

TESIS DE MAESTRÍA

**FACTIBILIDAD DEL RECICLADO DEL AGUA DE LOS TANQUES DE
TORMENTA PARA OTROS USOS URBANOS DE AGUA**

IVÓN LORENA CAMELO CASTILLO

Asesor: Juan G. Saldarriaga Valderrama



**UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C.
2019**

AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos especiales a personas que me colaboraron durante el proceso como Juan Hincapié, por su solidaridad por compartir su conocimiento frente a los procesos que se llevan a cabo en Enel y la corrección de caudales de consumo de la cadena de generación la Pagua.

También extendo mi gratitud a entidades como la CAR y EAAB, en especial a Andrés Tamayo y Daniel Rodríguez, quienes me facilitaron el proceso de adquisición de información, de importante interés para el desarrollo de esta tesis.

A mi director de Tesis, el docente Juan Saldarriaga por su orientación y paciencia en este proceso que con esfuerzos y dedicación sacamos adelante.

TABLA DE CONTENIDO

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | Introducción | 1 |
| 1.1 | Objetivos | 2 |
| 1.1.1 | Objetivo General..... | 2 |
| 1.1.2 | Objetivos Específicos | 2 |
| 2 | Sistemas de drenaje urbano sostenible | 3 |
| 2.1 | Tanques de tormenta (TT) | 5 |
| 2.1.1 | Características | 6 |
| 2.1.2 | Usos urbanos y servicios del agua almacenada | 12 |
| 2.1.3 | Efectividad de los tanques de tormenta | 19 |
| 2.2 | Cunetas verdes..... | 22 |
| 2.2.1 | Características | 22 |
| 2.3 | Zonas de bioretención o jardines de lluvia | 23 |
| 2.3.1 | Características | 23 |
| 2.4 | Depósitos de agua lluvia | 24 |
| 2.4.1 | Características | 24 |
| 2.5 | Pavimentos permeables | 25 |
| 2.5.1 | Características | 25 |
| 2.6 | Rendimientos hidrológicos de diferentes sistemas de bajo impacto..... | 26 |
| 3 | USO DE LOS TANQUES DE TORMENTA EN BOGOTÁ..... | 28 |
| 4 | EVALUACIÓN DE TANQUES DE TORMENTA PARA USOS EN GENERACIÓN DE ENERGÍA DE BOGOTÁ..... | 31 |
| 4.1 | Descripción del sistema hidroeléctrico..... | 31 |
| 4.1.1 | Topología del sistema hidroeléctrico | 31 |
| 4.1.2 | Localización..... | 33 |
| 4.1.3 | Componentes del sistema hidroeléctrico..... | 33 |

| | | |
|-------|---|-----|
| 4.1.4 | Capacidad Instalada..... | 40 |
| 4.1.5 | Régimen de precipitaciones e hidrológico de la zona | 42 |
| 4.1.6 | Análisis de caudales..... | 47 |
| 4.1.7 | Sistema hidrológico del sistema de generación de energía..... | 49 |
| 4.1.8 | Calidad de agua | 56 |
| 5 | Modelo hidraulico del río Bogotá | 58 |
| 5.1 | Descripción de la cuenca | 58 |
| 5.2 | Modelo Hidráulico HEC RAS..... | 60 |
| 6 | Tanques de almacenamiento..... | 71 |
| 6.1 | Operación..... | 71 |
| 6.2 | Localización | 71 |
| 6.3 | Restricciones | 71 |
| 6.4 | Dimensionamiento..... | 73 |
| 7 | Análisis de resultados..... | 75 |
| 8 | Conclusiones..... | 77 |
| 9 | Recomendaciones | 79 |
| 10 | ANEXOS..... | 80 |
| 11 | Referencias | 106 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 Diagrama esquemático de un tanque de tormenta | 6 |
| Figura 2 Esquema operación del tanque on-line y off-line..... | 7 |
| Figura 3 Configuración de tanque de tormenta en uso residencial | 8 |
| Figura 4 Efecto de la urbanización..... | 9 |
| Figura 5 Usos del agua reciclada | 13 |
| Figura 6 Usos domésticos de agua lluvia | 15 |
| Figura 7 Recolección de agua lluvia para riego de jardines..... | 17 |
| Figura 8 Sección típica de cuneta verde | 22 |
| Figura 9 Zonas de bioretención | 23 |
| Figura 10 Esquema de configuración para recolección de agua lluvia | 25 |
| Figura 11 Sección típica de pavimentos permeables | 26 |
| Figura 12 Sistemas de bajo impacto..... | 26 |
| Figura 13 Sistema de energía Italia..... | 29 |
| Figura 14 Topología Cadena Hidráulica Río Bogotá..... | 32 |
| Figura 15 Ubicación general Cadena hidroeléctrica del río Bogotá | 33 |
| Figura 16 Capacidad total sistema río Bogotá | 41 |
| Figura 17 Localización Estaciones Pluviométricos de la zona de estudio..... | 43 |
| Figura 18 Caudal promedio diario | 51 |
| Figura 19 Sistema turbinado Cadena Pagua..... | 55 |
| Figura 20 Descargas Sanitarias actuales sobre el Río Bogotá..... | 59 |
| Figura 21 Geometría río Bogotá sin adecuación hidráulica..... | 61 |
| Figura 22 Pendientes del terreno cuenca del río Bogotá | 72 |
| Figura 23 Permeabilidad de la cuenca río Bogotá | 73 |



ÍNDICE DE GRÁFICAS

| | |
|--|----|
| Gráfica 1 Generación de energía | 42 |
| Gráfica 2 Valores totales mensuales de precipitación estación La Unión | 44 |
| Gráfica 3 Valores totales mensuales de precipitación estación Sibaté Apostólica | 44 |
| Gráfica 4 Valores totales mensuales de precipitación estación Paraíso. | 45 |
| Gráfica 5 Valores totales anuales de precipitación (mm)..... | 46 |
| Gráfica 6 Registro Histórico (1980-2011) de reporte de eventos de emergencia y desastre relacionados con los tipos de fenómenos climáticos sucedidos en la Región Capital, indicando los periodos donde se han reportado eventos de El Niño (flechas rojas) y La Niña (flechas azules) | 47 |
| Gráfica 7 Localización estación Las Huertas | 48 |
| Gráfica 8 Caudales máximos absolutos mensuales estación las Huertas..... | 48 |
| Gráfica 9 Caudales medios mensuales las Huertas | 49 |
| Gráfica 10 Caudales mínimos mensuales | 49 |
| Gráfica 11 Caudales compuertas Alicachín 2016 | 51 |
| Gráfica 12 Caudal promedio mensual compuertas Alicachín..... | 52 |
| Gráfica 13 Caudal promedio compuestas Alicachín | 53 |
| Gráfica 14 Caudal promedio diario 2011..... | 53 |
| Gráfica 15 Caudal promedio diario turbinado 2011..... | 55 |
| Gráfica 16 Caudal promedio diario mayo 2013 turbinado | 56 |
| Gráfica 17 Cargas de parámetros de calidad de agua PTAR Canoas | 57 |
| Gráfica 18 Creciente Conejera-Salitre para flujo no permanente con TR:10 años y 100 años | 63 |
| Gráfica 19 Creciente río Salitre flujo NP- TR: 10 años y 100 años | 63 |
| Gráfica 20 Creciente río Fucha flujo NP-TR:10 años y 100 años..... | 64 |
| Gráfica 21 Creciente río Tunjuelo flujo NP-TR:10 años y 100 años | 64 |
| Gráfica 22 Creciente río Gibraltar flujo NP-TR:10 años y 100 años..... | 65 |
| Gráfica 23 Tramo conejera-Salitre..... | 67 |
| Gráfica 24 Tramo Salitre-Fucha | 67 |
| Gráfica 25 Fucha- Gibraltar | 68 |
| Gráfica 26 Gibraltar- Tunjuelo | 68 |



| | |
|--------------------------------------|----|
| Gráfica 27 Tunjuelo- Alichachín..... | 69 |
| Gráfica 28 Tunjuelo- Alichachín..... | 69 |
| Gráfica 29 Tunjuelo- Alichachín..... | 70 |
| Gráfica 30 Tunjuelo- Alichachín..... | 70 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1 Algunos beneficios de los SUDs | 3 |
| Tabla 2 Concentración de contaminantes en agua lluvia | 10 |
| Tabla 3 Características de diseño óptimo multiobjetivo de tanques de detención | 11 |
| Tabla 4 Caso de agua lluvia para lavado de vehículos | 16 |
| Tabla 5 Tanque de almacenamiento de agua lluvia en Craven | 17 |
| Tabla 6 Usos en riego, agricultura e industrias | 18 |
| Tabla 7 Usos industriales de agua reutilizada | 18 |
| Tabla 8 Rendimiento de tanques de detención de aguas pluviales para sistemas de drenaje urbano en el norte de Italia | 20 |
| Tabla 9 Comparación del rendimiento de la infraestructura verde frente a la infraestructura gris | 21 |
| Tabla 10 Capacidad de amortiguación de lluvias en sistemas de drenaje urbano | 21 |
| Tabla 11 Rendimientos hidrológicos de diferentes sistemas de bajo impacto | 27 |
| Tabla 12 Componentes central hidroeléctrica el paraíso | 38 |
| Tabla 13 Componentes central La Guaca | 40 |
| Tabla 14 Capacidad Instalada | 41 |
| Tabla 15 Estaciones pluviométricas..... | 42 |
| Tabla 16 Factor de conversión..... | 54 |
| Tabla 17 Calidad de agua residual PTAR Canoas | 57 |
| Tabla 18 Condiciones de frontera Modelo Hidráulico flujo no permanente TR: 10 años | 62 |
| Tabla 19 Parámetros de condiciones iniciales de flujo- Escenario de flujo no permanente periodo de retorno de 10 años | 65 |
| Tabla 20 Parámetros de análisis en flujo no permanente | 66 |
| Tabla 21. Restricciones del sitio para la implementación de tanques de almacenamiento..... | 71 |
| Tabla 22 Dimensionamiento de tanques de tormenta..... | 74 |
| Tabla 23 Volumen de Tanque de almacenamiento creciente CONEJERA-SALITRE | 80 |
| Tabla 24 Volumen de Tanque de almacenamiento creciente SALITRE | 88 |
| Tabla 25 Volumen de Tanque de almacenamiento creciente TUNJUELO | 97 |

1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad, se evidencian diferentes alternativas de manejo de aguas pluviales en las que se incluyen estrategias de aprovechamiento del agua de escorrentía, reducción de la contaminación de aguas pluviales y elementos de control, ya que limitan el caudal producido en los periodos de escorrentía.

Recientes estudios, evidencian que durante el dimensionamiento de los tanques de tormenta se debe considerar la influencia del cambio climático y factores de urbanización, que propician los eventos de lluvia más intensos e inundaciones urbanas.

Los tanques de tormenta son ampliamente utilizados para mitigar los impactos de los alivios en los cuerpos de agua. Existe una gran cantidad de metodologías para el dimensionamiento de estas instalaciones que se han desarrollado en las últimas décadas. A pesar de la creciente inclusión de métodos de gestión adaptativa, todavía hay poca literatura sobre los efectos del cambio climático en la eficiencia de los tanques de tormentas (Duan, HF., Li, F. & Yan, 2016).

Por otro lado, a nivel mundial los tanques de tormenta se manifiestan como una alternativa de aprovechamiento para la reducción de consumos de agua potable. Es así como, en el sector urbano, se ha venido desarrollando el reciclado de agua mediante tanques de almacenamiento de agua; como parte de soluciones individuales para aprovechamiento de agua lluvia de escorrentía (Mogliola et al., 2013). Sin embargo, para estos casos se ha evidenciado que existen problemas sanitarios en el empleo de este tipo de estructuras, debido a la falta de mantenimientos preventivos y la capacitación de las personas que eviten fallas mecánicas y efectos negativos en la salud debido a la calidad de agua que se emplea para consumo.

En el caso de Australia, por ejemplo, se incluyen estrategias que promueven el reciclaje de agua para usos comerciales y residenciales.

El campo de aplicación de los tanques de tormenta es limitado a la precipitación y funcionalidad del sistema, es decir si el objetivo es evitar las inundaciones, entonces, se presenta un escenario de precipitaciones intensas cuyo fin es controlar la cantidad de agua almacenada. Por otro lado, si los objetivos de almacenamiento se enfocan a reutilizar el

agua en diferentes usos urbanos, entonces la prioridad no es solo la cantidad, sino también la calidad del agua almacenada.

Este documento evalúa la implementación de tanques de tormenta, para almacenar crecientes que llegan a la cuenca y posteriormente de manera controlada, aportar agua para usos en la planta de generación de la hidroeléctrica sistema río Bogotá.

Se realiza una revisión bibliográfica de diferentes sistemas de drenaje urbano incluyendo los tanques de tormenta y sus características principales. Se presenta para el caso de estudio las características generales del terreno, descripción del sistema de generación, operación histórica de la planta, modelación hidráulica del río Bogotá y estimación de tanques de tormenta.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo General

Evaluar la factibilidad de tanques de tormentas para reciclado de agua para usos urbanos como generación de energía hidroeléctrica en Bogotá.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Realizar una revisión a nivel internacional del reciclado de agua mediante tanques de tormenta, con el fin de entender los sistemas implementados a nivel calidad, cantidad y usos empleados.
- Analizar las condiciones topográficas e hidrológicas del lugar para de esta forma considerarlos dentro de los consumos de la cadena de generación de Bogotá, mediante una modelación hidrológica que permita el dimensionamiento de tanques de tormenta con ubicación descentralizada y con aportes al río Bogotá, fuente principal de abastecimiento de esta hidroeléctrica.
- Evaluar el comportamiento hidráulico del río Bogotá bajo los escenarios con aportes provenientes de los tanques de tormenta, con el fin de entender la cantidad de agua aprovechable en la hidroeléctrica.

2 SISTEMAS DE DRENAJE URBANO SOSTENIBLE

La creciente urbanización implica el aumento del área total de superficies impermeables y por lo tanto, el aumento de la escorrentía que eventualmente implica inundaciones y deterioro de la calidad de agua en las fuentes receptoras.

Los sistemas de drenaje urbano sostenible (SUDs) se presentan como herramientas de planificación en saneamiento urbano, debido a su capacidad para almacenar y atenuar las aguas superficiales y manejar el agua lluvia.

Son considerados como alternativas sustentables y con mayor adaptabilidad que los sistemas convencionales de drenaje. Esto es debido a que los sistemas de drenaje tradicional, favorece las superficies permeables y la evacuación del agua se realiza más rápidamente que un entorno sin urbanización.

Durante su implementación se destacan algunas limitaciones referentes a los SUDs que se relaciona con el dimensionamiento, localización, costos de construcción, legislación, desempeños en la operación e incertidumbres con respecto al mantenimientos, los cuales se presentan como algunos desafíos que rodean el cumplimiento de los objetivos de estas estructuras (Melville-Shreeve et al., 2018).

La incorporación de los SUDs incluye beneficios en cuanto al saneamiento básico, salud pública, urbanismo y planificación. En general, algunos estudios consideran los SUDs como herramientas de planificación enfocadas a manejar la cantidad y calidad del agua, que a su vez favorecen el entorno, agregándole valor estético y reduciendo las emisiones de efecto invernadero (Ashley et al., 2018).

Tabla 1 Algunos beneficios de los SUDs

| Componente | Beneficios frente al control de la cantidad | Beneficios primarios |
|--|--|---|
| Tanques de almacenamiento de agua lluvia | Recursos hídricos locales y reducción de la demanda. | Reducción de las emisiones de carbono y de agua lluvia. |
| Techos Verdes | Apoyar los ecosistemas, mejorar la calidad del agua, aislar y reducir las comodidades, la temperatura de los edificios, la calidad del aire y el calor del carbón a nivel local, y mejore la | Servicio, temperatura del edificio, calidad del aire y reducción de las emisiones de carbono. |

| Componente | Beneficios frente al control de la cantidad | Beneficios primarios |
|------------------------------------|---|---|
| | calidad del aire; También se puede agregar comodidades y reducción del valor estético de las emisiones. | |
| Techos azules | Solamente agua almacenada, a pesar de que puede reducir el calor ambiental a nivel local. | Inundación. |
| Sistemas de infiltración | Reponer las aguas subterráneas, mejorar la calidad del agua y apoyar indirectamente a los ecosistemas y los recursos hídricos. | Recarga de aguas subterráneas y las inundaciones. |
| Sistemas de tratamiento patentados | Algunos utilizan la infraestructura verde, por ejemplo, la mayoría son controles estructurales subterráneos, que pueden mejorar la calidad del agua. | La calidad del agua y las inundaciones. |
| Tiras de filtro | La calidad del agua mejorada y el uso de infraestructura verde, puede proporcionar comodidades valor estética. | La calidad del agua y amenidad. |
| Filtros de drenaje | La calidad del agua mejora marginalmente en el almacenamiento subterráneo temporal, también puede proporcionar la infiltración. | La calidad del agua y las inundaciones. |
| Cunetas | La vegetación mejora la calidad de agua, el espacio para múltiples usos soporte ecológico, recreación, equipamiento, mejora el entorno, calidad del aire. | Amenidad, las inundaciones, la biodiversidad y la calidad del agua. |
| Sistemas de bioretención | Mejora la calidad del agua y valor estético. | Amenidad, las inundaciones, la biodiversidad y la calidad del agua. |
| Arboles | Mejora la calidad de agua, la provisión de hábitat, la disminución local de la isla de calor, la capacidad de infiltración mejorada, valor estético. | La calidad del aire, las comodidades, la biodiversidad y la calidad del agua. |

| Componente | Beneficios frente al control de la cantidad | Beneficios primarios |
|---------------------------|---|---|
| Pavimentos permeables | Mejora la calidad del agua, valor estético. | Calidad del agua. |
| Tanques de almacenamiento | Almacenamiento temporal, capacidad de infiltración mejorada. | Calidad de agua y control de inundaciones. |
| Cuencas de detención | Apoyo de los ecosistemas, la calidad de agua y el aire, calor, estética y valor de amenidad urbana. | Las inundaciones, las comodidades, la biodiversidad y la calidad de del agua. |
| Estanques y humedales | Apoyo de los ecosistemas, la calidad de agua y el aire, calor, estética y valor de amenidad urbana. | Las inundaciones, las comodidades, la biodiversidad y la calidad de del agua. |

Fuente:(Ashley et al., 2018).

Este capítulo aborda algunos (SUDs) describiendo algunas características y mostrando la efectividad frente a diferentes valores de precipitación que se han evaluado en diferentes investigaciones. Principalmente se aborda los tanques de tormenta, las cunetas verdes, zanjas de infiltración, franjas filtrantes y superficies permeables.

2.1 Tanques de tormenta (TT)

Los tanques de tormenta son estructuras localizadas debajo de la superficie, empleadas para acumular la escorrentía como formas de controlar inundaciones ante eventos de altas precipitaciones, formas de almacenamiento para usos de reciclado de agua o dispositivos de infiltración.

Las estructuras pueden contener elementos modulares de plástico, para agilizar la construcción y reducir el tiempo de inactividad de los suministros urbanos. (Sánchez, Montes, Barrera, Iglesias, Saldarriaga & Martínez., 2017).

Figura 1 Diagrama esquemático de un tanque de tormenta



Figure 2.1.1 Schematic diagram of an underground detention tank

Fuente: (Kenneth Quah, 2013)

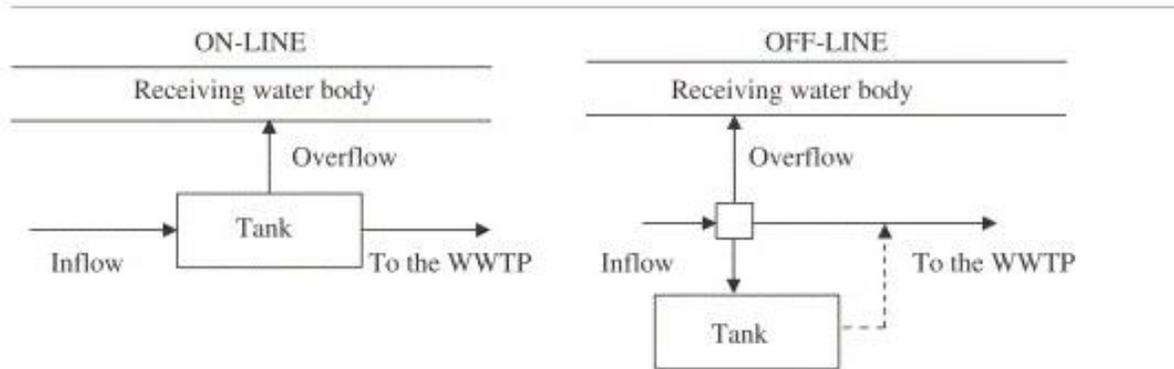
2.1.1 Características

Los tanques de tormenta de aguas pluviales tienen como funciones principales la amortiguación de los caudales picos en el sistema de alcantarillado y como una herramienta contra la contaminación de aguas pluviales. Sin embargo, configuraciones de diseño y las condiciones de operación afectan significativamente el alcance del beneficio ecológico, costos de inversión y mantenimiento, y funcionalidad del sistema de drenaje urbano y el tratamiento en plantas de aguas residuales.

Se requiere un enfoque integrado para el desempeño evaluación de soluciones alternativas en grandes áreas urbanas.

Los esquemas más comunes de operación son ON-LINE Y OFF-LINE. Para el primer caso se emplea el tanque de tormenta como un sistema de alivio en donde envía los excesos directamente a la fuente receptora. En el sistema OFFLINE el tanque de tormenta es empleado como un sistema de amortiguamiento de los caudales picos, el cual recibe, almacena y posteriormente es llevado a la planta de tratamiento cuando el aguacero haya finalizado.

Figura 2 Esquema operación del tanque on-line y off-line



(Calabrò & Viviani, 2006)

Algunos aspectos como localización han sido también estudiados como requisitos importantes durante la planificación. Estos requerimientos se han venido resolviendo mediante modelos de optimización que iniciaron como modelos lineales y posteriormente se han venido incluyendo variables como canales, niveles de control de la contaminación desarrollado en modelos de optimización que incluyen algoritmos genéticos con el fin de determinar la ubicación y tamaño óptimo de los tanques de tormenta (Cunha, Zeferino, Simões, & Saldarriaga, 2016).

2.1.1.1 Tipos de tanques

Los tanques de tormenta que se pueden emplear para disminuir el caudal de escorrentía en los sistemas de drenaje urbano. Podemos realizar una clasificación dependiendo de su material que tiene influencias importantes frente al mantenimiento y los costos de inversión.

Sistemas en concreto: estructuras en concreto, diseñados para una lluvia-escorrentía específica. Está compuesto por un monobloque.

Sistemas de almacenamiento modular en plástico: Conformados comúnmente en polipropileno cuya versatilidad facilita su instalación al ser también modulares y ligeros. Pueden ser empleados como tanques de almacenamiento o de estructuras de infiltración.

2.1.1.2 Componentes

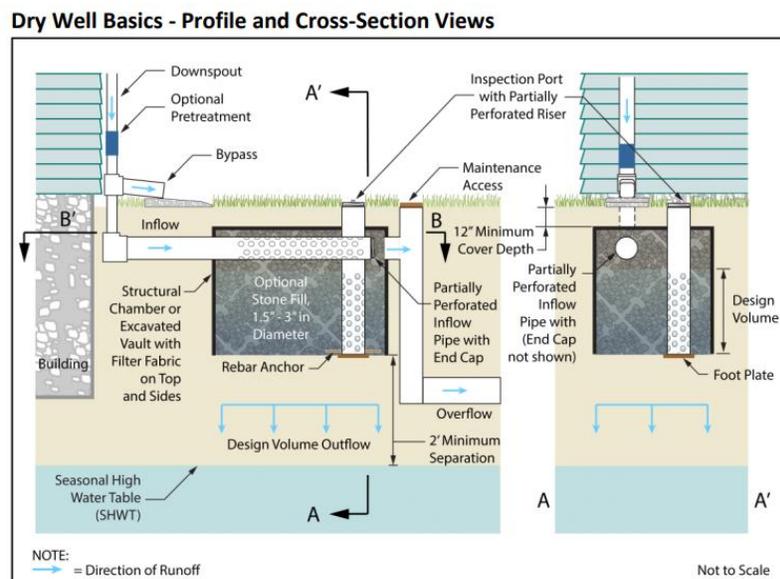
Los componentes del sistema dependen del uso de los tanques de tormenta. Pero todos constan de los siguientes elementos principales

Zona de entrada de flujo: generalmente la entrada tiene un previo desarenado o elementos de limpieza que permitan un proceso de remoción de sólidos gruesos y una válvula de control que facilita el paso del flujo hacia la entrada del tanque.

Zona de almacenamiento: Está compuesto por el tanque de tormenta ya sea modular o monobloque, dispuesto para la capacidad de agua que se desea almacenar de agua lluvia en el sistema de drenaje urbano.

Zona de salida: El sistema puede funcionar con el sistema de drenaje por lo que la entrega puede ser a una zona de infiltración, fuente superficial o subterránea producto del uso al que se destina el almacenamiento. Es necesario enfocar el agua almacenada hacia usos no potables, debido a los usos potables requieren tratamientos adicionales para su consumo.

Figura 3 Configuración de tanque de tormenta en uso residencial

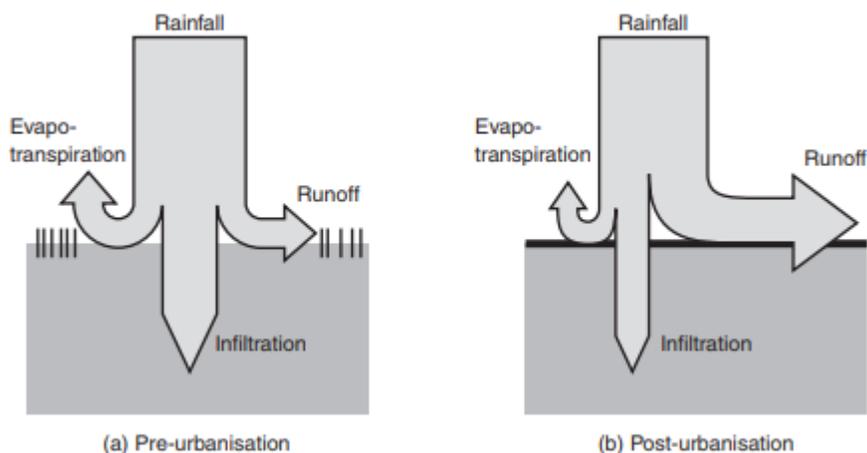


Fuente: (Kenneth Quah, 2013)

2.1.1.3 Calidad del agua almacenada

Los procesos de urbanización representan nuevos retos en el sistema de drenaje urbano, debido a la transformación en los usos del suelo y, por lo tanto, el cambio de las superficies que facilitan la acumulación de contaminantes al ser impermeables. El agua lluvia es considerada también agua residual, debido a la cantidad de contaminantes que arrastra durante la escorrentía, las cuales se encuentran expuestas en su mayoría de sedimentos, material orgánico, productos químicos, combustibles, entre otros (Sybil Sharvelle, Azar Masoud, Stromberger Mary, 2009; Wijesiri, Egodawatta, McGree, & Goonetilleke, 2016).

Figura 4 Efecto de la urbanización



Fuente:(Butler, D., Davies, 2011)

La calidad del agua almacenada depende del origen de la contaminación de la lluvia de escorrentía, características de la carretera y el tráfico, tipos de construcción y techos, y demás variables que requieren atención a la hora de caracterizar y gestionar el agua dependiendo de su uso.

Los contaminantes comunes del agua pluvial incluyen sólidos, materiales que consumen oxígeno, Nutrientes, hidrocarburos, metales pesados, trazas orgánicas y bacterias. En algunos lugares como el Reino Unido, proporcionan valores típicos según se muestra en la Tabla 2 (Butler, D., Davies, 2011).

Tabla 2 Concentración de contaminantes en agua lluvia
Table 6.3 Pollutant event mean concentrations (range and mean) and unit loads for urban stormwater (after Ellis and Mitchell, 2006)

| Quality parameter | EMC (mg/l) | Unit load (kg/imp ha.yr)* |
|-------------------------------------|-----------------------|---|
| Suspended solids (SS) | 21–2582 (90) | 347–2340 (487) |
| BOD ₅ | 7–22 (9) | 35–172 (59) |
| COD | 20–365 (85) | 22–703 (358) |
| Ammoniacal nitrogen | 0.2–4.6 (0.56) | 1.2–25.1 (1.76) |
| Total nitrogen | 0.4–20.0 (3.2) | 0.9–24.2 (9.9) |
| Total phosphorus | 0.02–4.30 (0.34) | 0.5–4.9 (1.8) |
| Total lead | 0.01–3.1 (0.14) | 0.09–1.91 (0.83) |
| Total zinc | 0.01–3.68 (0.30) | 0.21–2.68 (1.15) |
| Total hydrocarbons | 0.04–25.9 (1.9) | 0.01–43.3 (1.8) |
| Polyaromatic hydrocarbons (PAH) | 0.01 | 0.02 |
| Faecal coliforms (<i>E. Coli</i>) | 400–50000 (MPN/100ml) | 0.9–3.8 (2.1) (1 10 ⁵ counts/ha) |

*imp ha = impervious area measured in hectares

Fuente:(Butler, D., Davies, 2011)

Se ha incentivado la reutilización de aguas residuales en países como Estados Unidos, Australia, Canadá, Italia, China. Se realiza constantes avances con el fin de emplear el agua lluvia dentro de los usos residenciales, industriales o comerciales, considerando las regulaciones correspondientes, las cuales se encuentra en actualización y en algunos países carece de legislación.

Es importante entender que los diferentes usos requieren un tratamiento distinto del agua lluvia debido a los componentes químicos y microbiológicos, cuyos efectos pueden incidir en usos como la agricultura (Sybil Sharvelle, Azar Masoud, Stromberger Mary, 2009). Es por esto que el reciclado de agua contiene beneficios importantes a nivel local y en cierta medida a nivel regional (Spillett P, Evans S, 2006). Los aportes locales pueden ser desde el mejoramiento de la infiltración de una zona que a su vez favorece y optimiza los sistemas de drenaje hasta el abastecimiento y reducción en el consumo de agua potable. Los aportes regionales incide sobre todo en el ecosistema porque puede reducir la contaminación mediante la captura del primer lavado (Cheng, Yuan, & Youngchul, 2017) y también evaluar las medidas frente extremos climatológicos.

2.1.1.4 Dimensionamiento

El dimensionamiento del tanque de tormenta inicia estableciendo las características del lugar como las características hidrológicas, morfológicas de nuestra zona de estudio. Los métodos hidrológicos empleados pueden ser con enfoques de simulación continua o enfoques probabilístico. Para el primer caso, empleamos un software en el cual se desarrolla las ecuaciones que permiten observar el movimiento y simular la acumulación y eliminación de contaminantes para un evento de lluvia dado. En el segundo caso, la precipitación está dada por una función de probabilidad que incluyen las variables como duración, volumen y el tiempo de secado de la lluvia.

Algunos modelos de simulación continua comúnmente empleados son SWMM desarrollado por la Agencia de protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), Netstorm, Cosmos y HEC-HMS aplicados a tanque de tormenta (De Paola & De Martino, 2013).

Los modelos probabilísticos como distribución Log-Normal, distribución gama de dos parámetros, distribución logarítmica 3 parámetros, distribución hiperbólica y distribución de Rosin-Rammler. Estudios han demostrado que los modelos probabilísticos son más confiables y pueden contribuir a tomar mejores decisiones al momento de diseñar (Selbig & Fienen, 2012). Debido a que la *Simulación continua requiere grandes cantidades de datos de entrada y se requiere mucho tiempo para realizar, sobre todo cuando los diseños de sistemas necesitan ser modificadas para alcanzar los requisitos de rendimiento específico (Adams & Papa).*

Se han desarrollado estudios que plantea un método basado en el diseño óptimo multiobjetivo de tanques de detención que incluyen una perspectiva a nivel técnico en cuanto a la disminución del riesgo de inundación mediante la modelación hidrológica e hidráulica y los costos de inversión de la infraestructura según se muestra en la Tabla 3 (Duan, Li, & Yan, 2016).

Tabla 3 Características de diseño óptimo multiobjetivo de tanques de detención

| Estructura | Características |
|-----------------------------|------------------------|
| Tanque de tormenta | Precipitación |
| | Tasa de infiltración |
| | Tasa de permeabilidad |
| | Tasa de conductividad |
| Modelo de simulación | Modelo de Saint-Venant |

| Estructura | Características |
|------------|---|
| Objetivo 1 | Costo total del tanque de detención |
| Objetivo 2 | Riesgo de inundación del sistema |
| Objetivo 3 | Proceso de modelación hidrológico- hidráulico |

(Duan et al., 2016)

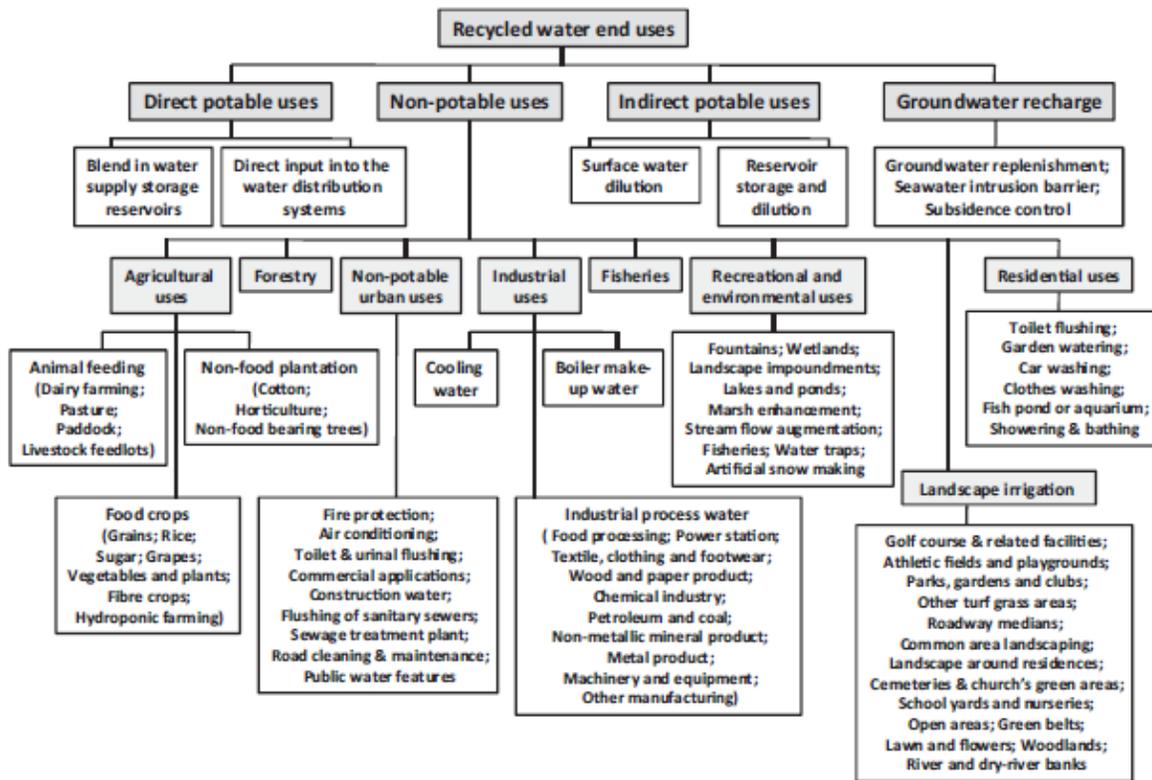
2.1.2 Usos urbanos y servicios del agua almacenada

La importancia del agua, la urbanización y el cambio climático, se identifican como factores que inciden en la conservación del recurso hídrico a nivel mundial. Se ha adoptado por gestionar el agua de manera diferente, para prever formas de enfrentar los eventos de sequías, que ocasionan desabastecimiento en algunas zonas y consecuencias al ecosistema en general. Algunas de estas estrategias que requieren de emplear la reutilización del agua como medida alterna de abastecimiento, que deben considerar la fuente de agua, usos finales, tratamiento y operación requerida.

Los usos de agua reciclada pueden referirse hacia usos potables, no potables y usos indirectos de agua potable. Algunos usos directos de agua potable pueden ser para usos en sistemas de distribución de agua y suministro en reservorios (Haq, PEng, 2017; Taleb & Pitt, 2011). Existe otros usos, según se muestra en la Figura 5, sin embargo mostraremos algunos casos para usos no potables como agricultura, riego, usos urbanos e industriales (Chen, Ngo, & Guo, 2013b).



