de retención y reduciendo áreas impermeables.
- *Integrar el tratamiento de las aguas de lluvia en el paisaje:* aumentar el servicio al ciudadano mejorando el paisaje con la inclusión de láminas de agua y/o cursos en el entorno.

En lo que se refiere a su tipología, los SUDS se pueden clasificar en Medidas No Estructurales y Medidas Estructurales. Las Medidas No Estructurales son aquellas cuyo objetivo es el de prevenir la posible contaminación del agua lluvia, eliminando o disminuyendo la generación del contaminante en la fuente, esto se realiza por medio de charlas de concientización a la ciudadanía, limpieza adecuada de las zonas de desagüe o alcantarillado, control del arrastre de sedimentos, etc (Perales & Andrés-Doménech, 2008).

Por otro lado, las Medidas Estructurales son aquellas que implican la construcción o modificación de la infraestructura del área en donde se quiere realizar la gestión del agua lluvia por medio de los SUDS. Dentro de estas medidas se encuentran las Cunetas Verdes, Cubiertas Vegetales, Superficies Permeables, Drenes Filtrantes o Franceses, Depósitos de Infiltración y de Detención, Franjas Filtrantes, Estanques de Retención y Humedales (Perales & Andrés-Doménech, 2008).

Según Perales & Andrés-Doménech (2008), para que todas las medidas que se tome cumplan con sus objetivos, se debe seguir una cadena de gestión la cual consta de los siguientes pasos: Prevención, Control en el Origen, Gestión en entorno Urbano y Gestión en Cuencas.

Una vez realizados todos los análisis necesarios de las precipitaciones y de la topografía de Sangolquí para identificar las zonas más vulnerables a inundaciones, se propone el diseño de SUDS que más se ajusta a las necesidades de estos sectores, permitiendo controlar la escorrentía del lugar.

Clasificación y Tipología de los SUDS

Al estudiar los SUDS, son muchas las clasificaciones que se les puede dar a estos sistemas de drenaje, sin embargo una de las más comunes es la mencionada anteriormente, la cual divide a los SUDS en Medidas Estructurales y Medidas No Estructurales.

El presente estudio se enfocó en las medidas estructurales, ya que estas intervienen de manera directa sobre el agua lluvia y representan una alternativa y apoyo a los sistemas de drenaje convencionales.

En lo descrito por Sañudo, Rodríguez & Castro (2013), estas Medidas Estructurales pueden subdividirse en Sistemas de Infiltración y Control en el Origen, Sistemas de Captación y Transporte, y Sistemas de Tratamiento y Almacenamiento.

Los Sistemas de Infiltración y Control en el Origen están enfocados a la infiltración del agua de escorrentía superficial en el suelo en donde se empieza a generar. Para que la infiltración se dé de forma adecuada se deben realizar estudios previos del terreno para conocer principalmente su permeabilidad y nivel freático para evitar afecciones a aguas subterráneas. Estos sistemas de infiltración están recomendados para situarse a no menos de 5 metros de

distancia de edificaciones, ya que el agua infiltrada puede dañar los cimientos (Rodríguez, 2013).

Lo que se busca con el control en el origen es recuperar en parte la capacidad de infiltración de las superficies naturales previo a la urbanización, aumentando las zonas permeables por medio de zonas verdes, superficies permeables o depósitos de infiltración (Trapote Jaume, 2016).

- Techos Verdes: Consiste en una multicapa de cubierta vegetal para utilizarla principalmente en terrazas o tejados. Estas superficies permiten retener el agua pluvial disminuyendo la escorrentía que se puede producir, retienen contaminantes atmosféricos y trabaja como aislante térmico en los edificios (Martínez, 2013).

La vegetación que vaya a ser ocupada para este caso en particular debe ser perdurable tanto en épocas lluviosas como secas, capaz de soportar condiciones de calor, frío y vientos extremos, no debe requerir fertilizantes ni herbicidas, y tener poco requerimiento de agua una vez que ha sido colocada. Es recomendable utilizar una amplia variedad de plantas para ayudar a la estética y favorecer la biodiversidad (Martínez, 2013).

Según Martínez (2013), para determinar el tipo de recubrimiento a usarse se debe establecer un período de retoro (TR) de 2 años para lluvia; se debe impermeabilizar las cubiertas y contar con un drenaje adecuado para evitar que el agua captada se empoce. Dichos criterios permiten el diseño de los techos verdes.

- Superficies permeables: Son aquellas superficies resistentes o no al tráfico, que permiten la infiltración del agua en el suelo. Las que no son resistentes al tráfico están destinadas a formar parte de parques, paseos, jardines, etc., mientras que las superficies resistentes son principalmente pavimentos permeables que permiten el paso del agua (Sanduño, Rodríguez, & Castro, 2013).

Estas superficies permeables están clasificadas, en función de la superficie que se va a pavimentar y de la ausencia o presencia de almacenamiento, como Pavimento poroso, Adoquines permeables con almacenamiento y adoquines permeables sin almacenamiento (Martínez, 2013).

El funcionamiento adecuado de estas superficies permeables se da cuando se consideran criterios físicos como realizar estudios de factibilidad y elección de materiales, criterios ambientales los cuales están relacionados con el impacto sobre la calidad del agua, y los criterios económicos que permiten la elección de las soluciones (Trapote Jaume, 2016).

Para la aplicación de las Superficies Permeables se debe considerar el Análisis de la Factibilidad, que permite determinar si es conveniente utilizar el pavimento poroso; el Dimensionamiento, que consiste en disponer de las características del terreno; y el Diseño de Detalle, que se refiere al diseño de los planos de la obra y sus especificaciones técnicas especiales y generales (Rodríguez, 2013).

Se debe considerar que la permeabilidad de las superficies se verá afectada por aportes exteriores de sedimentos los cuales son arrastrados por el viento o el agua y se acumulan con el paso del tiempo, haciendo que la superficie se vuelva impermeable (Sanduño, Rodríguez, & Castro, 2013).

- Pozos y Zanjas de Infiltración: Son trincheras y perforaciones que se rellenan de material drenante recubiertas por una superficie permeable. Las zanjas son consideradas más eficientes que los pozos, desde el punto de vista constructivo, debido a que son más anchas y menos profundas (Sanduño, Rodríguez, & Castro, 2013).

Según Martínez (2013), las zanjas son obras longitudinales que poseen una profundidad recomendada de entre 1 y 3 metros, reciben el agua en toda su extensión captando el flujo

superficial de las lluvias y evacuándolo por medio de la infiltración hacia el subsuelo. De no ser posible la captación del agua en toda la longitud de la zanja, se puede alimentarla mediante una tubería por uno de sus extremos, estableciendo cámaras de entrada y salida.

