

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL SISTEMA DE
DRENAJE URBANO SOSTENIBLE IMPLEMENTADO EN EL JARDÍN
BOTÁNICO DE BOGOTÁ**

FLOR MARINA APONTE AMAYA



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERIA
INGENIERIA CIVIL**

2015

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL SISTEMA DE
DRENAJE URBANO SOSTENIBLE IMPLEMENTADO EN EL JARDÍN
BOTÁNICO DE BOGOTÁ**

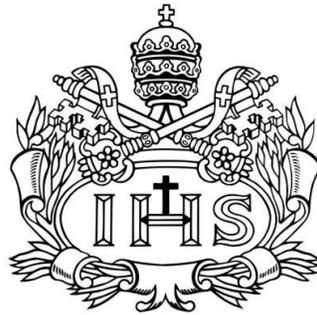
FLOR MARINA APONTE AMAYA

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniera Civil

Director:

CAMILO TORRES PARDO

Ingeniero Civil, M.Sc



PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA

FACULTAD DE INGENIERIA

INGENIERIA CIVIL

2015

DEDICATORIA

A mi familia y en especial a mi madre por su infinito apoyo, no solamente en este trabajo, sino a lo largo de mi vida.

Al padre Sergio Bernal S.J, por su apoyo, consejos y motivación durante mi carrera, así como a mis profesores quienes estuvieron presentes para resolver mis inquietudes y aportarme nuevas ideas.

Harían falta palabras para decir gracias, al gestor del trabajo de tesis, el Ingeniero Camilo Torres Pardo, quien desde el primer momento en que mostré interés por el tema, no tuvo inconveniente en sugerirme, cuán interesante podría ser adentrarse en el campo investigativo ora experimental, en un espacio ornamental y paisajístico dentro de la ciudad, esto es, el Jardín Botánico José Celestino Mutis, cuyo Director científico Mauricio Diazgranados Cadelo, también estuvo complacido en conocer la efectividad de la construcción de los SUDS en torno a la calidad del agua que albergan los mismos, en pro de lo cual puso a disposición toda la logística para hacer posible la recolección de los distintos muestreos del líquido así como la implementación de un sistema a través del cual poder descartar al máximo la contaminación de las muestras a ser analizadas provenientes del SUD y de la precipitación. Así como a la señora Vilma Jaimes y en general a todo el personal del Jardín.

De otra parte, el contacto del Ingeniero Andrés Uribe, fue posible gracias a la empresa Remaster, profesional que diseñó la construcción de los SUDS existentes en el jardín, entre ellos el aquí seleccionado, quien siempre estuvo abierto a compartir la información relacionada con el tema; toda vez, que la investigación estuvo encaminada a determinar la efectividad del sistema construido en relación con la calidad del agua lluvia que se recolecta.

Cabe también resaltar la labor de Sandra Arteta y Carlos Quitiaques, quienes me apoyaron en el laboratorio de aguas, sin escatimar esfuerzo en cada uno de los análisis de que fueron objeto los distintos muestreos, hasta la obtención de los resultados finales.

In recent decades, water resources management has turned into one of the paradigms that most afflicts humanity; therefore, the use of rainwater has become one of the most important areas of study in Civil Engineering, specifically, the area related to the implementation of structures that converge in the economic sphere and, at the same time, cause a minimal environmental impact, turn and allow to use the stored rainfall for different uses within of which are irrigation, recreation laundering, and other surfaces. Thus, the Sustainable Urban Drainage Systems (SUDs) have been implemented in order to preserve water in a technical way.

In this regard, this paper has as vertex assessing water quality system Sustainable Urban Drainage built in the Botanical Garden at Bogotá, Colombia, which by an investigative and experimental study found that water stored system is suitable for irrigation and for preservation of plant species found in the oasis, while other possible uses for water runoff coming out of the system were suggested.

1.	INTRODUCCIÓN	14
1.1.	OBJETIVOS	16
1.1.1.	Objetivo General.....	16
1.1.2.	Objetivos Específicos.....	16
2.	ANTECEDENTES	17
2.1.	Tanque de retención pluvial modular	17
2.1.1.	Descripción	17
2.1.2.	Características	18
2.2.	Descripción del Sitio de Estudio.....	20
3.	METODOLOGÍA.....	24
3.1.	Información Meteorológica	24
3.2.	Obtención y conservación de las muestras.	25
3.3.	Ensayos Realizados.....	29
3.4.	Materiales y Equipo	30
3.4.1.	Sólidos Totales.....	30
3.4.2.	Sólidos suspendidos totales.....	30
3.4.3.	Sólidos Disueltos Totales.....	30
3.4.4.	Dureza Por Calcio o Cálcica (Método Titulométrico Con EDTA).....	31
3.4.5.	Nitrógeno Amoniacal.....	31
3.4.6.	Fósforo Total.....	31
3.4.7.	Demanda Bioquímica De Oxígeno (DBO ₅).....	32
3.4.8.	Demanda Química De Oxígeno (DQO).....	32
3.4.9.	Determinación de Metales	33
3.5.	DESCRIPCIÓN DE LOS ENSAYOS Y DETEMINACIÓN DE LAS CONCENTRACIONES.....	33
3.5.1.	Sólidos totales	33
3.5.2.	Sólidos suspendidos totales.....	35
3.5.3.	Sólidos Disueltos Totales.....	36
3.5.4.	Dureza por calcio o cálcica (Método titulométrico con EDTA).....	37
3.5.5.	Nitrógeno Amoniacal.....	38
3.5.6.	Fósforo Total.....	40
3.5.7.	Demanda bioquímica de oxígeno.....	41
3.5.8.	Demanda química de oxígeno.....	42
3.5.9.	Metales Pesados	43
3.5.10.	Medición del Potencial de Hidrógeno (pH).....	45
3.6.	Cálculo del volumen de escorrentía y cargas contaminantes.....	45
4.	ANÁLISIS Y RESULTADOS	48
4.1.	Resultados del Primer Muestreo	48
4.1.1.	Concentraciones.....	48
4.1.2.	Información Hidrológica.....	49
4.2.	Segundo Muestreo.	51
4.2.1.	Información Hidrológica.....	51
4.3.	Tercer Muestreo.....	53

4.4.	Comparación entre el afluente y efluente	54IX
4.5.	Comparación de los resultados obtenidos con relación a la normatividad vigente.	57
4.6.	Normativa técnica consultada.....	60
5.	CONCLUSIONES	64
6.	RECOMENDACIONES.....	66
7.	PROPUESTA Y SOLUCION VIABLE Y ECONÓMICA PARA OTROS USOS DEL AGUA.....	67
8.	REFERENCIAS.....	68

Lista de tablas

X

Tabla N°1: Especificaciones y medidas de tanques modulares	19
Tabla N°2: Características y especificaciones de los SUDS del Jardín Botánico de Bogotá.	22
Tabla N° 3: Envases utilizados para la recolección de muestras.	28
Tabla N°4: Cantidad y tipo de ensayos a realizar en el laboratorio.	29
Tabla N°5: Concentraciones obtenidas en el laboratorio primer evento.	49
Tabla N°6: Cargas contaminantes primer evento.	50
Tabla N°7: Concentraciones obtenidas en el laboratorio segundo evento.	51
Tabla N°8: Cargas de contaminantes obtenidas para el segundo evento.	52
Tabla N°9: Concentraciones obtenidas en el laboratorio en el tercer evento.	53
Tabla N°10: Concentraciones promedio obtenidas para los tres eventos.	54
Tabla N°11 Resultados de concentraciones en el afluente	58
Tabla N°12 Resultados de concentraciones obtenidas en el efluente	59
Tabla N°13 Comparación de concentraciones obtenidas vs resultados admisibles en las normas	62

Figura1. Sistema de tanques Modulares Flo-Tank	19
Fuente: http://aquatectura.com.co/images/pdf/Catalogo_Aquatectura_2014.pdf	19
Figura: 2 Proceso constructivo de los SUDS	21
Fuente : (Jardín Botánico de Bogotá Uribe P, 2013).....	21
Figura 3: delimitación de las áreas medidas para cada colección Jardín Botánico	23
Figura 4: esquema de recolección del afluente	26
Figura 5: Sistema implementado tanque caja de inspección.	28
Figura 6: Capsulas con sólidos Totales.	34
Figura 7: Capsulas con filtros de sólidos Totales Suspendidos.	36
Figura 8: Ensayo de nitrógeno amoniacal.	40
Figura 9: Equipo para ensayos de metales pesados.	43
Figura 10: Hietograma de precipitación primer evento.	50
Figura 11: Hietograma de precipitación para el segundo evento	52
Figura 11: Alternativa de Rejilla y malla a implementar en el sistema	56
Fuente: Tomada de http://www.acinox.com.mx/telas.html	56
Figura 12: Filtro de carbono activo.	67
Fuente: http://mlv-s1-p.mlstatic.com/filtro-de-agua-purificador-grava-antracita-carbon-activo .	67

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1. Memoria de cálculos y tablas realizadas para el primer evento.

ANEXO 2. Memoria de cálculos y tablas realizadas para el segundo evento.

ANEXO 3. Memoria de cálculos y tablas realizadas para el tercer evento.

1. INTRODUCCIÓN

En el marco del ámbito global, el cambio climático ha impuesto grandes retos en torno al medio ambiente, asociados al manejo de los recursos hídricos en zonas urbanas, las que cada vez se expanden sin control, perspectiva desde la cual, las políticas y el enfoque de la ingeniería deben considerar la adaptabilidad como parte fundamental de la planeación de proyectos hidráulicos (Ávila, 2012). Por tal motivo, se proponen nuevas alternativas y soluciones con diseños innovadores con miras a disminuir los impactos que se generan como consecuencia de las fuertes precipitaciones y la cantidad de contaminantes que se encuentran en la atmósfera debido al proceso de industrialización que avanza de manera desmesurada. Bajo tales parámetros se promueven proyectos que, además de ser sostenibles, sean amigables con el medio ambiente, buscando reducir los fenómenos asociados con la escorrentía. (Ellis, Revitt, & Lundy, 2012).

En la actualidad se están implementando sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS), dentro de los cuales se encuentran los tanques de retención, las zanjas verdes y las cubiertas verdes y los tanques de retención, siendo estos últimos los de mayor uso debido a que contribuyen en el almacenamiento de la precipitación, además de los bajos costos para su implementación (Quinn & Dussaillant, 2014). Las zanjas verdes son estructuras diseñadas para reducir la cantidad de contaminantes en la escorrentía, especialmente metales pesados (Charlesworth et al., 2012). Las cubiertas verdes pueden ser de tipo extensivo e intensivo y se han venido implementando en diversos países de Europa, como Francia e Inglaterra. A nivel de Suramérica, las cubiertas verdes han sido implementadas en Chile, Argentina y Colombia, país en donde se reportan registros en su capital, acerca de sistemas instalados desde mediados del año 2011. En general, este tipo de estructuras tienen como finalidad disminuir la lámina de agua precipitada, generando caudales de escorrentía con caudales pico menores y a la vez más retardados (Rossato et al. 2013).

Díaz Granados et al. (2009), Delahaye et al. (2003) y Burszta et al. (2013) desarrollaron modelos que hacen referencia al manejo de las aguas pluviales con enfoque hacia países

que se encuentran en vía de desarrollo, los cuales se caracterizan por contar con un saneamiento básico y una población creciente en sus centros urbanos. Circunstancias bajo las cuales es indispensable implementar procesos que ayuden a minimizar los impactos mediante la modelación hidrodinámica en la calidad de las aguas receptoras a través de estrategias de gestión holística y de tratamiento en la fuente de estudio. Además de contribuir con la mejora en el espacio y el uso de sistemas inteligentes de SUDS para múltiples beneficios culturales. (Jose, Wade, & Jefferies, 2015).

Es así como en la Pontificia Universidad Javeriana, se desarrolló un estudio en donde se evaluaron y propusieron usos de aprovechamiento del agua mediante la implementación de SUDS para el uso doméstico y de riego en el Campus de la Universidad (Lara Borrero et al., 2007) (Torres Abello et al., 2012).

En Colombia, un gran número de los procedimientos de drenaje urbano sostenible implementados, están basados en tecnologías desarrolladas y aplicadas en países de Norte América, Europa y Oceanía. Sin embargo, solo se han elaborado pocos estudios que permitan evaluar el comportamiento hidráulico e hidrológico de los mismos, siendo insuficiente la información acerca de si éstos realmente reportan beneficio en torno a la calidad del agua de escorrentía almacenada a través de los mismos.