Figura 5 Usos del agua reciclada



Fuente: (Chen et al., 2013b)

Los principales usos domésticos en áreas urbanas pueden incluir demandas para baños, lavandería, inodoro y jardín, como usos centralizados. Otros usos finales pueden ser usos públicos como riego de calles, limpieza de espacios públicos, usos comerciales como lavaderos de carros, centros comerciales.

La legislación y la regulación es diferente en todos los países, en Australia por ejemplo, se impide el uso para lavadero de automóviles (Newman, Dandy, & Maier, 2014). Algunos usos industriales se encuentran incentivados por las políticas de gestión del agua que promueven el uso de agua lluvia para mejorar indicadores de huella de carbón y optimizar los recursos en el ciclo de vida del producto. Entre otros beneficios se destaca la reducción de aguas residuales, consumo de agua potable y la energía.

Existe un uso restringido frente al agua pluvial en Estados Unidos, que limitan su empleo para usos no potables en entornos municipales donde el acceso público está restringido por



barreras físicas. Sin embargo, algunos proyectos utilizan agua reciclada para fines potables, como la recarga de agua subterránea que son usados posteriormente en la distribución de agua potable.

Por otro lado, aún existen barreras en el uso del agua reciclada relacionadas con la percepción de la calidad de agua o aspecto, riesgos a la salud, necesidad, regulación o incentivos, costos, entre otros (Fielding, Dolnicar, & Schultz, 2018; Jim & Chen, 2006). Estos aspectos pueden favorecer o desmotivar la implementación de agua reciclada en el entorno urbano. En Australia por ejemplo, existen preferencias por el agua reciclada sobre todo para usos no potables (Bennett, McNair, & Cheesman, 2016).

Los esquemas de suministro de agua potable pueden incluir sistemas mixtos para disminuir el consumo de agua potable y el agua residual.

2.1.2.1 Suministro de agua a sanitarios, orinales y usos domésticos

Los usos para esta categoría son los más comúnmente usados alrededor del mundo países como Estados Unidos, Inglaterra, Australia, Etiopia, Sudáfrica, Sudan, Nigeria, Brasil, Grecia, Arabia Saudita, China, Japón e Irán, los cuales han implementado diferentes sistemas de drenaje sostenible para uso de agua lluvia.

En ocasiones la implementación de agua lluvia para estos fines se encuentra ligados a criterios sociodemográficos, pueden variar desde mayores usos en riego de jardines para el caso de estratos altos, hasta mayores usos para sanitarios y ducha en estratos inferiores (Willis, Stewart, Giurco, Talebpour, & Mousavinejad, 2013).

En Addis Ababa, se realizó un estudio de la contribución potencial de la recolección de agua lluvia proveniente de los techos de grandes instituciones públicas evaluando el consumo a nivel ciudad o a nivel individual. Los aportes estudiados, fueron provenientes de techos de hospitales, escuelas secundarias, Ministerios federales, Colegios técnicos y vocacionales, oficinas, centros médicos, entre otras instituciones, encontrando que a nivel ciudad se logra suplir con aproximadamente el 2% del agua potable (Adugna, Jensen, Lemma, & Gebrie, 2018).

En lugares con escasez de agua, como Arabia Saudita se estima que los costos por cosecha de agua lluvia son inferiores que la desalinización del agua, por lo que se presenta como una alternativa factible en esta zona (Guizani, 2016).

Recientes investigaciones incluyen nuevos usos en esta categoría como alimentación y servicios de piscina (Chen et al., 2014). Es preciso resaltar algunos beneficios como simplicidad en implementación, ahorro en costos de operación, sobre todo cuando existe un dimensionamiento planeado de acuerdo al consumo y la demanda (Londra, Theocharis, Baltas, & Tsihrintzis, 2015). Aunque en ocasiones existe resistencia al emplear agua reciclada para usos domésticos y favorecer más el usos industrial (Bennett et al., 2016).

Un centro de educación ubicado en Estados Unidos emplea la recolección de agua lluvia en baños. Sin embargo, su rendimiento está limitado por la operación es decir, el almacenamiento en este caso debe tener frecuencias y emplear alternativas de desagüe en periodos de baja ocupación (Jones & Hunt, 2010).

Figura 6 Usos domésticos de agua lluvia



Fuente: (Jones & Hunt, 2010)

2.1.2.2 Lavado de vehículos

Las aguas pluviales tienen el potencial de proporcionar un suministro de agua no potable que requiere menos tratamiento que las aguas residuales municipales, con el beneficio adicional de reducir los problemas de contaminación y erosión en los cuerpos de agua receptores (Lundy, Revitt, & Ellis, 2018).



Kingston implementó un tanque de almacenamiento de agua lluvia para lavado de vehículos, pero su funcionamiento se dificultó debido a la falta de capacitación a las personas en la operación y uso de los tanques de tormenta. La importancia de llevar a cabo estos sistemas, que requieren una inversión importante, también debe ir acompañada de las herramientas que permitan implementar las medidas de ahorro de recursos, para los cuales fueron destinados. Con esto se evita problemáticas de poco uso o desbordamientos (Jones & Hunt, 2010).

Tabla 4 Caso de agua lluvia para lavado de vehículos

| Características | Kingston |
|-----------------------------|---------------------|
| Tamaño del tanque | 19680 L |
| Área de contribución techos | 406 m ² |
| Precipitación anual normal | 128cm |
| Uso del agua | Lavado de vehículos |

Fuente: (Jones & Hunt, 2010)

Para el caso de Brasilia se evalúa el potencial de ahorro de agua potable mediante el uso de agua lluvia para el lavado de vehículos en estaciones de servicio ubicadas en Brasilia cuyos ahorros de agua potable dependen de la capacidad y alcanzan hasta un 56.7% de su ahorro, con precipitaciones promedio anual de 1552 mm (Ghisi, Tavares, & Rocha, 2009).

La adopción de la recolección y el uso de aguas pluviales como práctica aceptada requiere que se aborden los riesgos percibidos, en particular los relacionados con la salud pública (Lundy et al., 2018).

2.1.2.3 Riego de jardines y zonas verdes

El riego para jardines y zonas verdes son planeados a nivel local debido a la frecuencia y uso sustancial. Existe regulación del agua para riego sobre todo si el riego se realiza para usos en la agricultura, que en ocasiones necesita de tratamiento.

En Craven, la recolección de agua lluvia realizada proveniente de un techo se realiza para el aprovechamiento a nivel local de una comunidad, es decir que varias personas emplean el agua recolectada para riego de sus jardines (Jones & Hunt, 2010). Al ser un punto específico

la fuente y en ausencia de conexiones para cada vivienda el uso se reduce, por lo que se recomienda ampliar la inversión o implementar el agua para otros usos.

Figura 7 Recolección de agua lluvia para riego de jardines



Fuente: (Jones & Hunt, 2010)

Las especificaciones usadas para Craven, se muestran en la Tabla 5, el uso para irrigación en donde el tamaño del tanque proporciona el abastecimiento para diferentes viviendas.

Tabla 5 Tanque de almacenamiento de agua lluvia en Craven

| | Craven |
|------------------------------------|--------------------|
| Tamaño del tanque | 11350L |
| Área de contribución techos | 167 m ² |
| Precipitación anual normal | 137 cm |
| Uso del agua | Irrigación |

Fuente: (Jones & Hunt, 2010)

Otros usos a mayor escala se realizan para agricultura, irrigación en industrias o riego. Algunos países como España, Grecia y Arabia Saudita, se muestra con caudales importantes para estos usos según se ve en la Tabla 6 (Chen, Ngo, & Guo, 2013a).

Tabla 6 Usos en riego, agricultura e industrias

| USOS EN AGRICULTURA | | | |
|----------------------------|------|--------------------|--------------------------------|
| Francia | 1997 | 10ML/día | Riego |
| España | 2002 | 780ML/día | Agricultura |
| España Victoria | 2011 | 350ML/día | Irrigación por aspersión |
| Grecia | | 20ML/día | Irrigación |
| Grecia | 2007 | 3.5ML | Industria de algodón |
| Tunisia | | 43GL/año | Irrigación de cereales |
| Kawait | 2008 | 375ML/día | Irrigación |
| Israel | 2008 | 310ML/día | Irrigación |
| Arabia Saudita | 2008 | 595ML/día | Irrigación |
| México | 2008 | 3.9-25.9 GL/día | Irrigación |

Fuente: (Jones & Hunt, 2010)

2.1.2.4 Usos industriales y generación de energía

Los mayores usos industriales de agua reutilizada se emplean en la refrigeración, termoeléctricas, procesos de generación de energía. En ocasiones se emplea agua residual dentro de los procesos, que requieren tratamiento, pero disminuyen los consumos de agua potable.

Tabla 7 Usos industriales de agua reutilizada

| Usos industriales | | | |
|--------------------------|------|------------|--|
| California | 1998 | 3.5 GL/año | Industria de manufactura |
| Australia | 2008 | 1 GL/año | Central eléctrica para fines de refrigeración |
| Millmerran | | | |
| Asia | 2011 | 400 ML/día | Refrigeración, industria farmacéutica |
| | | | Gaobeidian WWTP |

| Usos industriales | | | |
|-------------------|------|------------|---|
| Taiyuan | 1992 | 24ML/día | Refrigeración Beijiao WWTP and Taiyuan Chemical Plant |
| Taiwan | 2007 | 230 KL/día | Fábrica de semiconductores |
| India | 110 | 250 ML/day | Planta de generación de energía. Proceso de refrigeración |

Fuente: (Jones & Hunt, 2010)

2.1.3 Efectividad de los tanques de tormenta

La efectividad de los tanques de tormenta están estimados en sistemas de drenaje combinado, que en ocasiones se realiza bajo un enfoque analítico, evaluando la reducción a largo plazo de la eficiencia volumétrica y desbordamiento de los tanques (Montanari & Marco, 2012). Es, por lo tanto, es necesario considerar los cambios climatológicos, que afectan directamente el régimen de lluvias y que han sido contemplados en distribuciones probabilísticas y simulaciones continuas.

Por una parte, se evalúa la calidad de agua en el alcantarillado combinado, que en ocasiones representan el 50% del aporte de la contaminación en el cuerpo receptor. Por otro lado, la operación de los tanques de tormenta, diseñados para recolectar el primer lavado, para luego evacuar y tratar en la planta de tratamiento de forma controlada y realizando frecuencias de mantenimiento que permitan remoción *in-situ* de los niveles de sedimentos y carga orgánica (Llopart-Mascaró et al., 2015).

El desempeño evaluado a nivel de control de inundaciones, se han analizado para ciudades como Italia, contemplando diferentes configuraciones de tanques, ciclos de llenado y vaciado. Este estudio muestra que existe una disminución de las inundaciones en un 40% y su rendimiento depende del volumen del tanque, siendo directamente proporcional, a mayor almacenamiento es mayor el control de la contaminación (Cotes et al., 2016; Todeschini, Papiri, & Ciaponi, 2012).

Tabla 8 Rendimiento de tanques de detención de aguas pluviales para sistemas de drenaje urbano en el norte de Italia

| LUGAR | PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL | ESTRATEGIA | DESCRIPCIÓN | % REDUCCIÓN DE INUNDACIONES |
|--------------------|---------------------------|-----------------------------------|--|-----------------------------|
| El norte de Italia | 795 | Tanques de tormenta con regulador | Funcionamiento para caudales bajos del sistema de control con vaciado intermitente | 40% |

Fuente: (Todeschini et al., 2012)

Para el caso de la eficiencia de captura, existen múltiples combinaciones relacionados con posibles almacenamientos versus velocidad de tratamiento, evidenciando que son directamente proporcionales.

El filtrado es una alternativa que mejora la eficiencia de los tanques de tormenta, sin embargo, el régimen de lluvias bajo escenarios puede requerir un redimensionamiento del tanque para ser factible. Esta situación se presentada en Valencia, cuyo estudio realiza un enfoque analítico para evaluar la reducción a largo plazo la eficiencia volumétrica y de desbordamiento de los tanques, cuyos resultados determinan que mantener la eficiencia de reducción de desbordamiento sin cambios implica costos relevantes (Montanari & Marco, 2012).

En sistemas en donde la precipitación media anual es mayor como en el norte de Kunming, la incorporación de infraestructura verde (techos verdes, pavimentos permeable) resulta más eficiente frente a la infraestructura gris (tanques de tormenta) (Dong, Guo, & Zeng, 2017). De manera similar las cuencas de detención, ofrecen alternativas de control de inundación, las cuales han sido probadas para estaciones de bombeo y esto permite reducir la capacidad requerida en el bombeo y el flujo de descarga de agua lluvia (Duan et al., 2016).

Tabla 9 Comparación del rendimiento de la infraestructura verde frente a la infraestructura gris

| LUGAR | PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL | ESTRATEGIA | DESCRIPCIÓN | CONCEPTO | % REDUCCIÓN DE INUNDACIONES |
|---------------------|---------------------------|---------------------------------------|--|---|--|
| El norte de Kunming | 1450 | Techos verdes y pavimentos permeables | Reducción de inundaciones | Mejora 30%-33% la resistencia del sistema | Techos verdes:33% - Pavimento permeable: 41% |
| El norte de Kunming | 1450 | 4 Tanques de almacenamiento | Reducción de la contaminación y parte de la inundación | Mejora 17% la resistencia del sistema | 15% |

Fuente:(Dong et al., 2017)

Adicionalmente, la localización y la operación determinan diferencias en cuanto a la reducción de la inundación por lo que la reducción de la inundación se presenta en mayor proporción en múltiples tanques, empleados como elementos descentralizados, que una sola estructura como elemento centralizado.

Tabla 10 Capacidad de amortiguación de lluvias en sistemas de drenaje urbano

| LUGAR | EVENTO DE LLUVIA DE DISEÑO | ESTRATEGIA | DESCRIPCIÓN | CONCEPTO | % REDUCCIÓN DE INUNDACIONES |
|---------|----------------------------|---------------------------|--|---|-----------------------------|
| Kampala | d:100MIN P:66.2mm | Tanques de almacenamiento | Elementos descentralizados o modulares | 28 tanques distribuidos espacialmente 3.15x 10 ⁵ m ³ | 32.3 |
| Kampala | d:100MIN P:66.2mm | Estanque de detención | Elemento centralizado | 3.15x 10 ⁵ m ³ | 3.30% |

Fuente: (Mugume, Gomez, Fu, Farmani, & Butler, 2015)

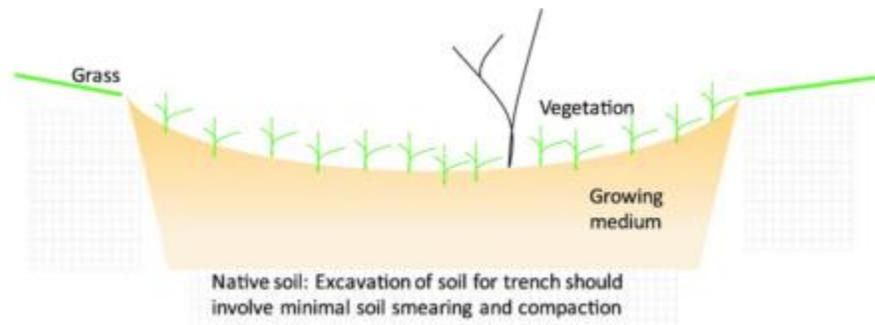
Las estrategias de gestión basadas en el cambio climático, tanto eventos de sequía como para eventos de lluvia. Este análisis, que se lleva a cabo para las provincias de Hebei y Guangdong recomienda los tanques de tormenta como almacenamiento de agua lluvia en tiempos secos y SUDs para eventos de lluvia intensa, como estrategia de control de inundaciones (Scholz, Morgan, & Picher, 2005; Yuan, Liang, & Li, 2018).

2.2 Cunetas verdes

Las cunetas verdes son canales de recolección de aguas lluvias, que se encuentran en la superficie y promueven un drenaje lento de la escorrentía. También favorece la sedimentación de sólidos y filtración de contaminantes.

En principio reducen los niveles de escorrentía y disminuyen el caudal pico, también favorecen el ecosistema, reduce la contaminación urbana y su implementación puede ser de bajo costo.

Figura 8 Sección típica de cuneta verde



Fuente: (Eckart, McPhee, & Bolisetti, 2017)

2.2.1 Características

Son canales poco profundos con vegetación, que favorece la infiltración y permite la evacuación controlada de la escorrentía superficial. Se caracterizan por tener pendientes laterales suaves (Eckart et al., 2017).

Son empleados para mejorar la infraestructura de drenaje tradicional proporcionado entornos urbanos ecológicos y para control de la erosión en lugares que se desarrolle la agricultura. Funcionan para diferentes condiciones climatológicas, proporcionando modificaciones a los suelos para incorporar beneficios de descontaminación al suelo. El lecho filtrante principal empleado puede ser la grava, cuyas propiedades permiten la infiltración del agua y retención de contaminantes en el lecho (Eckart et al., 2017).

Las zanjas tienen propiedades de filtración y almacenamiento. Para su correcto funcionamiento se debe proveer de mantenimientos y la vegetación debe ser conforme a las condiciones del lugar (Morgan, 2014).

2.3 Zonas de bioretención o jardines de lluvia

Las zonas de bioretención, son empleados para tratar la escorrentía local o puntual del sitio de aplicación, que además permite reducción de caudales pico. Empleados.

Debido al hecho de que los sistemas de bioretención actúan de manera similar a las cuencas naturales y subdesarrolladas, se pueden usar de manera eficiente para capturar la escorrentía, fomentar la filtración, promover la evapotranspiración, recargar el agua subterránea, proteger los canales de la corriente, reducir el flujo máximo, y reducir las cargas contaminantes.

Figura 9 Zonas de bioretención

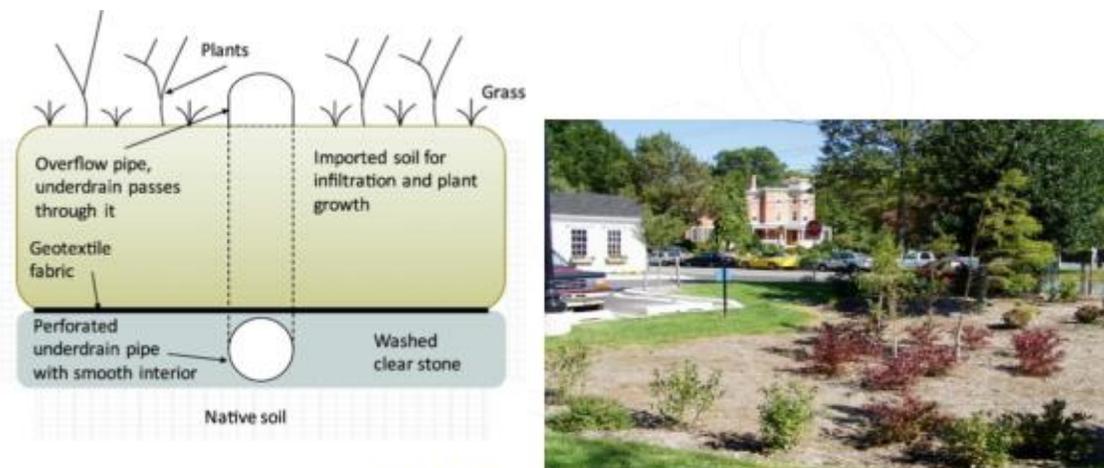


Fig. 3. Typical section of bioretention cell (adapted from Eckart, 2015).

Fuente: (Eckart et al., 2017)

2.3.1 Características

El diseño de los sistemas de bioretención se basa en el tipo de suelo, las condiciones del sitio y los usos de la tierra. La infiltración se presenta como un parámetro importante en el momento de realizar el diseño. La formulación de Green-Ampt puede ser bastante preciso

si sus parámetros están correctamente determinados. Los cambios resultantes en las tasas de infiltración están basadas la Ley de Darcy (Lucas, 2010).

Esta técnica favorece la sedimentación de las partículas y contaminantes arrastrados por el agua, así como la infiltración del agua (Saunders & Peirson, 2013). Un área de bioretención puede ser una disposición de diferentes componentes, cada uno de los cuales realiza funciones separadas para eliminar contaminantes y reducir la escorrentía de aguas pluviales. Estas áreas generalmente están formadas por plantas perennes, arbustos o árboles, y están cubiertas con mantillo de corteza (Eckart et al., 2017).

2.4 Depósitos de agua lluvia

Son sistemas de almacenamiento de agua lluvia, comúnmente empleados como soluciones individuales por facilidades de instalación. La recolección de agua de lluvia en edificios implica tecnología para su planificación, diseño, instalación, operación y mantenimiento adecuados que permitan óptimos funcionamientos.

2.4.1 Características

El grado de participación tecnológica depende principalmente de la introducción de varias tecnologías de acondicionamiento o tratamiento en el sistema de recolección: sedimentación, filtración y desinfección (Haq, PEng, 2017). Sobre la base de la aplicación de estas tecnologías de acondicionamiento o tratamiento, el sistema de recolección de agua de lluvia en edificios puede clasificarse como:

- (1) un sistema de uso directo
- (2) un sistema no filtrado
- (3) un sistema filtrado
- (4) un sistema completo.

Figura 10 Esquema de configuración para recolección de agua lluvia

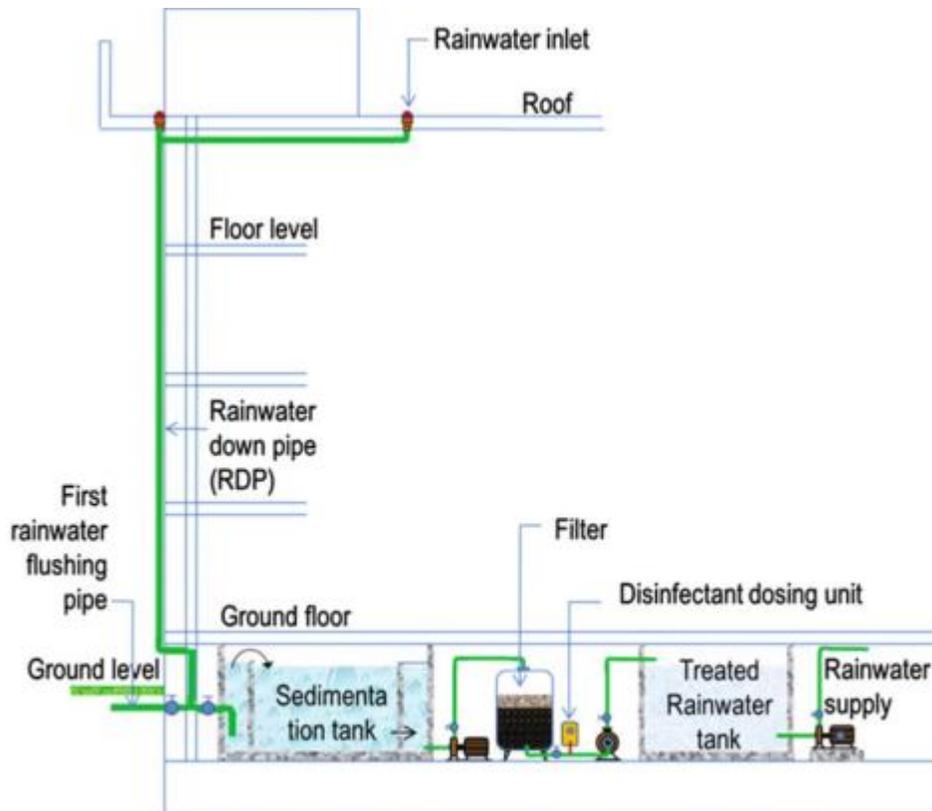


Fig. 3.1 Schematic diagram showing all major components of rainwater-harvesting system meant for general use in a building

Fuente: (Haq, PEng, 2017)

2.5 Pavimentos permeables

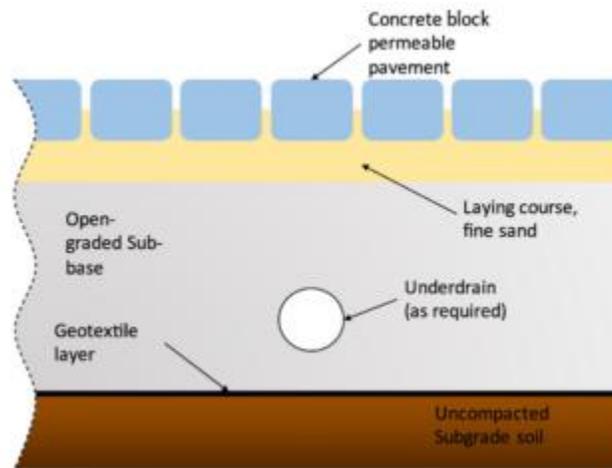
Los pavimentos permeables facilitan la infiltración del agua lluvia en el suelo y así reduce la escorrentía incluso durante los eventos de lluvia intensa. Posee beneficios adicionales como tratamiento de contaminantes debido a las características del suelo y recarga de aguas subterráneas. También, podría ser utilizado en climas cálidos para disminuir el ambiente térmico exterior debido al efecto de la evaporación (Eckart et al., 2017; H. Li, 2016).

2.5.1 Características

Los tipos de pavimentos permeables incluyen adoquines de bloques, sistemas de rejillas de plástico, asfaltos de pozos y hormigones porosos (Dietz, 2007).

La implementación de pavimentos permeables requiere de medir la funcionalidad del pavimento con respecto a la obstrucción es necesario. Para esto se mide la capacidad de infiltración y el rendimiento hidráulico que incluyen la prueba de los materiales (H. Li, 2016).

Figura 11 Sección típica de pavimentos permeables



Fuente: (Eckart et al., 2017)

2.6 Rendimientos hidrológicos de diferentes sistemas de bajo impacto

Los diferentes sistemas de drenaje urbano representan soluciones de manejo de agua lluvia, que además incluyen espacios verdes que favorecen las características permeables del suelo y se asemejan a la disposición natural antes de la intervención urbana de la zona.

Figura 12 Sistemas de bajo impacto



Figure 2. Bioswales, permeable pavement, and rain garden (courtesy of USGS).

En la siguiente tabla, se observa rendimientos hidrológicos que pueden tener algunas alternativas de drenaje urbano. Están basados en estudios que muestran algunas características del sitio de aplicación y las reducciones de flujo que alcanza a llegar.

Tabla 11 Rendimientos hidrológicos de diferentes sistemas de bajo impacto

Table 1

Hydrological performance of LID controls from field studies.

| LID information | Site characteristics | Runoff/outflow reduction | Peak flow reduction | Other/notes | Reference |
|---|--|--|---|--|--------------------------|
| Grass swales with underlying gravel trenches were used to collect roof and road runoff and transport it to wetlands. | 32 ha site with 271 medium density allotments and parklands. | 51% to 100% | Consistently lower | Shorter duration for discharge, average delay of 10 min | Lloyd et al. (2002) |
| Replacing asphalt roads and gutters with Ecostone® paver road and swales. Some driveways used permeable surfaces. A bioretention cul-de-sac and rain gardens were also used. Houses were clustered. | Residential subdivision, receives 1237 mm of annual rainfall | No increase while impervious area increased from 0% to 21% | N/A | N/A | Dietz and Clausen (2008) |
| 83 rain gardens and 176 rain barrels which included over 30% of the properties. | Shepherd Creek watershed 1.8 km ² residential land use | Small decrease in stormwater quantity at the sub-watershed scale | N/A | N/A | Mayer et al. (2012) |
| 8 bioretention cells, 2 stormwater wetlands, and some pervious concrete. | 3 commercial sites. With 97%, 90%, and 76% imperviousness. Areas are 3 ha., 6.6 ha., and 7.1 ha. | 34.8% reduction in rainfall/runoff ratio | N/A | Detention basin was more effective | Line et al. (2012) |
| 0.14 ha stormwater treatment wetland | 46.5 ha. watershed consisting of residential lots, small industrial area and a golf course. Very permeable watershed | 54% (wetland outflow vs. inflow) | 80% (wetland outflow vs. inflow) | N/A | Lenhart and Hunt (2011) |
| Bioretention cell in area with steep hydraulic gradient. | 0.37 ha asphalt parking lot. Receives 1108 mm of annual rainfall | N/A | 96.5% for precipitation events under 40 mm (outflow vs. inflow) | N/A | Hunt et al. (2008) |
| 0.53 ha pervious concrete in series with 0.05 ha bioretention cell (0.5 m media) | Nashville, North Carolina, USA. 0.89 ha parking lot. | 69% (annual); 35% with just bioretention with 0.6 m media and 45% with 0.9 m media | N/A | Annual untreated runoff was 1% for the treatment train and 12%, or 11% for just bioretention | Brown et al. (2012) |
| Large cisterns (total 162,800 L), stormwater use, wooded area, pre-treatment units, bioswales, bioretention cell, underground detention basin | Raleigh, North Carolina, 2.5 ha commercial development. 84% imperviousness | 98.3% (over 47 events) compared to 51.4% for conventional | 99.8% (over 40 events) compared to 98.7% for conventional | LID development had a very large detention capacity | Wilson et al. (2015) |

(Eckart et al., 2017)

En general los diferentes SUDs presentan beneficios como reducción de la escorrentía, control de inundaciones y mejoramiento de la calidad de agua. Algunos factores que favorecen su implementación están ligados a la ubicación y las condiciones climatológicas propias del lugar. Los controles de aguas pluviales mediante SUDs, presentan mejores rendimientos en periodos de retornos cortos y cuando se combinan en conjunto con los estanques de detención. En general este soporte técnico está siempre acompañado de una planeación y gestión del agua coordinada, el cual debe favorecer los costos y beneficios que se les atribuye.

3 USO DE LOS TANQUES DE TORMENTA EN BOGOTÁ

Modelos hidrológicos para diferentes zonas de Bogotá demuestran que las precipitaciones son elevadas y presentan corta duración. Ante estos casos, la implementación del reciclaje de agua lluvia mediante tanques de tormenta presenta dificultades, porque deben ser evaluados bajo condiciones de cambio climático, que aumenta notablemente la precipitación de diseño del tanque de tormenta y esta a su vez, requiere de emplear volúmenes de mayor capacidad. Adicionalmente, este estudio determina que, empleando su uso en grandes superficies o centros recreativos de Bogotá, la oferta representa mayor proporción, que los volúmenes demandados en un día de operación. Por otra parte, se considera los costos asociados son elevados, debido a los costos de inversión, mantenimiento y operación.

Otros usos de los tanques de tormenta empleados como control de inundación, reduciendo caudales pico (Cotes et al., 2016), son estudiados.

Los usos residenciales de agua presentan requerimientos adicionales de tratamiento y operación, algunos autores consideran que aspectos como infraestructura, calidad de agua, hidrológicos, sociales y restricciones legales se presentan como limitantes para estos usos.

En ocasiones, son considerados los tanques de tormenta, como alternativas de almacenamiento para tiempos de sequía como en lugares secos de China. Considerando el comportamiento hidrológico en Bogotá y las modelaciones realizadas con cambio climático, la implementación como alternativa de almacenamiento, posee limitantes en la operación referentes a los tiempos de evacuación y en cierta medida debido a que los eventos de lluvia intensos que se presentan para Bogotá. En efecto, esto implica que se impida el almacenamiento para nuevos volúmenes de lluvia puesto que el vaciado del tanque proveniente del agua anterior no se ha efectuado.

El estudio realizado para evaluar el uso de tanques de tormenta para usos en grandes superficies o centros recreacionales resulta mayor el almacenamiento, que el consumo comercial e individual. Considerando que este análisis se realizó bajo el escenario de cambio climático, cuyo modelo hidrológico representa condiciones futuras, se puede concluir que la oferta representa una cantidad tan significativa, que la demanda total no se puede asumir (Laura Solarte, 2018).

En general, la calidad del agua lluvia se considera como parámetro al evaluar la eficiencia de los tanques de tormenta debido a que también puede emplearse como mecanismo de remoción de sólidos suspendidos totales o reducción de la contaminación en el primer lavado. Bajo características se ha simulado en Italia, encontrando porcentajes altos de remoción sobre todo en configuración *Off-Line*, es decir que no se encuentra alineada con la red drenaje (Calabrò & Viviani, 2006). Los porcentajes de eficiencia alcanza el 90% de remoción.

En Barcelona, se realizó un estudio evidenciando que la incorporación de un tanque de tormenta para el control de inundaciones reduce la contaminación en parámetros como DQO y SS con porcentajes superiores al 40%. Además, se regula la cantidad de agua que llega al sistema de alcantarillado combinando optimizando la operación, realizando descargas de la sedimentación natural del tanque. El autor caracteriza este lugar como una zona mediterránea, cuyo volumen promedio irregular es de 600 mm, con eventos de lluvias de alta intensidad y corta duración (Llopart-Mascaró et al., 2015).

Algunas estrategias de implementación de tanques de tormenta evaluada en estudios involucran su uso en la operación como sistema de almacenamiento de energía gracias al uso de una bomba/turbina. Esto garantiza la operación permanente de sistema de energía que fue evaluado para la ciudad de Cosenza en Italia (Menniti, Pinnarelli, Sorrentino, Belli, & Barone, 2015).

Figura 13 Sistema de energía Italia

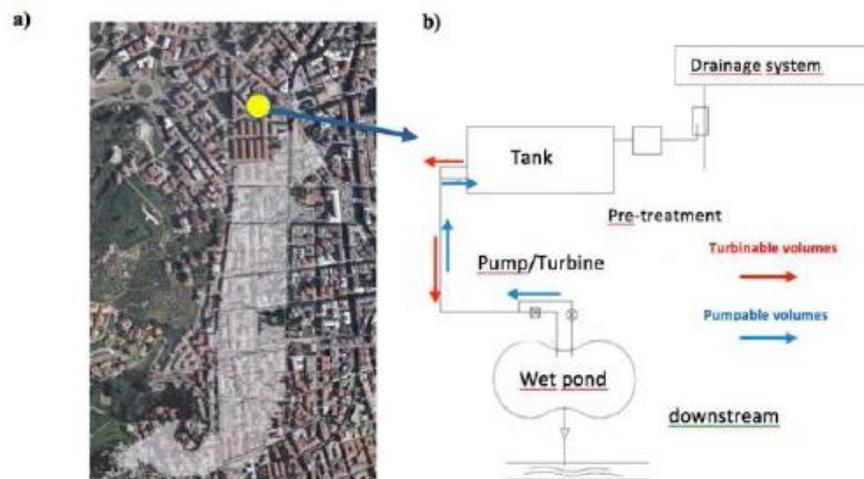


Fig. 1. a) Localized area of city of Cosenza. b) Schematic of the system.



Entendiendo algunas de estas características anteriormente expuestas, para Bogotá el uso de tanques de tormenta resulta principalmente complejo en usos residenciales o comerciales. Requiere de inversión significativa para garantizar la operación, sin embargo, más adelante se presenta el uso para generación de energía cuyas demandas puede representar mayor factibilidad.

4 EVALUACIÓN DE TANQUES DE TORMENTA PARA USOS EN GENERACIÓN DE ENERGÍA DE BOGOTÁ

La energía hidroeléctrica, considerada como parte del desarrollo, suministra gran parte de la energía del país. Se muestra como una alternativa atractiva, debido a que las condiciones topográficas e hidrológicas que favorecen su implementación.

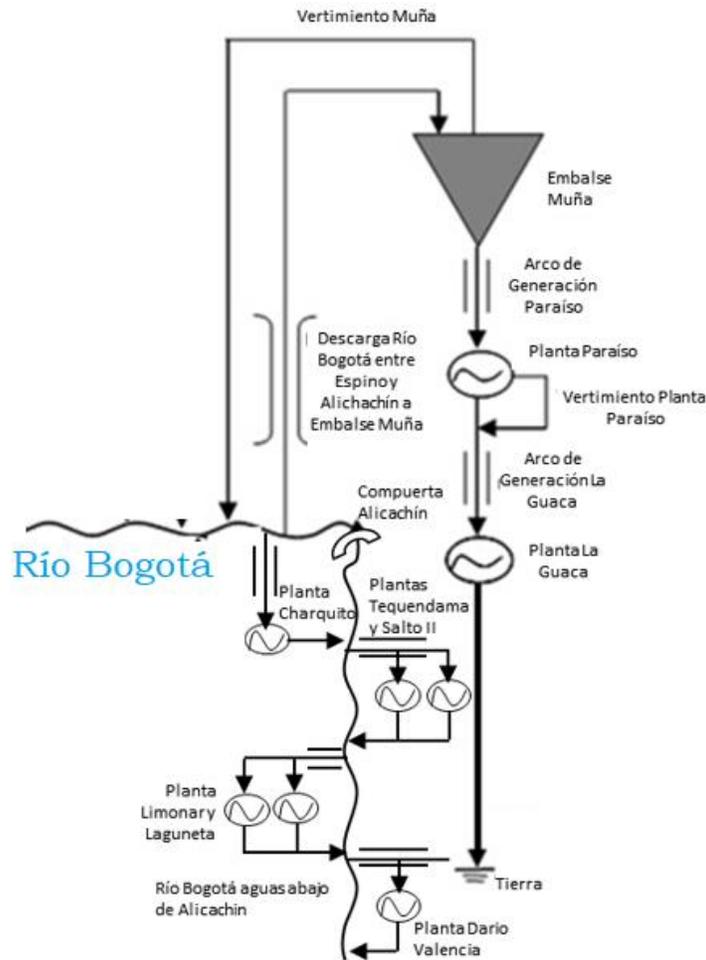
4.1 Descripción del sistema hidroeléctrico

4.1.1 Topología del sistema hidroeléctrico

El sistema hidroeléctrico del río Bogotá está conformado por una cadena de generación principal centrales Paraíso y la Guaca que bombea los caudales provenientes del río Bogotá hacia el embalse del Muña posee una capacidad de generación de 276 MW para Paraíso y 324 MW en La Guaca.