Estas Zanjas de Infiltración deben ser ubicadas cerca de las zonas permeables donde se genera la escorrentía, de esta manera reciben el agua limpia.

Las principales características que se consideran en su diseño son la elección del tipo de materiales a usarse y la capacidad de absorción del suelo. Además de esto otros de los requerimientos son: plano que muestre las superficies que drenan a la zanja, cuadros de superficies con sus áreas y coeficientes de escorrentía y precipitación máxima de 24 horas de duración y TR de 10 años. Es recomendable realizar un estudio de porosidad del material que se utilice para relleno, y así determinar su capacidad de infiltración (Martínez, 2013).

Estos SUDS son especialmente usados en complejos deportivos, espacios públicos y áreas recreativas; sin embargo, para la gestión de agua de escorrentía en cuencas impermeables y realizar su infiltración, estas zanjas pueden resultar insuficientes (Rodríguez, 2013).

- Depósitos de Infiltración: Son embalses que se encuentran en la superficie del suelo y son de poca profundidad, en los cuales se almacena el agua hasta que se dé su infiltración. De igual forma que las zanjas de infiltración, estos depósitos suelen construirse con una salida de emergencia para el agua en caso de que su capacidad de almacenamiento se vea superada (Rodríguez, 2013).

Los depósitos de infiltración tienen una forma irregular, sus bases deben ser anchas y sus taludes laterales deben estar cubiertos por vegetación. Estos depósitos tienen la capacidad de recoger el agua de cuencas mayores que los pozos de infiltración, ya que de ser necesario

también permiten el almacenamiento superficial temporal de la escorrentía (Castro, Rodríguez, Rodríguez, & Ballester, 2015).

El rendimiento de este SUDS puede mejorarse mediante la aplicación de tratamientos previos que ayuden a disminuir el ingreso de materiales sólidos que pueden contaminar y taponar el sistema de infiltración (Castro, Rodríguez, Rodríguez, & Ballester, 2015).

Los Sistemas de Captación y Transporte están destinados a acumular el agua de escorrentía superficial para transportarla lentamente hasta los destinos de tratamiento y vertido (Sanduño, Rodríguez, & Castro, 2013).

Dichos sistemas pueden cubrirse en su parte inferior por un geosintético, como una geomembrana impermeable si no es recomendable la infiltración del agua, o un geotextil permeable si las características del suelo permiten la infiltración directa. Estos sistemas pueden ser superficiales como las cunetas verdes o subterráneos como los drenes filtrantes (Trapote Jaume, 2016).

- **Cunetas Verdes:** Son canales que han sido recubiertos con césped los cuales conducen el agua que se acumula en la superficie de drenaje directamente al alcantarillado o a un sistema de almacenaje. Generalmente estos canales son colocados en los bordes de las veredas por lo que también se las nombra cunetas verdes (Trapote Jaume, 2016).

Si se comparan las Cunetas Verdes con los sistemas convencionales de drenaje de algunas carreteras, estas pueden transportar el agua, son más anchas y proporcionan un almacenamiento temporal que permita tanto la infiltración como filtración del agua (Castro, Rodríguez, Rodríguez, & Ballester, 2015).

Las cunetas de hormigón y los canales formados por el desarrollo urbano pueden ser sustituidos por estas cunetas verdes, ayudando de esta manera a recuperar el valor ecológico del agua lluvia por medio de un diseño adecuado (Sanduño, Rodríguez, & Castro, 2013).

- Franjas Filtrantes: También conocidas en inglés como “filter strip”, son superficies que se encuentran cubiertas con material vegetal las cuales tienen cierta inclinación que permite que el agua fluya despacio, lo que asegura que esta se filtre en la superficie verde (Rodríguez, 2013).

Si el objetivo es obtener una mayor capacidad de filtración y depuración, se deben diseñar las franjas con vegetación más densa y mayor anchura. Dichas franjas filtrantes pueden estar constituidas tanto por una capa de césped como por un pequeño bosque (Trapote Jaume, 2016).

Estas franjas filtrantes también pueden ser aplicadas como un medio de tratamiento previo de las aguas de escorrentía para eliminar el exceso de contaminantes y sólidos, antes de que el agua llegue a sistemas como las cunetas verdes (Castro, Rodríguez, Rodríguez, & Ballester, 2015).

Los Sistemas de Tratamiento y Almacenamiento son aquellos que proporcionan una depuración de la calidad de agua pluvial mediante procesos naturales y aportan un valor natural y paisajístico al entorno urbano como servicio a la comunidad, mediante la gestión de grandes cuencas urbanas. Además estos sistemas constituyen una barrera de retención como medida de seguridad en carreteras, áreas industriales y zonas de riesgo de vertidos de contaminantes accidentales, previo al vertido al medio natural (Trapote Jaume, 2016).

Estos sistemas pueden ser clasificados según la presencia continua de la lámina de agua que es formada por los mismos, es decir, si esta lámina desaparece después de cierto tiempo se habla de depósitos de detención; y si la lámina de agua se mantiene los sistemas son humedales artificiales o estanques de retención (Trapote Jaume, 2016).

- Depósitos de Detención: Son depresiones que han sido diseñadas para detener por un tiempo determinado la escorrentía de las lluvias y dar paso a que los sólidos en suspensión se sedimenten. Tienen como objetivo el laminar el flujo de escorrentía disminuyendo los picos en el caudal y reduciendo de forma considerable los riesgos de inundación (Castro, Rodríguez, Rodríguez, & Ballester, 2015).

Generalmente estos depósitos son considerados zonas inundables controladas o tanques de lluvia superficiales. Dichos depósitos deben contar con un sistema de desagüe de fondo y estar naturalizados de forma adecuada para obtener mejores resultados (Sanduño, Rodríguez, & Castro, 2013).

Si no se realiza el diseño del sistema de forma adecuada, el desagüe de la parte inferior puede llegar a taponarse por la acumulación del material sedimentable, por lo que es recomendable colocar sistemas de pre-tratamiento como una Franja Filtrante para eliminar parte de los sólidos suspendidos (Rodríguez, 2013).

- Estanques de Retención: También conocidos como “retention ponds” en inglés, son embalses que se encuentran en la superficie y que tienen poca profundidad haciendo que exista una lámina de agua de forma permanente. Este método asegura una mayor retención del agua lo que aumenta la eficiencia de su depuración; la lámina superficial que se forma ayuda también a ocultar los bancos de sedimentos que se han formado por el paso del tiempo y que pueden llegar a ser antiestéticos (Rodríguez, 2013).