La escasez de tales datos, en lugares en los que se han aplicado constituye el vértice del presente trabajo de investigación, el que encuentra su razón de ser y fin último, en la evaluación de la calidad del agua que proviene del sistema de drenaje urbano sostenible construido en el jardín Botánico, José Celestino Mutis, el cual ha sido implementado como una alternativa para el aprovechamiento de las aguas lluvias. Adicionalmente, se busca verificar que el agua recolectada en el sistema cumpla con los estándares de calidad para el uso establecido en el lugar, esto es, el riego de especies vegetales. Finalmente, se evaluarán otros potenciales usos del recurso conforme a los resultados que se obtengan en los ensayos a cumplir en el laboratorio de aguas.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo General

Evaluar la remoción de contaminantes presentes en el agua que fluye a través del sistema de aprovechamiento de aguas lluvias construido en el Jardín Botánico de Bogotá.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Conocer las características fisicoquímicas del agua en el afluente y el efluente del sistema de drenaje urbano construido en el Jardín Botánico.
- Realizar una comparación cuantitativa de la calidad del agua del afluente y el efluente del sistema de drenaje urbano construido en el Jardín Botánico.
- Proponer otros usos potenciales del agua del efluente del sistema de drenaje urbano del jardín Botánico.

2. ANTECEDENTES

El balance y la restauración del ciclo hidrológico como medida previa a la urbanización, se ha constituido en el mundo moderno en una necesidad específica. Por tal motivo, se han buscado opciones para recolectar y aprovechar de la mejor manera el agua lluvia. En el mundo de la tecnología y de avances a todo nivel no basta con definir soluciones encaminadas a prevenir inundaciones, sino que es indispensable implementar opciones que permitan dar un mejor uso del agua lluvia, especialmente cuando ésta entra en contacto con las zonas impermeables como son las cubiertas de los edificios, parqueaderos, senderos peatonales y vías pavimentadas.

Los sistemas sostenibles de drenaje urbano (SUDS) se encuentran catalogados como un BMP (Best Management Practices), cuya finalidad es la de propender por la reproducción de la forma más fidedigna del ciclo hidrológico natural constituido antes de la intervención del hombre a través de la urbanización. Su principal objetivo es reducir los problemas tanto en la cantidad como en la calidad del agua de escorrentía.

Para lograr este objetivo, los SUDS pueden mejorar las condiciones de infiltración, intercepción y evapotranspiración. Por otra parte, dichos sistemas se caracterizan por tener una capacidad de almacenamiento, lo cual evita que grandes volúmenes de escorrentía lleguen a fuentes receptoras como ríos, embalses lagos y humedales.

2.1. Tanque de retención pluvial modular

2.1.1. Descripción

En el mercado se pueden encontrar diferentes tipos de tanques modulares, dependiendo de la necesidad del cliente. Los tanques modulares instalados en el Jardín Botánico están conformados por paneles de polipropileno de 685mm x 408 mm ensamblado mediante machihembrado. Este proceso de ensamblaje permite que se tengan volúmenes ilimitados de almacenamiento, obteniendo la capacidad de flujo y resistencia deseada según los requerimientos individuales de cada proyecto.

2.1.2. Características

Los sistemas de tanques modulares se adaptan a todas las características de infiltración del subsuelo, están fabricados con materiales reciclados y se caracterizan por ser ligeros y poseer componentes estructurales desarrollados a través de procesos de investigación. La utilización de estos tanques se da idealmente para la construcción de sistemas de infiltración subterráneos, tanques de retención y canales de intercepción en el subsuelo.

Los tanques modulares reemplazan a los sistemas basados en grava y tuberías tradicionales, debido a que éstos proporcionan una relación de espacio vacío de más del 95% en comparación con el 30% que ofrecen los sistemas típicos de grava y el tubo de la base. Por esta razón, los módulos se ofrecen en tamaños más pequeños para el mismo volumen de almacenamiento, ahorrando de manera significativa la cantidad de excavación para su implementación, el transporte de materiales y por ende la reducción de los movimientos de tierra relacionados con los costos de instalación, causando una mínima interrupción en el sitio donde se implementan.

Los tanques modulares están disponibles en forma de kit, lo que los hace un sistema más económico y fácil de transportar y manipular. Igualmente, no se requiere el uso de maquinaria pesada, lo cual permite efectuar una instalación rápida y fácil; adicionalmente, su diseño modular y sus capacidades estructurales permiten distribuir las cargas uniformemente, haciéndolos aptos para ser utilizados en zonas de tránsito y jardines con un valor significativo en temas de seguridad. Dichos tanques son estructuras versátiles, por lo cual se pueden instalar en diferentes distribuciones, adaptándose a la forma o tamaño del espacio de recolección de aguas pluviales subterráneas, con una alteración mínima de las condiciones del lugar y sus alrededores.

Otra propiedad de los tanques modulares en los sistemas urbanos de drenaje SUDS, es que permiten mantener la basura y partículas gruesas por fuera de las estructuras de la jaula, lo cual reduce los costos y tiempos del mantenimiento, disminuyendo la acumulación de

sedimentos y así contribuir a la mejora en la calidad del agua que se capta y posteriormente se distribuye.

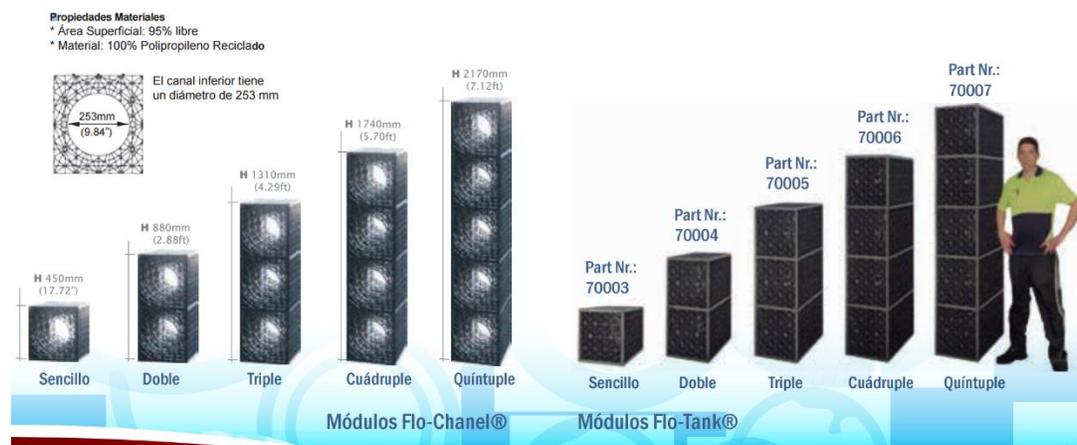


Figura1. Sistema de tanques Modulares Flo-Tank

Fuente:http://aquatectura.com.co/images/pdf/Catalogo_Aquatectura_2014.pdf

Tabla N°1: Especificaciones y medidas de tanques modulares

Elemento	Dimensiones			Volumen		Volumen de almacenamiento de agua	
	Alto	Ancho	Largo				
	mm	mm	mm	m³	l	m³	l
Flow-Tank Single	450	408	685	0.13	125.75	0.12	119.47
Flow-Tank Double	880	408	685	0.25	245.94	0.23	233.64
Flow-Tank Triple	1310	408	685	0.37	366.13	0.35	347.80
Flow-Tank Cuádruple	1740	408	685	0.49	486.31	0.46	461.93

NOTA: Los módulos de más de un Flow-Tank, se suministran como un solo elemento

Fuente : (Andrés Uribe P, 2013)

2.2. Descripción del Sitio de Estudio

El Jardín Botánico José Celestino Mutis fue creado en 1955, por el Sacerdote jesuita Enrique Pérez Arbeláez considerado el padre de la Ecología en Colombia, quien mediante la recolección de semillas en los bosques de los Andes y con el apoyo de Lorencita Villegas de Santos, diseminó la rosaleda, una de las colecciones del Jardín, a su vez que sembró toda una serie de plantas vivas y exóticas, erigiendo una Cascada y un Lago, todos los cuales constituyen los atractivos del oasis Botánico en la actualidad (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2012).

Es el primero de su especie en el país, especializado en la colección y conservación de especies andinas y provenientes de páramo, el que asumió su nombre en honor a su creador, el sabio José Celestino Mutis, un investigador, astrónomo, naturista y matemático pionero en el estudio de las ciencias naturales, quien con el apoyo del virrey Antonio Caballero y Góngora y la aprobación de Carlos III dio inicio en 1783 a la expedición Botánica del Nuevo Reino de Granada, en la que trabajó durante treinta y tres años, ardua y constante labor que se convirtió siglo y medio después en el Jardín Botánico. Cabe destacar, que el Ingeniero agrónomo Francisco Sánchez Hurtado, quien se vinculó a la entidad desde 1970, ha sido el encargado desde entonces de desarrollarlo, con base en los planos que heredó de manos de su fundador (EcuRed, 2012).

El Jardín Botánico es una entidad pública descentralizada, que cumple su labor con los recursos de la Alcaldía Mayor de Bogotá y que se encarga desde 1990 de la arborización urbana, albergando actualmente 18206 especies de plantas vivas y 2143 taxones de plantas cultivadas, representaciones de bosque andino, robledal, bosque de niebla, zona de coníferas, criptogamium (plantas que no tienen flores), herbal (plantas medicinales), rosaleda y circuitos de invernaderos, con especies de diversos climas.

Cuenta con un área de 20 hectáreas de topografía plana, con 12 horas de luz solar y una precipitación media anual de 713 mm, desde la perspectiva investigativa procura conservar, rescatar y hacer que proliferen todo tipo de especies en vía de extinción.

En el año 2013, el ingeniero Andrés Uribe presentó la versión final del informe Componentes Técnicos proyecto de Modernización del Jardín Botánico “José Celestino Mutis”(Uribe P, 2013), consistente en una propuesta para la construcción de diferentes SUDS a través de los cuales se podría aprovechar al máximo el agua lluvia. En el año de 2014, la dirección del Jardín Botánico, construyó dos de los sistemas propuestos en el informe, el primero de ellos ubicado en la región adjunta al lago y el otro en el sector de la Rosaleda. Dichos proyectos fueron los primeros implementados a gran escala mediante la utilización de tanques modulares en la ciudad de Bogotá.



Figura: 2 Proceso constructivo de los SUDS

Fuente : (*Jardín Botánico de Bogotá Uribe P, 2013*)

En la siguiente tabla se muestran las características de los sistemas de SUDS para la reserva de cada una de las colecciones propuestas para la captación del fenómeno de precipitación que se están construyendo (Uribe P, 2013).

Tabla N°2: Características y especificaciones de los SUDS del Jardín Botánico de Bogotá.

colección	volumen proyectado	Dimensiones del tanque proyectado			Tipo de sección	Numero de módulos
		Ancho	Largo	profundidad		
	m ³	M	M	M		Unidades
Melastomatáceas y pérgolas	31,54	0,41	92,48	0,88	1 modulo doble	135
Camino de palmas	23,36	0,82	34,25	0,88	2modulos dobles	100
Rosaleda	27,8	0,41	81,52	0,88	1modulo doble	119
Minirosas	7,48	0,41	21,92	0,88	2 módulos dobles	32
Jardín del Fundador Pérez Arbeláez	28,04	0,82	41,1	0,88	2 módulos dobles	120
Jardín áreas administración	23,36	0,41	79,46	0,88	2 módulos sencillos	100
Tropicario	27,72	0,82	79,46	0,45	2 módulos sencillos	232
Herbal Medicinal	33,39	1,22	21,92	1,31	3 módulos triples	96
Páramo	200,34	1,63	98,64	1,31	4 módulos triples	576
Bosque de niebla	55,44	1,63	27,4	1,74	3 módulos cuádruples	120
Sistemático de Criptógamas o Criptogámico	135,82	1,22	67,13	1,74	3 módulos cuádruples	294
Jardín Plantas Exóticas	75,13	0,82	73,98	1,31	2 módulos triples	216

De acuerdo con los volúmenes ofertados y que pueden llegar a almacenarse con precipitación, en la siguiente imagen se muestran en color rojo las áreas correspondientes a cada colección, las cuales fueron medidas a través de fotografías georreferenciales (imágenes satelitales).



Figura 3: delimitación de las áreas medidas para cada colección Jardín Botánico

Fuente : (Andrés Uribe P, 2013)

Este sistema fue construido con base en los registros de precipitación suministrados por la Estación Salitre - Casa de Bombas, igualmente se tomaron y calcularon las demandas de aguas requeridas para cada una de las colecciones de especies, a fin de obtener el suministro necesario para cada una de éstas. Con base en dicha información se calcularon las secciones de área que más se adecuaran para captar el agua lluvia e implementar los SUDS mediante sistemas de tanques modulares.