Por otra parte, las centrales Charquito, Tequendama, Salto II, Limonar, Lagünetta y Darío Valencia, hacen parte de la cadena de generación antigua, cuya infraestructura aún existe y es ocasionalmente puesta en operación para cubrir demandas adicionales de energía eléctrica.

Figura 14 Topología Cadena Hidráulica Río Bogotá



Fuente: Adaptación de Topología Emgesa S.A E.S.P, 2018

4.1.2 Localización

Figura 15 Ubicación general Cadena hidroeléctrica del río Bogotá



Fuente: Adaptación de Google Earth

4.1.3 Componentes del sistema hidroeléctrico

Cadena de generación Hidroeléctrica Pagua: Central El Paraíso y la Guaca, se describe la infraestructura que compone central.

Central El Paraíso

“Bocatoma Paraíso (Torre de Granada): Está conformada por una torre de concreto sumergida parcialmente en el embalse del Muña y provista en todo el contorno de rejas metálicas, que se comunica con el túnel de Granada I, mediante un pozo vertical de 4.2 m de diámetro y 12 m de profundidad. Para su inspección, limpieza y mantenimiento se ha instalado una plataforma flotante permanente, mediante la utilización del pórtico giratorio, el puente grúa y la viga de izamiento, específica para tal fin. Sobre esta estructura se tiene montada la compuerta deslizante que sirve de boca de acceso al Túnel de Granada I, la cual permite desarrollar operaciones de vaciado del túnel, para inspección y mantenimiento. (Resolución 16,2005)”



“ Túnel de Granada I: Se encuentra localizado entre la Torre Granada (Bocatoma Paraíso) y la cámara válvula de El Rodeo. Tiene una longitud de 1370 m., una pendiente de 0,816% y una sección de excavación en herradura de 4,8 m de diámetro. El túnel se encuentra revestido en 373 m en concreto convencional, con un diámetro de 4.2 m., en los sectores K0+038 al K0+270 y K1+170 a K1+ 311; en concreto neumático y malla en el sector K0+270 al k1+170; y finalmente, un blindaje de acero de 3,70 m de diámetro en el sector K0+270 al K1+170.”

“ Almenara A una distancia de 30 metros aguas arriba del portal de salida del Túnel de Granada II en Peñas Blancas, se encuentra la Almenara conformada por un pozo vertical de 4.10 m de diámetro y 235 metros de profundidad tanto el pozo como la cámara tienen revestimiento de concreto” (Resolución 16,2005).

“Cámara de válvulas el Paraíso: En el portal de salida del túnel Granada II, se encuentra la cámara de válvulas El Paraíso, la cual aloja una válvula mariposa de 3700 mm. de diámetro, accionada por un servomotor de hidráulico de simple efecto, de operación eléctrica o manual y contrapeso con tendencia al cierre. Esta válvula opera como control de sobrevelocidad en la tubería de carga y es una válvula de seguridad de cierre automático y manual. La función de esta cámara es proteger la tubería de carga de la Central El Paraíso ante una rotura de la tubería. La válvula está dotada de un sistema de supervisión por ultrasonido que, ante caudales superiores a los permitidos, acciona el mecanismo de cierre, suspendiendo el paso de agua en menos de 90 segundos. (Resolución 16,2005)”

“ Tubería de carga de la Central El Paraíso: Conducción superficial que comienza en la cámara de válvulas de El Paraíso, a continuación del portal de salida del túnel de Granada II, y termina en la Casa de máquinas de El Paraíso. Tiene una longitud aproximada de 4060 m, con diámetros de 3,7 m al comienzo, 3,5 m; 3,3 m, y 3,1 m. al final, compuesta de 21 tramos con 20 anclajes. Entre los anclajes 1 y 6 la tubería instalada es lisa y entre el 6 y el 19 es zunchada. Contiguo al anclaje 19 se encuentra el distribuidor a las turbinas, embebido en concreto, y la descarga de fondo de 400 mm. de diámetro con entrega sumergida al tanque de quietamiento de las turbinas. (Resolución 16,2005)”

“La tubería está tendida a través de una topografía montañosa sobre una banca con pendiente entre 7.1 y 43.9%. Cada tramo libre entre anclajes cuenta con una junta de expansión (la cual actúa como amortiguador de los procesos térmicos de dilatación y contracción), tiene apoyos deslizantes sobre silletas en concreto localizadas cada 22 a 24 m., además de agujeros de inspección. Ha sido instalada en terrenos con banca sólida y

canales transversales para conducir las aguas lluvias y en caso de presentarse, las aguas de derrame de la tubería.”

*“ **Central Hidroeléctrica El Paraíso:** Está localizada en inmediaciones de Mesitas del Colegio (Cundinamarca), a 45 Km. al suroeste de Bogotá. Hace parte del proyecto Mesitas que comprende la cadena vieja (Salto-Colegio, Casalco) y la cadena nueva (Pagua) objeto del presente concepto; que aprovecha el caudal del río Bogotá, el cual es bombeado al embalse El Muña cuya capacidad total es de 40 Mm³. Se encuentra en operación desde 1986, en cascada con la Central Hidroeléctrica La Guaca (Resolución 16, 2005).”*

*“**Casa de máquinas:** Tiene una longitud de 74 m., un ancho de 26 m. y una altura de 27 m. Se localiza a una altitud de 1680 msnm con una temperatura promedio de 22°C y una humedad relativa del 90%.”*

“Cuenta con tres turbinas tipo Pelton de eje vertical con cuatro chorros, 22 alabes, diámetro de 2.3 m y 7.4 toneladas de peso, construidas en acero inoxidable ferrítico moldeado. El caudal de descarga para cada máquina es de 11,7 m³/s, para un total de 35 m³/s para las tres unidades. Su capacidad nominal, es de 92 MW cada una y su velocidad de rotación de 514 rpm. Cada turbina tiene como elemento de cierre una válvula esférica marca KVAERNER, de 3,4 m. de longitud, 1 m. de diámetro interior, operada por presión de aceite; el regulador de velocidad es electrónico Marca Asea, con unidad de control electrohidráulico KMW E-40. Cada turbina está protegida contra embalamientos por encima del 12% de velocidad, con sistemas de regulación; además de éstos posee un sistema mecánico de péndulo que acciona sin ningún tipo de energía diferente al de la inercia por velocidad, llevando la unidad a velocidades bajas. Las válvulas de corte de agua son igualmente de alta velocidad para situaciones de cierre de emergencia, situaciones en las que las entradas de agua deben ser suspendidas.”

“Igualmente, se cuenta con tres generadores TOSHIBA, sincrónicos, tráficos de eje vertical con tensión nominal de 13,8 KV, capacidad nominal de 100 MVA, factor de potencia 0.9 y 6 Hz.”

“Válvulas esféricas marca KVAERBER BRUT; de 100 mm de diámetro, con servomotor circular, cuyo accionamiento es por aceite a presión de 130 kg/cm². El equipo de mando y control es marca ASEA, accionado por bomba de corriente continua, alimentado desde un banco de baterías de 125 voltios. La función principal de estas válvulas es cortar el flujo de



agua al presentarse una pérdida de carga por salida de la unidad, evitando flujo de agua hacia la turbina.”

“Existen seis (6) transformadores tráficos con una relación de transformación de 13,2 kV a 230 kV y capacidad nominal de 60 MVA, su sistema de tratamiento es OFA. Dos transformadores auxiliares con relación de tensión de 34500 V 460 V que alimentan el sistema de equipos auxiliares e iluminación de la Central. Un transformador auxiliar anexo al generador No. 3, el cual alimenta el sistema de auxiliares de la central y alumbrado, cuya relación de tensión es 13,8 kV / 4780 V.”

“El equipo de refrigeración de los generadores, consiste en dos circuitos de aguas: uno cerrado y uno abierto. El circuito cerrado o de agua limpia, consta de dos tanques de almacenamiento de 25 m³ cada uno, seis bombas centrífugas de 100 HP, las cuales impulsan el agua hacia los radiadores del generador, enfriadores de aceite y serpentín de enfriamiento del cojinete inferior. El circuito abierto, o de agua de río, consta también de seis bombas centrífugas de 50 HP, las cuales absorben agua del tanque de quietamiento y lo impulsan por una tubería hacia un intercambiador de calor tipo Paraflow, donde se hace transferencia de calor de agua del circuito cerrado.”

“La central está conectada al Centro de Control de Bogotá, a través de unidades terminales remotas RTU localizadas en la casa de máquinas para la operación de la Central. (Resolución 16, 2005)”

*“ **Subestación de 34,5 y 230 kV:** La Central posee una subestación de 34,5 kV, cuyas funciones son: alimentar el sistema de auxiliares de la planta y servir de interconexión en las plantas La Guaca, Darío Valencia Samper y Salto I. Posee tres interruptores de 34,5 kV con hexafloruro de azufre para su operación, con sus correspondientes líneas de transmisión (Resolución 16,2005).”*

“La energía producida por la Central El Paraíso, es suministrada al Sistema Interconectado Nacional, mediante una subestación encapsulada GIS de 230 kV, de doble barraje que permite conectarse con las subestaciones de Circo y San Mateo en Bogotá y con la Central La Guaca a través de los circuitos La Guaca I y La Guaca II de 230 kV (Resolución 16,2005).”

*“ **Tanque de quietamiento** El agua turbinada es conducida por las cavernas de evacuación del foso de turbina directamente a un tanque de quietamiento construido en concreto cuyas dimensiones son: 42 m de longitud, 21 m de ancho y 9.5 m de profundidad. Su cota máxima de operación es 1674 msnm y el nivel mínimo operativo es 1672.40 msnm. Estos*

valores se deben mantener independientemente del número de unidades que se encuentran en servicio (Resolución 16,2005).”

“ **Pondaje:** Se localiza unos 50 m. al sur de la casa de máquinas y se conecta por medio de un túnel de fuga. Los taludes del pondaje están revestidos con los siguientes materiales: en contacto con la roca concreto neumático, luego una capa de gravas y la parte exterior en concreto reforzado. Tiene una capacidad de 53000 m³ de agua y se encuentra comunicado con el tanque de aquietamiento. Su función principal es permitir a la Central de la Guaca generar a plena carga durante 30 minutos cuando la Central El Paraíso ha presentado disparo de sus unidades. La función del pondaje es evitar la disminución brusca de carga en la Central la Guaca ante la pérdida por disparo o falla de la Central El Paraíso (Resolución 16,2005).”

“ **Túnel de fuga y obras anexas:** El túnel de fuga de 377 m. de longitud y un diámetro de 4,40 m. recoge las aguas provenientes de la Casa de máquinas del Paraíso, por intermedio de tres pozos verticales localizados en el tanque de aquietamiento y las conduce hasta el pozo de El Paraíso (Resolución 16,2005).”

“Antes de excavar el túnel de fuga, se construyeron ocho pozos verticales de 3 m. de diámetro sobre el alineamiento del túnel; de estos el No. 1 está conectado con el pondaje de El Paraíso, el No. 2 con un diámetro de 4,5 m es el pozo de compuerta y los Nos. 3, 4 y 5 se conectan con el tanque de aquietamiento. Los Nos. 6, 7 y 8 se eliminaron para evitar filtraciones de agua hacia el terreno. La función de estas obras es evitar las saturaciones del terreno, que posteriormente se traducirían en derrumbes de edificaciones como el tanque de aquietamiento, casa de máquinas, tubería y subestaciones, entre otros (Resolución 16,2005).”

“ **Pozo El paraíso:** Tiene 177 m. de profundidad y 4,9 m de diámetro, revestido en concreto simple y funciona como almenara de equilibrio de la Central La Guaca, está conectado en la parte superior con el túnel de fuga que capta las aguas provenientes de la Casa de máquinas de El Paraíso en caso de un derrame (Resolución 16,2005).”

“ **Túnel El Paraíso:** Este túnel capta a través del pozo de El Paraíso las aguas que salen de la Casa de máquinas de El Paraíso. Tiene una longitud de 1273 m. y un diámetro de 4.2 m, toda la sección se revistió en concreto neumático y finalmente se utilizó concreto convencional y blindaje como revestimiento definitivo, este último entre K0+732 y K1+282 en la zona próxima al portal de salida con un diámetro de 3,7 m. Este túnel lleva las aguas procedentes



de la Central Paraíso hasta la Central La Guaca para ser turbinadas en el proceso de generación de energía eléctrica (Resolución 16,2005).”

“Tubería de carga de la Central La Guaca: Se localiza desde el portal de salida del túnel El Paraíso hasta la población de Mesitas del Colegio. Tiene una longitud de 3,1 km., con diámetro variable entre 3,7 m. y 3.1 m. El alineamiento de la tubería se desplaza sobre topografía montañosa con pendientes entre el 4 y 28.1%. La tubería está soportada por medio de anclajes, silletas, placa de concreto y cunetas laterales revestidas en concreto. Presenta las mismas estructuras de seguridad de la tubería de carga de El Paraíso (Resolución 16,2005).”

“ Pozo de Yalconia: La tubería de carga se conecta con el túnel de La Guaca, por medio del pozo vertical de Yalconia de 195 m., con diámetro de excavación de 4,2 m., en sección de herradura; la sección efectiva hidráulica es de 3.1 m. de diámetro blindada en acero y concreto. Sus condiciones de construcción lo hacen altamente seguro, blindado casi en su totalidad de recorrido y dotado con sistemas de detección de deformación (Resolución 16,2005)”.

“ Túnel de La Guaca Este túnel pasa bajo la población de Mesitas, a 190 m. de profundidad y corresponde al tramo final de conducción para entregar el agua a la Casa de máquinas de la Central. Tiene 2.1 Km. de longitud y un diámetro de excavación de 4.1 m.; la sección efectiva hidráulica es de 3.1 m. de diámetro, blindada en acero y concreto. (Resolución 16,2005)”

El sistema de la central hidroeléctrica el paraíso está compuesta por tres turbinas tipo Pelton cuya capacidad de descarga es de $35 \frac{m^3}{s}$.

Tabla 12 Componentes central hidroeléctrica el paraíso

| CENTRAL HIDROELÉCTRICA EL PARAISO | |
|-----------------------------------|---|
| Embalse del Muña | 40Mm ³ |
| Casa de máquinas | L: 74m A:26m H:27m |
| Turbinas | 3 Unidades Tipo Pelton Qdes: $35 \frac{m^3}{s}$ |



| CENTRAL HIDROELÉCTRICA EL PARAISO | |
|-----------------------------------|--|
| | 92MW cu |
| Subestación | 34,5-230kV |
| Otros componentes | Tanque de quietamiento- Pondaje-Tunel de fuga- Tubería El Paraíso-Pozo de Yalconia- |

Fuente: Esquematización propia- Resolución 16 de Agosto de 2005

Para la central La Guaca la infraestructura está compuesta principalmente de:

“ Central La Guaca: Está localizada a 40 Km. de Bogotá, en la vía que conduce de Mesitas de El Colegio a la Mesa. La caída total aprovechable para generación es de 1032 m., para su generación utiliza las aguas turbinadas en la Central El Paraíso distante 7 Km. El agua regresa al río Bogotá, a través de un canal de descarga de sección trapezoidal de 2 m. de base y taludes 1:1 aproximadamente, revestidos en concreto convencional los 60 m. iniciales (Resolución 16,2005).”

“La Central hidroeléctrica, con capacidad instalada de 324 MW, consta de tres unidades de generación y hace parte del proyecto Mesitas que comprende adicionalmente la Central Hidroeléctrica El Paraíso. El caudal necesario para producir su potencia máxima es de 35 m³/s, es decir, de 11,7 m³/s por cada unidad. Su construcción se inició en 1977 y las pruebas concluyeron en 1986 (Resolución 16,2005).”

“Casa de máquinas: Es de tipo superficial de 74 m. de largo por 26 de ancho y 27 de altura. Para el mantenimiento y montaje de equipos se utilizan dos puentegrúas diseñados para una carga máxima de 180 toneladas (Resolución 16,2005).”

“El equipo principal de la Central está constituido por: Tres turbinas Pelton de 180 MW cada una, 22 cangliones, diámetro de 3009 mm., cuatro chorros, dobles frenos hidráulicos, regulador electrónico de velocidad ASEA.

La central la guaca posee generadores sincrónicos de eje vertical con capacidad de 34,5-230 KV (Resolución 16,2005)”.

Tres generadores sincrónicos de eje vertical marca TOSHIBA 115 MVA, 13,8 kV, 4800 A, 514 rpm., aislamiento clase B, trifásico, 14 polos, 4811 A, 60 hz, factor de potencia 0,9 Mvar,

corriente de campo 1050 A. Cuenta con generadores auxiliares asociados y sobre el mismo eje del generador principal de 300 kVA, 480 V (Resolución 16,2005)”.

“Válvulas esféricas marca KUAERNER BRUT de 1000 mm. de diámetro, con servomotor circular, cuyo accionamiento es por aceite a presión a 130 kg/cm². El equipo de mando y control es marca ASEA, accionado por bomba de corriente continua, alimentados desde un banco de baterías de 125 voltios. La función principal de esta válvula es la de cortar el flujo de agua al presentarse una pérdida de carga por salida de emergencia de la unidad, evitando flujo de agua hacia la turbina (Resolución 16,2005)”.

“Patio de conexiones: La energía generada en la Central se suministra al Sistema de Transmisión Nacional mediante una subestación de tipo convencional a 230 kV que tiene configuración de barraje principal y de reserva con tres campos de generación, cuatro de líneas, dos de transformación y uno de unión de barras. Las líneas de transmisión están en doble circuito a la Central hidroeléctrica La Guaca, con las subestaciones de la Central hidroeléctrica El Paraíso y La Mesa en Cundinamarca (SOSTENIBLE, 2005)”.

Tabla 13 Componentes central La Guaca

| CENTRAL LA GUACA | |
|---|---------------------------------------|
| Caudal de generación | 35 $\frac{m^3}{s}$ |
| Turbinas | 2 Unidades Tipo Pelton 180MW cu |
| Generadores sincrónicos de eje vertical | 34,5-230kV |
| Otros componentes | Patio de conexiones |

Fuente: Esquematización propia- Resolución 16 de Agosto de 2005

4.1.4 Capacidad Instalada

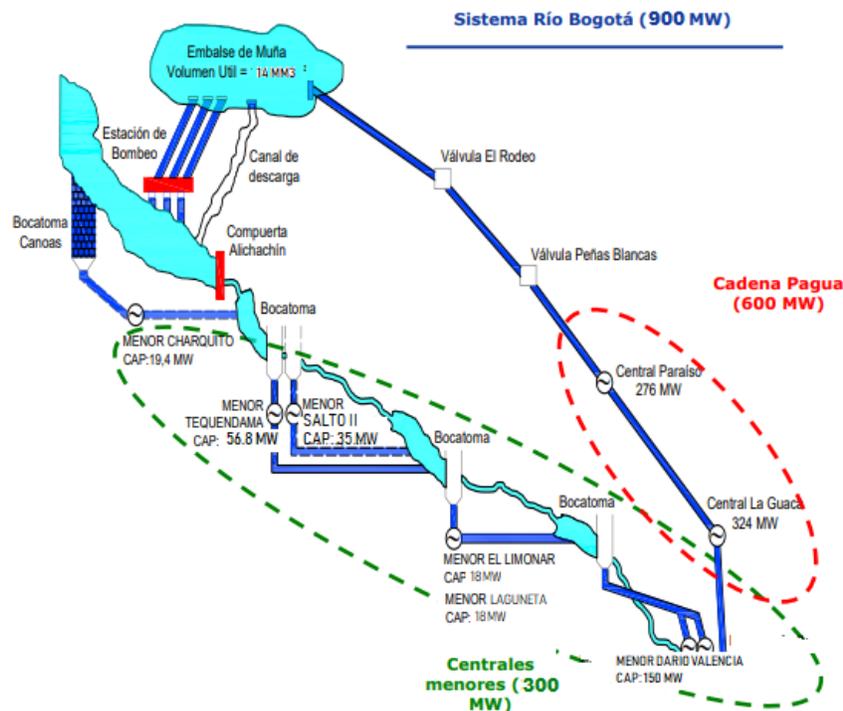
Existe una alta dependencia del consumo de energía eléctrica en fuentes hidrológicas en nuestro país. La región central, en la cadena río Bogotá, la capacidad instalada es de 324 MW para la central Paraíso, la capacidad instalada de otras redes menores de esta cadena se presenta en la Tabla Capacidad Instalada.

Tabla 14 Capacidad Instalada

| NOMBRE DEL GENERADOR | CAPACIDAD INSTALADA (MW) |
|-----------------------|--------------------------|
| DARIO VALENCIA SAMPER | 150 |
| SALTO II | 35 |
| CHARQUITO | 19.4 |
| EL LIMONAR | 18 |
| LAGUNETA | 18 |
| TEQUENDAMA X4 | 14.2 |
| PARAÍSO | 276 |
| LA GUACA | 324 |

Fuente: (ENEL, 2019)

Figura 16 Capacidad total sistema río Bogotá



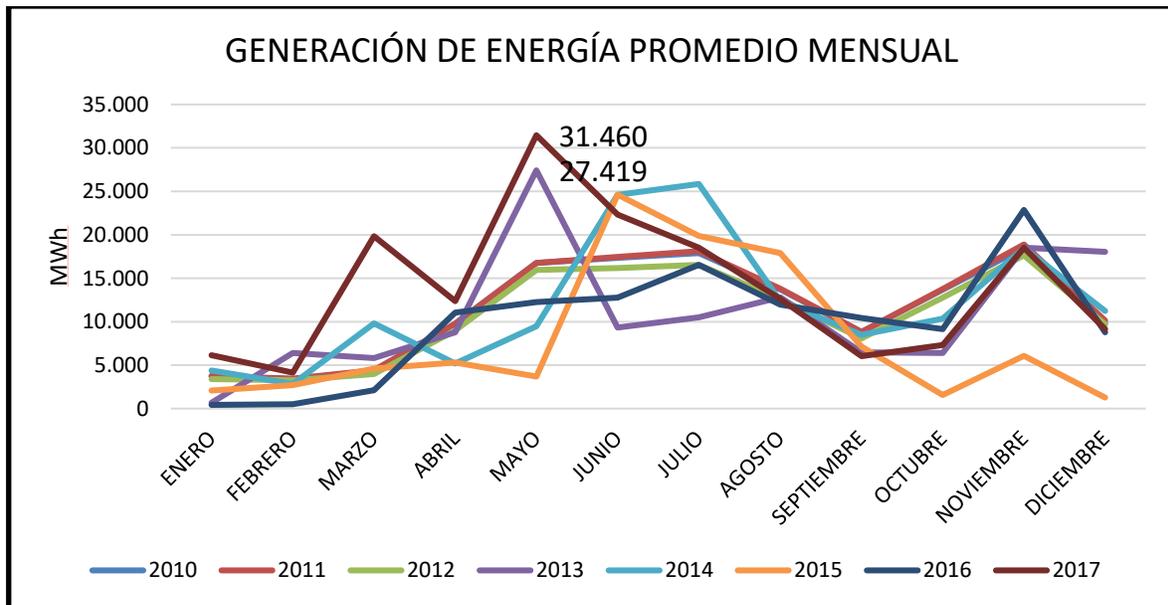
Fuente: Adaptación Emgesa con información XM(XM, 2019) & (Emgesa,2011)

La cadena de generación río Bogotá presenta un despacho de energía variable. A lo largo de los años aumenta contantemente la demanda y por lo tanto la producción, el año de



mayor producción se registra en mayo de 2017. Este mes coincide ser el de mayor producción para varios años.

Gráfica 1 Generación de energía



FUENTE: Datos XM. Cálculos propios, 2019

4.1.5 Régimen de precipitaciones e hidrológico de la zona

Se realiza el análisis hidrológico empleando las estaciones más cercanas a la zona de estudio generación de energía para poder entender las variaciones de precipitación características de la zona.

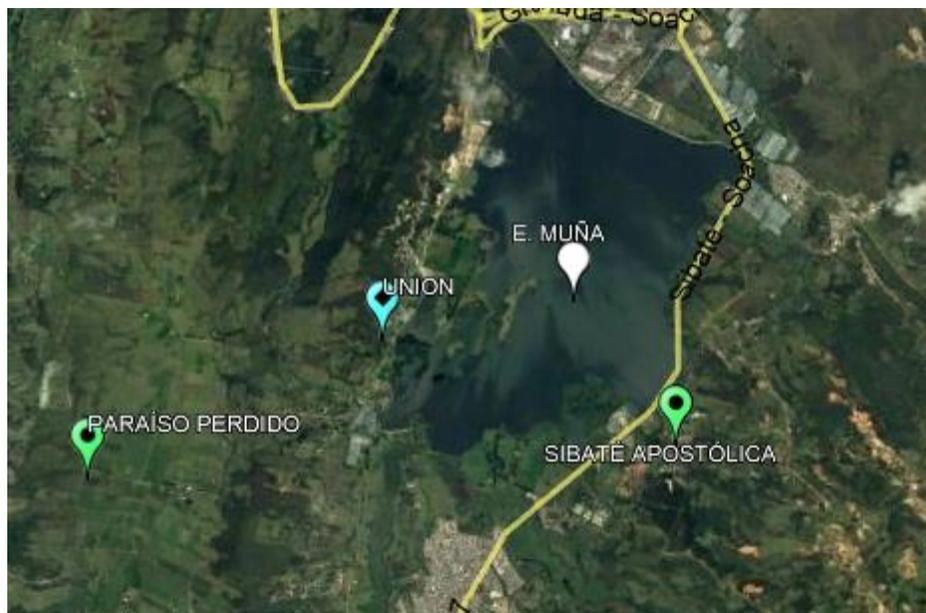
Se toma en cuenta las estaciones pluviométricas disponibles de las entidades como el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) y la Corporación Autónoma Regional (CAR).

Tabla 15 Estaciones pluviométricas

| ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS | | | | | | |
|---------------------------|----------|----------|----------|----------|------------------|---------|
| N | CÓDIGO | NOMBRE | APERTURA | CLAUSURA | CORRIENTE | ENTIDAD |
| 1 | 21201320 | UNIÓN LA | 1985 | - | EMBALSE DEL MUÑA | IDEAM |

| ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS | | | | | | |
|---------------------------|---------|-------------------|----------|----------|------------------|---------|
| N | CÓDIGO | NOMBRE | APERTURA | CLAUSURA | CORRIENTE | ENTIDAD |
| 2 | 2120051 | SIBATÉ APOSTÓLICA | 1956 | - | EMBALSE DEL MUÑA | CAR |
| 3 | 2120634 | PARAÍSO PERDIDO | 1987 | - | EMBALSE DEL MUÑA | CAR |

Figura 17 Localización Estaciones Pluviométricas de la zona de estudio



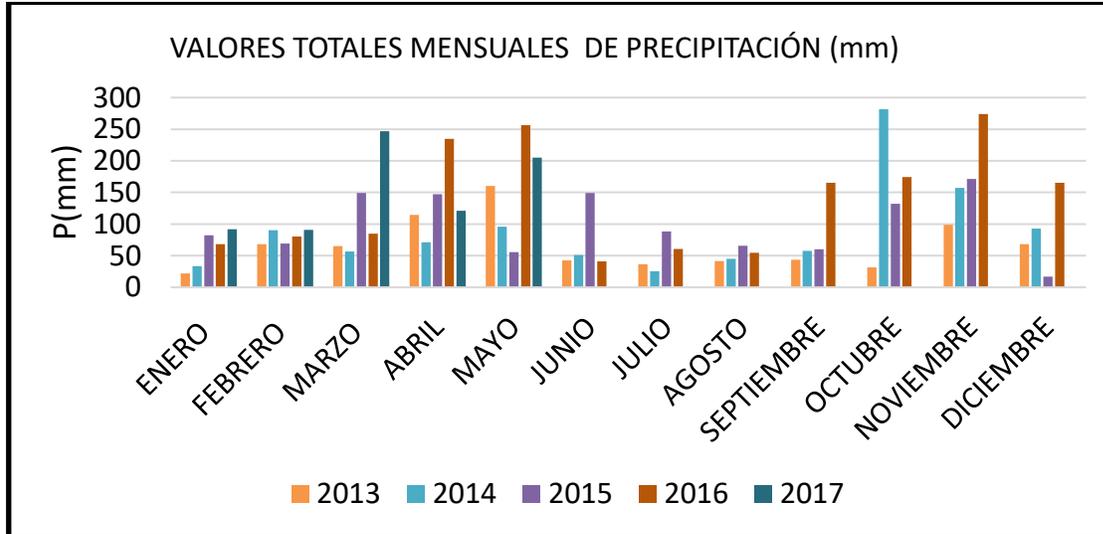
Fuente: Google Earth

Estación La Unión

En la estación La unión, los valores totales mensuales de precipitación presentan un comportamiento bimodal alcanzando la mayor precipitación en el mes de octubre 281.7 mm.



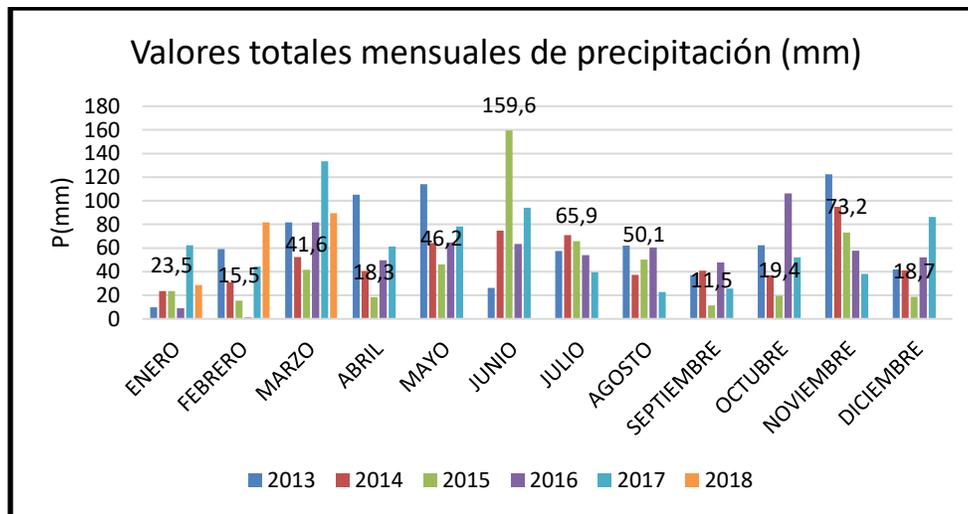
Gráfica 2 Valores totales mensuales de precipitación estación La Unión



Estación Sibaté Apostólica

Los mayores niveles totales mensuales de precipitación se presentan para los meses entre marzo-mayo y la segunda temporada en los meses de octubre- noviembre. La mayor precipitación 159.6 mm, para el año 2015.

Gráfica 3 Valores totales mensuales de precipitación estación Sibaté Apostólica

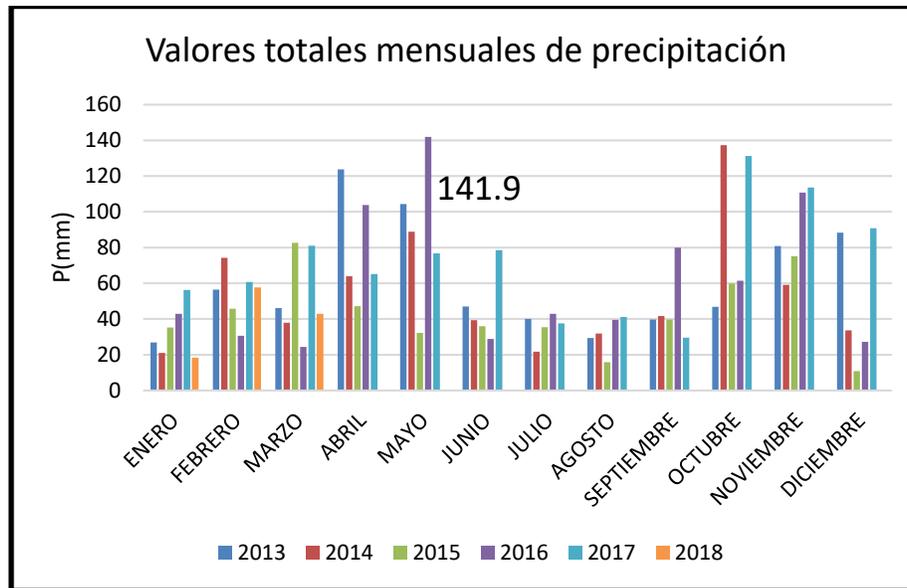




Estación paraíso

En la estación paraíso el valor máximo de precipitación se alcanza en el mes de mayo con 141.9 mm para el año 2016.

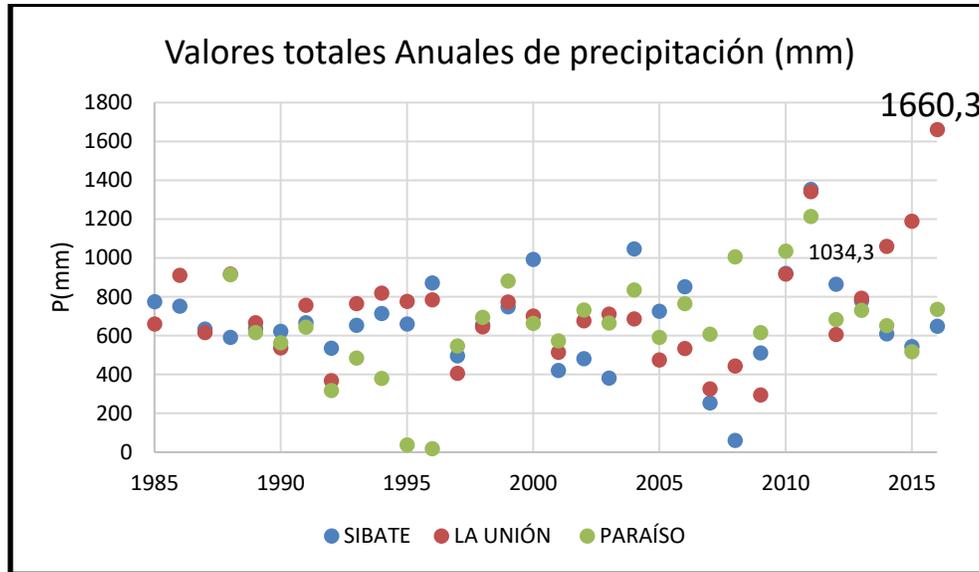
Gráfica 4 Valores totales mensuales de precipitación estación Paraíso.



Comparando los valores totales anuales de precipitación para las diferentes estaciones, la precipitación anual máxima se da en la estación La Unión con 1660.3 mm. El análisis se lleva a cabo entre los años de 1985-2015, y su valor promedio se encuentra sobre los 700mm anuales. Adicionalmente se puede evidenciar que existe más dispersión para los últimos años de estudio, por lo que el análisis de variabilidad climática se considera necesario para estimar volúmenes de tanque más aproximados a la estimación futura de diseño.