Estos estanques deben ser diseñados con una capacidad de retención superior al volumen de agua que se desea tratar, de forma que se asegure el tiempo de estancia del agua suficiente para que, de ser necesario, se produzca la degradación biológica de los contaminantes existentes, para esto debe existir una corriente de agua mínima de entrada y salida para asegurar la calidad

del agua. Los estanques se diferencian de los pozos de detención ya que presentan una lámina de agua de forma permanente (Castro, Rodríguez, Rodríguez, & Ballester, 2015).

Los sistemas de drenaje superficial convencionales, las cunetas verdes o los drenes filtrantes pueden alimentar a estos estanques por lo que deben permitir una gran variación de los niveles del agua (Trapote Jaume, 2016).

- Humedales Artificiales: Son superficies cubiertas de agua con poca profundidad, conocidas en inglés como “wetlands”, las cuales han sido dotadas con mucha vegetación característica de zonas húmedas y pantanosas. En estos sistemas se obtiene un mayor porcentaje de depuración debido a que el tiempo de retención del agua que proporcionan es superior que en los estanques de retención (Sanduño, Rodríguez, & Castro, 2013)

Debido a la importancia que tiene la revegetación de los humedales, se deben realizar con especies que sean nativas lo que permite que se aumente su longevidad y su rendimiento. Es importante también asegurar un flujo de agua base inclusive durante las épocas de sequía (Rodríguez, 2013).

Es muy importante tener en cuenta que los humedales naturales no pueden recibir agua de esorrentía urbana, para esto se diseñan los humedales artificiales, los cuales pueden estar asociados a un plan de vigilancia ambiental que salvaguarde la flora y fauna que albergan, el mismo que debe ser redactado por expertos en el tema (Castro, Rodríguez, Rodríguez, & Ballester, 2015).

Materiales y Métodos.

1. Recopilación de información: la información recopilada fue referente a los SUDS, sus usos, aplicaciones y criterios de selección; a la topografía del lugar de estudio, en este caso de Sangolquí, y a los datos históricos de intensidades de lluvias en la zona.

Los conceptos, características y aplicaciones de los SUDS se obtuvieron mediante investigación bibliográfica, recopilación de información de estudios realizados, y de libros y revistas; dicha información sirvió para comprender de mejor manera el funcionamiento de los SUDS y su correcto uso y aplicación en la gestión de agua lluvia.

La información topográfica de la zona se obtuvo mediante solicitudes a la Dirección del Departamento de Avalúos y Catastros del GADMUR, la misma que fue entregada de manera digital como archivos *.shp*, los cuales fueron analizados con el programa ArcGIS.

Los datos referentes a las precipitaciones y periodos de retorno del sector fueron obtenidos del estudio “Determinación de Ecuaciones para el Cálculo de intensidades Máximas de Precipitación” realizado por el INAMHI.

Los valores proporcionados sobre las precipitaciones provienen de la estación meteorológica Izobamba perteneciente al INAMHI, la cual se encuentra al sur de la ciudad de Quito y está a aproximadamente 12 km de Sangolquí, siendo esta la estación más cercana al sitio de estudio.

2. Definición del área de estudio: la zona de estudio se estableció en el cantón Rumiñahui el cual es cercano a la ciudad de Quito, su Cabecera Cantonal Sangolquí es un pequeño poblado que en ciertos sectores se ve afectado por las fuertes lluvias y las aguas de escorrentía, ya que al tener sus bases estructurales en un pueblo antiguo, no cuenta con los sistemas de drenaje adecuados a las demandas del constante crecimiento urbano que se da en el sector.

Por recomendación del Departamento de Avalúos y Catastros del GADMUR se determinó realizar el estudio de selección y diseño de SUDS en el sector “El Rancho” (Fig. 1), el cual se ubica en la parte norte de Sangolquí.

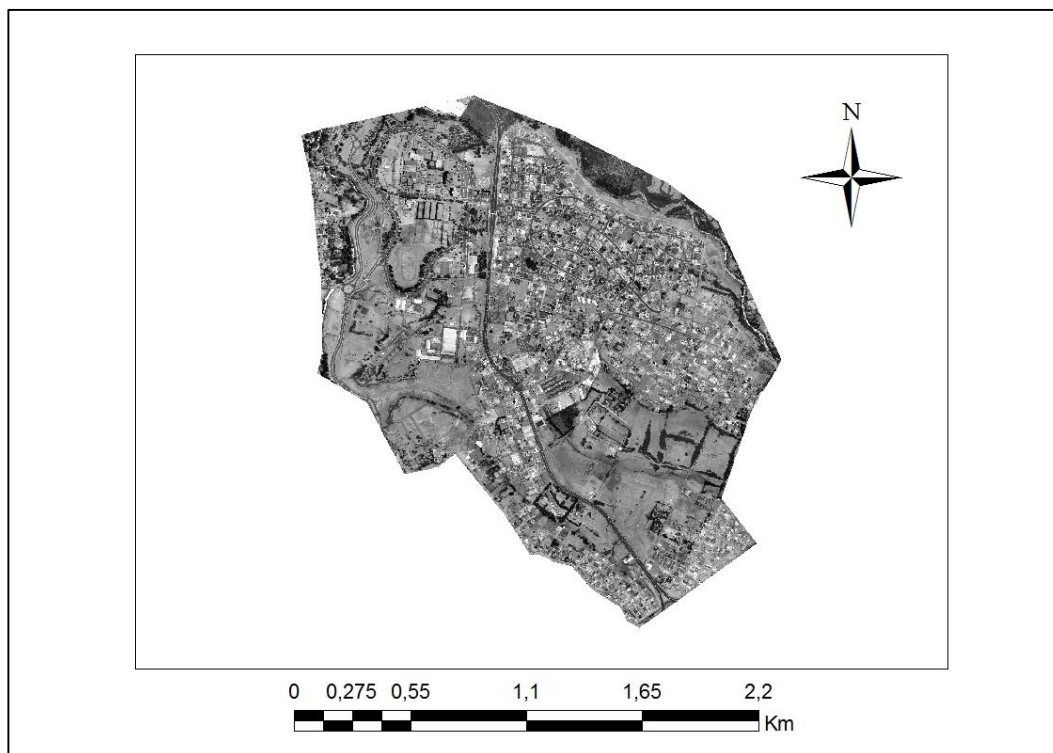


Fig. 1 Área de Estudio

(GADMUR, 2017)

Dentro de esta zona se encuentran dos cuencas hidrográficas de formación volcánica (formadas por el volcán Cotopaxi), las cuales servían como vía natural de descargue de las aguas de escorrentía hacia los ríos Santa Clara y Pita. Sin embargo, la creciente urbanización existente en el sector ha dado paso a que se forme una “barrera artificial”, la cual impide que el agua que se acumula siga su curso natural hacia los ríos, siendo redirigida hacia los sistemas de drenaje convencionales.