Para este proyecto se escogió el SUD diseñado para la recuperación del agua que se evapotranspiración del lago, atendiendo a que, el que inicialmente fue tenido en cuenta y que circunda la rosaleda, no estaba habilitado. En consideración, a que la metodología desarrollada era la misma para todos los SUDS se decidió escoger el del lago el que estaba en condiciones normales de operación y suscitaba interés por parte del Jardín botánico, en lo que respecta al área Científica, por constituir uno de los principales sistemas de recolección de la mayor parte de la de precipitación que se deriva de la mayoría de las zonas del jardín.

3. METODOLOGÍA

Todo proceso investigativo y experimental, requiere de una serie de pasos y procedimientos que se deben tener en cuenta al momento de ser puestos en marcha, es así como en el presente proyecto se hizo un primer enfoque hacia la recopilación de fuentes de información en torno al proceso de monitoreo hidrológico, mediante sistemas probabilísticos de ocurrencia de precipitación; igualmente se estudió la normativa dada en el Standard Methods a fin de tener la metodología a seguir para cada uno de los ensayos a cumplir en el laboratorio. De otra parte, se hizo una inducción en el Laboratorio de Calidad de aguas de la Pontificia Universidad Javeriana, en relación con el manejo de los equipos a utilizar.

3.1. Información Meteorológica

Este proceso consistió en revisar diariamente los sistemas de información meteorológica del IDEAM y AccuWeather, por medio de noticias y a través de los sitios web de dichas organizaciones, a fin de conocer la probabilidad de precipitación en Bogotá. No obstante ello, y debido a las características climáticas de la capital, este monitoreo no fue el más confiable ya que en varias ocasiones estaba lloviendo en distintos sitios de la ciudad, más no en el Jardín Botánico.

Después de completados los eventos que se muestrearon, se solicitó a la Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Bogotá (EAAB) los registros de precipitación para la Estación Salitre Casa de Bombas, localizada a $4^{\circ} 41'$ de latitud y con una longitud de $74^{\circ} 75'$ d.

3.2. Obtención y conservación de las muestras.

Para el desarrollo de este proyecto fue necesario establecer con precisión los sitios más favorables para la toma de muestras. Se definió que el primer punto de muestreo debía ser el punto de entrada del agua lluvia al sistema, lugar en donde se instaló una cubeta o recipiente plástico en donde se recolectó el agua lluvia y se midió directamente el pH conforme se muestra en la figura número 4. En este punto se tomaron 2 tipos de muestras: una muestra puntual al comienzo del evento y una muestra compuesta que se realizó tomando alícuotas cada 10 o 15 minutos, dependiendo de la intensidad del evento.

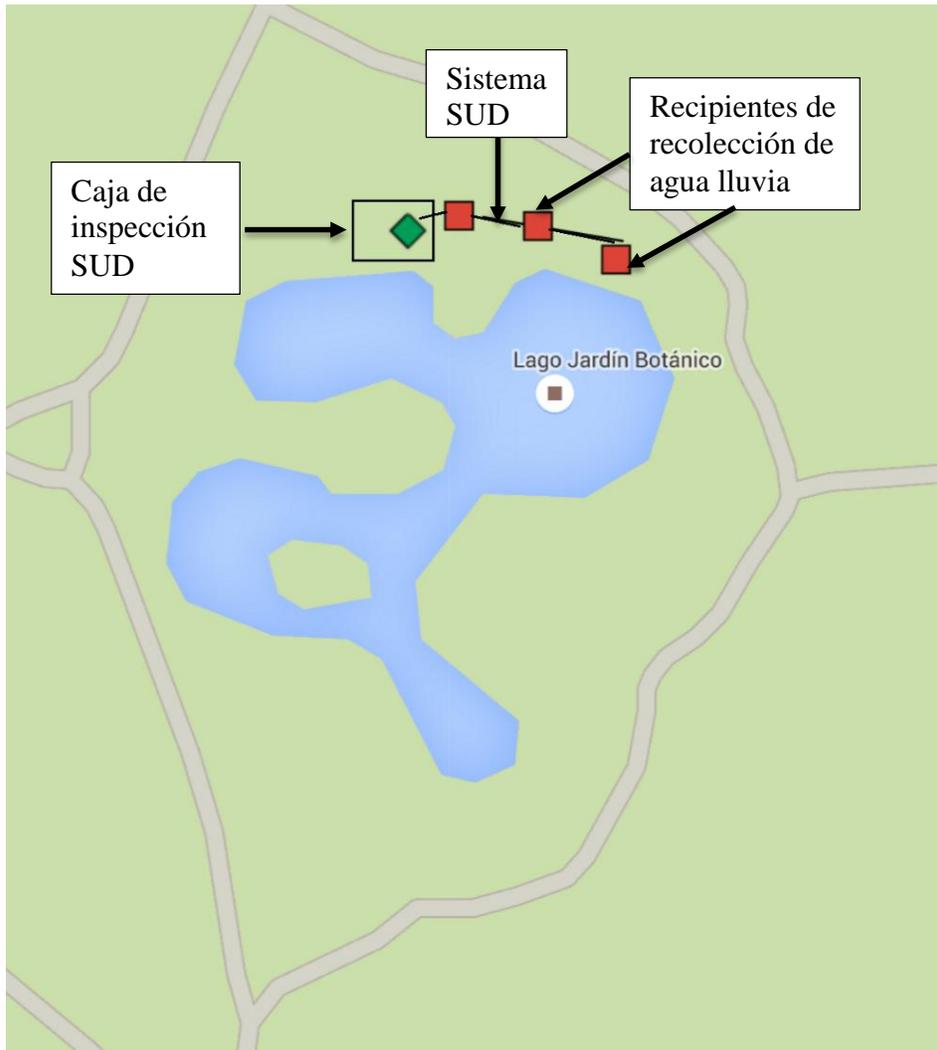


Figura 4: esquema de recolección del afluente

El segundo punto de muestreo se estableció a la salida del SUD, en la tubería que descarga el agua al tanque de almacenamiento. En este lugar se tomaron muestras puntuales y muestras compuestas. La muestra puntual corresponde a la primera descarga del SUD y la muestra compuesta a alícuotas que se tomaron cada 10 o 15 minutos dependiendo de la intensidad del evento. Para lo cual se tomaron muestras puntuales en recipientes de un litro de capacidad y posteriormente se mezclaron en un balde para lo cual éstas se distribuyeron en los recipientes indicados para cada ensayo (ver tabla N°3).

En el mencionado sitio fue necesario realizar la construcción de un sistema que permitiera la recolección de las muestras. En este punto se consideró la profundidad del tanque ubicado en la caja de inspección con respecto al tubo que se conecta a la salida de los tanques de retención, observándose la presencia de agua almacenada y ante la imposibilidad de vaciarlo, dada la carencia de un desagüe o sifón, se implementó un sistema que permitiera tomar el agua directamente del SUD. Para tal fin se instalaron dos tubos de 50 y 40 cm de longitud y un diámetro de 6 pulgadas, los cuales se conectaron mediante un codo de 45°. Debido a que el tubo que conectaba el tanque con el SUD no era completamente circular, fue necesario emplear una copa con cinta metálica para fijar los tubos y así evitar que el agua almacenada en el tanque se mezclara con aquella proveniente del sistema.

Una vez instalado el sistema para la de toma de muestras, se introdujo una manguera de ½ pulgada con el fin de facilitar la extracción del agua. Como quiera que la presión con la que llegaba el líquido no era suficiente para ser extraída con la manguera, se implementó un método manual, mediante el uso de una bomba sumergible, de uso cotidiano en los acuarios, permitiendo el bombeo permanente del líquido. La Figura 5 muestra el sistema instalado para la recolección de muestras en el efluente del SUD.



Figura 5: Sistema implementado tanque caja de inspección.

Para la conservación de las muestras se consultó la metodología propuesta en el manual de Standard Methods (2015) y se recibió orientación por parte del personal del laboratorio de calidad de agua de la PUJ, con el fin de establecer el volumen requerido para las muestras, definir el material de los envases a emplear para la recolección de las mismas y los reactivos necesarios para preservarlas. De acuerdo con dichas indicaciones, se estableció que se requería de un volumen de cuatro litros por cada muestra obtenida en los diferentes sitios seleccionados. La Tabla 3 muestra un resumen del tipo de envase para la recolección de cada una de las muestras establecidas.

Tabla N° 3: Envases utilizados para la recolección de muestras.

Tipo de envase	Cantidad	Volumen	Ensayo
Plástico	2	2L	Solidos suspendidos totales (SST)
Ámbar	1	500mL	Solidos Totales (ST), solidos disueltos (SD).
Ámbar	1	500mL	Metales pesados ,Dureza
Ámbar	1	500mL	Fosforo P, Nitrógeno amoniacal N-NH ₄ , Demandada química de oxígeno DQO, preservados con H ₂ SO ₄
Ámbar	1	500mL	Demanda bioquímica de oxígeno DBO ₅

Finalmente, las muestras se mantuvieron refrigeradas en neveras de icopor desde el momento de recolección hasta cuando se descargaron en el laboratorio de calidad de aguas de la PUJ. Ya en el laboratorio, las muestras se ubicaron en la nevera asignada para su conservación y se realizaron los diferentes ensayos.

3.3. Ensayos Realizados

Con el fin de conocer y evaluar la calidad del agua lluvia que se encuentra en el SUD se cumplieron los siguientes ensayos en el laboratorio de calidad de aguas de la PUJ para cada uno de los las cuatro muestras obtenidas en cada evento.

Tabla N°4: Cantidad y tipo de ensayos a realizar en el laboratorio.

ENSAYO	CANTIDAD
SÓLIDOS TOTALES	12
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	12
SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES	12
DUREZA CÁLCICA O POR CALCIO	12
PLOMO	12
COBRE	12
ZINC	12
HIERRO	12
CADMIO	12
NIQUEL	12
SODIO	12
PH	12
NITRÓGENO AMONICAL	12
FÓSFORO TOTAL	12
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO	12
DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO	12

3.4. Materiales y Equipo

A continuación se muestra un listado de los equipos y materiales usados para cada uno de los ensayos cumplidos en el laboratorio.

3.4.1. Sólidos Totales

- ✓ Cápsulas de porcelana de 90 mm de diámetro.
- ✓ Probetas de 50ml
- ✓ Horno para operar a 103-105°C.
- ✓ Horno para operar a 550 ± 50°C.
- ✓ Desecador con sílica azul como indicador colorimétrico de humedad.
- ✓ Balanza analítica de precisión 0.1 mg.

3.4.2. Sólidos suspendidos totales

- ✓ Filtros de fibra de vidrio: Whatman 934 AH o Gelman A/E o Milipore AP
- ✓ Equipo de filtración por vacío: Embudo de membrana filtrante, preferentemente de 4,7 cm de diámetro, frasco de succión de suficiente capacidad para la muestra, trampa de agua, bomba de vacío.
- ✓ Cápsulas de porcelana de 90 mm de diámetro.
- ✓ Probetas graduadas de 250ml
- ✓ Estufa para operar a 103-105°C.
- ✓ Horno Mufla para operar a 550 ± 50°C.
- ✓ Desecador con sílica azul como indicador colorimétrico de humedad.
- ✓ Balanza analítica de precisión 0.1 mg.

3.4.3. Sólidos Disueltos Totales

- ✓ Filtros de fibra de vidrio: Whatman 934 AH o Gelman A/E o Milipore AP
- ✓ Equipo de filtración por vacío: Embudo de membrana filtrante, preferentemente de 4,7 cm de diámetro, frasco de succión de suficiente capacidad para la muestra, trampa de agua, bomba de vacío.
- ✓ Cápsulas de porcelana de 90 mm de diámetro.
- ✓ Probetas graduadas de 30 y 50ml.
- ✓ Estufa para operar a 103-105°C.
- ✓ Horno Mufla para operar a $180 \pm 2^\circ\text{C}$.
- ✓ Desecador con sílica azul como indicador colorimétrico de humedad.
- ✓ Balanza analítica de precisión 0.1 mg.

3.4.4. Dureza Por Calcio o Cálcica (Método Titulométrico Con EDTA)

- ✓ Matraz Erlenmeyer de 250 ml
- ✓ Buretas de 25 ml
- ✓ Pipetas aforadas de 10 ml
- ✓ Pipetas graduadas de 1 ml
- ✓ Matraz aforado de 1000 ml

3.4.5. Nitrógeno Amoniacal

- ✓ Aparato de destilación
- ✓ Medidor de pH.
- ✓ Matraz Erlenmeyer de 250ml.
- ✓ Pipetas aforadas de 50ml

3.4.6. Fósforo Total

Digestión con Ácido sulfúrico-ácido nítrico

- ✓ La digestión de rack: Una digestión eléctrica o de gas calentado bastidor con posibilidad de retirada de humos se recomienda. La digestión

bastidores típico de los utilizados para las digestiones micro-Kjeldahl son adecuados.