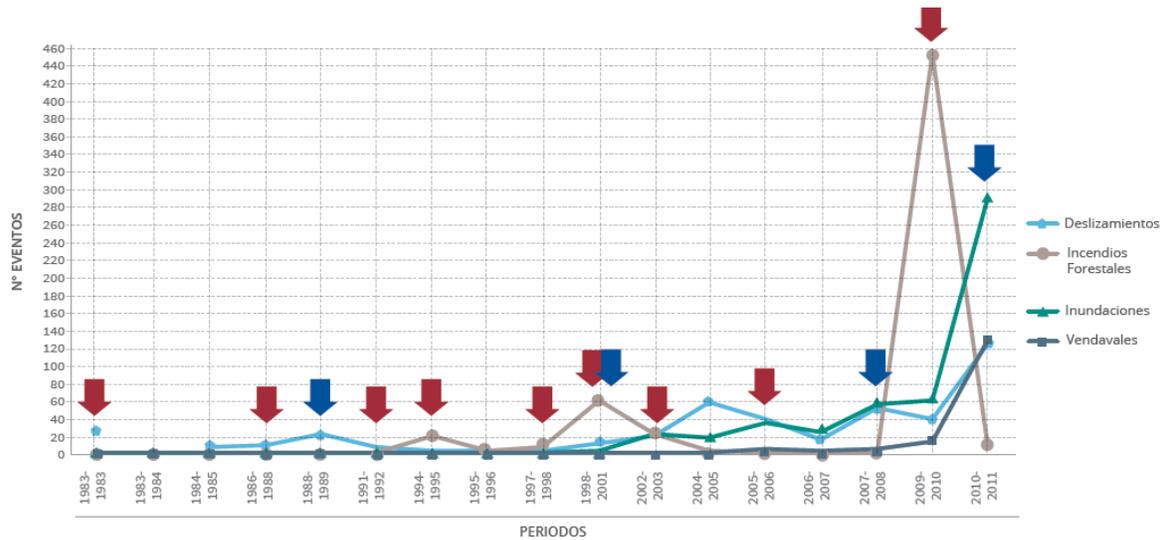


Gráfica 5 Valores totales anuales de precipitación (mm)



El análisis de variabilidad climática se realiza a partir los fenómenos de la niña y el niño, cuyos escenarios reflejan el comportamiento de la precipitación, en donde la variabilidad climática para Bogotá presenta eventos cada vez más frecuentes y con intensidades más altas según muestra los últimos eventos históricos (1950-2011), en donde el registro para el periodo de 1951-1970 fue de 154.4 mm, mientras que para el periodo de 2001-2011 es de 178,5mm.

Gráfica 6 Registro Histórico (1980-2011) de reporte de eventos de emergencia y desastre relacionados con los tipos de fenómenos climáticos sucedidos en la Región Capital, indicando los periodos donde se han reportado eventos de El Niño (flechas rojas) y La Niña (flechas azules)



Fuente:(IDEAM et al., 2014)

El evento de niña presentado en el periodo 2010-2011, generó problemas de inundación con mayor número de eventos, que a su vez se resulta representativo debido a que la cantidad de eventos aumentó en más del 200% con relación al periodo anterior de niña generado para el 2009-2010 (IDEAM et al., 2014).

Se evidencia además que los eventos de inundación periódicamente incrementan y sus impactos cada vez son más significativos.

4.1.6 Análisis de caudales

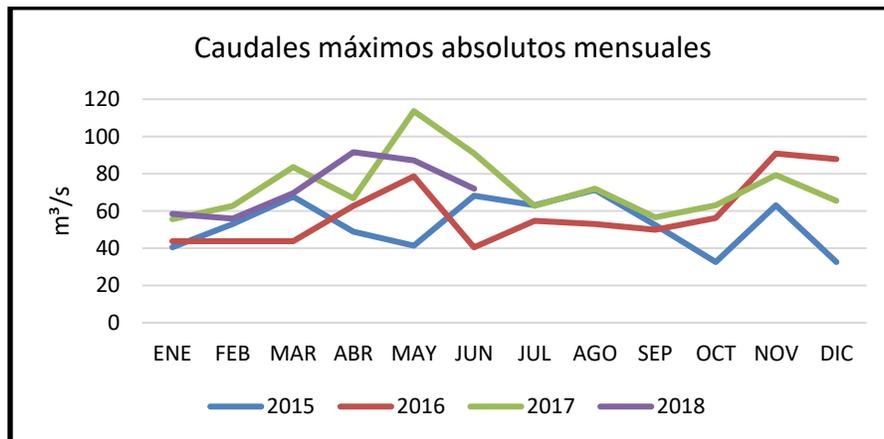
Para el análisis de los caudales del río Bogotá cercano se considera la estación aguas arriba del embalse de cuya información es recolectada de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB) y la CAR, cuya estación es LAS HUERTAS.

Gráfica 7 Localización estación Las Huertas

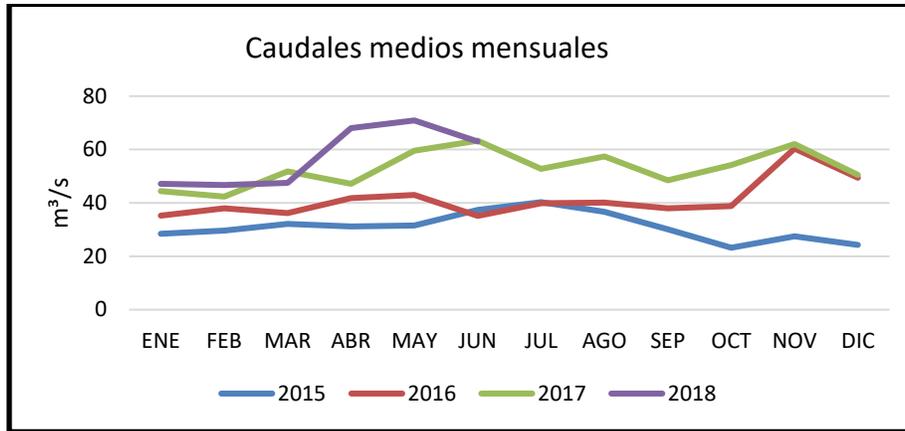


Fuente:(CAR, 2013)

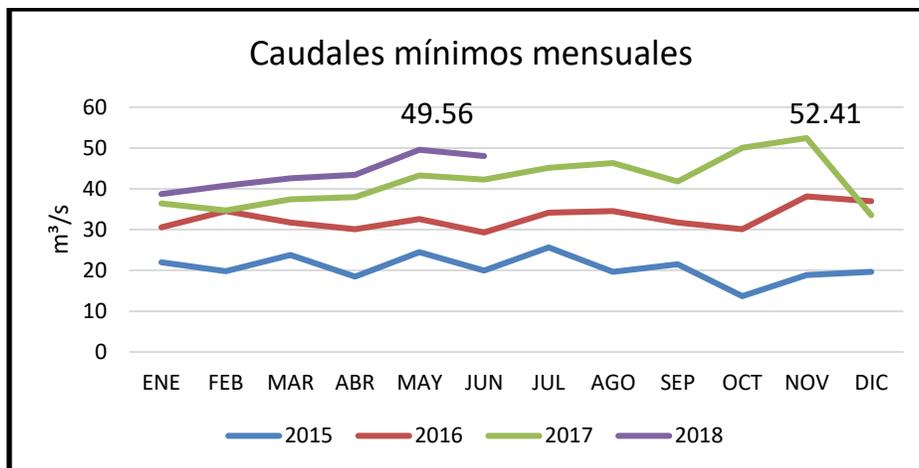
Gráfica 8 Caudales máximos absolutos mensuales estación las Huertas



Gráfica 9 Caudales medios mensuales las Huertas



Gráfica 10 Caudales mínimos mensuales



Los valores de caudales que se presentan en el río Bogotá, estación ubicada próxima a la hidroeléctrica, superan los 100 m³/s, como valor máximo. Caudales medios mensuales cercanos a 50 m³/s y valores mínimos registrados de 50 m³/s. Estos valores presentados se registran aguas arriba de la captación por la planta de generación.

4.1.7 Sistema hidrológico del sistema de generación de energía

El caudal que pasa por las compuertas Alicachín, es tomado a partir de la información diaria reportada en XM, que es la entidad encargada de la gestión de sistemas en tiempo real y



registra la operación diaria de aportes, vertimientos, reservas y embalses que corresponde a la información hidrológica del sistema hidroeléctrico de estudio.

A continuación, se presentan las definiciones correspondientes a los términos encontrados en XM:

“Los aportes son la cantidad de agua que llega a los embalses del Sistema Interconectado Nacional. Se compara por lo general con la media histórica de agua recibida por los embalses para esa misma época del año. Se obtiene con el promedio de los valores de cada mes para todos los años con información disponible (XM,2019).”

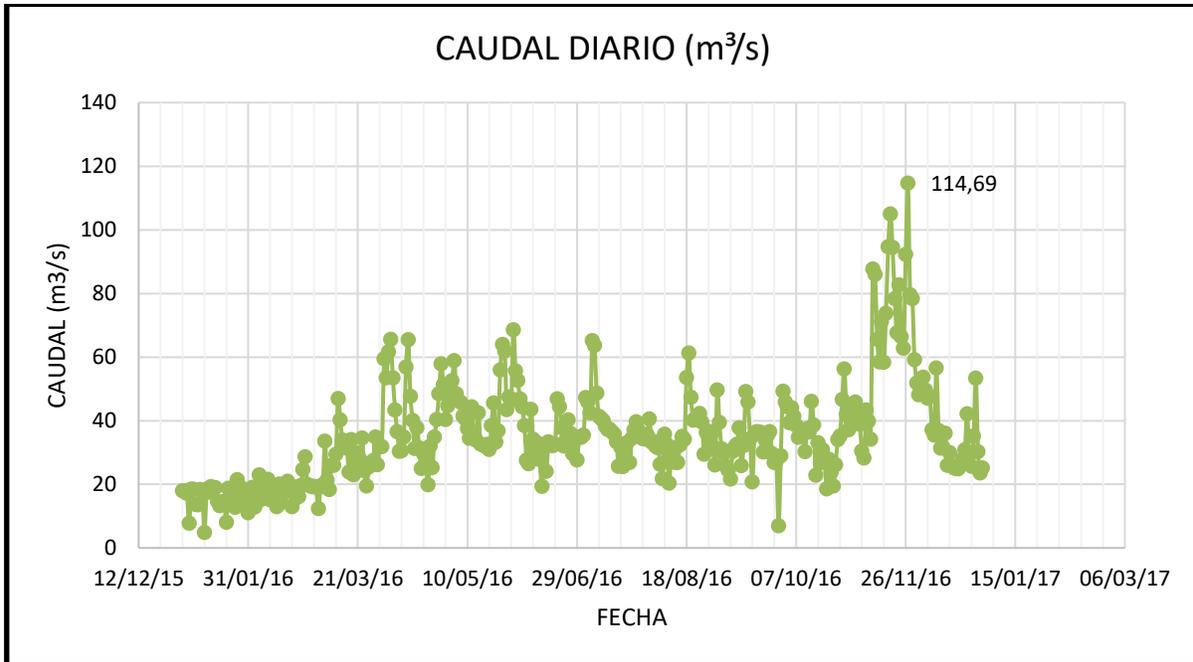
Por su parte, el caudal es la cantidad de agua que aporta uno o varios ríos a algún embalse del Sistema Interconectado Nacional. A la sumatoria de todos los caudales del país se le conoce como caudal agregado y se presenta en Mm³, GWh y porcentaje (XM,2019.)”

Para efectos de nuestra información solicitada los aportes corresponden a los caudales que se encuentran en el río en el punto de compuertas Alicachín.

En primer lugar, daremos a conocer los caudales promedios mensuales para los años 2010-2011, que históricamente se registran los efectos de inundación en el sector de Chía, Zipaquirá, Villapinzón, Suba, Fontibón, Soacha, Cota, Funza, Suesca y Mosquera, debido al desbordamientos del río Bogotá y en efectos del fenómeno de la Niña.

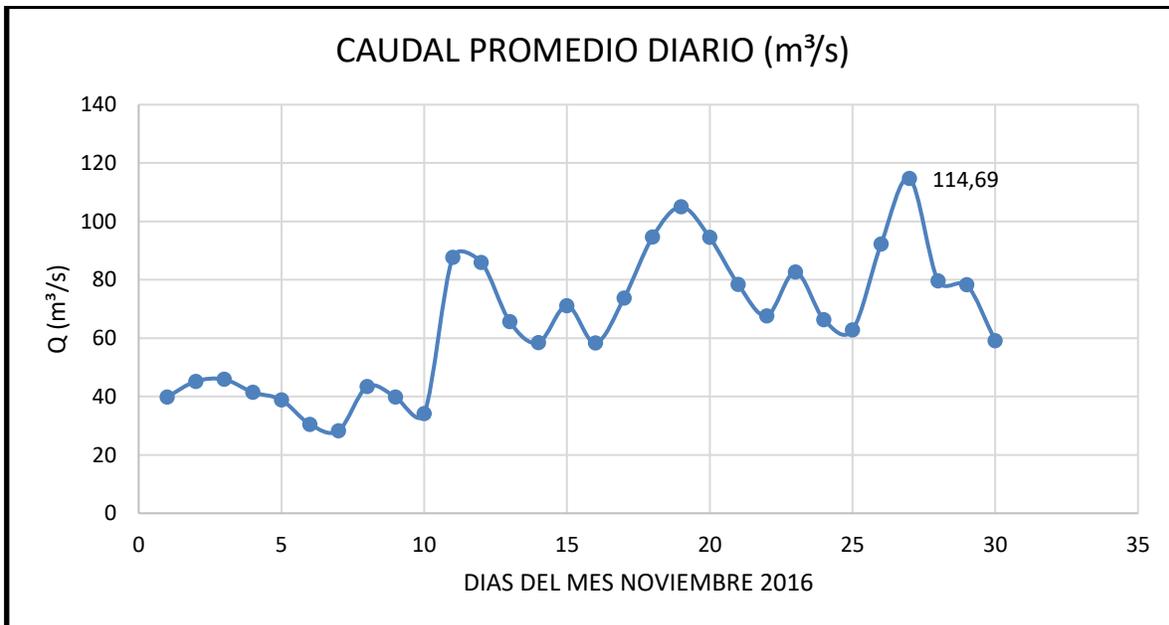
El periodo de 2016 es observado a nivel diario, debido a que dentro de las estaciones de precipitación de la zona se presenta los mayores niveles en este año por lo que es necesario evidenciar tanto los caudales mínimos y máximos durante este periodo.

Gráfica 11 Caudales compuertas Alicachín 2016



El caudal diario máximo, correspondiente al periodo del año 2016 se encuentra en 114.69 m³/s, el caudal mínimo para este mismo periodo es de 4.88 m³/s.

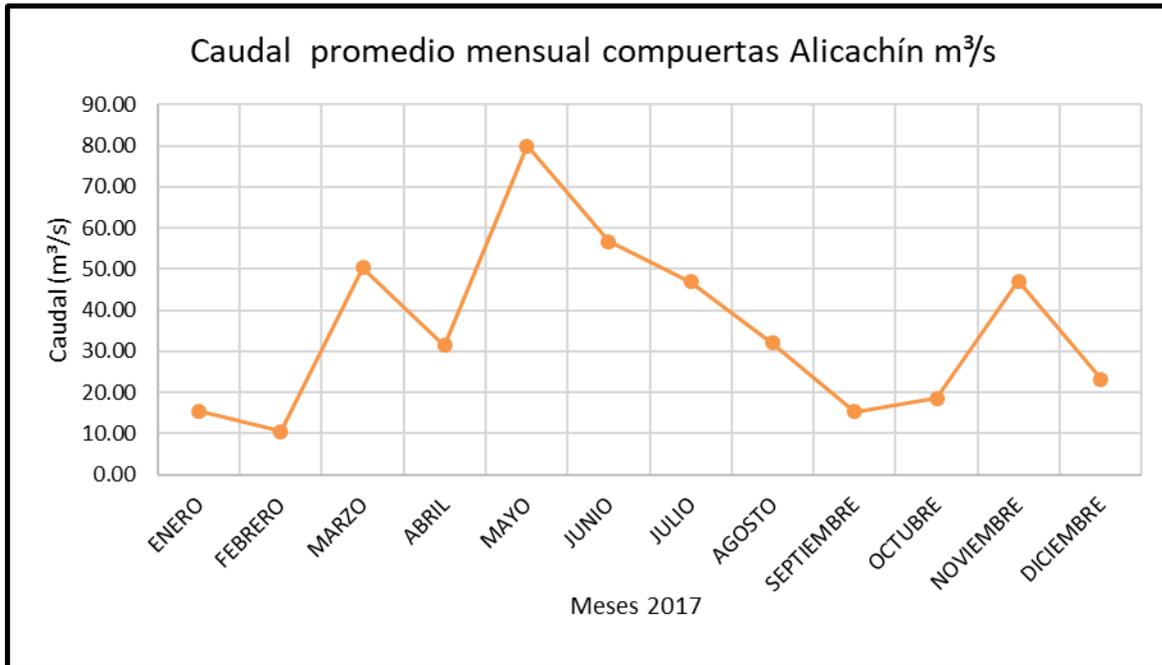
Figura 18 Caudal promedio diario





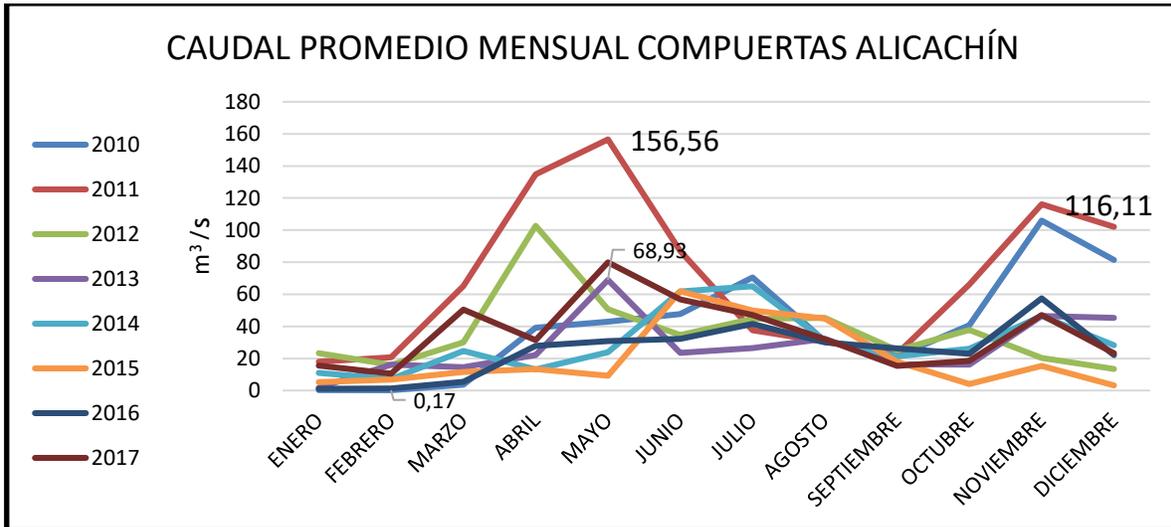
Se presenta también el caudal promedio mensual para otros periodos como 2017,

Gráfica 12 Caudal promedio mensual compuertas Alicachín



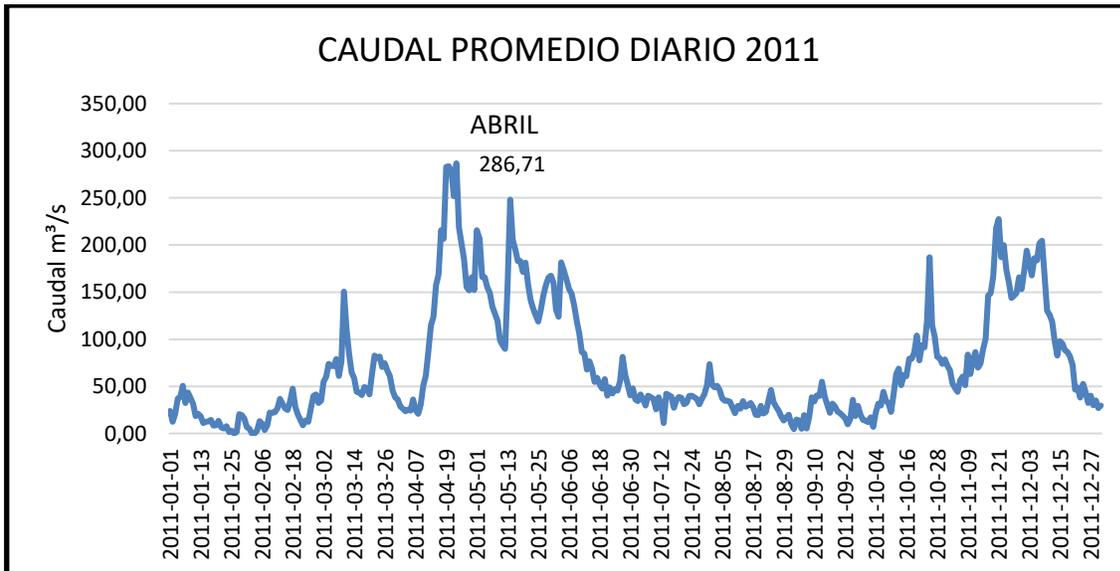
Se presenta a continuación los caudales promedios mensuales en las compuertas Alicachín para diferentes años, estableciendo que para el periodo de mayor precipitación

históricamente registrado fue en 2011, periodo que coincide los caudales máximos para este punto.



Gráfica 13 Caudal promedio compuertas Alicachín

El caudal promedio diario registra el mes de abril como las afluencias del río con mayor caudal registrando un caudal de 286,71 m³/s.



Gráfica 14 Caudal promedio diario 2011



Caudal turbinado, se presenta a partir de la información registrada en la CAR, en donde se presentan los valores diarios de generación de energía y mediante el factor de conversión **Factor de Conversión(MW/m³/s)-Heat Rate(MBTU/MWh)**, suministrado por XM se refleja los caudales turbinados para la cadena Pagua Paraiso- La Guaca.

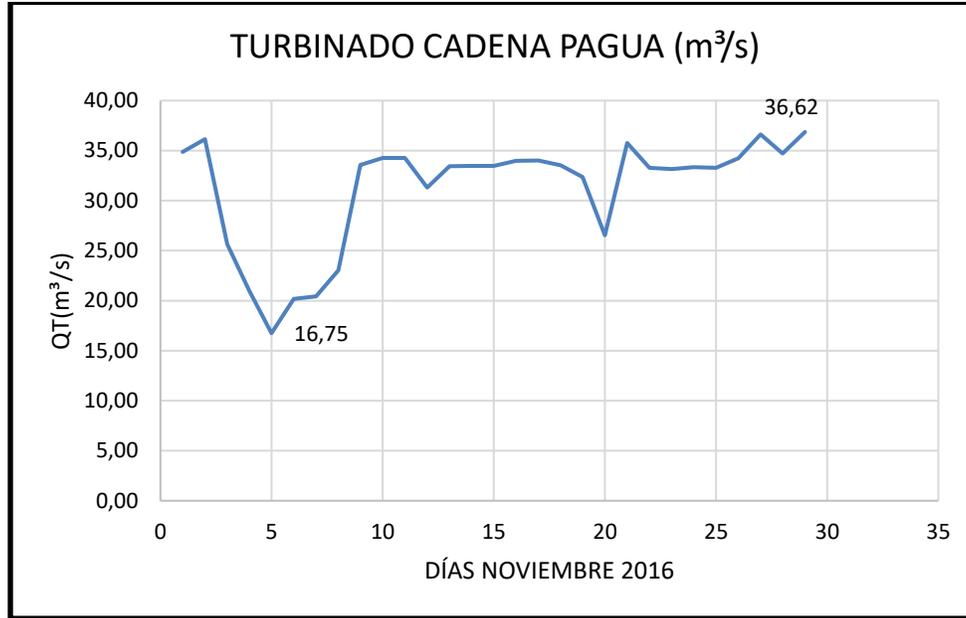
Tabla 16 Factor de conversión

| Nombre del generador | Factor de Conversión(MW/m³/s)-Heat Rate(MBTU/MWh) |
|-----------------------------|---|
| DARIO VALENCIA SAMPER | 8.0779 |
| PAGUA | 16.4049 |
| SALTO II | 3.4155 |
| CHARQUITO | 0 |
| EL LIMONAR | 0 |
| LAGUNETA | 2.509 |
| TEQUENDAMA 1 | 1 |
| TEQUENDAMA 2 | 1 |
| TEQUENDAMA 3 | 1 |
| TEQUENDAMA 4 | 1 |

Fuente: (XM, 2016)

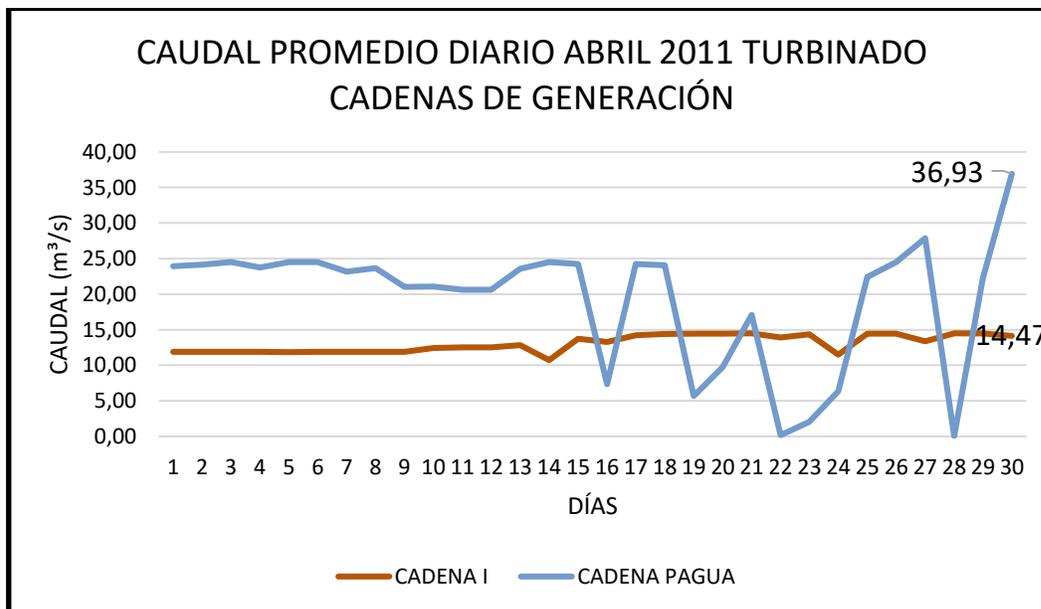
Se identifica que los caudales turbinados para el mes mayor precipitación alcanza su capacidad total y en ocasiones puede alcanzar a 36.62 m³/s y un caudal mínimo de 16.75 m³/s.

Figura 19 Sistema turbinado Cadena Pagua



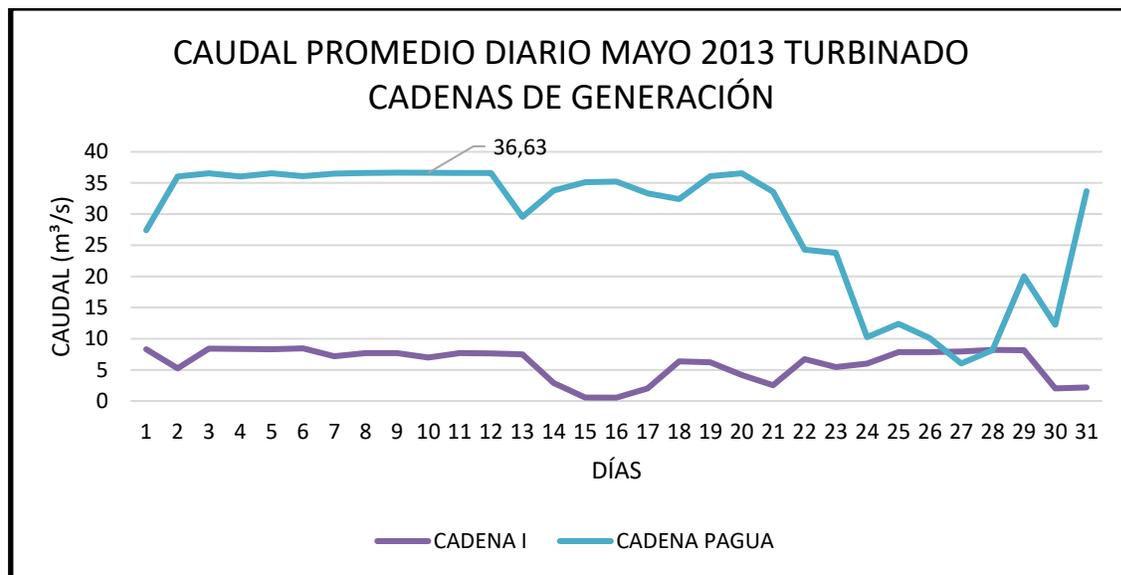
Abril es considerado como uno de los meses de mayor precipitación, por lo que se presenta el caudal turbinado para este mes en donde logra alcanzar un caudal de 36.93 m³/s para la cadena de generación la Pagua y de 14.47m³/s.

Gráfica 15 Caudal promedio diario turbinado 2011



El caudal promedio diario turbinado para el mes de mayo de 2013, periodo de mayor generación registrado, se encuentra un caudal máximo de 36.63 m³/s.

Gráfica 16 Caudal promedio diario mayo 2013 turbinado



Como se plantea un escenario en donde se pueda emplear un caudal adicional del río Bogotá para generación de energía, este escenario contempla el aprovechamiento por medio de la cadena menor y su estimación parte de la central Darío Valencia que requiere mayor caudal debido a su mayor capacidad instalada.

Se emplea entonces, el factor de conversión para estimar el caudal adicional requerido siendo este de 8.0779 MW/m³/s. El caudal adicional sería de 18.56 m³/s requeridos para operar simultáneamente la cadena principal y las redes menores.

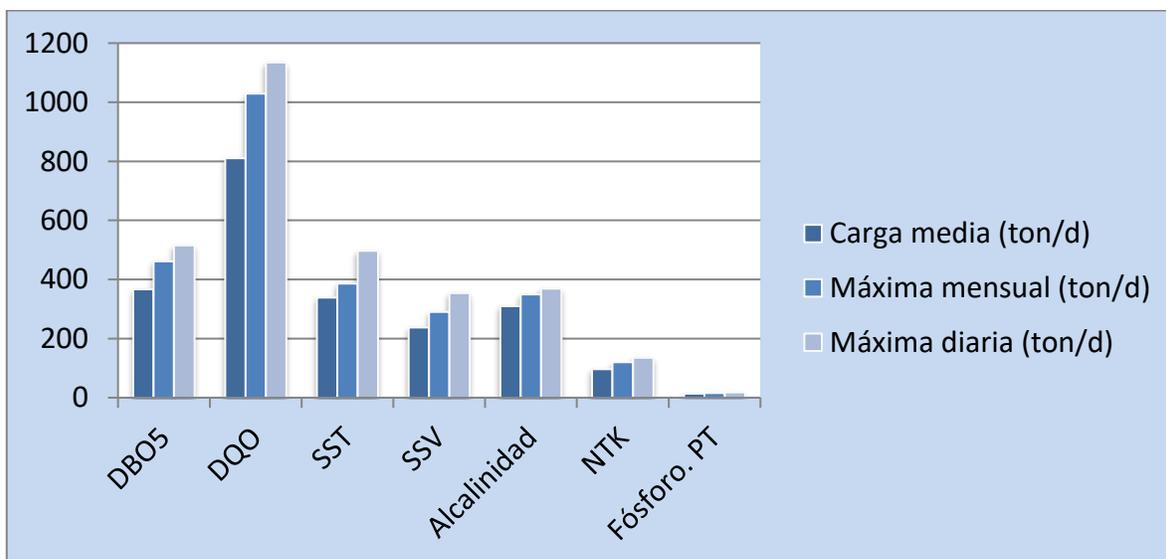
4.1.8 Calidad de agua

Algunas características de calidad de agua de la fuente receptora según los estudios y diseños de la planta de tratamiento de la PTAR Canoas se describen en el siguiente cuadro:

Tabla 17 Calidad de agua residual PTAR Canoas

| | |
|--------------------------------|-----|
| DQO, mg/l | 361 |
| DBO ₅ , mg/l | 175 |
| DBO ₅ soluble, mg/l | 56 |
| SST, mg/l | 160 |
| SSV, mg/l | 125 |
| pH | 7.2 |

Fuente: Informe de diseño PTAR Canoas-2003



Gráfica 17 Cargas de parámetros de calidad de agua PTAR Canoas

Diseño a nivel de ingeniería de detalle de la planta de tratamiento de aguas residuales de “Canoas” en los componentes asociados al sistema de tratamiento primario con asistencia química. Junio de 2014.

5 MODELO HIDRÁULICO DEL RÍO BOGOTÁ

El río Bogotá, se constituye como el gran receptor de la escorrentía de la ciudad; los cuales se conforman principalmente por los afluentes de los ríos Fucha, Salitre, Torca y Tunjuelo.

En el año 2003, se realiza el estudio hidráulico para el diseño de obras de protección contra las inundaciones del río Bogotá en el sector Puente La Virgen- Alicachín, dentro del proyecto de saneamiento y adecuación cuenca del río Bogotá, ejecutado por la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, CAR.

Se incluye además obras de rehabilitación y protección contra inundaciones, ejecutadas en la actualización del Plan maestro de Alcantarillado de las Cuencas del Salitre y Jaboque, en el contrato realizado para la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá.

A partir de estos documentos se presenta los estudios hidráulicos llevados a cabo en el desarrollo del diseño de las obras para la protección contra las inundaciones del río Bogotá en el sector Puente La Virgen- La Conejera, desarrollados por la firma Monsalve.

Existen también otros estudios hidráulicos, contratados por la CAR en el que se incluye la actualización del modelo hidráulico realizado en el contrato de consultoría No. 753-2015. Producto de esta consultoría realizada por el grupo Nippon Koei, se incluye un modelo de flujo No permanente, realizada en el programa HEC-RAS. Esta información en este medio fue solicitada a entidades como la CAR y EAAB, sin embargo, se manifiesta en ambas entidades que la información no se encuentra disponible según lo solicitado.

Para efectos de este trabajo, se emplea el Modelo Hidráulico del río Bogotá en flujo no permanente del primer estudio con el que se cuenta información y es posible trabajar para el objeto de esta tesis.

5.1 Descripción de la cuenca

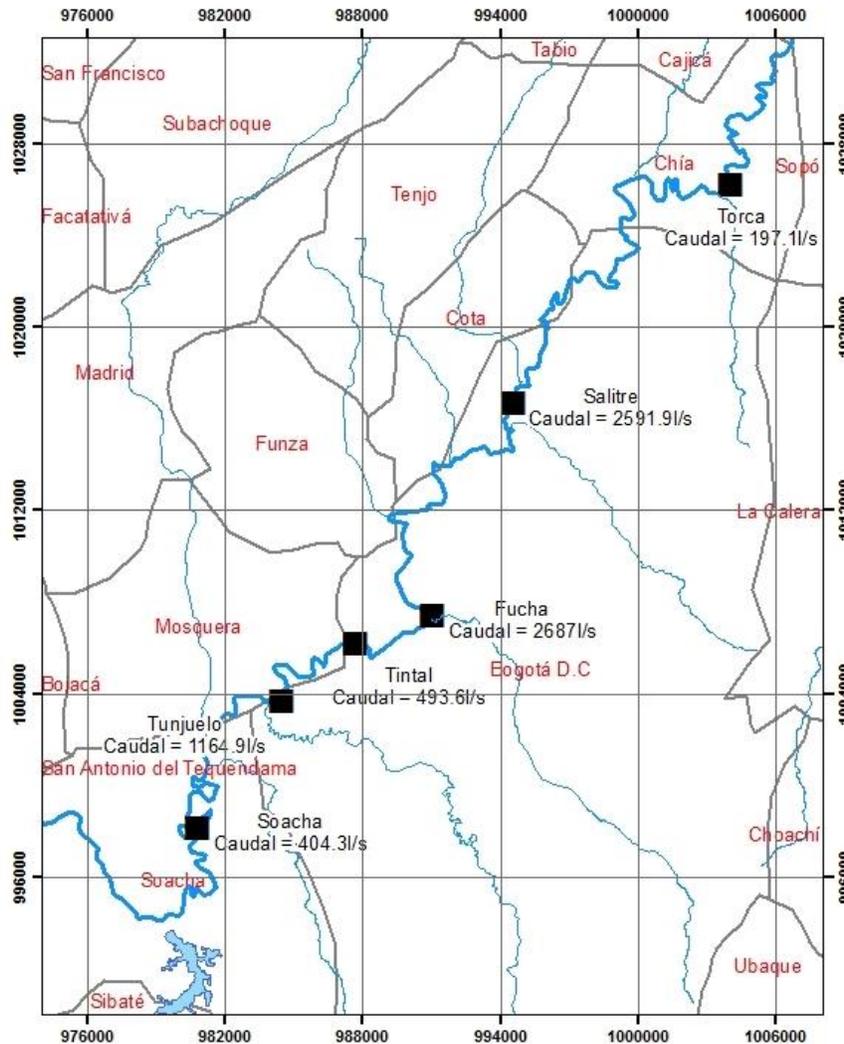
La cuenca del río Bogotá se encuentra localizada en el departamento de Cundinamarca y junto con los ríos Sumapaz, Magdalena, Negro, Minero, Suárez, Blanco, Gacheta y Machetá, conforma el grupo de corrientes de segundo orden del departamento (Monsalve,2012).