La problemática se presenta cuando las lluvias sobrepasan la capacidad de drenaje del sistema de alcantarillado antiguo y se dan las inundaciones, principalmente en los sectores de la ESPE, parte de la Hacienda Santa Clara, la zona sur de San Rafael y las urbanizaciones La Colina, San Luis y Yahuachi.

Las cuencas existentes en la zona representaban un camino natural por el cual el agua de escorrentía se descargaba en los ríos cercanos, sin embargo la urbanización ha creado una barrera artificial la cual impide que el mencionado proceso se dé de forma regular, provocándose el desvío de los caudales del agua lluvia y acumulándose en sectores en donde el sistema de drenaje colapsa.

3. Análisis de la información: Mediante el análisis estadístico realizado con el programa ArcGIS de la altitud que tienen las curvas de nivel del sector, se determinó que el punto más alto se encuentra a 2556 msnm, el punto más bajo está a 2469 msnm y el punto medio a 2506,87 msnm aproximadamente, la desviación estándar del cálculo fue de 17,23 msnm.

De esta manera se puede considerar como las zonas más bajas todas a aquellas que se encuentren por debajo de los 2506,87 msnm, ya que este es el punto medio aproximado de altitud de la zona de estudio. Para obtener mejores resultados en los cálculos de altitud, se consideró como punto medio los 2500 msnm.

En cuanto a la información de las lluvias, el estudio realizado por el INAMHI permite conocer las precipitaciones máximas que podrían presentarse en el sector, por medio de las Curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF), para distintos periodos de retorno y tiempos de duración. (Fig. 2).

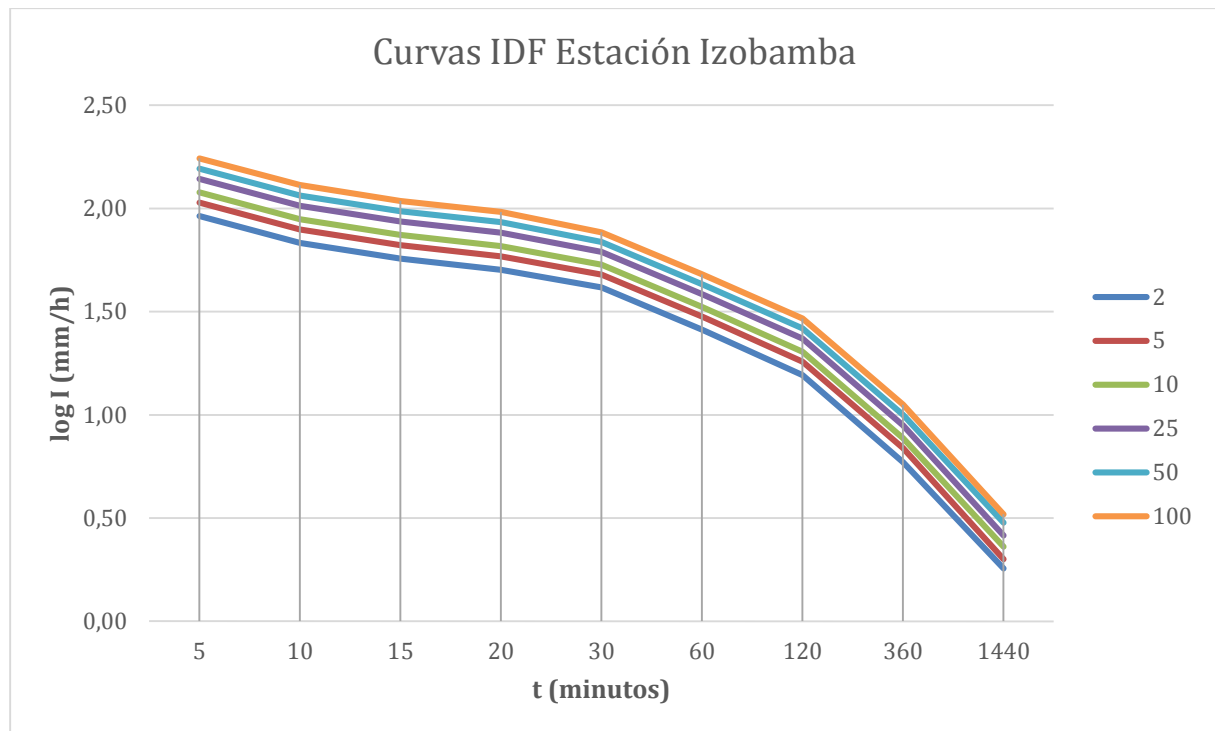


Fig. 2 Curvas IDF

(Guachamin, García, Arteaga, & Cadena, 2015)

Estas curvas fueron obtenidas a partir de tres ecuaciones determinadas en dicho estudio mediante la información proporcionada por las estaciones de muestreo, en este caso la estación Izobamba, durante los años 1962-2010. Cada ecuación es específica para distintos intervalos de tiempo considerando datos de precipitaciones desde 5 minutos (periodo mínimo de toma de muestras) hasta 1440 minutos (24 h, periodo máximo de toma de muestras). (Fig. 3).

Ecuaciones determinadas para cada intervalo de tiempo (1962-2010):

- 5 < 30: $i = 164,212 * T^{0,1650} * t^{-0,4326}$
- 30 < 120: $i = 371,072 * T^{0,1575} * t^{-0,6771}$
- 120 < 1440: $i = 929,503 * T^{0,1614} * t^{-0,8773}$

Fig. 3 Ecuaciones IDF

(Guachamin, García, Arteaga, & Cadena, 2015)

4. Obtención de cuencas y zonas sumidero: Las cuencas hidrográficas y las zonas sumidero naturales existentes en el lugar se determinaron tomando como referencia las curvas de nivel del sector, a partir de la generación del Modelo Digital de Elevación (DEM por sus siglas en inglés) del área de estudio (Fig. 4 - A).

Como primer paso se procedió a generar un DEM hidrológicamente corregido, lo que permitió determinar de forma adecuada la dirección que podría tomar el flujo de escorrentía de forma natural (Fig. 4 - B). Esta dirección de flujo se obtuvo buscando el camino descendente entre las celdas que forman el DEM. El tamaño de la celda del modelo utilizado fue 5,5 píxeles.