- ✓ Frascos Micro-Kjeldahl.

Equipos colorimétricos

- ✓ Espectrofotómetro, para su uso en 400 a 490 nm.
- ✓ Fotómetro de filtro, provista de un filtro azul o violeta exhibiendo transmitancia máxima entre 400 y 470 nm.

3.4.7. Demanda Bioquímica De Oxígeno (DBO₅)

- ✓ Incubadora capaz de mantener una temperatura de $20 \pm 1^\circ\text{C}$
- ✓ Bureta automática
- ✓ Agitador magnético
- ✓ Botellas para DBO vidrio de color ámbar de 500ml
- ✓ Botellas de incubación de 300ml
- ✓ Balones aforados de 1 L
- ✓ Electrodo de membrana selectiva al oxígeno.
- ✓ Pipetas de 250 mL

3.4.8. Demanda Química De Oxígeno (DQO)

- ✓ Espectrofotómetro o colorímetro, longitud de onda 600 nm. Con adaptador de celda (tubos de digestión) de 25 mm de diámetro.
- ✓ Digestor: block de aluminio con huecos para alojar tubos de 25 mm de diámetro y que opere a $150 \pm 2^\circ\text{C}$.
- ✓ Tubos de digestión: tubos de borosilicato con tapa de rosca resistente al calor y contratapa de teflón, de 50 mL de capacidad y 25 mm de diámetro.
- ✓ Matraces aforados de 1000 mL.
- ✓ Pipetas aforadas de 1, 2, 3, 4, 5, 10 mL.

- ✓ Pipetas graduadas de 10 mL.

3.4.9. Determinación de Metales

- ✓ Balanza analítica de precisión 0,1 mg.
- ✓ Pipetas aforadas de 5 - 100 mL.
- ✓ Erlenmeyers de 100 – 125 mL
- ✓ Espectrofotómetro de Absorción Atómica THERMO M SERIES
- ✓ Lámpara de Cátodo Hueco del elemento a determinar.
- ✓ Quemador de 100 mm.
- ✓ Plancha de Calentamiento para digestión de muestras.
- ✓ Agitador Magnético
- ✓ Agitadores de Teflón.
- ✓ Cabina Extractora de Gases
- ✓ Balanza analítica de precisión 10 mg.
- ✓ Papel de filtro libre de ceniza.

3.5. DESCRIPCIÓN DE LOS ENSAYOS Y DETERMINACIÓN DE LAS CONCENTRACIONES

Los ensayos se realizaron bajo la aplicación estipulada en el Manual de Standard Methods ((«Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. APHA. AWWA. WEF.», 2014a).

3.5.1. Sólidos totales

Los sólidos totales son los residuos resultantes luego de la evaporación y secado de la muestra en una estufa a 103-105°C.



Figura 6: Capsulas con sólidos Totales.

La preparación de capsulas, consistió en marcarlas inicialmente con el número correspondiente a la muestra que se esté procesando, las mismas se colocan en el horno para ser secadas durante una hora, después de lo cual se sacan a enfriar en el desecador, para ser pesadas antes de su uso. Posteriormente se vuelven a poner media hora adicional en el horno y se colocan nuevamente en el desecador para que se enfríen, luego de lo cual se registra un segundo peso, el que se promedia en conjunto con el primero y se denomina como peso inicial con el cual se realizan los respectivos cálculos.

Para el proyecto se tomaron 30 mL de agua homogenizada para cada una de las muestras en los distintos puntos, acto seguido se vertió el contenido de la mezcla en las respectivas cápsulas previamente marcadas y preparadas. Inmediatamente después se pusieron a evaporar sobre una estufa y posteriormente se llevaron al horno a secar durante una hora; se dejaron enfriar en el desecador y se tomó su peso, volviéndose a colocar las cápsulas en el horno por media hora más para nuevamente dejarlas enfriar aproximadamente por 45 minutos en el desecador volviéndose a pesar hasta conseguir que su peso no fuera menor del 5% del anterior. Estos valores se promedian, determinándose un peso final para efectuar los cálculos respectivos conforme se muestra en la siguiente ecuación.

$$mg \text{ ST/L} = \frac{(\text{peso final promedio} - \text{peso inicial promedio}) * 1000000}{\text{volumen de la muestra}(ml)} \quad (1)$$

3.5.2. Sólidos suspendidos totales

Los sólidos suspendidos totales o el residuo no filtrable en una muestra de agua natural o residual, se definen como la proporción de materiales retenidos por un filtro estándar o por una fibra de vidrio que posteriormente se seca a 103-105°C hasta que se tenga un peso constante.

Se prepararon los filtros conforme a los parámetros descritos en el manual de Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, llevándose al horno a secar a una temperatura de 103-105 °C, para luego ser colocados en el desecador hasta que se enfríen por 45 minutos aproximadamente. Posteriormente son pesadas, colocándose media hora adicional en el horno dejándose enfriar nuevamente en el desecador hasta registrar su peso, el cual se promedia con el anterior valor obtenido. Para la preparación de las muestras se mezcla bien el contenido del agua y se coloca dentro de una probeta, teniendo en cuenta el volumen de la misma y se comienza a pasar por el filtro estándar de fibra de vidrio previamente pesado, mientras que el residuo retenido se seca en el horno a 103-105 °C, durante una hora, luego se retira del horno y se deja enfriar en el desecador y se registra de nuevo su peso y se coloca nuevamente en el horno por otra media hora hasta que se enfríe en el desecador. Se vuelve a pesar hasta que su peso no difiera del 5% del anterior, finalmente estos valores se promedian y se denominan peso final. Los sólidos suspendidos totales se determinan por medio de la siguiente ecuación:

$$mg \text{ SST/L} = \frac{(\text{peso final promedio} - \text{peso inicial promedio}) * 1000000}{\text{volumen de la muestra}(ml)} \quad (2)$$



Figura 7: Capsulas con filtros de sólidos Totales Suspendedos.

El muestreo se llevó a cabo en botellas de plástico de 1 litro de capacidad, las cuales se preservaron refrigeradas después de tomadas las muestras cumpliendo el análisis de las mismas en un periodo de 24 a 48 horas después del muestreo.

3.5.3. Sólidos Disueltos Totales

Los sólidos disueltos totales son los residuos resultantes luego de la evaporación y secado de la muestra en una estufa a 180°C.

La preparación de las capsulas consiste en marcarlas inicialmente con el número correspondiente de la muestra que se esté procesando, luego éstas se colocan en el horno a secar a la temperatura anteriormente indicada durante una hora y se sacan a enfriar en el desecador, para ser pesadas antes de su uso. Posteriormente, las cápsulas se vuelven a colocar otra media hora en el horno y se colocan nuevamente en el desecador para que se enfríen registrándose un segundo peso, el cual se promedia en conjunto con el primero a fin de realizar los respectivos cálculos. Este valor promedio se denomina como peso inicial.

Para este proyecto se tomaron 30 mL de agua homogenizada para cada una de las muestras de los puntos, luego la muestra se vertió en las respectivas cápsulas previamente marcadas y preparadas. Después de lo cual, las cápsulas se pusieron a evaporar sobre una estufa y posteriormente se llevaron al horno a secar por una hora, se dejaron enfriar en el desecador y se tomó su peso inicial. Se repite el ciclo de secado - enfriado en el desecador y se hace el registro del segundo peso, el cual no debe tener una diferencia mayor al 5% con respecto al peso previo. Estos dos valores de los pesos se promedian y el peso obtenido se le denomina peso final y se procede a realizar los respectivos cálculos mediante la siguiente ecuación:

$$mg \text{ SD/L} = \frac{(\text{peso final promedio} - \text{peso inicial promedio}) * 1000000}{\text{volumen de la muestra(ml)}} \quad (3)$$

3.5.4. Dureza por calcio o cálcica (Método titulométrico con EDTA)

La dureza total se define como la suma de concentración de iones calcio y magnesio, expresados como carbonato de calcio, en mg/L.

Para la determinación de la dureza por calcio únicamente se realiza cuando la muestra tiene un pH elevado, por lo que el magnesio se precipita como Mg (OH)₂ y no interviene en la reacción; por consiguiente, el indicador que se debe utilizar para la determinación solo debe combinarse con el calcio.

El punto final de la titulación es detectado por el indicador Murexida, el cual cambia de rosado a púrpura en el punto final.

Las muestras se recolectaron en un recipiente de vidrio ámbar, las cuales se acidificaron con HNO₃ hasta que el pH fue menor a 2. En un periodo aproximado de 20 días se hizo el análisis correspondiente para determinar la dureza cálcica.

Los reactivos que se emplearon para el procesamiento de las muestras fueron hidróxido de sodio, reactivo indicador Murexida, solución titulante de EDTA 0.01M, para lo cual se siguió la metodología empleada en Standard Methods (3500-Ca B , 2014) .

La ecuación que se presenta a continuación fue empleada para determinar la dureza cálcica.

Cálculos

$$T = \frac{P * V1}{G1} \quad (4)$$

Donde:

T: mg de CaCO₃ equivalentes a 1000 mL de EDTA

P: mg CaCO₃ /L de la solución estándar de calcio

V1: volumen de solución estándar de calcio tomados en la titulación de la solución de EDTA, (10.0 mL)

G1: gasto de la solución de EDTA consumidos en su titulación

$$Dureza\ de\ calcio,\ mg\ \frac{CaCO3}{L} = \frac{T * G2}{V2} \quad (5)$$

Donde:

V2: volumen de muestra tomados para la determinación, mL

G2: gasto de solución de EDTA consumidos en la titulación de la muestra, mL.

3.5.5. Nitrógeno Amoniacal

En primer lugar se prepara el equipo conforme lo indicado en la norma Staders Methods (4500-NH₃ , 2014) para luego seguir con los siguientes pasos:

a. Preparación de la muestra:

Se utilizan 500 mL de muestra de cloro o una porción conocida diluida a 500 mL de agua. Cuando la concentración NH₃-N tenga una concentración inferior 100g/L se debe usar un volumen de muestra de 100 mL. Luego se procede a remover el cloro residual por adición, y en el momento del muestreo, el agente de cloro va a ser equivalente al cloro residual. Si es necesario, se debe neutralizar el pH a un valor de 7 aproximadamente por medio del uso de un ácido o base de diluidos y un Phmetro. Posteriormente, se agregan

25mL de solución tampón de borato y se ajusta el pH a 9,5 con NaOH6N utilizando un medidor de pH.

b. Destilación de la muestra

Para minimizar la contaminación, se debe dejar el aparato de destilación ensamblado, después de la purga y hasta justo antes de iniciar la destilación de la muestra. Luego se desconecta el balón de la purga e inmediatamente se transfiere el balón de la muestra al aparato de destilación. La destilación se realiza a una velocidad de 6- 10 mL/min, teniendo la punta de un tubo de salida bajo la superficie de la solución receptora ácida. Posteriormente se recolecta el destilado en un Erlenmeyer de 500 mL que contiene 50 mL de solución indicadora de ácido bórico como absorbente. Para completar el procedimiento es necesario recolectar al menos 200 mL de destilado, asegurándose de bajar el receptor de destilación de tal manera que la punta del tubo de salida quede libre de contacto con el líquido y así poder continuar la destilación durante 1 o 2 minutos para limpiar el condensador y el tubo de salida. Finalmente se realiza una dilución del producto obtenido con 500 mL de agua.

Determinación del amoníaco

Se titula el amoníaco en el destilado con H₂SO₄ 0.02N estándar hasta que el indicador cambie a un color lavanda pálido conforme se observa en la figura número 8. Paralelamente se debe llevar una muestra testigo a través de todos los pasos del procedimiento y se debe aplicar la corrección necesaria en los resultados.

Teniendo en cuenta los parámetros descritos se emplea la siguiente ecuación para la realización de los cálculos:

$$mgNH_3 - N/L = \frac{(mLácido muestra - mLácido blanco) * 280}{mL de la muestra} \quad (6)$$



Figura 8: Ensayo de nitrógeno amoniacal.

3.5.6. Fósforo Total

Digestión de la muestra con ácido sulfúrico-nítrico

Se toma un Erlenmeyer de 250 mL y se le adicionan 50 mL de la muestra sin filtrar, luego se agregan 3 mL de ácido sulfúrico y nítrico concentrado y se agita. Se someten a calentamiento en una plancha para que se lleve a cabo el proceso de digestión de la materia orgánica. Cuando se desprenden vapores blancos del ácido perclórico, se disminuye la temperatura y se deja reducir la muestra por 10 minutos más. Una vez enfriada la muestra se agregan 3 mL de ácido clorhídrico y se pone a calentar nuevamente hasta que queden aproximadamente 5 mL de muestra, momento en el cual se apaga la plancha y se deja enfriar la muestra.