La Cuenca del río Bogotá limita en su extremo norte con el Departamento de Boyacá, en el extremo sur con el Departamento del Tolima, al occidente con los municipios de Bituima,

Guayabal de Siquima, Albán, Sasaima, La Vega, San Francisco, Supatá y Pacho y al oriente, en el área incluida dentro del presente estudio es decir sin incluir la subcuenca del río Tunjuelo, con los municipios de Nilo, Tibacuy, Silvana, Chipaque, Ubaque y Choachi (Monsalve,2012).

Su cuenca se divide en dos partes principales, clasificadas de acuerdo con sus características topográficas y climáticas a saber: cuenca alta comprendida entre su nacimiento y las compuertas de Alicachín, y cuenca baja, desde Alicachín hasta su desembocadura al río Magdalena.

Figura 20 Descargas Sanitarias actuales sobre el Río Bogotá



Fuente: (Nippon Koei LAC, 2016)



Las principales descargas sanitarias son tomadas a partir de la información de Nippon Koei, que representa las descargas principales Torca, Salitre, Fucha, Tintal, Tunjuelo y Soacha. La descarga más importante es la de Fucha con 2687 L/s (Monsalve,2012).

5.2 Modelo Hidráulico HEC RAS

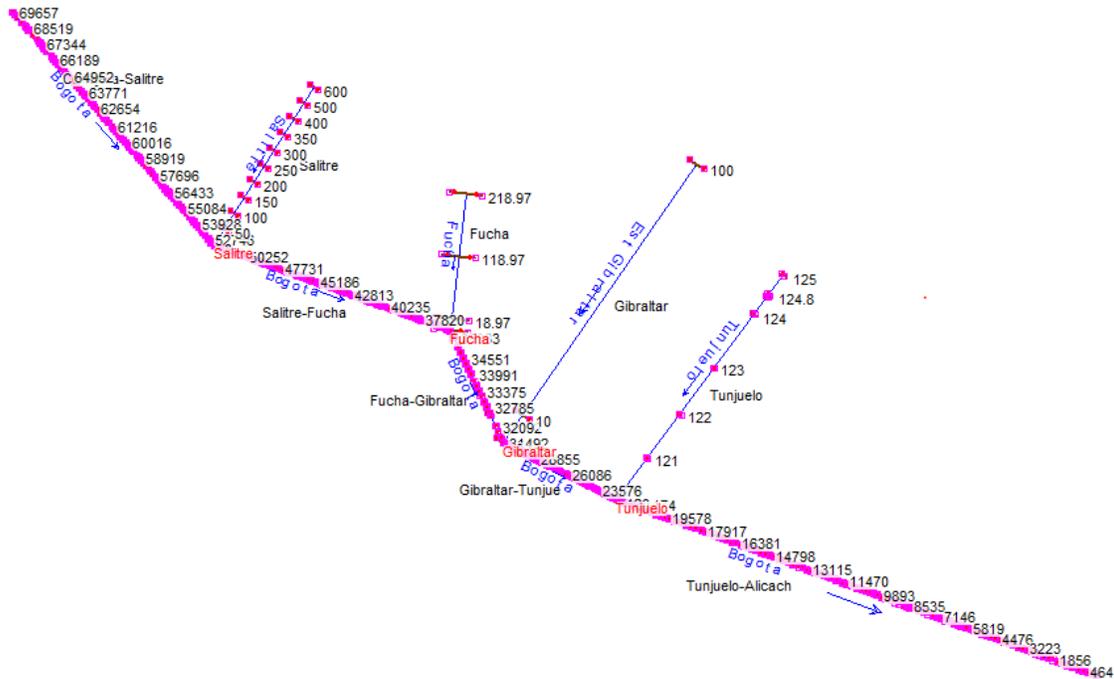
En el modelo de HEC-RAS que se presenta se han incluido 351 secciones transversales, las cuales tienen una distancia promedio entre sí de unos 200 m.

La longitud total del cauce a analizar es de 69657 m, la cual se dividió en cinco (5) tramos, como se menciona a continuación, cada uno con las siguientes longitudes:

- Conejera-Salitre: 17408 m
- Salitre-Fucha: 16675 m
- Fucha-Gibraltar: 4082 m
- Gibraltar-Tunjuelo: 9700 m
- Tunjuelo-Alicachín: 21792 m

La sección aguas arriba es la sección K69+657 y la sección aguas abajo es la sección K0+000. En este modelo se tiene en cuenta la identificación de 16 puentes a lo largo del río Bogotá (Monsalve, 2012).

Figura 21 Geometría río Bogotá sin adecuación hidráulica



Fuente:(Monsalve,2012).

Parámetros

Como principales parámetros se encuentran los hidrogramas de entrada como condiciones de frontera que fue realizada a partir de estudios hidrológicos de a cuenca producidos en el Plan Maestro de las Cuencas del Fucha y Salitre. Adicionalmente, esta información es complementada con análisis hidrológicos realizados para la cuenca.

Para el flujo no permanente se emplea entonces las crecientes con un periodo de retorno de 10 años.

Tabla 18 Condiciones de frontera Modelo Hidráulico flujo no permanente TR: 10 años

Unsteady Flow Data - Flujo no permanente T=10 años

File Options Help

Description : Apply Data

Boundary Conditions | Initial Conditions

Boundary Condition Types

| | | | |
|--------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|
| Stage Hydrograph | Flow Hydrograph | Stage/Flow Hydr. | Rating Curve |
| Normal Depth | Lateral Inflow Hydr. | Uniform Lateral Inflow | Groundwater Interflow |
| T.S. Gate Openings | Elev Controlled Gates | Navigation Dams | IB Stage/Flow |
| Rules | Precipitation | | |

Add Boundary Condition Location

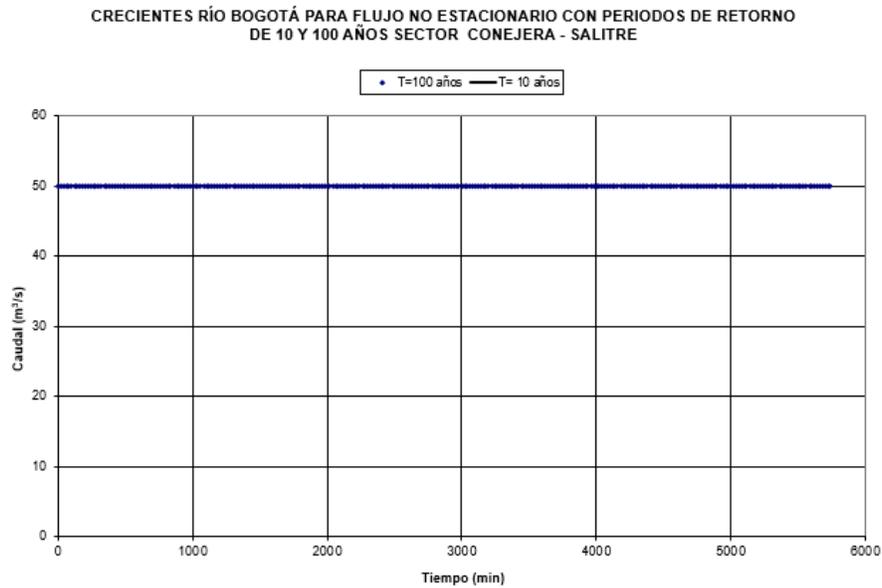
Add RS ... Add SA/2D Flow Area ... Add SA Connection ... Add Pump Station ...

Select Location in table then select Boundary Condition Type

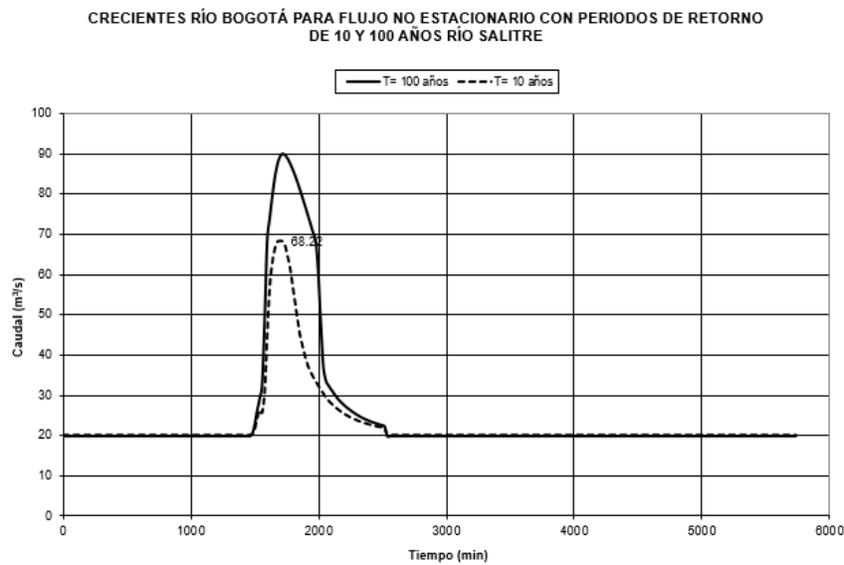
| | River | Reach | RS | Boundary Condition |
|---|---------------|------------------|--------|--------------------|
| 1 | Bogota | Conejera-Salitre | 69657 | Flow Hydrograph |
| 2 | Bogota | Tunjuelo-Alicach | 0 | Stage Hydrograph |
| 3 | Est Gibraltar | Gibraltar | 100 | Flow Hydrograph |
| 4 | Fucha | Fucha | 218.97 | Flow Hydrograph |
| 5 | Salitre | Salitre | 600 | Flow Hydrograph |
| 6 | Tunjuelo | Tunjuelo | 125 | Flow Hydrograph |

Fuente:(Monsalve,2012).

Gráfica 18 Creciente Conejera-Salitre para flujo no permanente con TR:10 años y 100 años

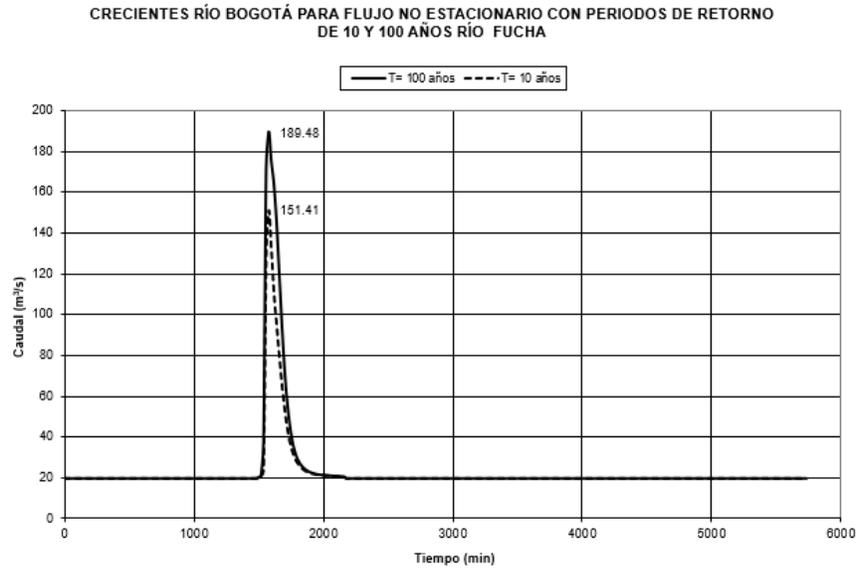


Gráfica 19 Creciente río Salitre flujo NP- TR: 10 años y 100 años



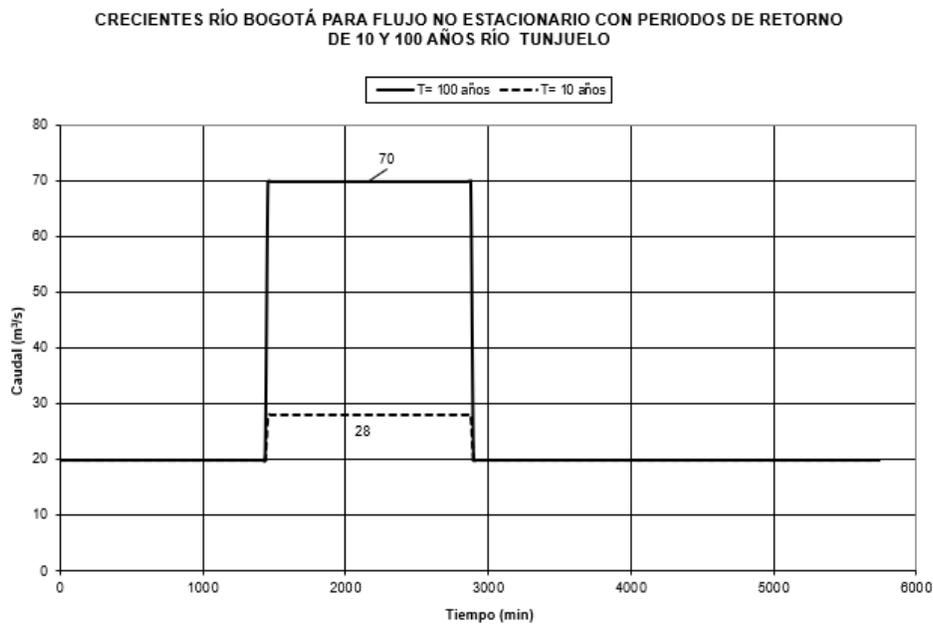


Gráfica 20 Creciente río Fucha flujo NP-TR:10 años y 100 años



Fuente:(Monsalve,2012).

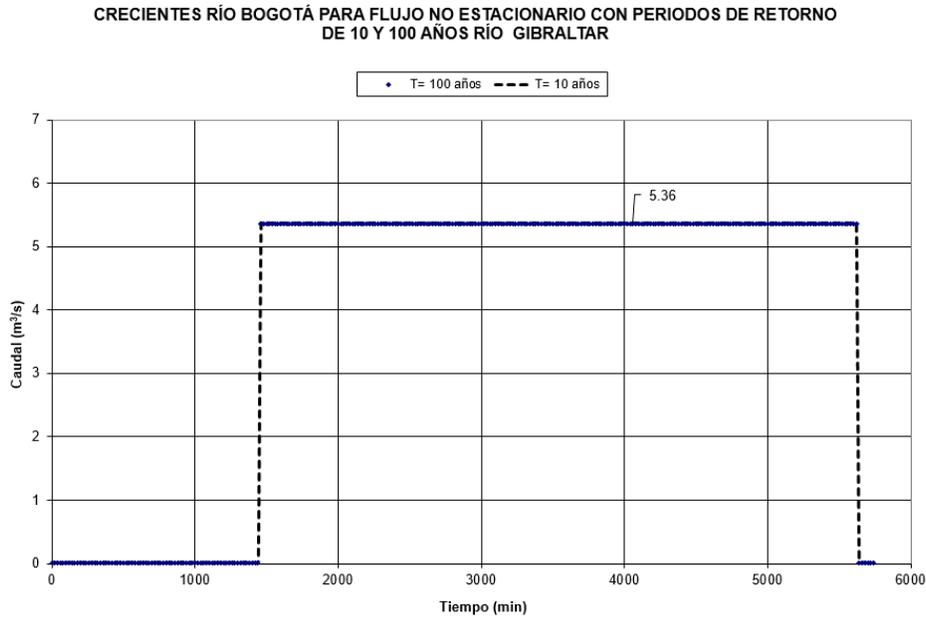
Gráfica 21 Creciente río Tunjuelo flujo NP-TR:10 años y 100 años



Fuente:(Monsalve,2012).



Gráfica 22 Creciente río Gibraltar flujo NP-TR:10 años y 100 años



Fuente:(Monsalve,2012).

Las condiciones iniciales de flujo sobre los diferentes tramos son fijadas para el periodo de retorno de 10 años.

Tabla 19 Parámetros de condiciones iniciales de flujo- Escenario de flujo no permanente periodo de retorno de 10 años

Unsteady Flow Data - Flujo no permanente T=10 años

File Options Help

Description :

Boundary Conditions: Initial Conditions

Initial Flow Distribution Method

Use a Restart File Filename:

Enter Initial flow distribution (Optional - leave blank to use boundary condions)

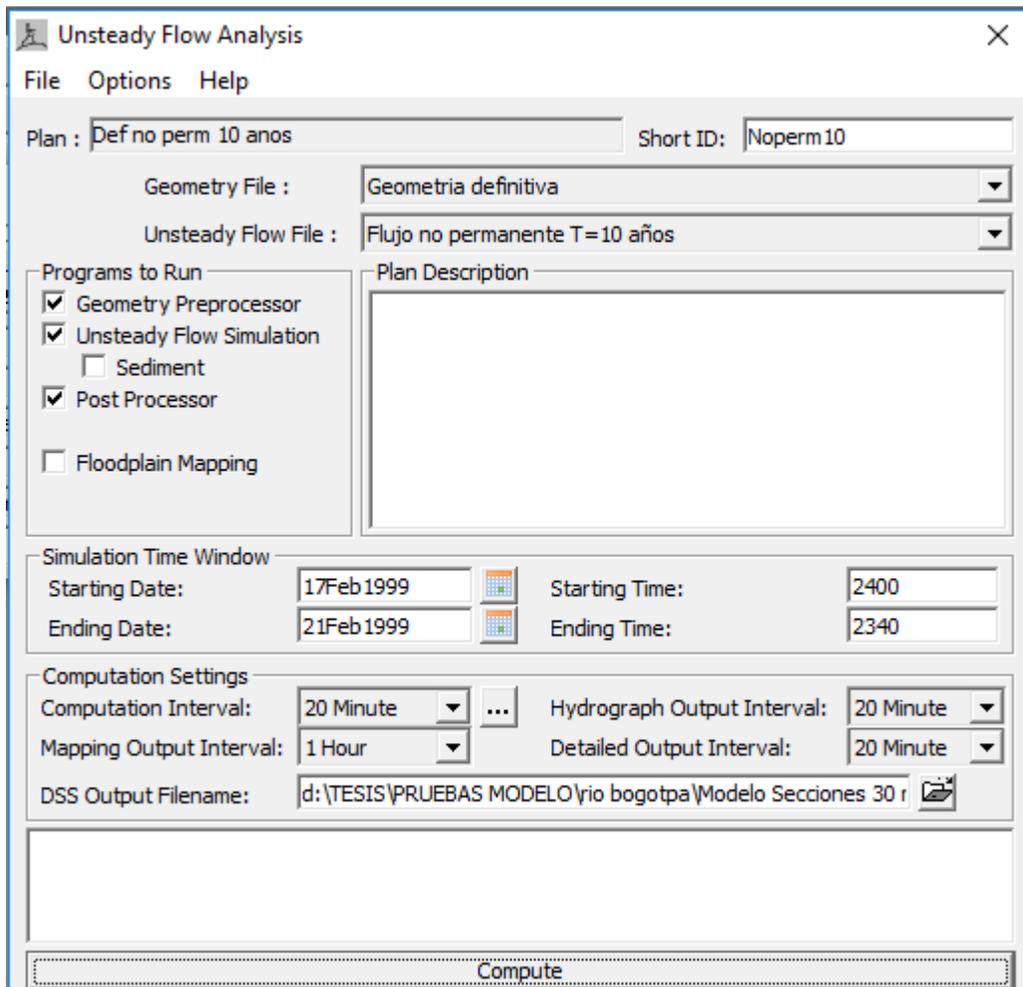
Add RS...

| User specified fixed flows (Optional) | | | | |
|---------------------------------------|---------------|------------------|--------------|--------|
| River | Reach | RS | Initial Flow | |
| 1 | Bogota | Conejera-Salitre | 69657 | 50 |
| 2 | Bogota | Salitre-Fucha | 52249 | 70 |
| 3 | Bogota | Fucha-Gibraltar | 35574 | 90 |
| 4 | Bogota | Gibraltar-Tunjue | 31492 | 90.01 |
| 5 | Bogota | Tunjuelo-Alicach | 21792 | 110.01 |
| 6 | Est Gibraltar | Gibraltar | 100 | 0.01 |
| 7 | Fucha | Fucha | 218.97 | 20 |
| 8 | Salitre | Salitre | 600 | 20 |
| 9 | Tunjuelo | Tunjuelo | 125 | 20 |

Fuente:(Monsalve,2012).

Se refleja que los tiempos de análisis son en periodos del año de 1999 y que la simulación presentada es para un periodo de retorno de 10 años y bajo flujo no permanente.

Tabla 20 Parámetros de análisis en flujo no permanente

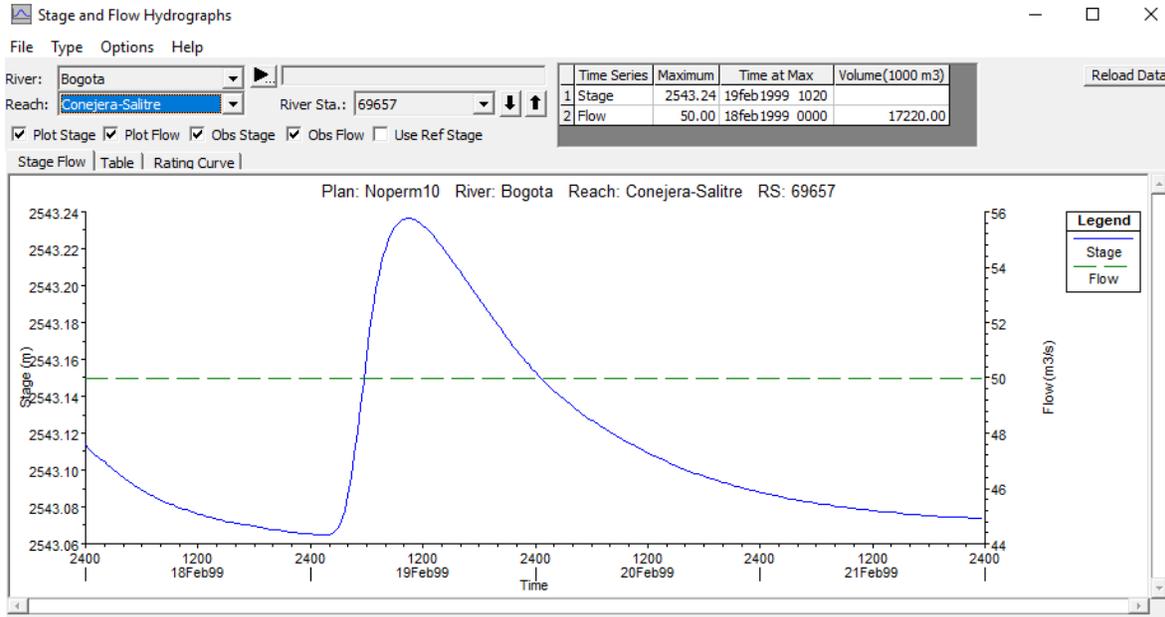


Fuente:(Monsalve,2012).

Como resultado de esta simulación se presentan los diferentes tramos con su tránsito de creciente. Para el último tramo se muestra varias secciones de hidrogramas ya que en este es el único que se evidencia que la atenuación de la creciente por el río es mínima, lo que permitiría poder llegar al punto de captación para la generación de energía, es decir, compuertas Alicachín.

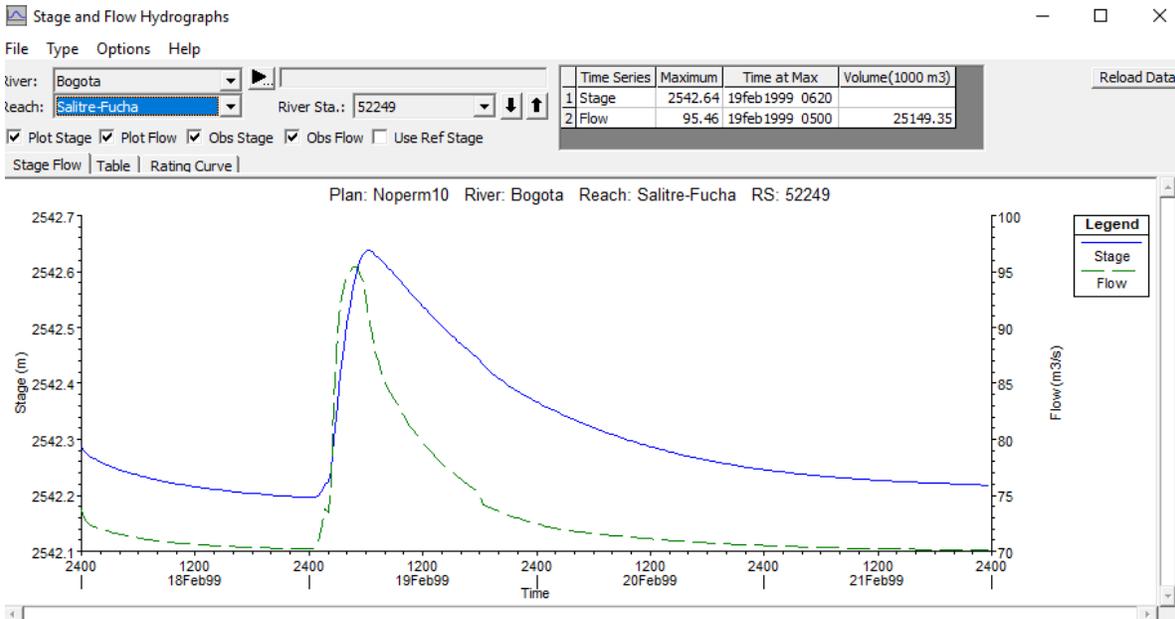


Gráfica 23 Tramo conejera-Salitre



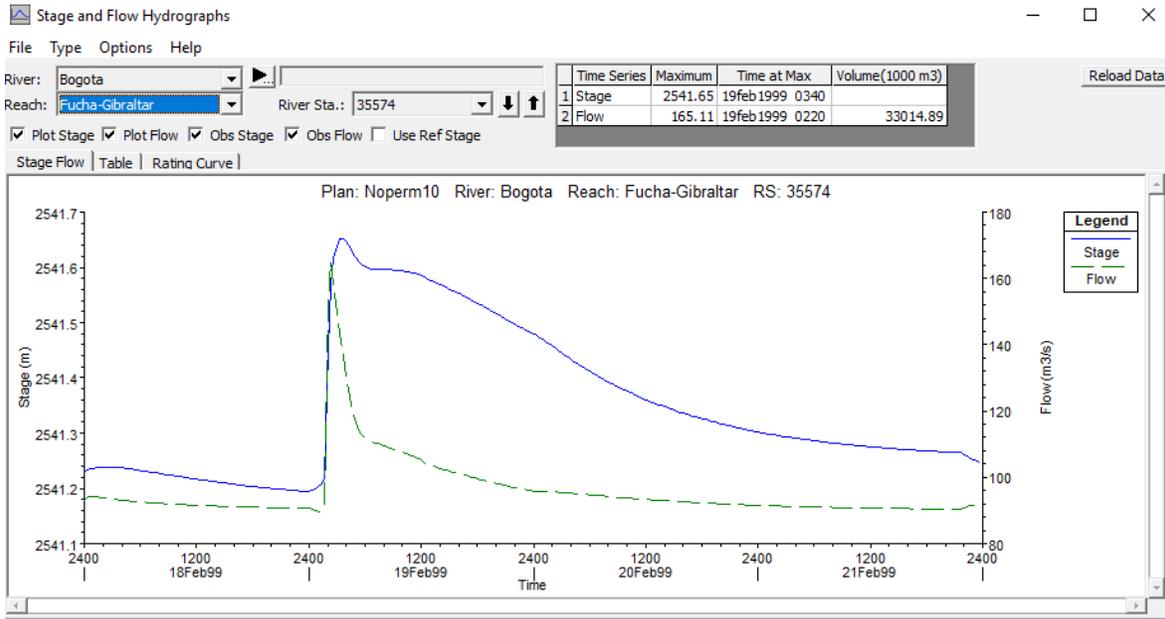
Fuente:(Monsalve,2012).

Gráfica 24 Tramo Salitre-Fucha



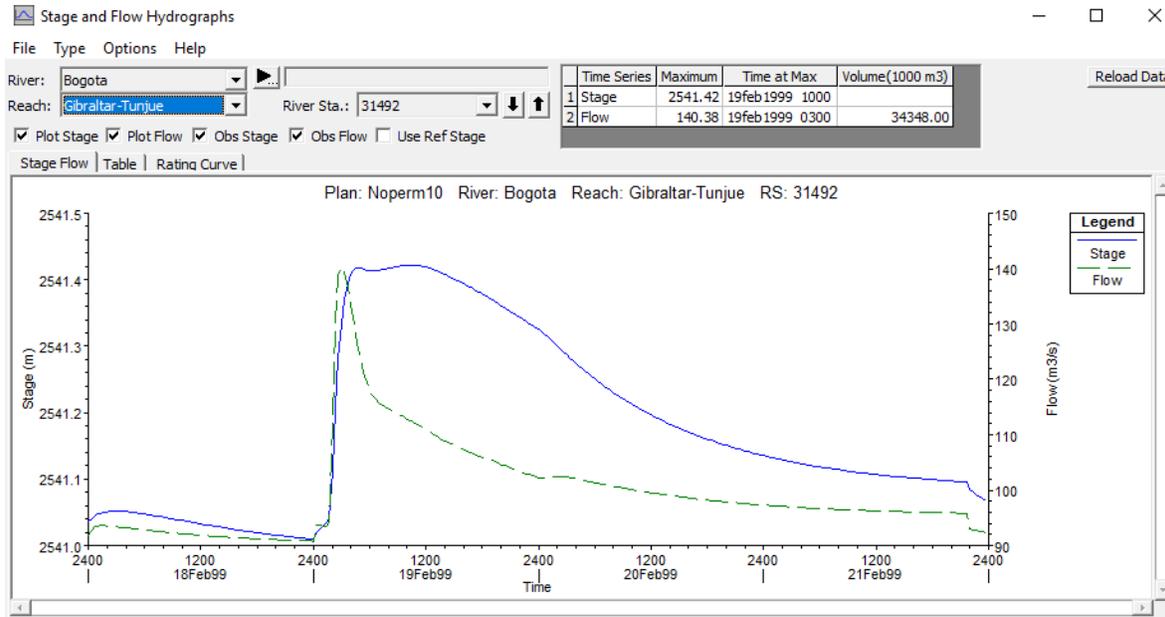
Fuente:(Monsalve,2012).

Gráfica 25 Fucha- Gibraltar



Fuente:(Monsalve,2012).

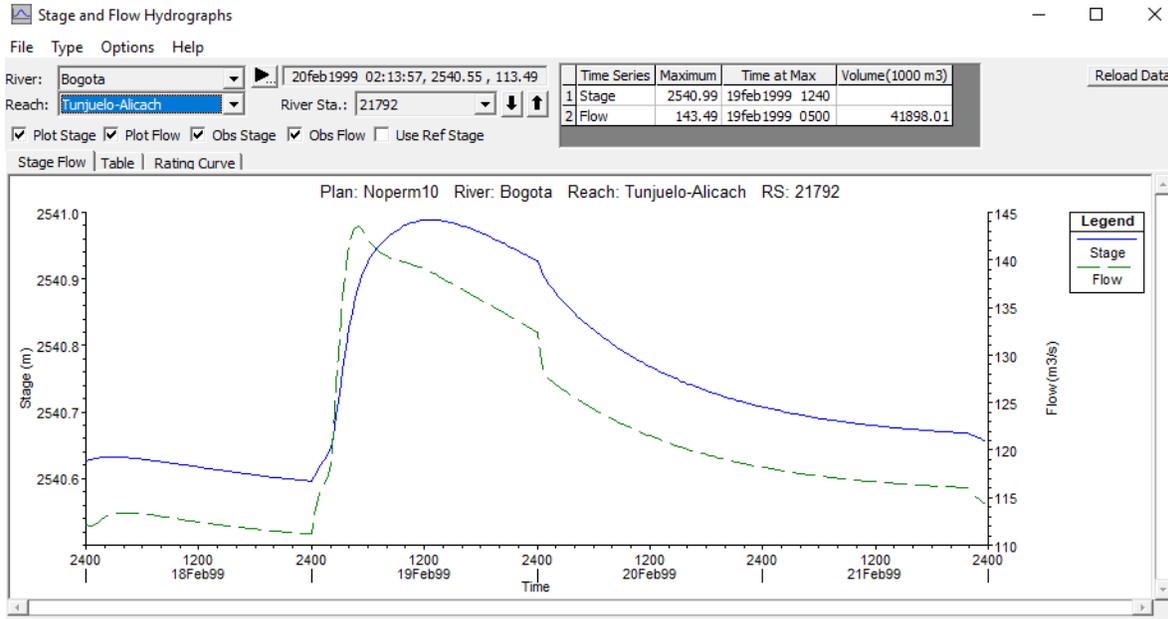
Gráfica 26 Gibraltar- Tunjuelo



Fuente:(Monsalve,2012).

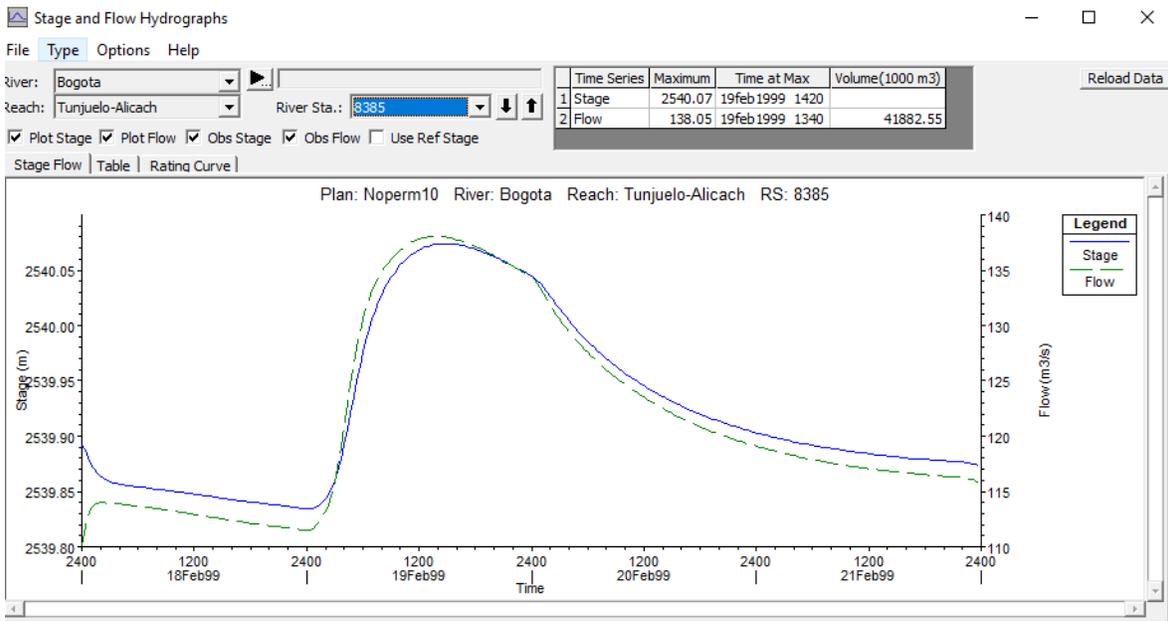


Gráfica 27 Tunjuelo- Alichachín



Fuente:(Monsalve,2012).