La dirección de acumulación de flujo se determinó a partir del camino que seguía el mismo, lo que permitió conocer el número de celdas aguas arriba existentes en el DEM que vertían sobre las celdas presentes aguas abajo. El resultado obtenido es la dirección en la que se acumularía el agua de escorrentía (Fig. 4 - C).

Para crear una red de corriente (Fig. 4 - D) a partir de la acumulación del flujo, se clasificó las celdas con acumulación a un umbral superior a las 1000 celdas pertenecientes a la red de flujo.

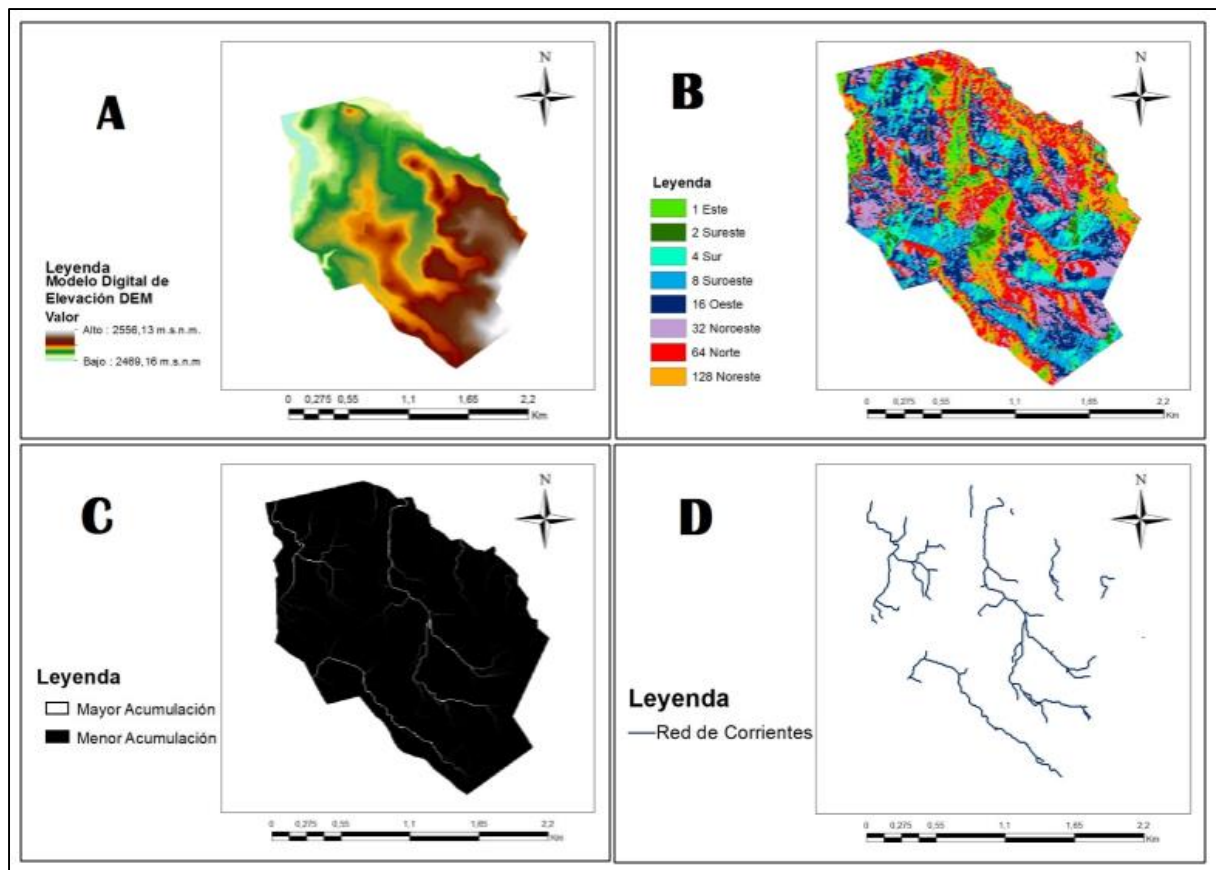


Fig. 4 Obtención de dirección de flujo y red de corrientes

El orden de las corrientes se determinó por medio del método Strahler (Fig.5 - A), el cual permite aumentar el orden de dos corrientes que se unan entre sí.

Para determinar las zonas sumidero se ubicó en el DEM los puntos en donde se corta el drenaje al final de cada tramo de corriente, identificando aquellas zonas donde existe acumulación de agua (Fig.5 - B).

Una vez determinadas las zonas sumidero, se tomaron como referencia para delimitar las subcuencas hidrográficas (Fig.5 - C). De esta manera se identificó la red de drenaje y las subcuencas naturales existentes en la zona de estudio (Fig.5 - D).