Una vez la muestra se ha enfriado completamente, se le adicionan dos gotas de solución indicadora de fenolftaleína y se neutraliza la solución mediante la adición de NaOH 4N, hasta llevarla a una coloración ligeramente rosada. Se ajusta el volumen de la muestra a 25 mL y se procede a determinar los fosfatos siguiendo la metodología descrita en el procedimiento 4500-P establecido en el manual de Standard Methods (2014). Es importante recordar que con cada set de muestras se deben montar paralelamente un blanco de reactivos.

$$\text{mgP} - \text{PO}_4/L = \frac{A + I}{m} \quad (7)$$

Donde:

A= Área de la muestra

I= \pm el intercepto de la curva

m=pendiente de la curva

3.5.7. Demanda bioquímica de oxígeno

La toma de muestras para este ensayo se realizó en botellas de vidrio ámbar y el montaje del ensayo en el laboratorio se cumplió entre las 24 y 48 horas después de la recolección de las muestras de acuerdo a lo indicado en el Manual de Standard Methods (APHA. AWWA. WEF.», 2014e). Durante el periodo previo a la realización del montaje, fue necesario mantener las muestras refrigeradas, procurando que la temperatura no fuera mayor a 4°C.

Para realizar su montaje, se procedió a medir un volumen de agua el cual está asociado a los valores obtenidos en el ensayo de DQO. Para los tres eventos que se realizaron se sembraron muestras de agua de 432 mL y 365 mL.

Una vez realizado el procedimiento anterior, se añadieron 5 gotas de inhibidor de nitrificación y posteriormente se colocó el sello y dentro de este se añadieron 3 perlas de

hidróxido de sodio. Luego se procedió a colocar el medidor y se colocaron en un lugar apartado de la luz para hacer su respectiva lectura transcurridos cinco días.

$$mgDBO/L = \text{Numero } M * \text{Factor} \quad (8)$$

3.5.8. Demanda química de oxígeno

Las muestras para este ensayo se tomaron en botellas de vidrio ámbar y se procedió a preservarlas con ácido sulfúrico (H₂SO₄) con el fin de mantener un pH menor a 2 para evitar un posible crecimiento bacteriano («Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. APHA. AWWA. WEF.», 2014f).

Para realizar este ensayo, primero se pipetea en tubos de digestión los siguientes volúmenes de la solución estándar: 1, 2, 3, 4, 5, 8 y 10 mL, y luego se completa con agua destilada hasta obtener un volumen final de 10 mL.

Una vez realizado el procedimiento anterior se procede a hacer una blanco (muestra patrón) de reactivos donde se pipetea 10 mL de agua destilada en un tubo de digestión. Luego, a cada tubo de digestión se le agrega 6 mL de la digestión y 14 mL de ácido sulfúrico, se tapan y se agitan vigorosamente y se colocan en el digestor a 150±2 °C durante un periodo de 2 horas. Se enfrían los tubos de digestión a temperatura de ambiente, colocándolos en una gradilla.

Posteriormente, se invierten las muestras enfriadas y se deja que los sólidos se depositen antes de iniciar el proceso de medición de absorbancia en el espectrofotómetro.

Finalmente, se prepara la curva de calibración para cada uno de los lotes de los reactivos preparados, donde se grafica la absorbancia versus mg O₂/L y se traza la mejor recta.

Los resultados obtenidos para cada ensayo se realizaron con base a la siguiente ecuación:

$$\frac{mg\ O2}{L} = \frac{((mL\ FAS\ blanco - mL\ FAS\ muestra) * NFAS * 8000}{mL\ de\ la\ muestra} \quad (9)$$

3.5.9. Metales Pesados

Para este proyecto se siguió una misma metodología para determinar los metales pesados en las muestras de agua tomadas en la entrada y la salida del sistema de SUD. En este caso se realizaron ensayos correspondiente a los metales Cinc, Hierro, Cadmio, Plomo total, Cobre, Níquel y Sodio, con el equipo que se observa en la figura 9 y bajo la técnica que se describe a continuación con base en las indicaciones dadas en el Manual de Standard Methods (« APHA. AWWA. WEF.», 2014g)



Figura 9: Equipo para ensayos de metales pesados.

- a. Preparación de los estándares colorimétricos

Se determinó el contenido de metales por el método de espectrometría de absorción atómica. Para realizar la calibración gráfica fue necesario medir la absorbancia de una serie de disoluciones con las siguientes concentraciones: 0.05, 0.10, 0.20, 0.25 mg/L. Estas disoluciones se obtuvieron empleando agua destilada con un agregado de HNO_3 , hasta obtener una concentración final del 1%.

b. Preparación de la muestra

Para determinar de manera práctica el ácido total extraíble del metal a analizar, se homogeniza la muestra y se añade de 1-5mL de HCl concentrado en 50 mL de la muestra. Posteriormente se obtiene en una pipeta aforada de un volumen de forma tal, que se encuentre dentro del rango de la medida, finalmente se mezcla bien, se filtra y se ajusta el pH a 7.

c. Digestión de la muestra

La digestión de la muestra consiste básicamente en homogenizar la muestra y tomar una porción de ésta con una pipeta aforada, de tal forma que la solución final esté dentro del rango de la medida mínima, la cual para este caso de estudio corresponde a un volumen de 5 mL de HNO_3 y se procede a calentarla en una plancha, de tal forma que se obtenga una ebullición leve, evitando que ocurra precipitación de sólidos. Paralelamente se debe realizar este mismo procedimiento para una muestra testigo, donde el agua destilada se emplea como la muestra testigo.

d. Curva de calibración

Este es un procedimiento que se cumple con todos los metales por el método de espectrometría y absorción atómica por llama, el cual consiste en preparar soluciones estándar entre 0,2 y 20,0 mg/L de níquel a partir de la solución estándar del metal analizar de 1000 mg/l con el agregado de HNO_3 tal que su concentración final sea del 1%.

A continuación se presenta la ecuación que se empleó para determinar la concentración para cada uno de los metales.

$$mg \text{ Metal} / L = \frac{A + I}{m} \quad (10)$$

Donde:

A= Área de la muestra.

I= +/- intercepto de la curva

m= pendiente de la curva

3.5.10. Medición del Potencial de Hidrógeno (pH)

La medida del pH en el agua se realiza para establecer en qué rango de acidez se encuentra ésta y si es apta para un uso específico. El proceso de calibración del instrumento en este caso, se cumplió atendiendo las reglas propias del laboratorio de calidad de aguas y con base en la metodología descrita por el fabricante. Las mediciones de pH se cumplieron **in-situ** durante el proceso de recolección de las muestras.

Ya en el lugar y una vez encendido el instrumento de medición, se colocó dentro de las respectivas cubetas, hasta conseguir su estabilización procediendo a registrar su lectura tanto para el agua recogida en el afluente como en el efluente del sistema del SUD.

3.6. Cálculo del volumen de escorrentía y cargas contaminantes.

Los cálculos se efectuaron a partir de los parámetros descritos por el método de abstracciones SCS, donde son imprescindibles tanto el tipo de suelo como del área (Ven Te Chow et al.).

En el sitio de estudio, se cuenta con un área de cobertura vegetal igual a 6310,99 m² y una cobertura de zonas duras de 116,84 m², correspondiente a los caminos que se encuentran distribuidos dentro de las zonas verdes del Oasis. De acuerdo a la descripción dada por el SCS, se definió que el tipo de suelo en el Jardín Botánico corresponde a un tipo C

compuesto principalmente por rocas margo arenosas y arcillosas, donde los suelos tienen un bajo contenido orgánico y altos contenidos arcillosos.

En este método se requiere determinar un Número de Curva (CN), el cual se ajusta dependiendo del tipo de suelo. Para el proyecto, el área de estudio presenta más de un tipo de cobertura vegetal, por lo que fue necesario determinar un valor de CN ponderado, teniendo en cuenta el área de cada uno de los tipos de cobertura. El CN para un suelo tipo C corresponde a 74 para las zonas de cobertura vegetal y 98 para las áreas impermeables.

$$CN = \frac{A_c * Ts + A_n * Ts}{A_t} \quad (11)$$

Donde:

CN= número de curva

A_c = Área de cobertura

A_d = Área de la zona dura

A_n = Área total de recuperación del lago

Para hallar el patrón S que corresponde a la infiltración potencial calculada en función del número de curva (CN) se procede a despejar la siguiente ecuación en términos de S.

$$CN = \frac{1000}{10 + 0.0394S} \quad (12)$$

Para lo cual se obtiene la siguiente expresión:

$$S = \frac{\left(\frac{1000}{CN} - 10\right)}{0.0394} \quad (13)$$

Una vez hallado el valor de S se procede a calcular el valor de la profundidad de la lámina de agua.

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \quad (14)$$

Donde:

P= precipitación total del evento

Q= escorrentía total

Con base a la profundidad hallada se calcula el volumen de escorrentía el cual viene dado mediante la siguiente ecuación:

$$V = Q * A_t \text{ (15)}$$

Donde

V= volumen de escorrentía.

A_t= área total de la superficie

Una vez se obtiene el volumen de escorrentía, se procede a hallar el caudal de escorrentía y el valor obtenido se multiplica por los valores de concentración obtenidos para cada uno de los parámetros evaluados a fin de obtener las cargas contaminantes de los mismos.

A continuación se presentan las ecuaciones para determinar los caudales de escorrentía y las cargas contaminantes.

$$Q = \frac{V}{t} \text{ (16)}$$

Donde

Q= caudal

t = al tiempo total de muestreo.

$$CC = Q * C \text{ (17)}$$

CC= carga contaminante

C = concentración del contaminante

4. ANÁLISIS Y RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados obtenidos para cada uno de los eventos muestreados durante el desarrollo de este proyecto. La memoria de cálculos se presenta como anexo a este documento.

Resulta de suma importancia, indicar que los valores de concentración obtenidos para los metales cadmio, plomo y níquel, mostraron un valor negativo, lo que indica que su presencia en el agua es escasa o nula, ya que se encuentran por debajo del límite de confianza de la curva de calibración realizada para cada ensayo. (Ver anexo de las memorias de cálculo).

4.1. Resultados del Primer Muestreo

4.1.1. Concentraciones

Este evento se realizó el día 7 de septiembre de 2015, conforme se indica en la Tabla N°5, la que muestra las concentraciones obtenidas con para cada uno de los parámetros de calidad definidos en las muestras.

Tabla N°5: Concentraciones obtenidas en el laboratorio primer evento.

Parámetro	Afluente		Efluente	
	Muestra puntual	Muestra compuesta	Muestra puntual	Muestra compuesta
ST (mg /L)	177	126	337	376
SST (mg /L)	12	5	15	14
SD (mg /L)	98	62	266	268
Dureza Cálrica	0.81	0.88	1.11	1.00
N-NH4 (mg /L)	4.76	7.56	2.24	3.08
P (mg /L)	5.72	5.51	3.38	3.34
DBO5(mg /L)	24	28	13	14
DQO(mg /L)	80.40	59.88	34.25	35.69
Ph	6.84	6.83	6.81	6.77
Zn(mg /L)	0.208	0.361	0.017	0.025
Fe (mg /L)	0.108	0.120	0.123	0.101
Cd (mg /L)	-0.0256	-0.0265	-0.0265	-0.0246
Pb (mg /L)	-0.021	-0.021	-0.021	-0.015
Cu (mg /L)	0.119	0.032	0.029	0.029
Na (mg /L)	11.667	12.333	27.000	27.667
Ni	-0.015	-0.015	-0.015	-0.015

4.1.2. Información Hidrológica

Con base en la información hidrológica obtenida se elaboró la gráfica que se muestra en la figura número 9, donde la precipitación máxima registrada fue de 2,25mm y se obtuvo una precipitación total de 12,45mm para el tiempo del evento que tuvo una duración de 154 minutos.