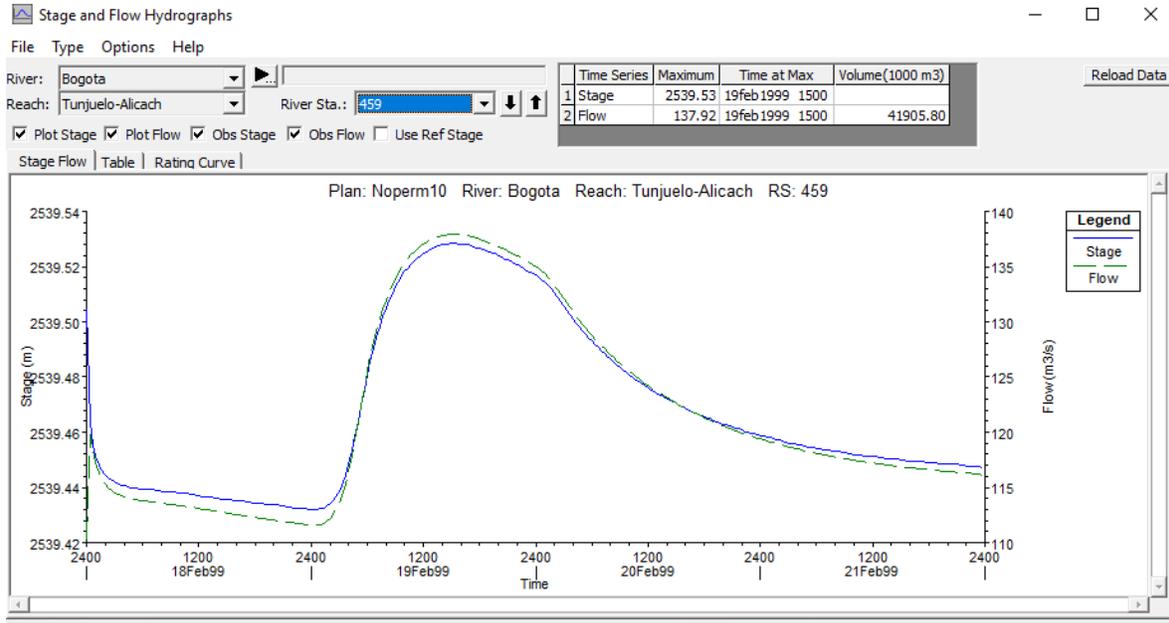
Gráfica 28 Tunjuelo- Alichachín



Fuente:(Monsalve,2012).

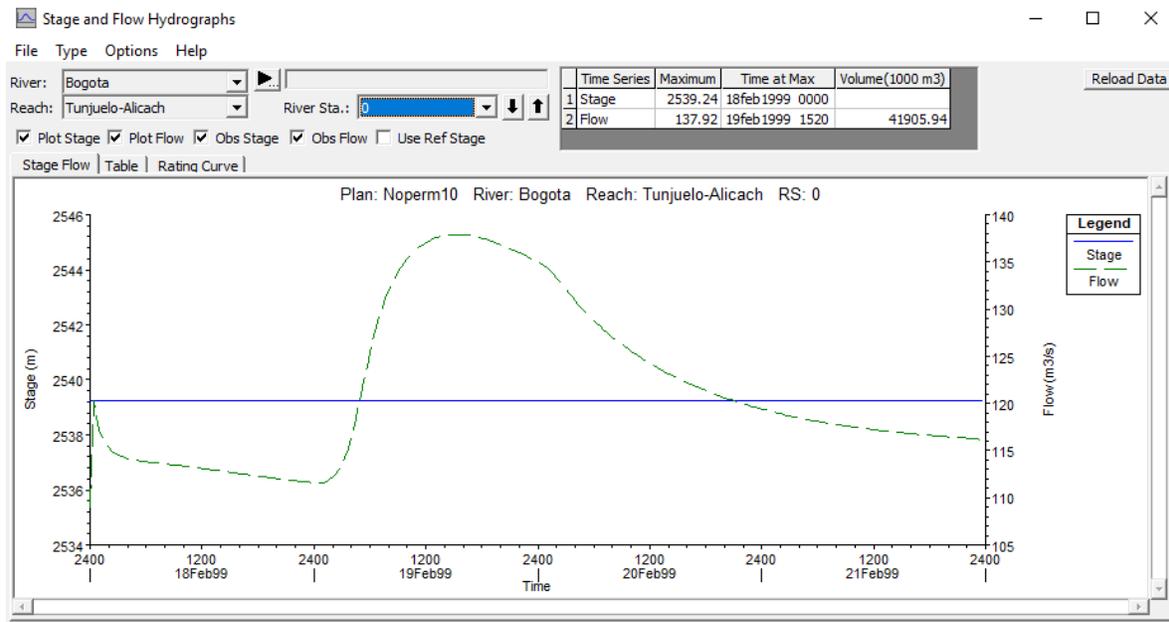


Gráfica 29 Tunjuelo- Alichachín



Fuente:(Monsalve,2012).

Gráfica 30 Tunjuelo- Alichachín



Fuente:(Monsalve,2012).

6 TANQUES DE ALMACENAMIENTO

Serán Empleadas para almacenar la creciente que llega al río Bogotá en diferentes puntos antes de llegar a compuertas de Alicachín. Producto de este almacenamiento será vertido nuevamente al río Bogotá de manera controlada para

6.1 Operación

La escorrentía ingresa de forma directa a partir de sistemas de captación y/o conducción puntual, o indirectamente por medio de sistemas de drenaje que actualmente posee la ciudad y recibe el agua proveniente de sus grandes colectores y sus afluentes Fucha, Salitre, Torca y Tunjuelo. La evacuación del agua acumulada depende de la demanda de agua y corresponde a los 18.56 m³/s requeridos en un evento de operación de las dos cadenas de generación del río Bogotá.

6.2 Localización

En este caso su localización depende de su implementación, por lo que básicamente se evalúa escenarios de localización en los puntos principales de descarga del alcantarillado de la ciudad hacia el río Bogotá y de esta forma lograr los aportes que puedan ser empleados en la generación de energía de la cadena de generación río Bogotá.

6.3 Restricciones

Las restricciones principales para los tanques de tormenta se encuentran en la pendiente y la distancia al nivel freático principalmente. Esta información es tomada de la Norma de sistema de drenaje de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá Norma técnica NS-166.

Tabla 21. Restricciones del sitio para la implementación de tanques de almacenamiento

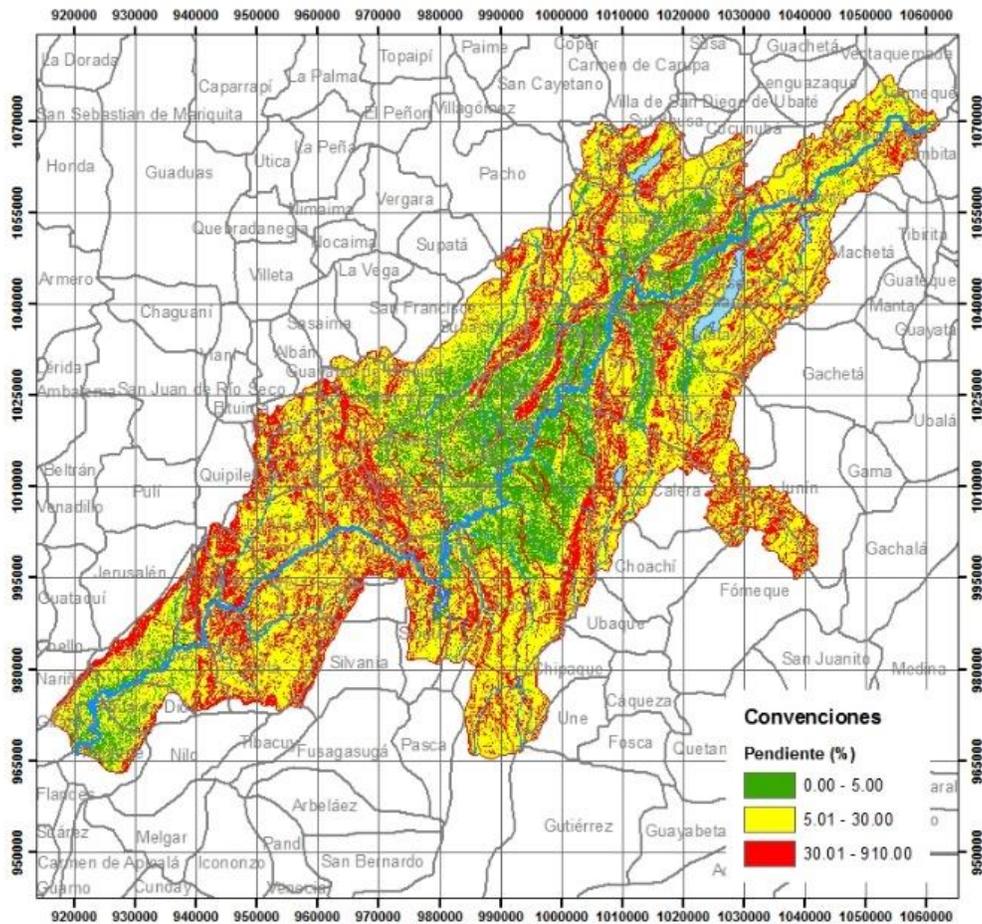
| Restricciones | Límites | Unidades |
|-----------------------------|---------|----------|
| Pendiente | > 1 | % |
| Distancia al nivel freático | > 2 | m |

Fuente: (EAAB, 2018)

La pendiente de la ciudad de Bogotá es mayoritariamente plana y es menor al 1%. El río Bogotá, cuenta varios tramos cercanos al río Bogotá. Las zonas que favorecen la ubicación

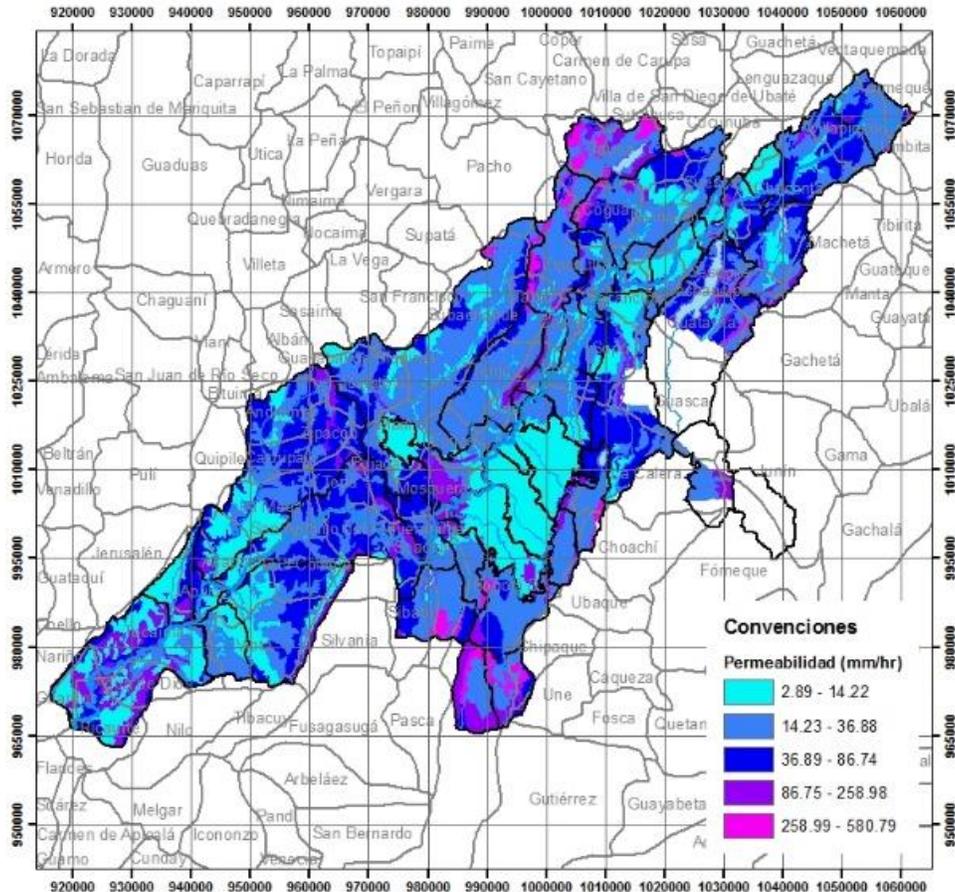
de los tanques de tormenta sobre el río Bogotá es la zona centro se muestra en el mapa de pendientes.

Figura 22 Pendientes del terreno cuenca del río Bogotá



Fuente: Modelación Hidráulica río Bogotá (Monsalve, 2012)

Figura 23 Permeabilidad de la cuenca río Bogotá



Fuente: Modelación Hidráulica río Bogotá (Monsalve, 2012)

6.4 Dimensionamiento

Inicialmente el diseñador debe obtener registros históricos de precipitación promedio mensual multianual P . Adicionalmente se debe establecer el valor de área de drenaje A_c y un coeficiente de escorrentía de la superficie de captación C , de esta manera se puede calcular el volumen promedio de escorrentía que generaría en cada mes del año.

$$Esc = P * A_c * C$$

También es necesario establecer la demanda promedio mensual de agua para usos no potables en el área a intervenir Dem . Con esta información es posible realizar un balance



hidrológico de la estructura, definiendo de manera preliminar un volumen inicial del tanque V , el mes de inicio para el análisis y un volumen remanente inicial igual a 0. Es decir, se identifica el mes más húmedo y se asume que al inicio de este el tanque se encuentra vacío.

Teniendo lo anterior se puede calcular el volumen de descarga de exceso V_{ex} y el volumen remanente de escorrentía al final de cada mes particular V_t

$$V_{ex} = (Esc - Dem) + V_t - V$$

$$V_t = V_{t+1} + (Esc - Dem) - V_{ex}$$

Se tienen en cuenta las crecientes para un periodo de retorno de 10 años para todos los casos. El primer escenario presenta la creciente de la Conejera-Salitre, que al ser el punto mas distante ubicado aguas arriba de la cuenca se considera un caudal de salida mayor, con el fin de lograr que parte del caudal que sale del tanque recorra mayor longitud del río. Esto debido a que de acuerdo a las crecientes anteriormente presentadas el río presenta una atenuación de la creciente a lo largo de su recorrido lo que impide tener un efecto importante en las compuertas Alicachín.

Tabla 22 Dimensionamiento de tanques de tormenta

| CRECIENTE | TR (AÑOS) | Q SALIDA (m ³ /s) | VOLÚMEN DEL TANQUE (m ³) |
|------------------|-----------|------------------------------|--------------------------------------|
| CONEJERA-SALITRE | 10 | 48.256 | 600633.6 |
| SALITRE | 10 | 18.56 | 5116656 |
| TUNJUELO | 10 | 18.56 | 1631232 |

Fuente: Propia

Para los siguientes casos se presenta el caudal de salida de 18.56 m³/s, valor que refleja el caudal adicional necesario para la operación simultanea de las dos cadenas de generación. Considerando estos resultados se refleja que el volumen requerido para retener este caudal de operación es menor para la creciente de Tunjuelo y permite almacenar el caudal requerido.

Este escenario es considerado como el más favorable debido a que según el tránsito de creciente generado a partir del modelo hidráulico, se refleja menor atenuación para este último tramo. Esto en consecuencia permitiría que este caudal almacenado permitiera ser empleado para la generación de energía en la cadena de generación río Bogotá.

7 ANÁLISIS DE RESULTADOS

El desarrollo de esta tesis está enfocada a determinar la factibilidad del reciclado de agua de los tanques de tormenta para otros usos urbanos, que incluyen usos para generación de energía. Se presenta e identifican otros estudios desarrollados para la ciudad de Bogotá como el control de inundaciones evaluadas para redes de drenaje y casos de tanques de tormenta para usos comerciales o recreacionales y se evalúa la factibilidad para homogenizar los caudales del río Bogotá que es actualmente empleado para la generación de energía.

Se evalúa el consumo de agua proveniente del río Bogotá, para usos en generación de energía. El objetivo es intentar mantener los niveles del río, empleando el uso de tanques de tormenta que permiten amortiguar crecidas y cuando el consumo de agua se reduce significativamente, el agua almacenada permitirá aportar caudal al río.

El aumento en la operación de las dos cadenas de generación solo sería posible si lográramos mantener un caudal adicional de $18.56 \text{ m}^3/\text{s}$ que permitiría la operación de la segunda cadena, esto bajo un escenario en donde los aportes adicionales de caudal son constantes y los consumos actuales se mantienen para la segunda cadena, logrando hasta 900MW de capacidad.

En general el caudal de generación corresponde a $35 \text{ m}^3/\text{s}$, de acuerdo a los datos registrados para el mes de mayor precipitación del año, se encuentra que a finales del mes de Noviembre existen picos que alcanzan los $36.62 \text{ m}^3/\text{s}$. Estos registros eventualmente pueden darse debido a que la demanda de abastecimiento crece y la oferta de energía debe distribuirse para alcanzar esta demanda llegando hasta su capacidad máxima de operación.

Las crecientes del modelo reflejan que a lo largo del río existe una atenuación de caudales y que los hidrogramas de creciente son de larga duración. Por otro lado, se reconoce técnicamente viable que la creciente almacenada para el tramo Tunjuelo Alicachín, más cercano a las compuertas permite efectivamente recibir gran parte del caudal almacenado y que en efecto pueda ser operado en la planta de generación. Esto significa que el uso de tanques de tormenta para los tramos Conejera- Salitre, Tunjuelo- Alicachín, Gibraltar, Fucha y Salitre puesto que las crecientes tardan mucho tiempo en llegar y el efecto del río Bogotá obedece a una atenuación de la mismo.



Por su parte, se considera como única opción viable el escenario bajo el tramo Tunjuelo-Alicachín, para el uso de tanques de tormenta en generación de energía, debido a que en este tramo el caudal del río en esta sección es más constante y homogénea, logrando que el caudal almacenado efectivamente logre llegar hasta el punto de generación sin importar el tiempo que se demore en llegar esta creciente.

8 CONCLUSIONES

Los sistemas de drenaje urbano se emplean como alternativas sostenibles de planeación del saneamiento básico de una ciudad. A nivel mundial los usos residenciales de agua reciclada representan el mayor uso, se considera de gran importancia sobre todo para localizaciones en donde la escasez del agua es un reto en la gestión, incluyen también mejores facilidades de implementación en cuanto a costos y beneficios.

Usos no potables también representan beneficios, cuya inversión debe estar acompañada de capacitaciones, de tal forma que el usuario cumpla con los objetivos de gestión del agua propuestos.

Los SUDs reducen el consumo de agua y favorecen el entorno en el que vivimos, su aplicación debe realizarse dependiendo del objetivo y en general debería evaluarse en conjunto para permitir mayores eficiencias en el sistema de drenaje.

Los tanques de tormenta disminuyen las inundaciones y sirven para la reducción de la contaminación provenientes del sistema de drenaje urbano. Presenta limitaciones para ciudades como Bogotá, sobre todo porque la cantidad de lluvia que es almacenada debe ser rápidamente utilizada y estar disponible para recibir el siguiente aguacero. Esto implica que las frecuencias de vaciado deben aumentar y proporcionar usos cuyos consumos sean significativos y se encuentren proporcionales al volumen almacenado.

Evaluaciones previas reflejan que los tanques de tormenta pueden evidenciar reducciones en la cantidad de agua lluvia y evitar inundaciones. Sin embargo, para usos en grandes superficies o centros recreacionales resulta mayor el almacenamiento, que el consumo comercial e individual. Considerando que este análisis se realizó bajo el escenario de cambio climático, cuyo modelo hidrológico representa condiciones futuras, se puede concluir que la oferta representa una cantidad tan significativa que la demanda no puede asumir.

Considerando lo anterior, el planteamiento para usos domésticos resulta ser más complejo debido a que los consumos residenciales son menores y pueden implicar tratamientos, para mejorar la calidad de agua.

El sistema hidroeléctrico cadena de generación principal posee la capacidad de generar 600MW, con la operación simultánea de las dos cadenas de generación podría operar hasta

900MW. Estableciendo estos criterios se requiere necesariamente para la operación 18.56 m³/s adicionales para operar la segunda cadena de generación.

Teniendo en cuenta los registros pluviométricos, se presenta los valores de operación de la planta para los periodos de 2011 y 2016 que presentan los eventos extremos históricos registrados, se incorpora también los valores para el periodo de 2016, encontrando que los valores en compuertas Alicachín pueden estar cercanos a los 120 m³/s y el mínimo de operación sería 1 m³/s, correspondiente al caudal ecológico que se debe mantener.

Se presenta el modelo hidráulico del río Bogotá que en general posee grandes limitaciones al corresponder a información que requiere de actualización en cuanto a geometría, hidrología y características actuales del cauce. Con referencia a este último punto es de aclarar que el modelo presentado se aleja un poco de la realidad actual, en cuanto a que las condiciones han sido modificadas debido a las mejoras realizadas en el proyecto de Adecuación Hidráulica del río Bogotá, contrato perteneciente a la CAR y que continua en operación.

Los resultados reflejan el comportamiento del río Bogotá bajo las condiciones del modelo, en donde los hidrogramas de creciente pueden superar los 120 m³/s, para algunos casos. En los resultados de tránsito de creciente se reconoce que existe una atenuación de caudales sobre todo en los primeros tramos analizados. El último tramo en particular, nos muestra que si bien existe una atenuación en porcentaje representa menos del 1% en variación.

La evaluación de tanques de tormenta sobre el río Bogotá, considera que la localización de los mismos aguas arriba del último tramo afluente, es decir, antes de Tunjuelo – Alicachín es el único escenario viable para almacenar la creciente y emplearla en usos de generación de energía en la cadena de generación del río Bogotá.

9 RECOMENDACIONES

Los usos de agua lluvia, se destacan como estrategias de planificación en sistemas de drenaje sostenible, se recomienda evaluar soluciones que incluyan tanques de tormenta, pavimentos permeables, estanques de detención, cunetas verdes entre otros SUDs, que en conjunto representan mayores beneficios incluyendo el control de inundaciones y la reducción de la contaminación.

El análisis de este caso se toma de manera esquemática para evaluar las condiciones hidráulicas del río que permitan la operación simultánea de las dos cadenas de generación de río Bogotá. Existen varias limitantes del análisis que deberían ser tenidas en cuenta en otras investigaciones para realizar una aproximación más cercana de las condiciones actuales del río Bogotá.

En general se recomienda que la información de precipitación y caudales sea actualizada para años más recientes ya que durante la ejecución de esta tesis la información era ausente para algunas estaciones. Esto en general se debe a que las obras de adecuación hidráulica se están llevando a cabo y las estaciones de medición algunas se encuentran suspendidas o las mediciones no corresponden a la realidad.

En cuanto al modelo hidráulico presentado, es necesario actualizarlo bajo las condiciones actuales ya mencionadas anteriormente. En general el modelo presentado carece de la totalidad de puentes existentes a lo largo del río Bogotá, el nivel de secciones entre tramos es de 200m, lo que genera menor exactitud en el modelo de acuerdo a su nivel de detalle. El flujo no permanente es un modelo inestable, que además no presenta la información en su totalidad, creando inconsistencias en los resultados del perfil. No obstante, la importancia de adoptar este tipo de modelo en flujo no permanente radica en la generación de tránsitos de crecientes de gran importancia en los objetivos de este tipo de tesis.

10 ANEXOS

ANEXO 1

Tabla 23 Volumen de Tanque de almacenamiento creciente CONEJERA-SALITRE

| Duración | Duración | Caudal | Volumen | Volumen | s |
|----------|----------|---------------------|----------------|----------------|----------------|
| min | sec | (m ³ /s) | entrada | de salida | |
| | | T= 10 años | m ³ | m ³ | m ³ |
| 0 | 0 | 50 | 0 | 0 | 0 |
| 20 | 1200 | 50 | 60000 | 57907.2 | 2092.8 |
| 40 | 2400 | 50 | 120000 | 115814.4 | 4185.6 |
| 60 | 3600 | 50 | 180000 | 173721.6 | 6278.4 |
| 80 | 4800 | 50 | 240000 | 231628.8 | 8371.2 |
| 100 | 6000 | 50 | 300000 | 289536 | 10464 |
| 120 | 7200 | 50 | 360000 | 347443.2 | 12556.8 |
| 140 | 8400 | 50 | 420000 | 405350.4 | 14649.6 |
| 160 | 9600 | 50 | 480000 | 463257.6 | 16742.4 |
| 180 | 10800 | 50 | 540000 | 521164.8 | 18835.2 |
| 200 | 12000 | 50 | 600000 | 579072 | 20928 |
| 220 | 13200 | 50 | 660000 | 636979.2 | 23020.8 |
| 240 | 14400 | 50 | 720000 | 694886.4 | 25113.6 |
| 260 | 15600 | 50 | 780000 | 752793.6 | 27206.4 |
| 280 | 16800 | 50 | 840000 | 810700.8 | 29299.2 |
| 300 | 18000 | 50 | 900000 | 868608 | 31392 |
| 320 | 19200 | 50 | 960000 | 926515.2 | 33484.8 |
| 340 | 20400 | 50 | 1020000 | 984422.4 | 35577.6 |
| 360 | 21600 | 50 | 1080000 | 1042329.6 | 37670.4 |
| 380 | 22800 | 50 | 1140000 | 1100236.8 | 39763.2 |
| 400 | 24000 | 50 | 1200000 | 1158144 | 41856 |
| 420 | 25200 | 50 | 1260000 | 1216051.2 | 43948.8 |
| 440 | 26400 | 50 | 1320000 | 1273958.4 | 46041.6 |
| 460 | 27600 | 50 | 1380000 | 1331865.6 | 48134.4 |
| 480 | 28800 | 50 | 1440000 | 1389772.8 | 50227.2 |
| 500 | 30000 | 50 | 1500000 | 1447680 | 52320 |
| 520 | 31200 | 50 | 1560000 | 1505587.2 | 54412.8 |
| 540 | 32400 | 50 | 1620000 | 1563494.4 | 56505.6 |
| 560 | 33600 | 50 | 1680000 | 1621401.6 | 58598.4 |

| Duración | Duración | Caudal | Volumen | Volumen | s |
|----------|----------|---------------------|----------------|----------------|----------------|
| min | sec | (m ³ /s) | entrada | de salida | |
| | | T= 10 años | m ³ | m ³ | m ³ |
| 580 | 34800 | 50 | 1740000 | 1679308.8 | 60691.2 |
| 600 | 36000 | 50 | 1800000 | 1737216 | 62784 |
| 620 | 37200 | 50 | 1860000 | 1795123.2 | 64876.8 |
| 640 | 38400 | 50 | 1920000 | 1853030.4 | 66969.6 |
| 660 | 39600 | 50 | 1980000 | 1910937.6 | 69062.4 |
| 680 | 40800 | 50 | 2040000 | 1968844.8 | 71155.2 |
| 700 | 42000 | 50 | 2100000 | 2026752 | 73248 |
| 720 | 43200 | 50 | 2160000 | 2084659.2 | 75340.8 |
| 740 | 44400 | 50 | 2220000 | 2142566.4 | 77433.6 |
| 760 | 45600 | 50 | 2280000 | 2200473.6 | 79526.4 |
| 780 | 46800 | 50 | 2340000 | 2258380.8 | 81619.2 |
| 800 | 48000 | 50 | 2400000 | 2316288 | 83712 |
| 820 | 49200 | 50 | 2460000 | 2374195.2 | 85804.8 |
| 840 | 50400 | 50 | 2520000 | 2432102.4 | 87897.6 |
| 860 | 51600 | 50 | 2580000 | 2490009.6 | 89990.4 |
| 880 | 52800 | 50 | 2640000 | 2547916.8 | 92083.2 |
| 900 | 54000 | 50 | 2700000 | 2605824 | 94176 |
| 920 | 55200 | 50 | 2760000 | 2663731.2 | 96268.8 |
| 940 | 56400 | 50 | 2820000 | 2721638.4 | 98361.6 |
| 960 | 57600 | 50 | 2880000 | 2779545.6 | 100454.4 |
| 980 | 58800 | 50 | 2940000 | 2837452.8 | 102547.2 |
| 1000 | 60000 | 50 | 3000000 | 2895360 | 104640 |
| 1020 | 61200 | 50 | 3060000 | 2953267.2 | 106732.8 |
| 1040 | 62400 | 50 | 3120000 | 3011174.4 | 108825.6 |
| 1060 | 63600 | 50 | 3180000 | 3069081.6 | 110918.4 |
| 1080 | 64800 | 50 | 3240000 | 3126988.8 | 113011.2 |
| 1100 | 66000 | 50 | 3300000 | 3184896 | 115104 |
| 1120 | 67200 | 50 | 3360000 | 3242803.2 | 117196.8 |
| 1140 | 68400 | 50 | 3420000 | 3300710.4 | 119289.6 |
| 1160 | 69600 | 50 | 3480000 | 3358617.6 | 121382.4 |
| 1180 | 70800 | 50 | 3540000 | 3416524.8 | 123475.2 |
| 1200 | 72000 | 50 | 3600000 | 3474432 | 125568 |
| 1220 | 73200 | 50 | 3660000 | 3532339.2 | 127660.8 |
| 1240 | 74400 | 50 | 3720000 | 3590246.4 | 129753.6 |
| 1260 | 75600 | 50 | 3780000 | 3648153.6 | 131846.4 |

| Duración | Duración | Caudal | Volumen | Volumen | s |
|----------|----------|---------------------|----------------|----------------|----------------|
| min | sec | (m ³ /s) | entrada | de salida | |
| | | T= 10 años | m ³ | m ³ | m ³ |
| 1280 | 76800 | 50 | 3840000 | 3706060.8 | 133939.2 |
| 1300 | 78000 | 50 | 3900000 | 3763968 | 136032 |
| 1320 | 79200 | 50 | 3960000 | 3821875.2 | 138124.8 |
| 1340 | 80400 | 50 | 4020000 | 3879782.4 | 140217.6 |
| 1360 | 81600 | 50 | 4080000 | 3937689.6 | 142310.4 |
| 1380 | 82800 | 50 | 4140000 | 3995596.8 | 144403.2 |
| 1400 | 84000 | 50 | 4200000 | 4053504 | 146496 |
| 1420 | 85200 | 50 | 4260000 | 4111411.2 | 148588.8 |
| 1440 | 86400 | 50 | 4320000 | 4169318.4 | 150681.6 |
| 1460 | 87600 | 50 | 4380000 | 4227225.6 | 152774.4 |
| 1480 | 88800 | 50 | 4440000 | 4285132.8 | 154867.2 |
| 1500 | 90000 | 50 | 4500000 | 4343040 | 156960 |
| 1520 | 91200 | 50 | 4560000 | 4400947.2 | 159052.8 |
| 1540 | 92400 | 50 | 4620000 | 4458854.4 | 161145.6 |
| 1560 | 93600 | 50 | 4680000 | 4516761.6 | 163238.4 |
| 1580 | 94800 | 50 | 4740000 | 4574668.8 | 165331.2 |
| 1600 | 96000 | 50 | 4800000 | 4632576 | 167424 |
| 1620 | 97200 | 50 | 4860000 | 4690483.2 | 169516.8 |
| 1640 | 98400 | 50 | 4920000 | 4748390.4 | 171609.6 |
| 1660 | 99600 | 50 | 4980000 | 4806297.6 | 173702.4 |
| 1680 | 100800 | 50 | 5040000 | 4864204.8 | 175795.2 |
| 1700 | 102000 | 50 | 5100000 | 4922112 | 177888 |
| 1720 | 103200 | 50 | 5160000 | 4980019.2 | 179980.8 |
| 1740 | 104400 | 50 | 5220000 | 5037926.4 | 182073.6 |
| 1760 | 105600 | 50 | 5280000 | 5095833.6 | 184166.4 |
| 1780 | 106800 | 50 | 5340000 | 5153740.8 | 186259.2 |
| 1800 | 108000 | 50 | 5400000 | 5211648 | 188352 |
| 1820 | 109200 | 50 | 5460000 | 5269555.2 | 190444.8 |
| 1840 | 110400 | 50 | 5520000 | 5327462.4 | 192537.6 |
| 1860 | 111600 | 50 | 5580000 | 5385369.6 | 194630.4 |
| 1880 | 112800 | 50 | 5640000 | 5443276.8 | 196723.2 |
| 1900 | 114000 | 50 | 5700000 | 5501184 | 198816 |
| 1920 | 115200 | 50 | 5760000 | 5559091.2 | 200908.8 |
| 1940 | 116400 | 50 | 5820000 | 5616998.4 | 203001.6 |
| 1960 | 117600 | 50 | 5880000 | 5674905.6 | 205094.4 |

| Duración | Duración | Caudal | Volumen | Volumen | s |
|----------|----------|---------------------|----------------|----------------|----------------|
| min | sec | (m ³ /s) | entrada | de salida | |
| | | T= 10 años | m ³ | m ³ | m ³ |
| 1980 | 118800 | 50 | 5940000 | 5732812.8 | 207187.2 |
| 2000 | 120000 | 50 | 6000000 | 5790720 | 209280 |
| 2020 | 121200 | 50 | 6060000 | 5848627.2 | 211372.8 |
| 2040 | 122400 | 50 | 6120000 | 5906534.4 | 213465.6 |
| 2060 | 123600 | 50 | 6180000 | 5964441.6 | 215558.4 |
| 2080 | 124800 | 50 | 6240000 | 6022348.8 | 217651.2 |
| 2100 | 126000 | 50 | 6300000 | 6080256 | 219744 |
| 2120 | 127200 | 50 | 6360000 | 6138163.2 | 221836.8 |
| 2140 | 128400 | 50 | 6420000 | 6196070.4 | 223929.6 |
| 2160 | 129600 | 50 | 6480000 | 6253977.6 | 226022.4 |
| 2180 | 130800 | 50 | 6540000 | 6311884.8 | 228115.2 |
| 2200 | 132000 | 50 | 6600000 | 6369792 | 230208 |
| 2220 | 133200 | 50 | 6660000 | 6427699.2 | 232300.8 |
| 2240 | 134400 | 50 | 6720000 | 6485606.4 | 234393.6 |
| 2260 | 135600 | 50 | 6780000 | 6543513.6 | 236486.4 |
| 2280 | 136800 | 50 | 6840000 | 6601420.8 | 238579.2 |
| 2300 | 138000 | 50 | 6900000 | 6659328 | 240672 |
| 2320 | 139200 | 50 | 6960000 | 6717235.2 | 242764.8 |
| 2340 | 140400 | 50 | 7020000 | 6775142.4 | 244857.6 |
| 2360 | 141600 | 50 | 7080000 | 6833049.6 | 246950.4 |
| 2380 | 142800 | 50 | 7140000 | 6890956.8 | 249043.2 |
| 2400 | 144000 | 50 | 7200000 | 6948864 | 251136 |
| 2420 | 145200 | 50 | 7260000 | 7006771.2 | 253228.8 |
| 2440 | 146400 | 50 | 7320000 | 7064678.4 | 255321.6 |
| 2460 | 147600 | 50 | 7380000 | 7122585.6 | 257414.4 |
| 2480 | 148800 | 50 | 7440000 | 7180492.8 | 259507.2 |
| 2500 | 150000 | 50 | 7500000 | 7238400 | 261600 |
| 2520 | 151200 | 50 | 7560000 | 7296307.2 | 263692.8 |
| 2540 | 152400 | 50 | 7620000 | 7354214.4 | 265785.6 |
| 2560 | 153600 | 50 | 7680000 | 7412121.6 | 267878.4 |
| 2580 | 154800 | 50 | 7740000 | 7470028.8 | 269971.2 |
| 2600 | 156000 | 50 | 7800000 | 7527936 | 272064 |
| 2620 | 157200 | 50 | 7860000 | 7585843.2 | 274156.8 |
| 2640 | 158400 | 50 | 7920000 | 7643750.4 | 276249.6 |
| 2660 | 159600 | 50 | 7980000 | 7701657.6 | 278342.4 |

| Duración | Duración | Caudal | Volumen | Volumen | s |
|----------|----------|---------------------|----------------|----------------|----------------|
| min | sec | (m ³ /s) | entrada | de salida | |
| | | T= 10 años | m ³ | m ³ | m ³ |
| 2680 | 160800 | 50 | 8040000 | 7759564.8 | 280435.2 |
| 2700 | 162000 | 50 | 8100000 | 7817472 | 282528 |
| 2720 | 163200 | 50 | 8160000 | 7875379.2 | 284620.8 |
| 2740 | 164400 | 50 | 8220000 | 7933286.4 | 286713.6 |
| 2760 | 165600 | 50 | 8280000 | 7991193.6 | 288806.4 |
| 2780 | 166800 | 50 | 8340000 | 8049100.8 | 290899.2 |
| 2800 | 168000 | 50 | 8400000 | 8107008 | 292992 |
| 2820 | 169200 | 50 | 8460000 | 8164915.2 | 295084.8 |
| 2840 | 170400 | 50 | 8520000 | 8222822.4 | 297177.6 |
| 2860 | 171600 | 50 | 8580000 | 8280729.6 | 299270.4 |
| 2880 | 172800 | 50 | 8640000 | 8338636.8 | 301363.2 |
| 2900 | 174000 | 50 | 8700000 | 8396544 | 303456 |
| 2920 | 175200 | 50 | 8760000 | 8454451.2 | 305548.8 |
| 2940 | 176400 | 50 | 8820000 | 8512358.4 | 307641.6 |
| 2960 | 177600 | 50 | 8880000 | 8570265.6 | 309734.4 |
| 2980 | 178800 | 50 | 8940000 | 8628172.8 | 311827.2 |
| 3000 | 180000 | 50 | 9000000 | 8686080 | 313920 |
| 3020 | 181200 | 50 | 9060000 | 8743987.2 | 316012.8 |
| 3040 | 182400 | 50 | 9120000 | 8801894.4 | 318105.6 |
| 3060 | 183600 | 50 | 9180000 | 8859801.6 | 320198.4 |
| 3080 | 184800 | 50 | 9240000 | 8917708.8 | 322291.2 |
| 3100 | 186000 | 50 | 9300000 | 8975616 | 324384 |
| 3120 | 187200 | 50 | 9360000 | 9033523.2 | 326476.8 |
| 3140 | 188400 | 50 | 9420000 | 9091430.4 | 328569.6 |
| 3160 | 189600 | 50 | 9480000 | 9149337.6 | 330662.4 |
| 3180 | 190800 | 50 | 9540000 | 9207244.8 | 332755.2 |
| 3200 | 192000 | 50 | 9600000 | 9265152 | 334848 |
| 3220 | 193200 | 50 | 9660000 | 9323059.2 | 336940.8 |
| 3240 | 194400 | 50 | 9720000 | 9380966.4 | 339033.6 |
| 3260 | 195600 | 50 | 9780000 | 9438873.6 | 341126.4 |
| 3280 | 196800 | 50 | 9840000 | 9496780.8 | 343219.2 |
| 3300 | 198000 | 50 | 9900000 | 9554688 | 345312 |
| 3320 | 199200 | 50 | 9960000 | 9612595.2 | 347404.8 |
| 3340 | 200400 | 50 | 10020000 | 9670502.4 | 349497.6 |
| 3360 | 201600 | 50 | 10080000 | 9728409.6 | 351590.4 |