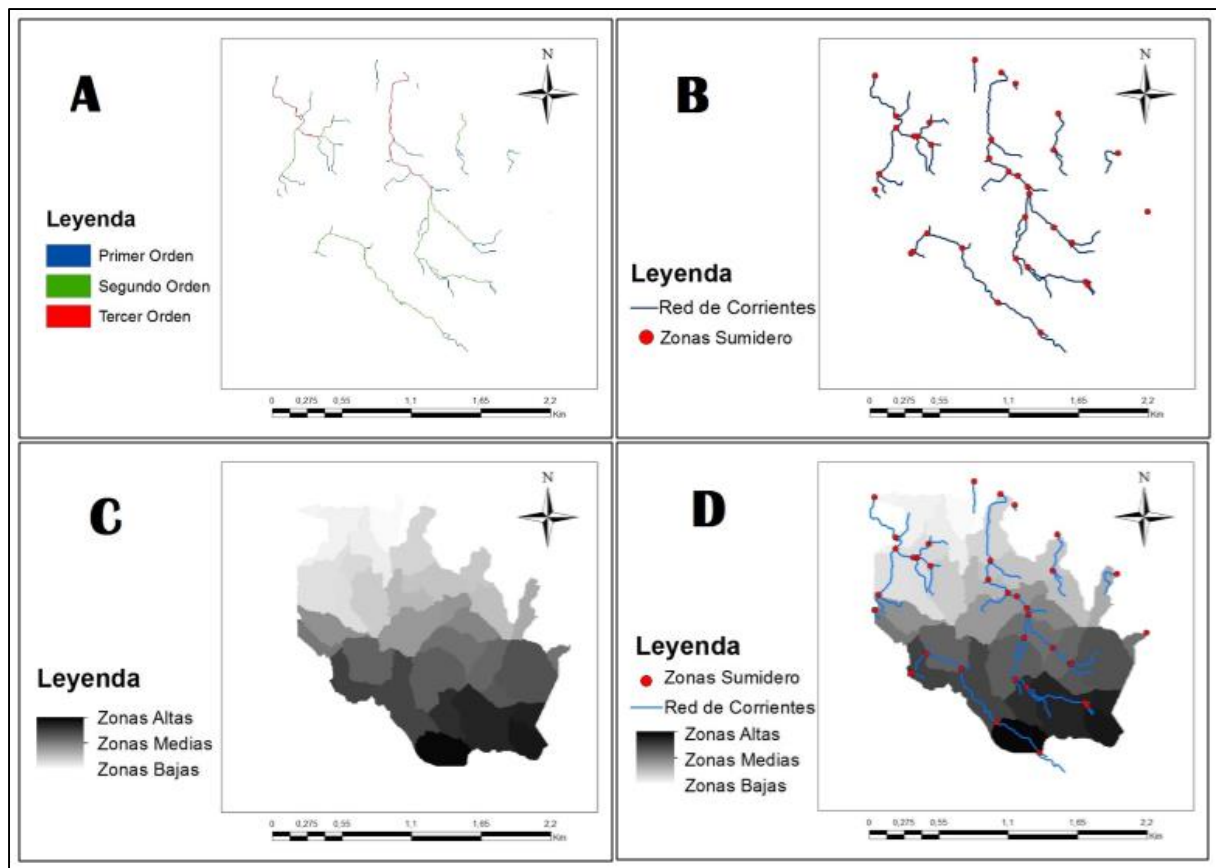


Fig. 5 Obtención de cuencas y zonas sumidero

5. *Selección de los SUDS:* Determinadas las características principales de los sistemas urbanos de drenaje sostenible, se procede a considerar las posibles combinaciones de los mismos para obtener mejores resultados en la gestión del agua lluvia.

Según Castro, Rodríguez, Rodríguez & Ballester (2015), *“la planificación y selección de los sistemas urbanos de drenaje sostenible requieren voluntad para cambiar las cosas e intereses en la integración de los sistemas de drenaje empleados al medioambiente. El criterio de diseño debe equilibrar los componentes relacionados con la cantidad y calidad del agua y con el servicio que se ofrece”*.

En la selección de los SUDS se debe considerar un proceso en el cual se involucran profesionales de distintas ramas, quienes tienen en cuenta aquellos factores referentes al

entorno arquitectónico o la calidad paisajística (Castro, Rodríguez, Rodríguez, & Ballester, 2015).

Dicho proceso, descrito en el estudio realizado por Castro, Rodríguez, Rodríguez, & Ballester (2015), consta principalmente de los siguientes aspectos: Datos Iniciales, Método de Selección, Consideraciones sobre la Cantidad y Calidad del Agua y Consideraciones sobre el Servicio del Sistema.

En los *Datos Iniciales* se debe considerar las cuencas y sub-cuencas existentes en la zona en donde se va a realizar el estudio y sus características geomorfológicas así como también las zonas de posible aplicación de los distintos métodos.

Es importante conocer tanto la frecuencia e intensidad, así como el coeficiente de escorrentía, del régimen de las precipitaciones que se presentan en el sector como medida previa al desarrollo de los SUDS. De igual manera, se debe considerar aquellos parámetros que caracterizan la capacidad de drenaje del terreno, al igual que su capacidad de desarrollar vegetación. Un suelo impermeable no permite el diseño de un sistema de infiltración.

Se deben fijar los puntos que servirán de sitios de descarga de los SUDS que serán diseñados, estos deberán ser múltiples de manera que el impacto producido en los mismos se pueda repartir y disminuir.

En el *Método de Selección* se debe considerar que el drenaje sostenible debe cumplir ciertos objetivos generales, los cuales se obtienen a partir de los resultados parciales obtenidos de cada escalón de esta cadena de gestión que es el drenaje sostenible. El proceso que se realiza para obtener soluciones finales es de prueba-error y se da de forma cíclica, utilizando varios SUDS en cadena hasta que se cumpla con los requerimientos establecidos; el criterio de diseño se da por las características finales obtenidas.

El primer punto a considerar en la cadena de gestión es la prevención, dichas medidas preventivas deben ser las suficientes para cumplir con el criterio de diseño. Como segundo punto se considera la implementación de sistemas para el control en el origen, estos pueden ser zanjas de infiltración, superficies permeables y pozos.

Finalmente se deben considerar sistemas que trasladen el agua de un lugar a otro como las cunetas verdes, en el caso de que, con los medios anteriores, no se cumpla con las condiciones establecidas en el criterio de diseño. Se recomienda el uso de depósitos de retención, humedales o estanques para mejorar la cadena de gestión, ya sea utilizándolos al final o intercalados entre los demás sistemas.

Dentro de las *Consideraciones sobre la cantidad del agua* uno de los objetivos principales es que el medio que se encargue de recibir las aguas no se vea afectado, por lo cual lo aconsejable es mantener el hidrograma natural de la zona, respecto a la cantidad, antes de que se dé cualquier desarrollo en el lugar.

En lo que se refiere a las *Consideraciones sobre la calidad del agua*, los sistemas convencionales existentes de drenaje no han tenido en cuenta a lo largo del tiempo la calidad del agua de escorrentía, por otro lado para los SUDS este aspecto es uno de los objetivos más importantes junto a la calidad del servicio prestado y el control de la cantidad de la escorrentía.

Uno o la combinación de varios sistemas pueden proporcionar la depuración requerida, esto siempre teniendo en cuenta un determinado volumen de tratamiento, el mismo que es usado para realizar el diseño de cada una de las partes de la cadena de gestión que están destinadas a mejorar la calidad del agua.

Cada uno de los SUDS aplicados tiene medios naturales de filtración, absorción, sedimentación, degradación biológica y adsorción en distintas medidas, por lo que si se utilizan de manera

adecuada en conjunto se obtendrá una mejor calidad del agua previa a ser descargada en el medio receptor.

Finalmente, como punto importante se considera el *Servicio del sistema* ofrecido, en donde se incluye a servicios como la conservación del medio ambiente por medio de la mejora paisajística y la protección a la flora y fauna del sector.

Algunos de los SUDS permiten el almacenamiento de agua de escorrentía, lo que puede ayudar al abastecimiento de la población, o bien puede ser reinsertada a su ciclo natural. Por otra parte, el paisaje urbano se ve muy beneficiado con el uso de los sistemas de drenaje sostenible, ya que al usar cubiertas vegetales los transeúntes no tendrán que apreciar cunetas o estanques de hormigón, sino áreas verdes con más vida como arroyos o estanques.