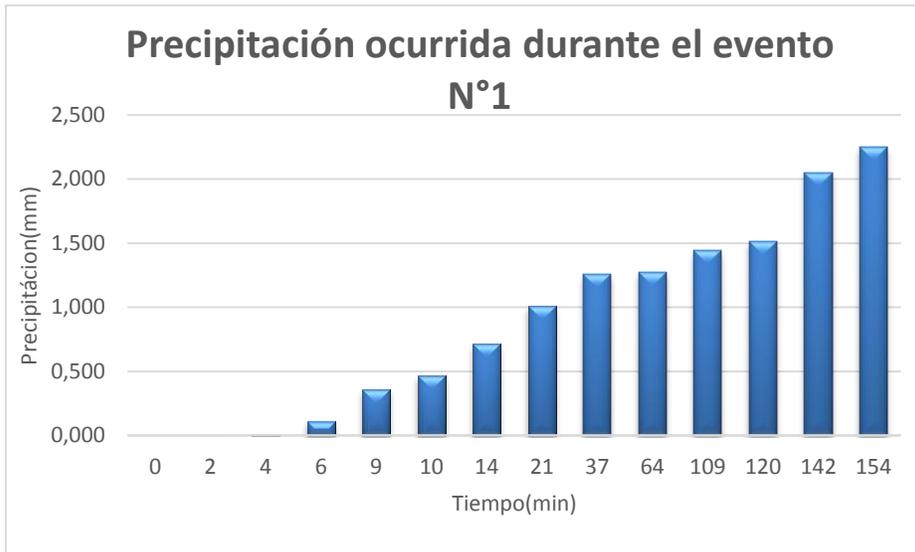


Figura 10: Hietograma de precipitación primer evento.

Los valores obtenidos para las cargas contaminantes, se hallaron con base en el volumen de escorrentía el cual se calculó a partir de la precipitación máxima obtenida como se muestra en el gráfico de la figura 10, los resultados obtenidos se presentan en la tabla N°6.

Tabla N°6: Cargas contaminantes primer evento.

Parámetro	Afluente		Efluente	
	Muestra puntual	Muestra Compuesta	Muestra Compuesta	Muestra Puntual
ST (mg/evento)	0,069607	0,049469	0,132866	0,147969
SST (mg/evento)	0,004709	0,002012	0,005976	0,005354
SD (mg/evento)	0,038743	0,024516	0,104629	0,105504
Dureza Cálcica(mg/evento)	0,000319	0,000347	0,000437	0,000394
N-NH4 (mg/evento)	0,001875	0,002979	0,000883	0,001214
Ptot (mg/evento)	0,002254	0,002170	0,001334	0,001317
DBO5 (mg/evento)	0,009456	0,011032	0,005122	0,005516
DQO (mg/evento)	0,031676	0,023591	0,013494	0,014063
pH	0,002667	0,002675	0,002691	0,002695
Zn (mg/evento)	0,000082	0,000142	0,000007	0,000010
Fe(mg/evento)	0,000043	0,000047	0,000049	0,000040
Cd (mg/evento)	-0,000010	-0,000010	-0,000010	-0,000010
Pb (mg/evento)	-0,000008	-0,000008	-0,000008	-0,000006
Cu (mg/evento)	0,000047	0,000012	0,000011	0,000011
Na (mg/evento)	0,004597	0,004859	0,010638	0,010901
Ni (mg/evento)	-0,000006	-0,000006	-0,000006	-0,000006

4.2. Segundo Muestreo.

Este evento se llevó a cabo el día 13 de octubre de 2015. La Tabla N° 7 se presentan las concentraciones obtenidas conforme a los parámetros de calidad definidos para cada una de las muestras.

Tabla N°7: Concentraciones obtenidas en el laboratorio segundo evento.

Parámetro	Afluyente		efluente	
	Muestra puntual	Muestra compuesta	Muestra puntual	Muestra Compuesta
ST (mg /L)	30	31	324	317
SST (mg /L)	13,50	10,50	18,00	20,00
SD (mg /L)	52	53	262	252
Dureza Cálcica(mg /L)	0,6	0,45	1,29	1,02
N-NH4 (mg /L)	2,8	3,36	4,48	4,48
Ptot (mg /L)	4,51	3,80	2,87	2,49
DBO5 (mg /L)	6	6	17	19
DQO (mg /L)	3,70	11,09	19,45	19,35
pH (mg /L)	5,69	5,68	7,14	7,14
Zn (mg /L)	0,03	0,05	0,01	0,01
Fe (mg /L)	0,15	0,05	0,08	0,11
Cd (mg /L)	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02
Pb (mg /L)	-0,06	-0,06	-0,06	-0,06
Cu (mg /L)	0,01	0,00	0,00	0,00
Na (mg /L)	10,83	10,83	26,67	29,17
Ni (mg /L)	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01

4.2.1. Información Hidrológica

Con base en la información hidrológica obtenida se elaboró el hietograma que se muestra la figura número 11, donde la precipitación máxima registrada fue de 3,0mm y se obtuvo una precipitación total de 10,10mm para el tiempo del evento, el que tuvo una duración de 159minutos.

Igualmente con la información hidrológica suministrada por la estación Casa de Bombas, se pudo observar que en este evento se coincidió con el periodo de mayor caída de

precipitación, lo cual influye de manera significativa al momento de calcular el volumen de escorrentía y por ende las concentraciones y las cargas contaminantes.

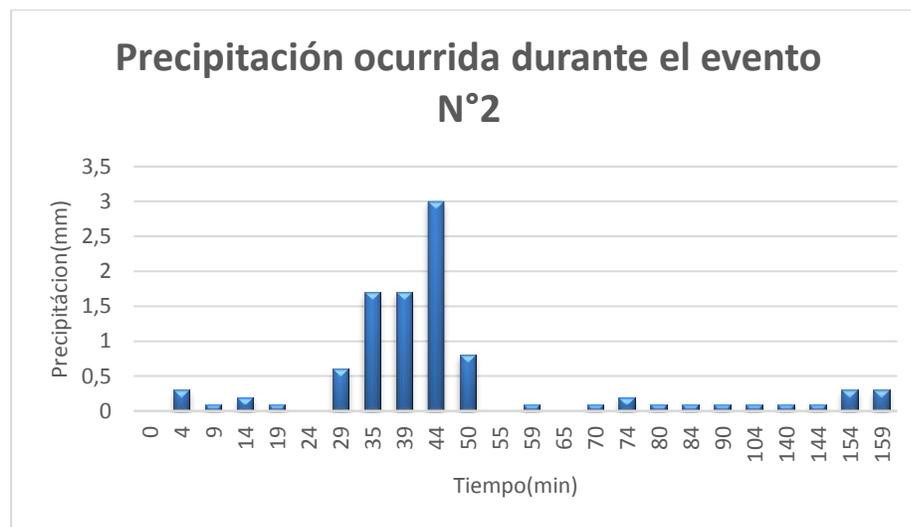


Figura 11: Hietograma de precipitación para el segundo evento

Tabla N°8: Cargas de contaminantes obtenidas para el segundo evento.

Parámetro	Afluente		efluente	
	Muestra puntual	Muestra compuesta	Muestra puntual	Muestra Compuesta
ST (mg /evento)	0,058830	0,060464	0,635691	0,620983
SST (mg /evento)	0,026473	0,020591	0,035298	0,039220
SD (mg /evento)	0,101318	0,102953	0,513128	0,493518
Dureza Cálctica (mg /evento)	0,001177	0,000882	0,002530	0,002000
N-NH4 (mg /evento)	0,005491	0,006589	0,008785	0,008785
Ptot (mg /evento)	0,008844	0,007447	0,005632	0,004877
DBO5 (mg /evento)	0,011766	0,011766	0,033337	0,037259
DQO (mg /evento)	0,007248	0,021744	0,038150	0,037952
pH (mg /evento)	0,011158	0,011138	0,014002	0,014002
Zn (mg /evento)	0,000063	0,000089	0,000026	0,000021
Fe (mg /evento)	0,000292	0,000103	0,000157	0,000211
Cd (mg /evento)	-0,000046	-0,000048	-0,000046	-0,000044
Pb (mg /evento)	-0,000110	-0,000121	-0,000110	-0,000121
Cu (mg /evento)	0,000025	-0,000002	-0,000002	0,000004
Na (mg /evento)	0,021244	0,021244	0,052293	0,057196
Ni (mg /evento)	-0,000028	-0,000028	-0,000028	-0,000028

4.3. Tercer Muestreo.

Este tuvo lugar el día 25 de octubre de 2015. La Tabla N°7 muestra las concentraciones obtenidas de los parámetros de calidad definidos para cada una de las muestras.

Tabla N°9: Concentraciones obtenidas en el laboratorio en el tercer evento.

Parámetro	Afluyente		Efluente	
	Muestra Puntual	Muestra compuesta	Muestra compuesta	Muestra Puntual
ST (mg/L)	43	48	300	315
SST(mg/L)	3.32	3.56	6.06	7.94
SD(mg/L)	54	46	302	301
Dureza Cálcica (mg/L)	0.43	0.49	1.00	1.13
N-NH4(mg/L)	4.76	3.92	2.8	2.24
P(mg/L)	3.54	3.68	2.34	2.22
DBO5(mg/L)	4	6	2	4
DQO(mg/L)	10.11	13.68	8.27	9.64
pH	6.06	6.08	9.56	9.55
Zn(mg/L)	0.09	0.15	0.04	0.02
Fe (mg/L)	0.04	0.04	0.11	0.00
Cd (mg/L)	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02
Pb (mg/L)	-0.06	-0.06	-0.07	-0.07
Cu(mg/L)	0.00	0.01	0.00	0.00
Na(mg/L)	12.50	10.00	25.00	25.83
Ni(mg/L)	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01

En el tercer evento no fue posible calcular las cargas contaminantes, debido a que no se contó con la información hidrológica, dado que la Estación Casa de Bombas del Salitre, que fue la que suministro la información para los demás eventos, presentó fallas en su funcionamiento, concretamente día 25 de octubre del presente año, data en la que se cumplió el muestreo, aunque se solicitaron los registros de información del pluviómetro instalado en el Jardín Botánico, se encontró que allí solamente se lleva registro de

precipitación acumulada diaria y no la instantánea para poder visualizar la ocurrencia de ésta en el horario en que se llevó a cabo el evento, por lo cual la precipitación acumulada en este caso no aplica para la realización de cálculos de volumen de escorrentía y por ende existe imposibilidad de hallar las cargas contaminantes.

4.4. Comparación entre el afluente y efluente

A continuación se muestra una tabla con los resultados promedios de concentraciones realizados para los tres eventos cumplidos en cada uno de los puntos, con ocasión a los muestreos, los que corresponden a muestra puntual y compuesta tanto para la entrada como para la salida del sistema.

Tabla N°10: Concentraciones promedio obtenidas para los tres eventos.

Parámetro	Afluente		Efluente	
	Muestra Puntual	Muestra Compuesta	Muestra compuesta	Muestra Puntual
ST (mg/L)	80,56	74,87	298,00	330,85
SST(mg/L)	9,81	6,93	11,69	13,99
SD(mg/L)	64,00	61,28	252,24	273,91
Dureza Cálcica(mg/L)	0,50	0,60	1,09	1,07
N-NH4(mg/L)	4,01	4,57	4,01	3,17
Ptot(mg/L)	4,58	4,37	3,22	2,51
DBO5(mg/L)	11,33	12,00	15,67	12,00
DQO(mg/L)	18,02	31,63	24,90	21,35
pH	6,17	6,18	7,84	7,84
Zn(mg/L)	0,11	0,17	0,06	0,02
Fe(mg/L)	0,10	0,07	0,10	0,07
Cd(mg/L)	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02
Pb(mg/L)	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05
Cu(mg/L)	0,06	0,01	0,01	0,01
Na(mg/L)	11,78	10,83	24,67	27,56
Ni(mg/L)	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01

De acuerdo con los valores obtenidos en la tabla N° 8 se observa que los resultados de concentración, tanto para las muestras puntuales como para aquellas compuestas son menores en la entrada del sistema (afluente) con respecto a los de la salida, por lo que se infiere que en el SUD el agua recoge una mayor cantidad de concentración de contaminantes, la cual se encuentra asociada al arrastre de partículas como consecuencia del transporte que el agua lluvia efectúa sobre el suelo, en lo que respecta a los resultados de sólidos totales, sólidos totales suspendidos, sólidos disueltos, dureza cálcica y sodio.

En el caso de la cantidad de sólidos totales y sólidos disueltos totales, existe una diferencia entre el afluente y el efluente en las muestras puntuales de 75,6% y en las muestras compuestas de 74,9% mientras que se comportan de manera similar las concentraciones de los sólidos disueltos totales. En tanto, que para los sólidos suspendidos totales esta diferencia es de 4,18 mg/L y 4,76 mg/L en la entrada y salida de las muestras puntuales y compuestas respectivamente. En lo que tiene que ver con la dureza cálcica se observó que ésta se aumenta en un 54% aproximadamente tanto en el afluente como en el efluente para las muestras puntuales; mientras que en las muestras compuestas este valor es del 39%.