| Duración | Duración | Caudal | Volumen | Volumen | s |
|----------|----------|---------------------|----------------|----------------|----------------|
| min | sec | (m ³ /s) | entrada | de salida | |
| | | T= 10 años | m ³ | m ³ | m ³ |
| 3380 | 202800 | 50 | 10140000 | 9786316.8 | 353683.2 |
| 3400 | 204000 | 50 | 10200000 | 9844224 | 355776 |
| 3420 | 205200 | 50 | 10260000 | 9902131.2 | 357868.8 |
| 3440 | 206400 | 50 | 10320000 | 9960038.4 | 359961.6 |
| 3460 | 207600 | 50 | 10380000 | 10017945.6 | 362054.4 |
| 3480 | 208800 | 50 | 10440000 | 10075852.8 | 364147.2 |
| 3500 | 210000 | 50 | 10500000 | 10133760 | 366240 |
| 3520 | 211200 | 50 | 10560000 | 10191667.2 | 368332.8 |
| 3540 | 212400 | 50 | 10620000 | 10249574.4 | 370425.6 |
| 3560 | 213600 | 50 | 10680000 | 10307481.6 | 372518.4 |
| 3580 | 214800 | 50 | 10740000 | 10365388.8 | 374611.2 |
| 3600 | 216000 | 50 | 10800000 | 10423296 | 376704 |
| 3620 | 217200 | 50 | 10860000 | 10481203.2 | 378796.8 |
| 3640 | 218400 | 50 | 10920000 | 10539110.4 | 380889.6 |
| 3660 | 219600 | 50 | 10980000 | 10597017.6 | 382982.4 |
| 3680 | 220800 | 50 | 11040000 | 10654924.8 | 385075.2 |
| 3700 | 222000 | 50 | 11100000 | 10712832 | 387168 |
| 3720 | 223200 | 50 | 11160000 | 10770739.2 | 389260.8 |
| 3740 | 224400 | 50 | 11220000 | 10828646.4 | 391353.6 |
| 3760 | 225600 | 50 | 11280000 | 10886553.6 | 393446.4 |
| 3780 | 226800 | 50 | 11340000 | 10944460.8 | 395539.2 |
| 3800 | 228000 | 50 | 11400000 | 11002368 | 397632 |
| 3820 | 229200 | 50 | 11460000 | 11060275.2 | 399724.8 |
| 3840 | 230400 | 50 | 11520000 | 11118182.4 | 401817.6 |
| 3860 | 231600 | 50 | 11580000 | 11176089.6 | 403910.4 |
| 3880 | 232800 | 50 | 11640000 | 11233996.8 | 406003.2 |
| 3900 | 234000 | 50 | 11700000 | 11291904 | 408096 |
| 3920 | 235200 | 50 | 11760000 | 11349811.2 | 410188.8 |
| 3940 | 236400 | 50 | 11820000 | 11407718.4 | 412281.6 |
| 3960 | 237600 | 50 | 11880000 | 11465625.6 | 414374.4 |
| 3980 | 238800 | 50 | 11940000 | 11523532.8 | 416467.2 |
| 4000 | 240000 | 50 | 12000000 | 11581440 | 418560 |
| 4020 | 241200 | 50 | 12060000 | 11639347.2 | 420652.8 |
| 4040 | 242400 | 50 | 12120000 | 11697254.4 | 422745.6 |
| 4060 | 243600 | 50 | 12180000 | 11755161.6 | 424838.4 |

| Duración | Duración | Caudal | Volumen | Volumen | s |
|----------|----------|---------------------|----------------|----------------|----------------|
| min | sec | (m ³ /s) | entrada | de salida | |
| | | T= 10 años | m ³ | m ³ | m ³ |
| 4080 | 244800 | 50 | 12240000 | 11813068.8 | 426931.2 |
| 4100 | 246000 | 50 | 12300000 | 11870976 | 429024 |
| 4120 | 247200 | 50 | 12360000 | 11928883.2 | 431116.8 |
| 4140 | 248400 | 50 | 12420000 | 11986790.4 | 433209.6 |
| 4160 | 249600 | 50 | 12480000 | 12044697.6 | 435302.4 |
| 4180 | 250800 | 50 | 12540000 | 12102604.8 | 437395.2 |
| 4200 | 252000 | 50 | 12600000 | 12160512 | 439488 |
| 4220 | 253200 | 50 | 12660000 | 12218419.2 | 441580.8 |
| 4240 | 254400 | 50 | 12720000 | 12276326.4 | 443673.6 |
| 4260 | 255600 | 50 | 12780000 | 12334233.6 | 445766.4 |
| 4280 | 256800 | 50 | 12840000 | 12392140.8 | 447859.2 |
| 4300 | 258000 | 50 | 12900000 | 12450048 | 449952 |
| 4320 | 259200 | 50 | 12960000 | 12507955.2 | 452044.8 |
| 4340 | 260400 | 50 | 13020000 | 12565862.4 | 454137.6 |
| 4360 | 261600 | 50 | 13080000 | 12623769.6 | 456230.4 |
| 4380 | 262800 | 50 | 13140000 | 12681676.8 | 458323.2 |
| 4400 | 264000 | 50 | 13200000 | 12739584 | 460416 |
| 4420 | 265200 | 50 | 13260000 | 12797491.2 | 462508.8 |
| 4440 | 266400 | 50 | 13320000 | 12855398.4 | 464601.6 |
| 4460 | 267600 | 50 | 13380000 | 12913305.6 | 466694.4 |
| 4480 | 268800 | 50 | 13440000 | 12971212.8 | 468787.2 |
| 4500 | 270000 | 50 | 13500000 | 13029120 | 470880 |
| 4520 | 271200 | 50 | 13560000 | 13087027.2 | 472972.8 |
| 4540 | 272400 | 50 | 13620000 | 13144934.4 | 475065.6 |
| 4560 | 273600 | 50 | 13680000 | 13202841.6 | 477158.4 |
| 4580 | 274800 | 50 | 13740000 | 13260748.8 | 479251.2 |
| 4600 | 276000 | 50 | 13800000 | 13318656 | 481344 |
| 4620 | 277200 | 50 | 13860000 | 13376563.2 | 483436.8 |
| 4640 | 278400 | 50 | 13920000 | 13434470.4 | 485529.6 |
| 4660 | 279600 | 50 | 13980000 | 13492377.6 | 487622.4 |
| 4680 | 280800 | 50 | 14040000 | 13550284.8 | 489715.2 |
| 4700 | 282000 | 50 | 14100000 | 13608192 | 491808 |
| 4720 | 283200 | 50 | 14160000 | 13666099.2 | 493900.8 |
| 4740 | 284400 | 50 | 14220000 | 13724006.4 | 495993.6 |
| 4760 | 285600 | 50 | 14280000 | 13781913.6 | 498086.4 |

| Duración | Duración | Caudal | Volumen | Volumen | s |
|----------|----------|---------------------|----------------|----------------|----------------|
| min | sec | (m ³ /s) | entrada | de salida | |
| | | T= 10 años | m ³ | m ³ | m ³ |
| 4780 | 286800 | 50 | 14340000 | 13839820.8 | 500179.2 |
| 4800 | 288000 | 50 | 14400000 | 13897728 | 502272 |
| 4820 | 289200 | 50 | 14460000 | 13955635.2 | 504364.8 |
| 4840 | 290400 | 50 | 14520000 | 14013542.4 | 506457.6 |
| 4860 | 291600 | 50 | 14580000 | 14071449.6 | 508550.4 |
| 4880 | 292800 | 50 | 14640000 | 14129356.8 | 510643.2 |
| 4900 | 294000 | 50 | 14700000 | 14187264 | 512736 |
| 4920 | 295200 | 50 | 14760000 | 14245171.2 | 514828.8 |
| 4940 | 296400 | 50 | 14820000 | 14303078.4 | 516921.6 |
| 4960 | 297600 | 50 | 14880000 | 14360985.6 | 519014.4 |
| 4980 | 298800 | 50 | 14940000 | 14418892.8 | 521107.2 |
| 5000 | 300000 | 50 | 15000000 | 14476800 | 523200 |
| 5020 | 301200 | 50 | 15060000 | 14534707.2 | 525292.8 |
| 5040 | 302400 | 50 | 15120000 | 14592614.4 | 527385.6 |
| 5060 | 303600 | 50 | 15180000 | 14650521.6 | 529478.4 |
| 5080 | 304800 | 50 | 15240000 | 14708428.8 | 531571.2 |
| 5100 | 306000 | 50 | 15300000 | 14766336 | 533664 |
| 5120 | 307200 | 50 | 15360000 | 14824243.2 | 535756.8 |
| 5140 | 308400 | 50 | 15420000 | 14882150.4 | 537849.6 |
| 5160 | 309600 | 50 | 15480000 | 14940057.6 | 539942.4 |
| 5180 | 310800 | 50 | 15540000 | 14997964.8 | 542035.2 |
| 5200 | 312000 | 50 | 15600000 | 15055872 | 544128 |
| 5220 | 313200 | 50 | 15660000 | 15113779.2 | 546220.8 |
| 5240 | 314400 | 50 | 15720000 | 15171686.4 | 548313.6 |
| 5260 | 315600 | 50 | 15780000 | 15229593.6 | 550406.4 |
| 5280 | 316800 | 50 | 15840000 | 15287500.8 | 552499.2 |
| 5300 | 318000 | 50 | 15900000 | 15345408 | 554592 |
| 5320 | 319200 | 50 | 15960000 | 15403315.2 | 556684.8 |
| 5340 | 320400 | 50 | 16020000 | 15461222.4 | 558777.6 |
| 5360 | 321600 | 50 | 16080000 | 15519129.6 | 560870.4 |
| 5380 | 322800 | 50 | 16140000 | 15577036.8 | 562963.2 |
| 5400 | 324000 | 50 | 16200000 | 15634944 | 565056 |
| 5420 | 325200 | 50 | 16260000 | 15692851.2 | 567148.8 |
| 5440 | 326400 | 50 | 16320000 | 15750758.4 | 569241.6 |
| 5460 | 327600 | 50 | 16380000 | 15808665.6 | 571334.4 |

| Duración | Duración | Caudal (m ³ /s) | Volumen entrada | Volumen de salida | s |
|----------|----------|----------------------------|-----------------|-------------------|----------------|
| min | sec | T= 10 años | m ³ | m ³ | m ³ |
| 5480 | 328800 | 50 | 16440000 | 15866572.8 | 573427.2 |
| 5500 | 330000 | 50 | 16500000 | 15924480 | 575520 |
| 5520 | 331200 | 50 | 16560000 | 15982387.2 | 577612.8 |
| 5540 | 332400 | 50 | 16620000 | 16040294.4 | 579705.6 |
| 5560 | 333600 | 50 | 16680000 | 16098201.6 | 581798.4 |
| 5580 | 334800 | 50 | 16740000 | 16156108.8 | 583891.2 |
| 5600 | 336000 | 50 | 16800000 | 16214016 | 585984 |
| 5620 | 337200 | 50 | 16860000 | 16271923.2 | 588076.8 |
| 5640 | 338400 | 50 | 16920000 | 16329830.4 | 590169.6 |
| 5660 | 339600 | 50 | 16980000 | 16387737.6 | 592262.4 |
| 5680 | 340800 | 50 | 17040000 | 16445644.8 | 594355.2 |
| 5700 | 342000 | 50 | 17100000 | 16503552 | 596448 |
| 5720 | 343200 | 50 | 17160000 | 16561459.2 | 598540.8 |
| 5740 | 344400 | 50 | 17220000 | 16619366.4 | 600633.6 |

Tabla 24 Volumen de Tanque de almacenamiento creciente SALITRE

| Duración | Duración | Caudal (m ³ /s) | Volumen entrada | Volumen de salida | s |
|----------|----------|----------------------------|-----------------|-------------------|----------------|
| min | sec | T= 10 años | m ³ | m ³ | m ³ |
| 0 | 0 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| 20 | 1200 | 20 | 24000 | 22272 | 1728 |
| 40 | 2400 | 20 | 48000 | 44544 | 3456 |
| 60 | 3600 | 20 | 72000 | 66816 | 5184 |
| 80 | 4800 | 20 | 96000 | 89088 | 6912 |
| 100 | 6000 | 20 | 120000 | 111360 | 8640 |
| 120 | 7200 | 20 | 144000 | 133632 | 10368 |
| 140 | 8400 | 20 | 168000 | 155904 | 12096 |
| 160 | 9600 | 20 | 192000 | 178176 | 13824 |
| 180 | 10800 | 20 | 216000 | 200448 | 15552 |
| 200 | 12000 | 20 | 240000 | 222720 | 17280 |
| 220 | 13200 | 20 | 264000 | 244992 | 19008 |
| 240 | 14400 | 20 | 288000 | 267264 | 20736 |
| 260 | 15600 | 20 | 312000 | 289536 | 22464 |

| Duración | Duración | Caudal | Volumen | Volumen | s |
|----------|----------|---------------------|----------------|----------------|----------------|
| min | sec | (m ³ /s) | entrada | de salida | |
| | | T= 10 años | m ³ | m ³ | m ³ |
| 280 | 16800 | 20 | 336000 | 311808 | 24192 |
| 300 | 18000 | 20 | 360000 | 334080 | 25920 |
| 320 | 19200 | 20 | 384000 | 356352 | 27648 |
| 340 | 20400 | 20 | 408000 | 378624 | 29376 |
| 360 | 21600 | 20 | 432000 | 400896 | 31104 |
| 380 | 22800 | 20 | 456000 | 423168 | 32832 |
| 400 | 24000 | 20 | 480000 | 445440 | 34560 |
| 420 | 25200 | 20 | 504000 | 467712 | 36288 |
| 440 | 26400 | 20 | 528000 | 489984 | 38016 |
| 460 | 27600 | 20 | 552000 | 512256 | 39744 |
| 480 | 28800 | 20 | 576000 | 534528 | 41472 |
| 500 | 30000 | 20 | 600000 | 556800 | 43200 |
| 520 | 31200 | 20 | 624000 | 579072 | 44928 |
| 540 | 32400 | 20 | 648000 | 601344 | 46656 |
| 560 | 33600 | 20 | 672000 | 623616 | 48384 |
| 580 | 34800 | 20 | 696000 | 645888 | 50112 |
| 600 | 36000 | 20 | 720000 | 668160 | 51840 |
| 620 | 37200 | 20 | 744000 | 690432 | 53568 |
| 640 | 38400 | 20 | 768000 | 712704 | 55296 |
| 660 | 39600 | 20 | 792000 | 734976 | 57024 |
| 680 | 40800 | 20 | 816000 | 757248 | 58752 |
| 700 | 42000 | 20 | 840000 | 779520 | 60480 |
| 720 | 43200 | 20 | 864000 | 801792 | 62208 |
| 740 | 44400 | 20 | 888000 | 824064 | 63936 |
| 760 | 45600 | 20 | 912000 | 846336 | 65664 |
| 780 | 46800 | 20 | 936000 | 868608 | 67392 |
| 800 | 48000 | 20 | 960000 | 890880 | 69120 |
| 820 | 49200 | 20 | 984000 | 913152 | 70848 |
| 840 | 50400 | 20 | 1008000 | 935424 | 72576 |
| 860 | 51600 | 20 | 1032000 | 957696 | 74304 |
| 880 | 52800 | 20 | 1056000 | 979968 | 76032 |
| 900 | 54000 | 20 | 1080000 | 1002240 | 77760 |
| 920 | 55200 | 20 | 1104000 | 1024512 | 79488 |
| 940 | 56400 | 20 | 1128000 | 1046784 | 81216 |
| 960 | 57600 | 20 | 1152000 | 1069056 | 82944 |

| Duración | Duración | Caudal | Volumen | Volumen | s |
|----------|----------|---------------------|----------------|----------------|----------------|
| min | sec | (m ³ /s) | entrada | de salida | |
| | | T= 10 años | m ³ | m ³ | m ³ |
| 980 | 58800 | 20 | 1176000 | 1091328 | 84672 |
| 1000 | 60000 | 20 | 1200000 | 1113600 | 86400 |
| 1020 | 61200 | 20 | 1224000 | 1135872 | 88128 |
| 1040 | 62400 | 20 | 1248000 | 1158144 | 89856 |
| 1060 | 63600 | 20 | 1272000 | 1180416 | 91584 |
| 1080 | 64800 | 20 | 1296000 | 1202688 | 93312 |
| 1100 | 66000 | 20 | 1320000 | 1224960 | 95040 |
| 1120 | 67200 | 20 | 1344000 | 1247232 | 96768 |
| 1140 | 68400 | 20 | 1368000 | 1269504 | 98496 |
| 1160 | 69600 | 20 | 1392000 | 1291776 | 100224 |
| 1180 | 70800 | 20 | 1416000 | 1314048 | 101952 |
| 1200 | 72000 | 20 | 1440000 | 1336320 | 103680 |
| 1220 | 73200 | 20 | 1464000 | 1358592 | 105408 |
| 1240 | 74400 | 20 | 1488000 | 1380864 | 107136 |
| 1260 | 75600 | 20 | 1512000 | 1403136 | 108864 |
| 1280 | 76800 | 20 | 1536000 | 1425408 | 110592 |
| 1300 | 78000 | 20 | 1560000 | 1447680 | 112320 |
| 1320 | 79200 | 20 | 1584000 | 1469952 | 114048 |
| 1340 | 80400 | 20 | 1608000 | 1492224 | 115776 |
| 1360 | 81600 | 20 | 1632000 | 1514496 | 117504 |
| 1380 | 82800 | 20 | 1656000 | 1536768 | 119232 |
| 1400 | 84000 | 20 | 1680000 | 1559040 | 120960 |
| 1420 | 85200 | 20 | 1704000 | 1581312 | 122688 |
| 1440 | 86400 | 20 | 1728000 | 1603584 | 124416 |
| 1460 | 87600 | 20 | 1752000 | 1625856 | 126144 |
| 1480 | 88800 | 20.17 | 1791096 | 1648128 | 142968 |
| 1500 | 90000 | 21.19 | 1907100 | 1670400 | 236700 |
| 1520 | 91200 | 24 | 2188800 | 1692672 | 496128 |
| 1540 | 92400 | 26.22 | 2422728 | 1714944 | 707784 |
| 1560 | 93600 | 25.54 | 2390544 | 1737216 | 653328 |
| 1580 | 94800 | 30.81 | 2920788 | 1759488 | 1161300 |
| 1600 | 96000 | 45.26 | 4344960 | 1781760 | 2563200 |
| 1620 | 97200 | 57.09 | 5549148 | 1804032 | 3745116 |
| 1640 | 98400 | 62.91 | 6190344 | 1826304 | 4364040 |
| 1660 | 99600 | 66.35 | 6608460 | 1848576 | 4759884 |

| Duración | Duración | Caudal | Volumen | Volumen | s |
|----------|----------|---------------------|----------------|----------------|----------------|
| min | sec | (m ³ /s) | entrada | de salida | |
| | | T= 10 años | m ³ | m ³ | m ³ |
| 1680 | 100800 | 68.08 | 6862464 | 1870848 | 4991616 |
| 1700 | 102000 | 68.22 | 6958440 | 1893120 | 5065320 |
| 1720 | 103200 | 68.14 | 7032048 | 1915392 | 5116656 |
| 1740 | 104400 | 67 | 6994800 | 1937664 | 5057136 |
| 1760 | 105600 | 64.37 | 6797472 | 1959936 | 4837536 |
| 1780 | 106800 | 61.3 | 6546840 | 1982208 | 4564632 |
| 1800 | 108000 | 56.81 | 6135480 | 2004480 | 4131000 |
| 1820 | 109200 | 52.43 | 5725356 | 2026752 | 3698604 |
| 1840 | 110400 | 48.09 | 5309136 | 2049024 | 3260112 |
| 1860 | 111600 | 44.24 | 4937184 | 2071296 | 2865888 |
| 1880 | 112800 | 41.65 | 4698120 | 2093568 | 2604552 |
| 1900 | 114000 | 39.18 | 4466520 | 2115840 | 2350680 |
| 1920 | 115200 | 37.07 | 4270464 | 2138112 | 2132352 |
| 1940 | 116400 | 35.66 | 4150824 | 2160384 | 1990440 |
| 1960 | 117600 | 34.45 | 4051320 | 2182656 | 1868664 |
| 1980 | 118800 | 33.33 | 3959604 | 2204928 | 1754676 |
| 2000 | 120000 | 32.24 | 3868800 | 2227200 | 1641600 |
| 2020 | 121200 | 31.24 | 3786288 | 2249472 | 1536816 |
| 2040 | 122400 | 30.31 | 3709944 | 2271744 | 1438200 |
| 2060 | 123600 | 29.28 | 3619008 | 2294016 | 1324992 |
| 2080 | 124800 | 28.54 | 3561792 | 2316288 | 1245504 |
| 2100 | 126000 | 27.88 | 3512880 | 2338560 | 1174320 |
| 2120 | 127200 | 27.28 | 3470016 | 2360832 | 1109184 |
| 2140 | 128400 | 26.73 | 3432132 | 2383104 | 1049028 |
| 2160 | 129600 | 26.23 | 3399408 | 2405376 | 994032 |
| 2180 | 130800 | 25.76 | 3369408 | 2427648 | 941760 |
| 2200 | 132000 | 25.33 | 3343560 | 2449920 | 893640 |
| 2220 | 133200 | 24.95 | 3323340 | 2472192 | 851148 |
| 2240 | 134400 | 24.59 | 3304896 | 2494464 | 810432 |
| 2260 | 135600 | 24.27 | 3291012 | 2516736 | 774276 |
| 2280 | 136800 | 23.97 | 3279096 | 2539008 | 740088 |
| 2300 | 138000 | 23.7 | 3270600 | 2561280 | 709320 |
| 2320 | 139200 | 23.45 | 3264240 | 2583552 | 680688 |
| 2340 | 140400 | 23.22 | 3260088 | 2605824 | 654264 |
| 2360 | 141600 | 23.01 | 3258216 | 2628096 | 630120 |

| Duración | Duración | Caudal | Volumen | Volumen | s |
|----------|----------|---------------------|----------------|----------------|----------------|
| min | sec | (m ³ /s) | entrada | de salida | |
| | | T= 10 años | m ³ | m ³ | m ³ |
| 2380 | 142800 | 22.82 | 3258696 | 2650368 | 608328 |
| 2400 | 144000 | 22.64 | 3260160 | 2672640 | 587520 |
| 2420 | 145200 | 22.47 | 3262644 | 2694912 | 567732 |
| 2440 | 146400 | 22.3 | 3264720 | 2717184 | 547536 |
| 2460 | 147600 | 22.15 | 3269340 | 2739456 | 529884 |
| 2480 | 148800 | 22.02 | 3276576 | 2761728 | 514848 |
| 2500 | 150000 | 21.9 | 3285000 | 2784000 | 501000 |
| 2520 | 151200 | 21.67 | 3276504 | 2806272 | 470232 |
| 2540 | 152400 | 20 | 3048000 | 2828544 | 219456 |
| 2560 | 153600 | 20 | 3072000 | 2850816 | 221184 |
| 2580 | 154800 | 20 | 3096000 | 2873088 | 222912 |
| 2600 | 156000 | 20 | 3120000 | 2895360 | 224640 |
| 2620 | 157200 | 20 | 3144000 | 2917632 | 226368 |
| 2640 | 158400 | 20 | 3168000 | 2939904 | 228096 |
| 2660 | 159600 | 20 | 3192000 | 2962176 | 229824 |
| 2680 | 160800 | 20 | 3216000 | 2984448 | 231552 |
| 2700 | 162000 | 20 | 3240000 | 3006720 | 233280 |
| 2720 | 163200 | 20 | 3264000 | 3028992 | 235008 |
| 2740 | 164400 | 20 | 3288000 | 3051264 | 236736 |
| 2760 | 165600 | 20 | 3312000 | 3073536 | 238464 |
| 2780 | 166800 | 20 | 3336000 | 3095808 | 240192 |
| 2800 | 168000 | 20 | 3360000 | 3118080 | 241920 |
| 2820 | 169200 | 20 | 3384000 | 3140352 | 243648 |
| 2840 | 170400 | 20 | 3408000 | 3162624 | 245376 |
| 2860 | 171600 | 20 | 3432000 | 3184896 | 247104 |
| 2880 | 172800 | 20 | 3456000 | 3207168 | 248832 |
| 2900 | 174000 | 20 | 3480000 | 3229440 | 250560 |
| 2920 | 175200 | 20 | 3504000 | 3251712 | 252288 |
| 2940 | 176400 | 20 | 3528000 | 3273984 | 254016 |
| 2960 | 177600 | 20 | 3552000 | 3296256 | 255744 |
| 2980 | 178800 | 20 | 3576000 | 3318528 | 257472 |
| 3000 | 180000 | 20 | 3600000 | 3340800 | 259200 |
| 3020 | 181200 | 20 | 3624000 | 3363072 | 260928 |
| 3040 | 182400 | 20 | 3648000 | 3385344 | 262656 |
| 3060 | 183600 | 20 | 3672000 | 3407616 | 264384 |

| Duración | Duración | Caudal | Volumen | Volumen | s |
|----------|----------|---------------------|----------------|----------------|----------------|
| min | sec | (m ³ /s) | entrada | de salida | |
| | | T= 10 años | m ³ | m ³ | m ³ |
| 3080 | 184800 | 20 | 3696000 | 3429888 | 266112 |
| 3100 | 186000 | 20 | 3720000 | 3452160 | 267840 |
| 3120 | 187200 | 20 | 3744000 | 3474432 | 269568 |
| 3140 | 188400 | 20 | 3768000 | 3496704 | 271296 |
| 3160 | 189600 | 20 | 3792000 | 3518976 | 273024 |
| 3180 | 190800 | 20 | 3816000 | 3541248 | 274752 |
| 3200 | 192000 | 20 | 3840000 | 3563520 | 276480 |
| 3220 | 193200 | 20 | 3864000 | 3585792 | 278208 |
| 3240 | 194400 | 20 | 3888000 | 3608064 | 279936 |
| 3260 | 195600 | 20 | 3912000 | 3630336 | 281664 |
| 3280 | 196800 | 20 | 3936000 | 3652608 | 283392 |
| 3300 | 198000 | 20 | 3960000 | 3674880 | 285120 |
| 3320 | 199200 | 20 | 3984000 | 3697152 | 286848 |
| 3340 | 200400 | 20 | 4008000 | 3719424 | 288576 |
| 3360 | 201600 | 20 | 4032000 | 3741696 | 290304 |
| 3380 | 202800 | 20 | 4056000 | 3763968 | 292032 |
| 3400 | 204000 | 20 | 4080000 | 3786240 | 293760 |
| 3420 | 205200 | 20 | 4104000 | 3808512 | 295488 |
| 3440 | 206400 | 20 | 4128000 | 3830784 | 297216 |
| 3460 | 207600 | 20 | 4152000 | 3853056 | 298944 |
| 3480 | 208800 | 20 | 4176000 | 3875328 | 300672 |
| 3500 | 210000 | 20 | 4200000 | 3897600 | 302400 |
| 3520 | 211200 | 20 | 4224000 | 3919872 | 304128 |
| 3540 | 212400 | 20 | 4248000 | 3942144 | 305856 |
| 3560 | 213600 | 20 | 4272000 | 3964416 | 307584 |
| 3580 | 214800 | 20 | 4296000 | 3986688 | 309312 |
| 3600 | 216000 | 20 | 4320000 | 4008960 | 311040 |
| 3620 | 217200 | 20 | 4344000 | 4031232 | 312768 |
| 3640 | 218400 | 20 | 4368000 | 4053504 | 314496 |
| 3660 | 219600 | 20 | 4392000 | 4075776 | 316224 |
| 3680 | 220800 | 20 | 4416000 | 4098048 | 317952 |
| 3700 | 222000 | 20 | 4440000 | 4120320 | 319680 |
| 3720 | 223200 | 20 | 4464000 | 4142592 | 321408 |
| 3740 | 224400 | 20 | 4488000 | 4164864 | 323136 |
| 3760 | 225600 | 20 | 4512000 | 4187136 | 324864 |

| Duración | Duración | Caudal | Volumen | Volumen | s |
|----------|----------|---------------------|----------------|----------------|----------------|
| min | sec | (m ³ /s) | entrada | de salida | |
| | | T= 10 años | m ³ | m ³ | m ³ |
| 3780 | 226800 | 20 | 4536000 | 4209408 | 326592 |
| 3800 | 228000 | 20 | 4560000 | 4231680 | 328320 |
| 3820 | 229200 | 20 | 4584000 | 4253952 | 330048 |
| 3840 | 230400 | 20 | 4608000 | 4276224 | 331776 |
| 3860 | 231600 | 20 | 4632000 | 4298496 | 333504 |
| 3880 | 232800 | 20 | 4656000 | 4320768 | 335232 |
| 3900 | 234000 | 20 | 4680000 | 4343040 | 336960 |
| 3920 | 235200 | 20 | 4704000 | 4365312 | 338688 |
| 3940 | 236400 | 20 | 4728000 | 4387584 | 340416 |
| 3960 | 237600 | 20 | 4752000 | 4409856 | 342144 |
| 3980 | 238800 | 20 | 4776000 | 4432128 | 343872 |
| 4000 | 240000 | 20 | 4800000 | 4454400 | 345600 |
| 4020 | 241200 | 20 | 4824000 | 4476672 | 347328 |
| 4040 | 242400 | 20 | 4848000 | 4498944 | 349056 |
| 4060 | 243600 | 20 | 4872000 | 4521216 | 350784 |
| 4080 | 244800 | 20 | 4896000 | 4543488 | 352512 |
| 4100 | 246000 | 20 | 4920000 | 4565760 | 354240 |
| 4120 | 247200 | 20 | 4944000 | 4588032 | 355968 |
| 4140 | 248400 | 20 | 4968000 | 4610304 | 357696 |
| 4160 | 249600 | 20 | 4992000 | 4632576 | 359424 |
| 4180 | 250800 | 20 | 5016000 | 4654848 | 361152 |
| 4200 | 252000 | 20 | 5040000 | 4677120 | 362880 |
| 4220 | 253200 | 20 | 5064000 | 4699392 | 364608 |
| 4240 | 254400 | 20 | 5088000 | 4721664 | 366336 |
| 4260 | 255600 | 20 | 5112000 | 4743936 | 368064 |
| 4280 | 256800 | 20 | 5136000 | 4766208 | 369792 |
| 4300 | 258000 | 20 | 5160000 | 4788480 | 371520 |
| 4320 | 259200 | 20 | 5184000 | 4810752 | 373248 |
| 4340 | 260400 | 20 | 5208000 | 4833024 | 374976 |
| 4360 | 261600 | 20 | 5232000 | 4855296 | 376704 |
| 4380 | 262800 | 20 | 5256000 | 4877568 | 378432 |
| 4400 | 264000 | 20 | 5280000 | 4899840 | 380160 |
| 4420 | 265200 | 20 | 5304000 | 4922112 | 381888 |
| 4440 | 266400 | 20 | 5328000 | 4944384 | 383616 |
| 4460 | 267600 | 20 | 5352000 | 4966656 | 385344 |

| Duración | Duración | Caudal | Volumen | Volumen | s |
|----------|----------|---------------------|----------------|----------------|----------------|
| min | sec | (m ³ /s) | entrada | de salida | |
| | | T= 10 años | m ³ | m ³ | m ³ |
| 4480 | 268800 | 20 | 5376000 | 4988928 | 387072 |
| 4500 | 270000 | 20 | 5400000 | 5011200 | 388800 |
| 4520 | 271200 | 20 | 5424000 | 5033472 | 390528 |
| 4540 | 272400 | 20 | 5448000 | 5055744 | 392256 |
| 4560 | 273600 | 20 | 5472000 | 5078016 | 393984 |
| 4580 | 274800 | 20 | 5496000 | 5100288 | 395712 |
| 4600 | 276000 | 20 | 5520000 | 5122560 | 397440 |
| 4620 | 277200 | 20 | 5544000 | 5144832 | 399168 |
| 4640 | 278400 | 20 | 5568000 | 5167104 | 400896 |
| 4660 | 279600 | 20 | 5592000 | 5189376 | 402624 |
| 4680 | 280800 | 20 | 5616000 | 5211648 | 404352 |
| 4700 | 282000 | 20 | 5640000 | 5233920 | 406080 |
| 4720 | 283200 | 20 | 5664000 | 5256192 | 407808 |
| 4740 | 284400 | 20 | 5688000 | 5278464 | 409536 |
| 4760 | 285600 | 20 | 5712000 | 5300736 | 411264 |
| 4780 | 286800 | 20 | 5736000 | 5323008 | 412992 |
| 4800 | 288000 | 20 | 5760000 | 5345280 | 414720 |
| 4820 | 289200 | 20 | 5784000 | 5367552 | 416448 |
| 4840 | 290400 | 20 | 5808000 | 5389824 | 418176 |
| 4860 | 291600 | 20 | 5832000 | 5412096 | 419904 |
| 4880 | 292800 | 20 | 5856000 | 5434368 | 421632 |
| 4900 | 294000 | 20 | 5880000 | 5456640 | 423360 |
| 4920 | 295200 | 20 | 5904000 | 5478912 | 425088 |
| 4940 | 296400 | 20 | 5928000 | 5501184 | 426816 |
| 4960 | 297600 | 20 | 5952000 | 5523456 | 428544 |
| 4980 | 298800 | 20 | 5976000 | 5545728 | 430272 |
| 5000 | 300000 | 20 | 6000000 | 5568000 | 432000 |
| 5020 | 301200 | 20 | 6024000 | 5590272 | 433728 |
| 5040 | 302400 | 20 | 6048000 | 5612544 | 435456 |
| 5060 | 303600 | 20 | 6072000 | 5634816 | 437184 |
| 5080 | 304800 | 20 | 6096000 | 5657088 | 438912 |
| 5100 | 306000 | 20 | 6120000 | 5679360 | 440640 |
| 5120 | 307200 | 20 | 6144000 | 5701632 | 442368 |
| 5140 | 308400 | 20 | 6168000 | 5723904 | 444096 |
| 5160 | 309600 | 20 | 6192000 | 5746176 | 445824 |

| Duración | Duración | Caudal | Volumen | Volumen | s |
|----------|----------|---------------------|----------------|----------------|----------------|
| min | sec | (m ³ /s) | entrada | de salida | |
| | | T= 10 años | m ³ | m ³ | m ³ |
| 5180 | 310800 | 20 | 6216000 | 5768448 | 447552 |
| 5200 | 312000 | 20 | 6240000 | 5790720 | 449280 |
| 5220 | 313200 | 20 | 6264000 | 5812992 | 451008 |
| 5240 | 314400 | 20 | 6288000 | 5835264 | 452736 |
| 5260 | 315600 | 20 | 6312000 | 5857536 | 454464 |
| 5280 | 316800 | 20 | 6336000 | 5879808 | 456192 |
| 5300 | 318000 | 20 | 6360000 | 5902080 | 457920 |
| 5320 | 319200 | 20 | 6384000 | 5924352 | 459648 |
| 5340 | 320400 | 20 | 6408000 | 5946624 | 461376 |
| 5360 | 321600 | 20 | 6432000 | 5968896 | 463104 |
| 5380 | 322800 | 20 | 6456000 | 5991168 | 464832 |
| 5400 | 324000 | 20 | 6480000 | 6013440 | 466560 |
| 5420 | 325200 | 20 | 6504000 | 6035712 | 468288 |
| 5440 | 326400 | 20 | 6528000 | 6057984 | 470016 |
| 5460 | 327600 | 20 | 6552000 | 6080256 | 471744 |
| 5480 | 328800 | 20 | 6576000 | 6102528 | 473472 |
| 5500 | 330000 | 20 | 6600000 | 6124800 | 475200 |
| 5520 | 331200 | 20 | 6624000 | 6147072 | 476928 |
| 5540 | 332400 | 20 | 6648000 | 6169344 | 478656 |
| 5560 | 333600 | 20 | 6672000 | 6191616 | 480384 |
| 5580 | 334800 | 20 | 6696000 | 6213888 | 482112 |
| 5600 | 336000 | 20 | 6720000 | 6236160 | 483840 |
| 5620 | 337200 | 20 | 6744000 | 6258432 | 485568 |
| 5640 | 338400 | 20 | 6768000 | 6280704 | 487296 |
| 5660 | 339600 | 20 | 6792000 | 6302976 | 489024 |
| 5680 | 340800 | 20 | 6816000 | 6325248 | 490752 |
| 5700 | 342000 | 20 | 6840000 | 6347520 | 492480 |
| 5720 | 343200 | 20 | 6864000 | 6369792 | 494208 |
| 5740 | 344400 | 20 | 6888000 | 6392064 | 495936 |