Resultados y Discusión.

Realizados los análisis respectivos de las curvas de nivel de la zona, se encontró que el punto medio de altitud del sector esta aproximadamente a 2506,87 msnm. Esta medida fue la tomada como referencia para establecer los puntos más bajos, y aquellos vulnerables a que se de acumulación de agua de lluvia.

Las zonas principalmente afectadas, o aquellas a donde las cuencas hidrográficas y el paisaje urbanístico dirigen los caudales de agua de escorrentía se encuentran en la entrada principal de la ESPE y la entrada de la Urbanización La Colina.

Esto se obtuvo por medio de la realización de Modelos Digitales de Elevación, los cuales permitieron localizar las cuencas y sub-cuencas, y zonas de sumidero naturales existentes en la zona, previo a que se dé la urbanización del sector.

Se determinó la existencia de 36 sub-cuencas hidrográficas y 63 zonas sumidero, las mismas que alimentan de forma natural a los ríos Pita y Santa Clara, los cuales bordean la zona de estudio.

Conocidas las cuencas hidrográficas de la zona, los periodos de retorno y las características individuales de los SUDS, se procedió a determinar las posibles combinaciones y ubicación de los mismos para prevenir las inundaciones.

Como primer paso se consideró como puntos de descarga de los sistemas de drenaje los ríos Pita y Santa Clara, evitando de esa manera enviar las aguas de escorrentía al alcantarillado, ya que este recibe tanto aguas negras como grises, lo cual resultaría en la contaminación del agua lluvia que se va a gestionar.

En lo que respecta a las medidas preventivas, lo recomendable es mantener los desagües de los sistemas convencionales limpios y libres de basura, y de esa manera permitir la correcta circulación del agua lluvia, evitando así su acumulación y contaminación al entrar en contacto con la basura.

El sistema de control en el origen más adecuado para el sector son las Superficies Permeables. El uso de material filtrante evitaría la acumulación del agua directamente en la superficie del suelo.

Las Zanjas de Infiltración también se recomendaron como sistemas de control en el origen. Estas zanjas pueden ser ubicadas en zonas residenciales, comerciales e industriales, parques, urbanizaciones que contengan áreas verdes o junto a carreteras o zonas cercanas a suelos impermeables, permitiendo así que la escorrentía llegue a las zangas y no se acumule en otros sectores.

Para los Sistemas de Traslado o transporte del agua el SUDS más aplicable en el sector son las

Cunetas verdes, estas pueden ser ubicadas junto a las carreteras en remplazo de cunetas ya existentes. De esta manera se permite una mayor retención del agua lluvia ya que se cuenta con una superficie vegetal que permite la infiltración de la misma.

Finalmente, los Humedales Artificiales son otro aporte importante para la gestión del agua lluvia. Estos SUDS aportan un gran control en la calidad del agua, así como en el volumen de escorrentía. Pueden ser ubicados tanto en parques como en zonas residenciales, contribuyendo de gran manera a la eliminación de los contaminantes, y siendo un importante beneficio a la comunidad como aporte ecológico, estético y recreativo en los sectores en donde sean ubicados.

En la Figura 6 se muestra la posible ubicación de los SUDS anteriormente mencionados.

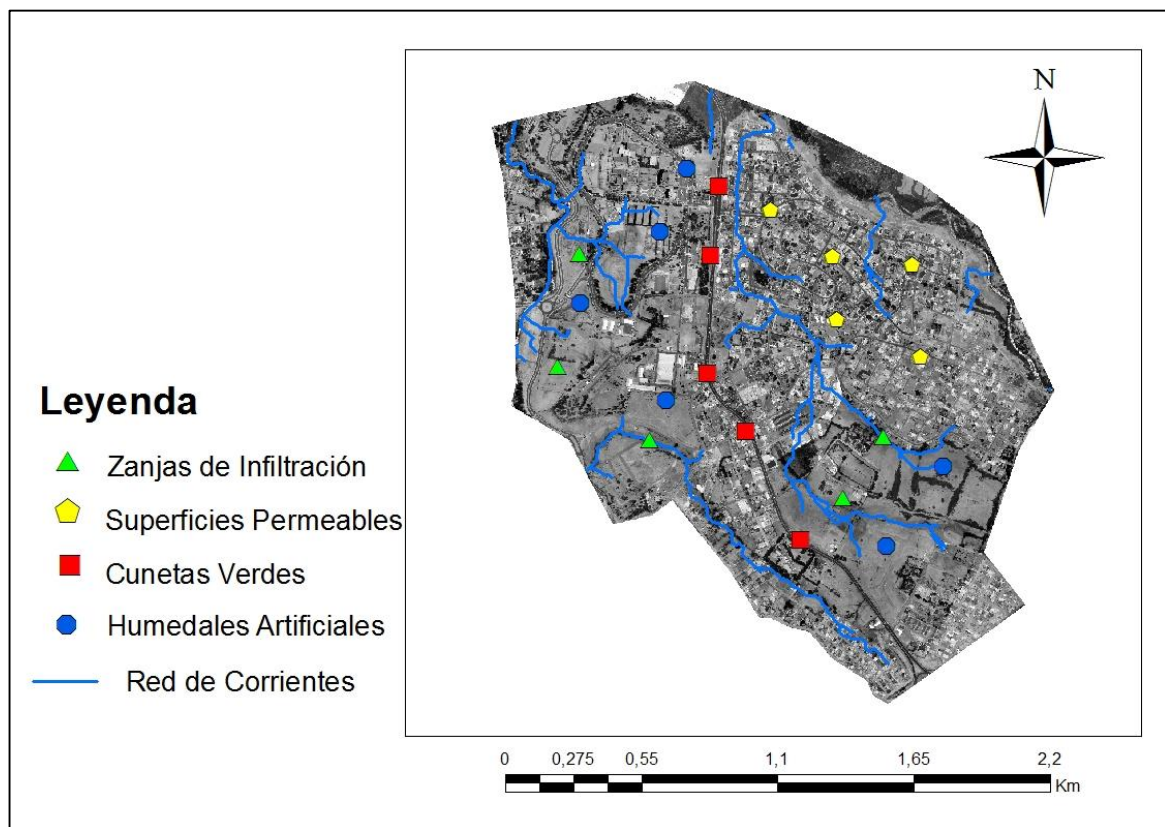


Fig. 6 Ubicación de los SUDS

Esta combinación y aplicación de SUDS debe darse de forma que se mantenga el hidrograma natural existente en el sector, el cual ha sido identificado por medio del Modelo Digital de

Elevaciones, el mismo que permite ver las cuencas por donde circularía el agua de forma natural, así como las zonas sumidero en donde podría acumularse el agua de escorrentía.