Así las cosas y con base en los resultados obtenidos se evidencia que el sistema de SUD no cuenta con los elementos necesarios que impidan el paso de dichos contaminantes, como serían una rejilla o malla similar a la que se muestra en la figura 11, que permita retener una mayor retención de las partículas que claramente están asociadas al proceso de transporte que tiene el agua y a la infiltración que se cumple a través de la tierra hasta llegar al sistema.

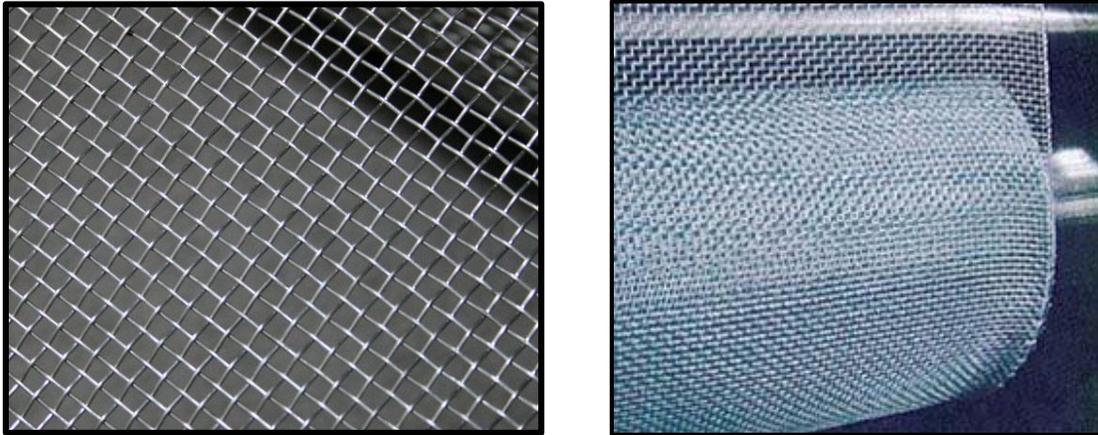


Figura 11: Alternativa de Rejilla y malla a implementar en el sistema

Fuente: <http://www.acinox.com.mx/telas.html>

Con respecto a las concentraciones obtenidas de nitrógeno amoniacal ($N-NH_4$) existe una diferencia entre la entrada y la salida del sistema entre las muestras puntuales del 20,9% y en muestras compuestas del 12,2% aproximadamente, por lo cual es evidente que el SUD contribuye a la disminución de este contaminante presente en el agua de escorrentía. Igualmente, ocurre con los resultados obtenidos para el fósforo donde también el agua disminuye su concentración en el efluente, las cuales varían en un 45% para las muestras puntuales y en 25% para muestras compuestas.

De los valores obtenidos para la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), se observa que entre las muestras puntuales de la entrada y la salida del sistema se presenta un aumento en un 5,6% mientras que en el caso de las muestras compuestas el aumento es de un 23%. Con respecto a la Demanda Química de Oxígeno (DQO), se encontró que en las muestras puntuales existe un aumento en las concentraciones entre el afluente y efluente que varía entre las muestras puntuales en un 15,6% y en las compuestas ente un 23,1%; por lo que se puede establecer que estos patrones aumentan en la salida del sistema teniendo mayor aumento en las muestras compuestas.

Respecto al análisis de los valores obtenidos para pH entre el afluente y el efluente, se observó que los mismos aumentaban tanto en muestras puntuales como en las muestras compuestas en la salida del sistema, lo cual indica que el agua a medida que se va infiltrando tiende disminuir su acidez y se torna alcalina. Sin embargo, el pH de las muestras se encuentra dentro del rango alcalino, tanto en la entrada como en la salida del sistema.

Conforme a los resultados de concentración obtenidos para metales, se observó que éstos disminuyen en el efluente en más de del 70% para el caso del zinc y el hierro, tanto para las muestras puntuales como las compuestas, mientras que en los metales como el cadmio, el plomo y el níquel sus valores se mantienen aproximadamente constantes tanto en la entrada como en la salida del sistema. En los resultados también se presentan valores negativos, lo cual indica que no se encuentran dentro del límite de detección para las curvas de calibración realizadas para cada evento, razón por la cual se indica que su presencia es escasa o nula, conforme a la precisión del equipo utilizado para hacer la medida en los correspondientes ensayos.

Finalmente, realizando una comparación con respecto a la concentración de sodio obtenida en el afluente se determinó que ésta aumenta aproximadamente en un 43% en el efluente tanto en las muestras puntuales como en las muestras compuestas, lo cual puede estar asociado a factores de salinidad presentes en el suelo.

4.5. Comparación de los resultados obtenidos con relación a la normatividad vigente.

De acuerdo con las especificaciones enunciadas en el (*Decreto 475, 1998*) mediante el cual se expiden normas técnicas para la calidad del agua potable, sobre los valores de concentraciones permitidas, en su artículo 7° se establece que los sólidos totales (ST) se encuentran dentro del valor admisible para dicho uso. Entre tanto, que para el caso de los sólidos suspendidos totales (SST) se halló que este ensayo no cumple con los estándares

admitidos por el decreto citado, en el que se exige ausencia de los mismos, mientras que el valor fue altamente representativo entre 3.32 y 7.94 mg/L.

Tabla N°11 Resultados de concentraciones en el afluente

Parámetro	Evento 1 (mg/L)	Evento2 (mg/L)	Evento 3 (mg/L)	Valor Admisible Norma (mg/L)
ST	151.11	30.42	45,42	< 500
STD	80.28	52.08	50.00	Ausente
PH	6.78	5.69	6,07	6,5-9,0
Zn	0.28	0.04	0.116	5
Fe	0.11	0.10	0.039	0.3
Cd	-0.03	-0.02	-0.025	
Pb	-0.02	-0.06	-0.062	0.01
Cu	0.08	0.01	0.003	1.0
Ni	-0.02	-0.01	-0.014	0.02

Tabla N°12 Resultados de concentraciones obtenidas en el efluente.

Parámetro	Evento 1 (mg/L)	Evento2 (mg/L)	Evento 3 (mg/L)	Valor Admisible Norma (mg/L)
ST	356.39	320.42	307.50	< 500
STD	266.67	256.67	301.67	Ausente
PH	6.84	7.14	9.56	6.5-9.0
Zn	0.02	0.01	0.03	5
Fe	0.11	0.09	0.05	0.3
Cd	-0.03	-0.02	-0.02	0.003
Pb	-0.02	-0.06	-0.07	0.01
Cu	0.03	0.003	0.002	1.0
Ni	-0.02	-0.01	-0.01	0.02

Teniendo en cuenta los criterios descritos en la norma citada y conforme a lo especificado en el artículo 8°, es posible establecer que los valores obtenidos de concentración de cobre se encuentran dentro del límite del valor admisible para agua potable, ya que este va hasta un rango de 1.0 mg/L. En cuanto a la concentración obtenida de cadmio se muestra dentro de un rango negativo, lo cual indica que la presencia de este metal es escasa sin valor representativo, según el equipo en el cual se efectuó su medición, por lo que podría considerarse dentro del rango permitido, igualmente la presencia de hierro se halla dentro de los límites de la norma conforme se evidencia en la tabla.

En cuanto a los criterios de calidad química, es posible indicar que los valores obtenidos de dureza cálcica también encuadran dentro de lo previsto para el agua potable, valor que se determinó de manera uniforme para los cuatro puntos.

Cabe anotar que otro de los parámetros que aparece dentro del rango establecido es el de potencial de hidrogeno que se cumple para los cuatro puntos, atendiendo las voces de lo estipulado en el artículo 10° del Decreto citado.

Según los resultados obtenidos, se puede evidenciar que muchos de los análisis realizados se encuentran dentro de los parámetros exigidos por la norma para catalogar la calidad de agua como potable; sin embargo, harían falta criterios para establecer que la misma cumpla realmente con parámetros de alcalinidad, conductividad y color verdadero. Para este último es evidente que las muestras puntuales y compuestas provenientes del efluente del SUD no cumplen este indicador, ya que ambas presentan un color amarillo verdoso, lo cual implica la presencia de materia orgánica.

4.6. Normativa técnica consultada

Las normas que se utilizaron para comparar y evaluar los resultados obtenidos en este trabajo son las siguientes :

- Norma de calidad de agua y control de descargas (FAO) establece la clasificación de las aguas superficiales y costeras de acuerdo con sus usos, cuya finalidad es proteger la calidad de los cuerpos hidricos a traves del control de los afluentes, los que pueden ser publicos, industriales o privados, producidos por las diferentes actividades antropogenicas, estatuida para proteger las cuencas hidrograficas donde se puede llegar a degradar la calidad del agua y por ende afectar la salud humana y otros componentes del medio ambiente.

- Decreto 1594 de 1984, mediante este se establecen parametros para los diversos tratamientos de aguas en el país de acuerdo con su uso y disposicion.
- Introduccion a la ley de agua limpia (EPA) constituye una documento fundamental para la proteccion de la calidad de las aguas superficiales, mediante diversas herramientas para reducir las descargas directas de contaminantes afin de establecer estandares en la calidad de la misma.
- Norma Chilena Nch1333 se establecen los requisitos de la calidad del agua para diferentes usos, de acuerdo con los valores de concentracion y los períodos maximos y minimos admisibles en relación con la cantidad de contaminantes que puedan constituir un riesgo para la vida o la salud de la poblacion.

Conforme a la reglamentación sobre calidad del agua de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO por sus siglas en inglés) los resultados obtenidos se pueden comparar con los valores establecidos para el uso de aguas superficiales de las clases A y B. Según esta normatividad, en la clase A se denotan aquellas aguas superficiales destinadas para el abastecimiento público e industrial sin necesidad de tratamiento previo a excepción de filtración y desinfección simple, por lo que dichas aguas son propicias para fines agrícolas, donde se incluye el regadío de vegetales de consumo crudo y usos de recreo con contacto directo. Por su parte en la clase B se encuentran aquellas aguas superficiales destinadas a la preservación de la fauna y la flora, las cuales son aprovechadas para el regadío de cultivos y deportes acuáticos sin contacto directo.

A continuación se muestra una tabla comparativa de los valores de concentraciones promedios obtenidos en el afluente y el efluente con base en los valores reportados en las diferentes normas tenidas en cuenta en este análisis.

Tabla N°13 Comparación de concentraciones obtenidas vs resultados admisibles en las normas

Parámetro	Afluente		Efluente		Norma FAO		Decreto 1594	EPA	Norma Chile
	Muestra puntual	Muestra compuesta	Muestra compuesta	Muestra puntual	Clase A	Clase B	Riego		
ST(mg/L)	80,56	74,87	298	330,85	1000	1000	NA	NA	NA
SST (mg/L)	9,81	6,93	11,69	13,99	ausente	Ausente	NA	NA	NA
SD(mg/L)	64	61,28	252,24	273,91	1000	1000	NA	NA	NA
Dureza Cálctica(mg/L)	0,5	0,6	1,09	1,07	NA	NA	NA	NA	NA
N-NH4(mg/L)	4,01	4,57	4,01	3,17	0,5	0,5	0,1	0.5	0.1
Ptot (mg/L)	4,58	4,37	3,22	2,51	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025
DBO5 (mg/L)	11,33	12	15,67	12	2	5		10,0-30,0	
DQO (mg/L)	18,02	31,63	24,9	21,35	NA	NA	NA	50,0-150,0	NA
pH	6,17	6,18	7,84	7,84	6,5-8,5	6,5-9,0	6,5-9,0	6.5-9.0	5,5-9,0
Zn (mg/L)	0,11	0,17	0,06	0,02	0,05	0,05	0,01	0.02	2
Fe (mg/L)	0,1	0,07	0,1	0,07	0,3	0,3	0,01	0.02	0.03
Cd (mg/L)	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	0,005	0,005	0,01	0.01	0,1
Pb (mg/L)	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	0,05	0,05	5	5	5
Cu (mg/L)	0,06	0,01	0,01	0,01	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2
Na(mg/L)	11,78	10,83	24,67	27,56	69	69	69	69	69
Ni (mg/L)	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	0,1	0,1	0,1	0.1	0.2

De acuerdo con los parámetros establecidos en las normas (FAO, 2003), (EPA, 1977), (Norma Chilena Oficial, 1987) y decretos nacionales consultados (Decreto 1594, 1984) y (*Decreto 475*, 1998) es posible establecer que los valores de pH obtenidos se encuentran dentro del rango de los mismos; igualmente, sucede con los metales como el cobre, el plomo, el hierro y el níquel. Mientras que en lo que respecta con el fósforo y el nitrógeno amoniacal se encuentran en un límite elevado en comparación con los valores que se reportan admisibles en la normatividad. Por esta razón, para evaluar los posibles usos del agua proveniente del SUD, es imprescindible realizar un ensayo de nitrógeno total, conocido como Kjeldah.