Conclusiones.

Finalizado el análisis de la topografía de la zona de estudio se identificaron los puntos sumidero así como las sub-cuencas existentes en el sector, lo que permitió determinar la posible combinación adecuada de SUDS para prevenir las inundaciones por medio de la gestión del agua lluvia.

El estudio de la determinación de los Periodos de Retorno realizado por el INAMHI permitió identificar los meses con mayor presencia de lluvias, así como las intensidades máximas de precipitación para distintos periodos de tiempo.

La red de corrientes y las zonas sumidero que fueron obtenidas por medio del DEM, y la evidente impermeabilización del suelo en el sector El Rancho, permitieron determinar que la entrada principal de la ESPE y la urbanización La Colina son las más vulnerables a inundaciones.

Los SUDS seleccionados como los más apropiados para ser ubicados en el sector fueron las Zanjales de Infiltración, las Superficies Permeables, las Cunetas Verdes y los Humedales Artificiales.

En aquellas urbanizaciones o calles en donde el suelo tenga adoquines, se los puede remplazar por otros que permitan la infiltración del agua al suelo. Esto siempre y cuando el suelo del sector tenga la permeabilidad necesaria para permitir el paso del agua.

Los ríos Pita y Santa Clara se seleccionaron como puntos de descarga de los SUDS debido a su cercanía con la zona de estudio, esto siempre y cuando no implique una alteración o contaminación de los cuerpos de agua.

Con el presente estudio se logró determinar una combinación de SUDS que se ajusten a las exigencias y necesidades del sector, siendo un aporte a la gestión del agua de lluvia que se realiza únicamente por medio del sistema convencional de alcantarillado, y un beneficio en el cuidado del medioambiente.

Agradecimientos.

A mi familia, su amor incondicional, apoyo y motivación fueron fundamentales desde el inicio de mi carrera universitaria.

A Miguel Martínez, Alonso Moreta y Katty Coral, quienes con sus enseñanzas y dedicación supieron guiarme y apoyarme en todo momento durante la realización de este proyecto y de la carrera, gracias por su amistad y profesionalismo.

A mis compañeros de siempre, su amistad, apoyo y complicidad en cada momento compartido fueron fundamentales en esta aventura universitaria. Siempre tendremos grandes historias que contar, gracias.

A todos mis profesores que supieron transmitir de la mejor manera su conocimiento durante el transcurso de la carrera, aportando cada uno a mi formación profesional.

Al Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) y al Gobierno Municipal de Rumiñahui (GADMUR), por su apertura y ayuda al proporcionarme la información necesaria para realizar este estudio.

Referencias.

- Betín, T. (02 de Abril de 2017). *El Heraldito*. Obtenido de <https://www.elheraldo.co/colombia/tragedia-en-mocoa-avalancha-por-desbordamiento-de-tres-rios-deja-al-menos-206-muertos>
- Cadier, E., & Gómez, G. (1997). *Estudio de las Inundaciones y Sequías en el Ecuador: El Proyecto INSEQ*. Quito: INAMHI.
- Cadier, É., Gómez, G., Calvez, R., & Rossel, F. (1993). *Inundaciones y Sequías en el Ecuador*. ORSTOM.
- Castro, D., Rodríguez, J., Rodríguez, J., & Ballester, F. (2015). Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS). *Sistema de Información Científica Redalyc*.
- Europea, C. (Diciembre de 2015). *EUROPEAN CIVIL PROTECTION AND HUMANITARIAN AID OPERATIONS*. Obtenido de <http://ec.europa.eu/echo/>
- Fernández, C., & Buss, S. (2016). *Ocurrencia y Gestión de Inundaciones en América Latina y el Caribe - Factores claves y experiencia adquirida*. Banco Internacional de Desarrollo.
- Gobierno de Pichincha. (2002). *Gobierno de Pichincha Eficiencia y Solidaridad*. Obtenido de <http://www.pichincha.gob.ec/pichincha/cantones/item/17-ruminahui.html>
- Gonzaga, F. (2015). *Diseño de un Sistema de Captación de Agua de Lluvia para Uso Doméstico en la Isla de Jambelí, Cantón Santa Rosa, Provincia de El Oro*. Machala: Universidad Técnica de Machala .
- Guachamin, W., García, F., Arteaga, M., & Cadena, J. (2015). *Determinación de Ecuaciones para el Cálculo de Intensidades Máximas de Precipitación*. Quito: INAMHI.
- Khamis, M., & Osorio, C. (2013). *AMÉRICA DEL SUR: Una visión regional de la situación de la situación de riesgo de desastres*. UNISDR.
- Lara, Á., & Prieto, A. (2014). *Integración de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible en la Rehabilitación del Espacio Urbano*. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- Martínez, G. (2013). *Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible "SUDS" como alternativa de control y regulación de las aguas lluvias en la ciudad de Palmira*. Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada.
- Molina, M., Gutiérrez, L., & Salazar, J. (2011). *Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible SUDS para el Plan de Ordenamiento Zonal Norte POZN*. Bogotá: Secretaría Distrital de Ambiente.
- Perales, S., & Andrés-Doménech, I. (2008). *Los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible: Una alternativa a la Gestión del Agua de Lluvia*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- Pinto, A. (1994). *La Gestión del agua y las cuencas en América Latina*. Santiago de Chile: Revista de la CEPAL.

- Prieto, I. (2010). *Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible*. TRAGSA.
- Rodríguez, J. (2013). *Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible. La Infraestructura Verde*. Bilbao: VII Curso de Urbanismo 2013 de la A.V.N.A.U.
- Sánchez, V. (2014). *El Agua que Bebemos: La Necesidad de un Nuevo Sistema de Tarifas en España* . Madrid: Editorial Dykinson.
- Sanduño, L., Rodríguez, J., & Castro, D. (2013). *Diseño y Construcción de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS)*. Cantabria: Grupo de Investigación de Tecnología de la Construcción Universidad de Cantabria .
- Trapote Jaume, A. (2016). *Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS): Implicaciones Hidrológica-Hidráulicas y Ambientales*. Itajaí: Estudos aplicados aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável.
- Zorrilla, D. (2013). *Emergencias Estación Invernal 2013* . Ecuador : Sistema de Naciones Unidas Ecuador .