Comparando las concentraciones promedio para los tres eventos, con respecto a la norma de la FAO, se establece que la demanda bioquímica de oxígeno no cumple con los parámetros. Sin embargo, al realizar el análisis individualizado para cada evento, se encontró que los valores obtenidos para el tercer evento cumple tanto en el afluente como en el efluente con el valor proporcionando para la clase B, ya que el valor promedio para la entrada es de 5mg/L y para la salida es de 3mg/L.

Con relación con otros parámetros, como los valores para el fósforo, se observa que este no se cumple en ninguno de los eventos realizados en atención a los valores máximos de concentraciones admitidas.

Por su parte, los valores obtenidos para metales son aceptables tanto para la clase A como para la clase B, toda vez que se encuentran dentro del límite admisible en la norma, los cuales oscilan entre 0,1 y 0,3 mg/L conforme se aprecia en las tablas citadas.

El valor del potencial de hidrogeno también se cumple en los dos primeros eventos, mientras que en el último no se cumplió para el efluente ya que este es de 9,55 mg/L, lo cual sobrepasa el límite para estos tipo de agua.

También fue posible observar que los ensayos realizados para los tres eventos con respecto a los sólidos totales se encuentran dentro de los valores admisibles de concentración, pero

con respecto a los sólidos suspendidos, no se cumplen ya que éstos no deben estar presentes, de acuerdo a lo establecido en el Decreto 475 de 1998 y demás normas concordantes.

Finalmente, es posible establecer que el agua del SUD es apta para riego, debido a que la mayoría de los parámetros se encuentran dentro del rango de los límites establecidos en las normas consultadas, por lo cual resulta apropiado ampliar este tipo de sistemas, que se constituyen en alternativas frente al uso del agua lluvia para tales fines, inclusive, existe la posibilidad de que este tipo de SUDS puedan llegar a almacenar agua potabilizable mediante un tratamiento, el cual tendrá un costo menor comparado con aquel requerido para las aguas residuales.

5. CONCLUSIONES

- Haciendo una evaluación comparativa entre el afluente y el efluente se observó que los valores de las concentraciones varían en porcentajes altamente significativos entre la entrada y la salida del sistema, lo cual particularmente se ve reflejado en las concentraciones de los sólidos totales y suspendidos donde existe una diferencia superior al 70%.
- De acuerdo con los valores obtenidos en el laboratorio y los cálculos realizados para cada uno de los ensayos cumplidos, se pudo evidenciar que el agua emitida por el sistema de SUD se encuentra dentro de los valores admisibles en tema de potabilidad; sin embargo, no es posible clasificarla como tal ya que se requeriría de la evaluación de parámetros adicionales y mucho más detallados, los que no se encuentran dentro del alcance de este proyecto.
- Haciendo un análisis comparativo entre los valores obtenidos dentro del afluente y el efluente de sistema de drenaje urbano sostenible y los establecidos por las normas

consultadas y que fueron objeto de análisis, se observó que los metales se encuentran dentro de los límites establecidos, conforme se mostró en la tabla comparativa N°13, al igual que ocurre para el caso de los sólidos disueltos. Sin embargo se encontró que en los análisis realizados para la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), fósforo y nitrógeno amoniacal no se encuentran dentro del rango exigido, por lo cual se sugiere hacer análisis más detallados que permitan establecer si éstos valores pueden llegar en un momento dado afectar a las especies vegetales.

- Conforme se evaluó en los resultados obtenidos con respecto a la norma de la FAO, es posible indicar que el agua cumple con la mayoría de los parámetros para riego, la que a su vez puede servir para recreación en el campo deportivo, tanto en contacto directo como indirecto. A pesar de ello, es necesario evaluar la cantidad de sólidos disueltos en el agua, ya que éstos presentan un valor bastante representativo el que no es admisible para el agua de riego y tampoco para la potable.
- De acuerdo con los análisis realizados y los valores admisibles encontrados en la normatividad, es posible caracterizar el agua encontrada en el sistema SUD como apta para riego de especies vegetales, siendo indispensable, verificar de manera más detallada parámetros tales como la demanda bioquímica de oxígeno y nitrógeno amoniacal, elementos éstos indeseados en el agua. Así mismo, se debe constatar el aumento de la cantidad de sólidos suspendidos totales y sólidos totales, ya que los mismos son significativamente mayores con respecto a los valores hallados en el afluente; aunque, cabe mencionar que dichos parámetros no son evaluados en las normas referentes al uso del agua para riego.

6. RECOMENDACIONES

- Atendiendo los resultados obtenidos y mostrados de forma gráfica como literal es posible indicar que el agua de precipitación que se obtiene después de pasar por el sistema de SUD, puede llegar a ser implementada para usos distintos al riego, como aquellos asociados al campo industrial en contacto indirecto, al igual que en la recreación. Lo anterior, siempre y cuando se haga la implementación de un filtro o sustancia química que inhiba el agua, impidiendo el paso de sólidos disueltos. Toda vez que el fósforo y el DBO no pueden estar presentes en los usos indicados, componentes que eventualmente podrían llegar a afectar las plantas, por lo que es indispensable buscar alternativas de tratamiento para así evitar que tales elementos excedan los límites normativos establecidos.
- Se sugiere hacer mantenimiento a los sistemas de SUDS a fin de impedir que las cargas y concentraciones de contaminantes aumenten y puedan causar algún tipo de perjuicio a las especies vegetales. Adicionalmente se propone proveer un tipo de sumidero o desagüe al tanque en donde se encuentra la caja de inspección del sistema, de forma tal que se permita vaciarlo y limpiarlo, atendiendo a que en el fondo de este se encuentra gran cantidad de materia orgánica depositada como (tierra y hojas) que puede llegar a causar efectos nocivos a largo plazo para la vegetación.

7. PROPUESTA Y SOLUCION VIABLE Y ECONÓMICA PARA OTROS USOS DEL AGUA.

Una alternativa viable y económica para darle otros usos al agua lluvia, como por ejemplo la potabilización de las misma, sería la implementación de un filtro de carbón o un filtro percolador que permita remover la carga contaminante de parámetros asociados a la demanda química de oxígeno, sólidos suspendidos, sólidos totales, fósforo y nitrógeno amoniacal, que fueron los que mayor índice de presencia mostraron en los resultados. Dispositivo de fácil adaptación e ideal para la remoción del color, sabor y olor desagradable, amén de remover los plaguicidas y compuestos orgánicos, sin desconocer que es cómoda en su adaptación y mantenimiento (RAS 2000 TITULO E, 2000).

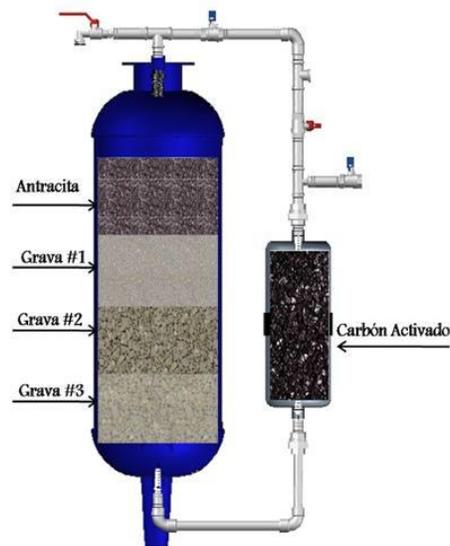


Figura 12: Filtro de carbono activo.

Fuente: <http://mlv-s1-p.mlstatic.com/filtro-de-agua-purificador-grava-antracita-carbon-activo>

8. REFERENCIAS

- Alcaldía Mayor de Bogotá. (2012, Noviembre). El Jardín Botánico, Historia y pulmón verde de Bogotá. Recuperado a partir de <http://www.bogota.gov.co/localidades/engativa/El%20Jard%C3%ADn%20Bot%C3%A1nico,%20historia%20y%20pulm%C3%B3n%20de%20Bogot%C3%A1>
- Andrés Uribe P. (2013). *Diseño Técnico Sistemas de Drenaje Sostenible para el Jardín Botánico de Bogotá «José Celestino Mutis»* (No. 2.1) (p. 71). Bogotá.
- Ávila, H. (2012). Perspectiva del manejo del drenaje pluvial frente al cambio climático - caso de estudio: ciudad de Barranquilla, Colombia. (Spanish), *36*, 54-59.
- Burszta-Adamiak, E., & Łomotowski, J. (2013). Modelling of percolation rate of stormwater from underground infiltration systems. *Water Science & Technology*, *68*(10), 2144-2150.
- Charlesworth, S. M. (1), Nnadi, E. (1), Oyelola, O. (1), Warwick, F. (1), Jackson, R. (1), Bennett, J. (2), & Lawson, D. (3). (2012). Laboratory based experiments to assess the use of green and food based compost to improve water quality in a Sustainable Drainage (SUDS) device such as a swale. *Science of the Total Environment*, *424*, 337-343. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.02.075>
- Decreto 475 (1998).
- Delahaye, E., Welté, B., Levi, Y., Leblon, G., & Montiel, A. (2003). An ATP-based method for monitoring the microbiological drinking water quality in a distribution network. *Water Research*, *37*, 3689-3696.

- Díaz-Granados, M., Rodríguez, J. P., Rodríguez, M. S., Penagos, J. C., Camacho, L. A., Achleitner, S., ... McIntyre, N. (2009). Towards a Paradigm Shift in Urban Drainage Management and Modelling in Developing Countries. *Hacia un cambio en el paradigma del manejo y modelación de sistemas de drenaje urbano en países en desarrollo.*, (30), 133-150.
- EcuRed. (2012, febrero). Historia Jardín Botánico de Bogotá. Recuperado a partir de http://www.ecured.cu/Jard%C3%ADn_Bot%C3%A1nico_de_Bogot%C3%A1
- Ellis, J. B., Revitt, D. M., & Lundy, L. (2012). An impact assessment methodology for urban surface runoff quality following best practice treatment. *Science of The Total Environment*, 416(0), 172-179.
<http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.12.003>
- Jose, R. (1), Wade, R. (1), & Jefferies, C. (2). (2015). Smart SUDS: Recognising the multiple-benefit potential of sustainable surface water management systems. *Water Science and Technology*, 71(2), 245-251.
<http://doi.org/10.2166/wst.2014.484>
- Lara Borrero, J. A., Torres Abello, A. E., Campos Pinilla, M. C., Duarte Castro, L., Echeverri Robayo, J. I., & Villegas González, P. A. (2007). Aprovechamiento del agua lluvia para riego y lavado de zonas duras y fachadas en el campus de la Pontificia Universidad Javeriana (Bogotá). (Spanish). *USING RAINWATER FOR IRRIGATION, HARD SURFACE & FAÇADE CLEANING AT PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA'S CAMPUS (BOGOTA)*. (English), 11(2), 193-202.
- Ministerio de Agricultura. Decreto 1594 (1984).

Norma Chilena Oficial. Requisitos de Calidad de Agua para diferentes Usos, Pub. L. No. NCh 1333 (1987).

Quinn, R., & Dussailant, A. (2014). Predicting infiltration pollutant retention in bioretention sustainable drainage systems: model development and validation. *Hydrology Research*, 45(6), 855-867.

REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLES Y SANEMINTO BÁSICO (2000).

Secretaria de Estado de medio ambiente y recursos naturales. Norma de calidad de agua y control de descargas, Pub. L. No. 64,00 (2003).

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. APHA. AWWA. WEF. (2014a). 22th, (2540-A,C,D).

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. APHA. AWWA. WEF. (2014b). 22th, (Part.3500- Ca B).

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. APHA. AWWA. WEF. (2014c). 22th, (Part.4500- NH₃ ,B y C).

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. APHA. AWWA. WEF. (2014d). 22th, (4500-P, B,C).

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. APHA. AWWA. WEF. (2014e). 22th, (5210-D).

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. APHA. AWWA. WEF. (2014f). 22th, (5520-C).

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. APHA. AWWA. WEF.

(2014g). *22th*, (Part.311-B).

Torres Abello, A. E., Méndez Fajardo, S., Lara Borrero, J. A., Estupiñán Perdomo, J. L.,

Zapata García, H. O., & Torres Murillo, O. M. (2012). *Hacia equipamientos urbanos sostenibles. aprovechamiento de aguas lluvias en el campus de la*

Pontificia Universidad Javeriana en Bogotá. Recuperado a partir de

<http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=cat01040a&AN=pujbc.8>

51790&lang=es&site=eds-live

U.s Environmental Protection. *Introduccion a la ley de Agua limpia* (1977).

Ven Te Chow, Larry W.Mays, & David .R Maidment. (1994). *Hidrología Aplicada*.

McGRAW-HILL.