Tabla 25 Volumen de Tanque de almacenamiento creciente TUNJUELO

| Duración | Duración | Caudal | Volumen | Volumen | s |
|-----------------|-----------------|--------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| min | sec | (m³/s) | entrada | de salida | |
| | | T= 10 años | m³ | m³ | m³ |
| 0 | 0 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| 20 | 1200 | 20 | 24000 | 22272 | 1728 |
| 40 | 2400 | 20 | 48000 | 44544 | 3456 |
| 60 | 3600 | 20 | 72000 | 66816 | 5184 |
| 80 | 4800 | 20 | 96000 | 89088 | 6912 |
| 100 | 6000 | 20 | 120000 | 111360 | 8640 |
| 120 | 7200 | 20 | 144000 | 133632 | 10368 |
| 140 | 8400 | 20 | 168000 | 155904 | 12096 |
| 160 | 9600 | 20 | 192000 | 178176 | 13824 |
| 180 | 10800 | 20 | 216000 | 200448 | 15552 |
| 200 | 12000 | 20 | 240000 | 222720 | 17280 |
| 220 | 13200 | 20 | 264000 | 244992 | 19008 |
| 240 | 14400 | 20 | 288000 | 267264 | 20736 |
| 260 | 15600 | 20 | 312000 | 289536 | 22464 |
| 280 | 16800 | 20 | 336000 | 311808 | 24192 |
| 300 | 18000 | 20 | 360000 | 334080 | 25920 |
| 320 | 19200 | 20 | 384000 | 356352 | 27648 |
| 340 | 20400 | 20 | 408000 | 378624 | 29376 |
| 360 | 21600 | 20 | 432000 | 400896 | 31104 |
| 380 | 22800 | 20 | 456000 | 423168 | 32832 |
| 400 | 24000 | 20 | 480000 | 445440 | 34560 |
| 420 | 25200 | 20 | 504000 | 467712 | 36288 |
| 440 | 26400 | 20 | 528000 | 489984 | 38016 |
| 460 | 27600 | 20 | 552000 | 512256 | 39744 |
| 480 | 28800 | 20 | 576000 | 534528 | 41472 |
| 500 | 30000 | 20 | 600000 | 556800 | 43200 |
| 520 | 31200 | 20 | 624000 | 579072 | 44928 |
| 540 | 32400 | 20 | 648000 | 601344 | 46656 |
| 560 | 33600 | 20 | 672000 | 623616 | 48384 |
| 580 | 34800 | 20 | 696000 | 645888 | 50112 |
| 600 | 36000 | 20 | 720000 | 668160 | 51840 |
| 620 | 37200 | 20 | 744000 | 690432 | 53568 |

| Duración | Duración | Caudal | Volumen | Volumen | s |
|----------|----------|---------------------|----------------|----------------|----------------|
| min | sec | (m ³ /s) | entrada | de salida | |
| | | T= 10 años | m ³ | m ³ | m ³ |
| 640 | 38400 | 20 | 768000 | 712704 | 55296 |
| 660 | 39600 | 20 | 792000 | 734976 | 57024 |
| 680 | 40800 | 20 | 816000 | 757248 | 58752 |
| 700 | 42000 | 20 | 840000 | 779520 | 60480 |
| 720 | 43200 | 20 | 864000 | 801792 | 62208 |
| 740 | 44400 | 20 | 888000 | 824064 | 63936 |
| 760 | 45600 | 20 | 912000 | 846336 | 65664 |
| 780 | 46800 | 20 | 936000 | 868608 | 67392 |
| 800 | 48000 | 20 | 960000 | 890880 | 69120 |
| 820 | 49200 | 20 | 984000 | 913152 | 70848 |
| 840 | 50400 | 20 | 1008000 | 935424 | 72576 |
| 860 | 51600 | 20 | 1032000 | 957696 | 74304 |
| 880 | 52800 | 20 | 1056000 | 979968 | 76032 |
| 900 | 54000 | 20 | 1080000 | 1002240 | 77760 |
| 920 | 55200 | 20 | 1104000 | 1024512 | 79488 |
| 940 | 56400 | 20 | 1128000 | 1046784 | 81216 |
| 960 | 57600 | 20 | 1152000 | 1069056 | 82944 |
| 980 | 58800 | 20 | 1176000 | 1091328 | 84672 |
| 1000 | 60000 | 20 | 1200000 | 1113600 | 86400 |
| 1020 | 61200 | 20 | 1224000 | 1135872 | 88128 |
| 1040 | 62400 | 20 | 1248000 | 1158144 | 89856 |
| 1060 | 63600 | 20 | 1272000 | 1180416 | 91584 |
| 1080 | 64800 | 20 | 1296000 | 1202688 | 93312 |
| 1100 | 66000 | 20 | 1320000 | 1224960 | 95040 |
| 1120 | 67200 | 20 | 1344000 | 1247232 | 96768 |
| 1140 | 68400 | 20 | 1368000 | 1269504 | 98496 |
| 1160 | 69600 | 20 | 1392000 | 1291776 | 100224 |
| 1180 | 70800 | 20 | 1416000 | 1314048 | 101952 |
| 1200 | 72000 | 20 | 1440000 | 1336320 | 103680 |
| 1220 | 73200 | 20 | 1464000 | 1358592 | 105408 |
| 1240 | 74400 | 20 | 1488000 | 1380864 | 107136 |
| 1260 | 75600 | 20 | 1512000 | 1403136 | 108864 |
| 1280 | 76800 | 20 | 1536000 | 1425408 | 110592 |
| 1300 | 78000 | 20 | 1560000 | 1447680 | 112320 |
| 1320 | 79200 | 20 | 1584000 | 1469952 | 114048 |

| Duración | Duración | Caudal | Volumen | Volumen | s |
|----------|----------|---------------------|----------------|----------------|----------------|
| min | sec | (m ³ /s) | entrada | de salida | |
| | | T= 10 años | m ³ | m ³ | m ³ |
| 1340 | 80400 | 20 | 1608000 | 1492224 | 115776 |
| 1360 | 81600 | 20 | 1632000 | 1514496 | 117504 |
| 1380 | 82800 | 20 | 1656000 | 1536768 | 119232 |
| 1400 | 84000 | 20 | 1680000 | 1559040 | 120960 |
| 1420 | 85200 | 20 | 1704000 | 1581312 | 122688 |
| 1440 | 86400 | 20 | 1728000 | 1603584 | 124416 |
| 1460 | 87600 | 28 | 2452800 | 1625856 | 826944 |
| 1480 | 88800 | 28 | 2486400 | 1648128 | 838272 |
| 1500 | 90000 | 28 | 2520000 | 1670400 | 849600 |
| 1520 | 91200 | 28 | 2553600 | 1692672 | 860928 |
| 1540 | 92400 | 28 | 2587200 | 1714944 | 872256 |
| 1560 | 93600 | 28 | 2620800 | 1737216 | 883584 |
| 1580 | 94800 | 28 | 2654400 | 1759488 | 894912 |
| 1600 | 96000 | 28 | 2688000 | 1781760 | 906240 |
| 1620 | 97200 | 28 | 2721600 | 1804032 | 917568 |
| 1640 | 98400 | 28 | 2755200 | 1826304 | 928896 |
| 1660 | 99600 | 28 | 2788800 | 1848576 | 940224 |
| 1680 | 100800 | 28 | 2822400 | 1870848 | 951552 |
| 1700 | 102000 | 28 | 2856000 | 1893120 | 962880 |
| 1720 | 103200 | 28 | 2889600 | 1915392 | 974208 |
| 1740 | 104400 | 28 | 2923200 | 1937664 | 985536 |
| 1760 | 105600 | 28 | 2956800 | 1959936 | 996864 |
| 1780 | 106800 | 28 | 2990400 | 1982208 | 1008192 |
| 1800 | 108000 | 28 | 3024000 | 2004480 | 1019520 |
| 1820 | 109200 | 28 | 3057600 | 2026752 | 1030848 |
| 1840 | 110400 | 28 | 3091200 | 2049024 | 1042176 |
| 1860 | 111600 | 28 | 3124800 | 2071296 | 1053504 |
| 1880 | 112800 | 28 | 3158400 | 2093568 | 1064832 |
| 1900 | 114000 | 28 | 3192000 | 2115840 | 1076160 |
| 1920 | 115200 | 28 | 3225600 | 2138112 | 1087488 |
| 1940 | 116400 | 28 | 3259200 | 2160384 | 1098816 |
| 1960 | 117600 | 28 | 3292800 | 2182656 | 1110144 |
| 1980 | 118800 | 28 | 3326400 | 2204928 | 1121472 |
| 2000 | 120000 | 28 | 3360000 | 2227200 | 1132800 |
| 2020 | 121200 | 28 | 3393600 | 2249472 | 1144128 |

| Duración | Duración | Caudal | Volumen | Volumen | s |
|----------|----------|---------------------|----------------|----------------|----------------|
| min | sec | (m ³ /s) | entrada | de salida | |
| | | T= 10 años | m ³ | m ³ | m ³ |
| 2040 | 122400 | 28 | 3427200 | 2271744 | 1155456 |
| 2060 | 123600 | 28 | 3460800 | 2294016 | 1166784 |
| 2080 | 124800 | 28 | 3494400 | 2316288 | 1178112 |
| 2100 | 126000 | 28 | 3528000 | 2338560 | 1189440 |
| 2120 | 127200 | 28 | 3561600 | 2360832 | 1200768 |
| 2140 | 128400 | 28 | 3595200 | 2383104 | 1212096 |
| 2160 | 129600 | 28 | 3628800 | 2405376 | 1223424 |
| 2180 | 130800 | 28 | 3662400 | 2427648 | 1234752 |
| 2200 | 132000 | 28 | 3696000 | 2449920 | 1246080 |
| 2220 | 133200 | 28 | 3729600 | 2472192 | 1257408 |
| 2240 | 134400 | 28 | 3763200 | 2494464 | 1268736 |
| 2260 | 135600 | 28 | 3796800 | 2516736 | 1280064 |
| 2280 | 136800 | 28 | 3830400 | 2539008 | 1291392 |
| 2300 | 138000 | 28 | 3864000 | 2561280 | 1302720 |
| 2320 | 139200 | 28 | 3897600 | 2583552 | 1314048 |
| 2340 | 140400 | 28 | 3931200 | 2605824 | 1325376 |
| 2360 | 141600 | 28 | 3964800 | 2628096 | 1336704 |
| 2380 | 142800 | 28 | 3998400 | 2650368 | 1348032 |
| 2400 | 144000 | 28 | 4032000 | 2672640 | 1359360 |
| 2420 | 145200 | 28 | 4065600 | 2694912 | 1370688 |
| 2440 | 146400 | 28 | 4099200 | 2717184 | 1382016 |
| 2460 | 147600 | 28 | 4132800 | 2739456 | 1393344 |
| 2480 | 148800 | 28 | 4166400 | 2761728 | 1404672 |
| 2500 | 150000 | 28 | 4200000 | 2784000 | 1416000 |
| 2520 | 151200 | 28 | 4233600 | 2806272 | 1427328 |
| 2540 | 152400 | 28 | 4267200 | 2828544 | 1438656 |
| 2560 | 153600 | 28 | 4300800 | 2850816 | 1449984 |
| 2580 | 154800 | 28 | 4334400 | 2873088 | 1461312 |
| 2600 | 156000 | 28 | 4368000 | 2895360 | 1472640 |
| 2620 | 157200 | 28 | 4401600 | 2917632 | 1483968 |
| 2640 | 158400 | 28 | 4435200 | 2939904 | 1495296 |
| 2660 | 159600 | 28 | 4468800 | 2962176 | 1506624 |
| 2680 | 160800 | 28 | 4502400 | 2984448 | 1517952 |
| 2700 | 162000 | 28 | 4536000 | 3006720 | 1529280 |
| 2720 | 163200 | 28 | 4569600 | 3028992 | 1540608 |

| Duración | Duración | Caudal | Volumen | Volumen | s |
|----------|----------|---------------------|----------------|----------------|----------------|
| min | sec | (m ³ /s) | entrada | de salida | |
| | | T= 10 años | m ³ | m ³ | m ³ |
| 2740 | 164400 | 28 | 4603200 | 3051264 | 1551936 |
| 2760 | 165600 | 28 | 4636800 | 3073536 | 1563264 |
| 2780 | 166800 | 28 | 4670400 | 3095808 | 1574592 |
| 2800 | 168000 | 28 | 4704000 | 3118080 | 1585920 |
| 2820 | 169200 | 28 | 4737600 | 3140352 | 1597248 |
| 2840 | 170400 | 28 | 4771200 | 3162624 | 1608576 |
| 2860 | 171600 | 28 | 4804800 | 3184896 | 1619904 |
| 2880 | 172800 | 28 | 4838400 | 3207168 | 1631232 |
| 2900 | 174000 | 20 | 3480000 | 3229440 | 250560 |
| 2920 | 175200 | 20 | 3504000 | 3251712 | 252288 |
| 2940 | 176400 | 20 | 3528000 | 3273984 | 254016 |
| 2960 | 177600 | 20 | 3552000 | 3296256 | 255744 |
| 2980 | 178800 | 20 | 3576000 | 3318528 | 257472 |
| 3000 | 180000 | 20 | 3600000 | 3340800 | 259200 |
| 3020 | 181200 | 20 | 3624000 | 3363072 | 260928 |
| 3040 | 182400 | 20 | 3648000 | 3385344 | 262656 |
| 3060 | 183600 | 20 | 3672000 | 3407616 | 264384 |
| 3080 | 184800 | 20 | 3696000 | 3429888 | 266112 |
| 3100 | 186000 | 20 | 3720000 | 3452160 | 267840 |
| 3120 | 187200 | 20 | 3744000 | 3474432 | 269568 |
| 3140 | 188400 | 20 | 3768000 | 3496704 | 271296 |
| 3160 | 189600 | 20 | 3792000 | 3518976 | 273024 |
| 3180 | 190800 | 20 | 3816000 | 3541248 | 274752 |
| 3200 | 192000 | 20 | 3840000 | 3563520 | 276480 |
| 3220 | 193200 | 20 | 3864000 | 3585792 | 278208 |
| 3240 | 194400 | 20 | 3888000 | 3608064 | 279936 |
| 3260 | 195600 | 20 | 3912000 | 3630336 | 281664 |
| 3280 | 196800 | 20 | 3936000 | 3652608 | 283392 |
| 3300 | 198000 | 20 | 3960000 | 3674880 | 285120 |
| 3320 | 199200 | 20 | 3984000 | 3697152 | 286848 |
| 3340 | 200400 | 20 | 4008000 | 3719424 | 288576 |
| 3360 | 201600 | 20 | 4032000 | 3741696 | 290304 |
| 3380 | 202800 | 20 | 4056000 | 3763968 | 292032 |
| 3400 | 204000 | 20 | 4080000 | 3786240 | 293760 |
| 3420 | 205200 | 20 | 4104000 | 3808512 | 295488 |

| Duración | Duración | Caudal | Volumen | Volumen | s |
|----------|----------|---------------------|----------------|----------------|----------------|
| min | sec | (m ³ /s) | entrada | de salida | |
| | | T= 10 años | m ³ | m ³ | m ³ |
| 3440 | 206400 | 20 | 4128000 | 3830784 | 297216 |
| 3460 | 207600 | 20 | 4152000 | 3853056 | 298944 |
| 3480 | 208800 | 20 | 4176000 | 3875328 | 300672 |
| 3500 | 210000 | 20 | 4200000 | 3897600 | 302400 |
| 3520 | 211200 | 20 | 4224000 | 3919872 | 304128 |
| 3540 | 212400 | 20 | 4248000 | 3942144 | 305856 |
| 3560 | 213600 | 20 | 4272000 | 3964416 | 307584 |
| 3580 | 214800 | 20 | 4296000 | 3986688 | 309312 |
| 3600 | 216000 | 20 | 4320000 | 4008960 | 311040 |
| 3620 | 217200 | 20 | 4344000 | 4031232 | 312768 |
| 3640 | 218400 | 20 | 4368000 | 4053504 | 314496 |
| 3660 | 219600 | 20 | 4392000 | 4075776 | 316224 |
| 3680 | 220800 | 20 | 4416000 | 4098048 | 317952 |
| 3700 | 222000 | 20 | 4440000 | 4120320 | 319680 |
| 3720 | 223200 | 20 | 4464000 | 4142592 | 321408 |
| 3740 | 224400 | 20 | 4488000 | 4164864 | 323136 |
| 3760 | 225600 | 20 | 4512000 | 4187136 | 324864 |
| 3780 | 226800 | 20 | 4536000 | 4209408 | 326592 |
| 3800 | 228000 | 20 | 4560000 | 4231680 | 328320 |
| 3820 | 229200 | 20 | 4584000 | 4253952 | 330048 |
| 3840 | 230400 | 20 | 4608000 | 4276224 | 331776 |
| 3860 | 231600 | 20 | 4632000 | 4298496 | 333504 |
| 3880 | 232800 | 20 | 4656000 | 4320768 | 335232 |
| 3900 | 234000 | 20 | 4680000 | 4343040 | 336960 |
| 3920 | 235200 | 20 | 4704000 | 4365312 | 338688 |
| 3940 | 236400 | 20 | 4728000 | 4387584 | 340416 |
| 3960 | 237600 | 20 | 4752000 | 4409856 | 342144 |
| 3980 | 238800 | 20 | 4776000 | 4432128 | 343872 |
| 4000 | 240000 | 20 | 4800000 | 4454400 | 345600 |
| 4020 | 241200 | 20 | 4824000 | 4476672 | 347328 |
| 4040 | 242400 | 20 | 4848000 | 4498944 | 349056 |
| 4060 | 243600 | 20 | 4872000 | 4521216 | 350784 |
| 4080 | 244800 | 20 | 4896000 | 4543488 | 352512 |
| 4100 | 246000 | 20 | 4920000 | 4565760 | 354240 |
| 4120 | 247200 | 20 | 4944000 | 4588032 | 355968 |

| Duración | Duración | Caudal | Volumen | Volumen | s |
|----------|----------|---------------------|----------------|----------------|----------------|
| min | sec | (m ³ /s) | entrada | de salida | |
| | | T= 10 años | m ³ | m ³ | m ³ |
| 4140 | 248400 | 20 | 4968000 | 4610304 | 357696 |
| 4160 | 249600 | 20 | 4992000 | 4632576 | 359424 |
| 4180 | 250800 | 20 | 5016000 | 4654848 | 361152 |
| 4200 | 252000 | 20 | 5040000 | 4677120 | 362880 |
| 4220 | 253200 | 20 | 5064000 | 4699392 | 364608 |
| 4240 | 254400 | 20 | 5088000 | 4721664 | 366336 |
| 4260 | 255600 | 20 | 5112000 | 4743936 | 368064 |
| 4280 | 256800 | 20 | 5136000 | 4766208 | 369792 |
| 4300 | 258000 | 20 | 5160000 | 4788480 | 371520 |
| 4320 | 259200 | 20 | 5184000 | 4810752 | 373248 |
| 4340 | 260400 | 20 | 5208000 | 4833024 | 374976 |
| 4360 | 261600 | 20 | 5232000 | 4855296 | 376704 |
| 4380 | 262800 | 20 | 5256000 | 4877568 | 378432 |
| 4400 | 264000 | 20 | 5280000 | 4899840 | 380160 |
| 4420 | 265200 | 20 | 5304000 | 4922112 | 381888 |
| 4440 | 266400 | 20 | 5328000 | 4944384 | 383616 |
| 4460 | 267600 | 20 | 5352000 | 4966656 | 385344 |
| 4480 | 268800 | 20 | 5376000 | 4988928 | 387072 |
| 4500 | 270000 | 20 | 5400000 | 5011200 | 388800 |
| 4520 | 271200 | 20 | 5424000 | 5033472 | 390528 |
| 4540 | 272400 | 20 | 5448000 | 5055744 | 392256 |
| 4560 | 273600 | 20 | 5472000 | 5078016 | 393984 |
| 4580 | 274800 | 20 | 5496000 | 5100288 | 395712 |
| 4600 | 276000 | 20 | 5520000 | 5122560 | 397440 |
| 4620 | 277200 | 20 | 5544000 | 5144832 | 399168 |
| 4640 | 278400 | 20 | 5568000 | 5167104 | 400896 |
| 4660 | 279600 | 20 | 5592000 | 5189376 | 402624 |
| 4680 | 280800 | 20 | 5616000 | 5211648 | 404352 |
| 4700 | 282000 | 20 | 5640000 | 5233920 | 406080 |
| 4720 | 283200 | 20 | 5664000 | 5256192 | 407808 |
| 4740 | 284400 | 20 | 5688000 | 5278464 | 409536 |
| 4760 | 285600 | 20 | 5712000 | 5300736 | 411264 |
| 4780 | 286800 | 20 | 5736000 | 5323008 | 412992 |
| 4800 | 288000 | 20 | 5760000 | 5345280 | 414720 |
| 4820 | 289200 | 20 | 5784000 | 5367552 | 416448 |

| Duración | Duración | Caudal | Volumen | Volumen | s |
|----------|----------|---------------------|----------------|----------------|----------------|
| min | sec | (m ³ /s) | entrada | de salida | |
| | | T= 10 años | m ³ | m ³ | m ³ |
| 4840 | 290400 | 20 | 5808000 | 5389824 | 418176 |
| 4860 | 291600 | 20 | 5832000 | 5412096 | 419904 |
| 4880 | 292800 | 20 | 5856000 | 5434368 | 421632 |
| 4900 | 294000 | 20 | 5880000 | 5456640 | 423360 |
| 4920 | 295200 | 20 | 5904000 | 5478912 | 425088 |
| 4940 | 296400 | 20 | 5928000 | 5501184 | 426816 |
| 4960 | 297600 | 20 | 5952000 | 5523456 | 428544 |
| 4980 | 298800 | 20 | 5976000 | 5545728 | 430272 |
| 5000 | 300000 | 20 | 6000000 | 5568000 | 432000 |
| 5020 | 301200 | 20 | 6024000 | 5590272 | 433728 |
| 5040 | 302400 | 20 | 6048000 | 5612544 | 435456 |
| 5060 | 303600 | 20 | 6072000 | 5634816 | 437184 |
| 5080 | 304800 | 20 | 6096000 | 5657088 | 438912 |
| 5100 | 306000 | 20 | 6120000 | 5679360 | 440640 |
| 5120 | 307200 | 20 | 6144000 | 5701632 | 442368 |
| 5140 | 308400 | 20 | 6168000 | 5723904 | 444096 |
| 5160 | 309600 | 20 | 6192000 | 5746176 | 445824 |
| 5180 | 310800 | 20 | 6216000 | 5768448 | 447552 |
| 5200 | 312000 | 20 | 6240000 | 5790720 | 449280 |
| 5220 | 313200 | 20 | 6264000 | 5812992 | 451008 |
| 5240 | 314400 | 20 | 6288000 | 5835264 | 452736 |
| 5260 | 315600 | 20 | 6312000 | 5857536 | 454464 |
| 5280 | 316800 | 20 | 6336000 | 5879808 | 456192 |
| 5300 | 318000 | 20 | 6360000 | 5902080 | 457920 |
| 5320 | 319200 | 20 | 6384000 | 5924352 | 459648 |
| 5340 | 320400 | 20 | 6408000 | 5946624 | 461376 |
| 5360 | 321600 | 20 | 6432000 | 5968896 | 463104 |
| 5380 | 322800 | 20 | 6456000 | 5991168 | 464832 |
| 5400 | 324000 | 20 | 6480000 | 6013440 | 466560 |
| 5420 | 325200 | 20 | 6504000 | 6035712 | 468288 |
| 5440 | 326400 | 20 | 6528000 | 6057984 | 470016 |
| 5460 | 327600 | 20 | 6552000 | 6080256 | 471744 |
| 5480 | 328800 | 20 | 6576000 | 6102528 | 473472 |
| 5500 | 330000 | 20 | 6600000 | 6124800 | 475200 |
| 5520 | 331200 | 20 | 6624000 | 6147072 | 476928 |

| Duración | Duración | Caudal | Volumen | Volumen | s |
|-----------------|-----------------|--------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| min | sec | (m³/s) | entrada | de salida | |
| | | T= 10 años | m³ | m³ | m³ |
| 5540 | 332400 | 20 | 6648000 | 6169344 | 478656 |
| 5560 | 333600 | 20 | 6672000 | 6191616 | 480384 |
| 5580 | 334800 | 20 | 6696000 | 6213888 | 482112 |
| 5600 | 336000 | 20 | 6720000 | 6236160 | 483840 |
| 5620 | 337200 | 20 | 6744000 | 6258432 | 485568 |
| 5640 | 338400 | 20 | 6768000 | 6280704 | 487296 |
| 5660 | 339600 | 20 | 6792000 | 6302976 | 489024 |
| 5680 | 340800 | 20 | 6816000 | 6325248 | 490752 |
| 5700 | 342000 | 20 | 6840000 | 6347520 | 492480 |
| 5720 | 343200 | 20 | 6864000 | 6369792 | 494208 |
| 5740 | 344400 | 20 | 6888000 | 6392064 | 495936 |

11 REFERENCIAS

- Adugna, D., Jensen, M. B., Lemma, B., & Gebrie, G. S. (2018). Assessing the potential for rooftop rainwater harvesting from large public institutions. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(2). <https://doi.org/10.3390/ijerph15020336>
- Ashley, R. M., Gersonius, B., Digman, C., Horton, B., Bacchin, T., Smith, B., ... Baylis, A. (2018). Demonstrating and Monetizing the Multiple Benefits from Using SuDS. *Journal of Sustainable Water in the Built Environment*, 4(2), 05017008. <https://doi.org/10.1061/JSWBAY.0000848>
- Bennett, J., Mcnair, B., & Cheesman, J. (2016). Community preferences for recycled water in Sydney. *Australasian Journal of Environmental Management*, 23(1), 51–66. <https://doi.org/10.1080/14486563.2015.1129364>
- Butler, D., Davies, J. W. (2011). *Urban Drainage, 3rd Edition*.
- Calabrò, P. S., & Viviani, G. (2006). Simulation of the operation of detention tanks. *Water Research*, 40(1), 83–90. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2005.10.025>
- CAR. (2013). Estaciones Hidrometeorológicas. CAR.
- Chen, Z., Ngo, H. H., & Guo, W. (2013a). A critical review on the end uses of recycled water. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 43(14), 1446–1516. <https://doi.org/10.1080/10643389.2011.647788>
- Chen, Z., Ngo, H. H., & Guo, W. (2013b). *A Critical Review on the End Uses of Recycled Water*. 3389. <https://doi.org/10.1080/10643389.2011.647788>
- Chen, Z., Ngo, H. H., Guo, W., Lim, R., Wang, X. C., O'Halloran, K., ... Miechel, C. (2014). A comprehensive framework for the assessment of new end uses in recycled water schemes. *Science of The Total Environment*, 470–471, 44–52. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.09.061>
- Cheng, J., Yuan, Q., & Youngchul, K. (2017). Evaluation of a first-flush capture and detention tank receiving runoff from an asphalt-paved road. *Water and Environment Journal*, 31(3), 410–417. <https://doi.org/doi:10.1111/wej.12258>
- Cotes, L., Montes, C., Bohorquez, J., Iglesias-Rey, P., Martínez-Solano, J., Cunha, M., ... Simoes, N. (2016). Dimensionamiento Óptimo de Tanques de Almacenamiento con y sin Control Hidráulico. *XXVII Congreso Latinoamericano de Hidráulica*.



- Cunha, M. C., Zeferino, J. A., Simões, N. E., & Saldarriaga, J. G. (2016). Optimal location and sizing of storage units in a drainage system. *Environmental Modelling and Software*, 83, 155–166. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2016.05.015>
- De Paola, F., & De Martino, F. (2013). Stormwater tank performance: Design and management criteria for capture tanks using a continuous simulation and a semi-probabilistic analytical approach. *Water (Switzerland)*, 5(4), 1699–1711. <https://doi.org/10.3390/w5041699>
- Dong, X., Guo, H., & Zeng, S. (2017). Enhancing future resilience in urban drainage system : Green versus grey infrastructure. *Water Research*, 124, 280–289. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.07.038>
- Duan, H., Li, F., & Yan, H. (2016). *Multi-Objective Optimal Design of Detention Tanks in the Urban Stormwater Drainage System: LID Implementation and Analysis*. <https://doi.org/10.1007/s11269-016-1444-1>
- Eckart, K., McPhee, Z., & Bolisetti, T. (2017). Performance and implementation of low impact development – A review. *Science of the Total Environment*, 607–608, 413–432. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.254>
- ENEL. (2019). No Title. Retrieved from Generación de energía que transforma el mundo website: <https://www.enel.com.co/es/conoce-enel/enel-emgesa/innovacion-tecnologica.html>
- Fielding, K. S., Dolnicar, S., & Schultz, T. (2018). Public acceptance of recycled water. *International Journal of Water Resources Development*, 0627, 1–36. <https://doi.org/10.1080/07900627.2017.1419125>
- Ghisi, E., Tavares, D. d F., & Rocha, V. L. (2009). Rainwater harvesting in petrol stations in Brasília: Potential for potable water savings and investment feasibility analysis. *Resources, Conservation and Recycling*, 54(2), 79–85. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2009.06.010>
- Guizani, M. (2016). Storm Water Harvesting in Saudi Arabia: a Multipurpose Water Management Alternative. *Water Resources Management*, 30(5), 1819–1833. <https://doi.org/10.1007/s11269-016-1255-4>
- Haq, PEng, S. A. (2017). *Harvesting Rainwater from Buildings*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-46362-9>
- IDEAM, PNUD, Alcaldía de Bogotá, Gobernación de Cundinamarca, CAR, Corpoguvio, ... DNP. (2014). *Evolución de precipitación y temperatura durante los fenómenos el Niño y la Niña en Bogotá - Cundinamarca. Plan Regional Integral de Cambio Climático para*

Bogotá Cundinamarca (PRICC).

- Jim, C. Y., & Chen, W. Y. (2006). Perception and attitude of residents toward urban green spaces in Guangzhou (China). *Environmental Management*, 38(3), 338–349. <https://doi.org/10.1007/s00267-005-0166-6>
- Jones, M. P., & Hunt, W. F. (2010). Performance of rainwater harvesting systems in the southeastern United States. *Resources, Conservation and Recycling*, 54(10), 623–629. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2009.11.002>
- Kenneth Quah. (2013). On site stormwater detention tank system. *Agencia Nacional de Agua de Singapore*, 80.
- Laura Solarte. (2018). *Factibilidad del reciclado de agua en tanque de tormenta para otros usos urbanos en una zona de estudio de la ciudad de Bogotá.*
- Li, H. (2016). *Chapter 5 - Permeable Pavements and Permeability* (H. B. T.-P. M. for H. I. M. Li, Ed.). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803476-7.00005-2>
- Llopert-Mascaró, A., Farreny, R., Gabarrell, X., Rieradevall, J., Gil, A., Martínez, M., ... Paraira, M. (2015). Storm tank against combined sewer overflow: Operation strategies to minimise discharges impact to receiving waters. *Urban Water Journal*, 12(3), 219–228. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2013.868499>
- Londra, P. A., Theocharis, A. T., Baltas, E., & Tsihrintzis, V. (2015). Optimal Sizing of Rainwater Harvesting Tanks for Domestic Use in Greece. *Water Resources Management*, 29(12), 4357–4377. <https://doi.org/10.1007/s11269-015-1064-1>
- Lucas, W. C. (2010). Design of Integrated Bioinfiltration-Detention Urban Retrofits with Design Storm and Continuous Simulation Methods. *Journal of Hydrologic Engineering*, 15(6), 486–498. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0000137](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000137)
- Lundy, L., Revitt, M., & Ellis, B. (2018). An impact assessment for urban stormwater use. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(20), 19259–19270. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0547-4>
- Melville-Shreeve, P., Cotterill, S., Grant, L., Arahuetes, A., Stovin, V., Farmani, R., & Butler, D. (2018). State of SuDS delivery in the United Kingdom. *Water and Environment Journal*, 32(1), 9–16. <https://doi.org/10.1111/wej.12283>
- Menniti, D., Pinnarelli, A., Sorrentino, N., Belli, G., & Barone, G. (2015). Using stormwater detention tanks as storage system for sustainable energy management in a smart city framework. *2015 AEIT International Annual Conference, AEIT 2015*. <https://doi.org/10.1109/AEIT.2015.7415226>



Moglia, M., Walton, A., Sharma, A., Tjandraatmadja, G., Gardner, J., & Begbie, D. (2013). Management of urban rainwater tanks. In *AWA Water* (Vol. 40).

Monsalve. (2012). 17 – *Estudios hidráulicos*.

Montanari, A., & Marco, J. B. (2012). *Efficiency of Storm Detention Tanks for Urban Drainage Systems under Climate Variability*. 138(February), 36–46.

Morgan, A. A. B. J. Z. S. M. R. B. (2014). *Impact of Site-Scale Green Infrastructure on Volume Reduction in Combined Sewers*. 1–7.

Mugume, S. N., Gomez, D. E., Fu, G., Farmani, R., & Butler, D. (2015). A global analysis approach for investigating structural resilience in urban drainage systems. *Water Research*, 81, 15–26. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.05.030>

Newman, J. P., Dandy, G. C., & Maier, H. R. (2014). Multiobjective optimization of cluster-scale urban water systems investigating alternative water sources and level of decentralization. *Water Resources Research*, 50(10), 7915–7938. <https://doi.org/doi:10.1002/2013WR015233>

Nippon Koei LAC. (2016). PLAN DE MANEJO INTEGRAL DEL RECURSO HÍDRICO EN LA CUENCA DEL RÍO BOGOTÁ. *CAR*, 4(753), 129.

Saunders, N. J., & Peirson, W. L. (2013). Climate change adaptation of urban water management systems in the wet/dry tropics. *Australian Journal of Water Resources*, 17(2), 180–192. <https://doi.org/10.7158/W13-016.2013.17.2>

Scholz, M., Morgan, R., & Picher, A. (2005). Stormwater resources development and management in Glasgow: Two case studies. *International Journal of Environmental Studies*, 62(3), 263–282. <https://doi.org/10.1080/00207230500034453>

Selbig, W. R., & Fienen, M. N. (2012). Regression Modeling of Particle Size Distributions in Urban Storm Water: Advancements through Improved Sample Collection Methods. *Journal of Environmental Engineering*, 138(12), 1186–1193. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EE.1943-7870.0000612](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0000612)

SOSTENIBLE, M. D. A. V. Y. D. (2005). Resolución 16 2005. Retrieved from Resolución 1145 de 2005 website: https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:TWHNIp5XcH8J:https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/resoluciones/2005/res_1145_2005.pdf+&cd=2&hl=es&ct=clnk&gl=co

Spillet P, Evans S, C. K. (2006). Sustainable stormwater management in the urban environment. *ASCE LIBRARY*.



- Sybil Sharvelle, Azar Masoud, Stromberger Mary, R. L. R. (2009). *Graywater Irrigation as a Means to Meet Water Demands in Arid Regions*. 1189–1198.
- Taleb, L., & Pitt, R. (2011). Stormwater Non-potable Beneficial Uses: Modeling Groundwater Recharge at a Stormwater Drywell Installation. *World Environmental and Water Resources Congress 2011: Bearing Knowledge for Sustainability, ASCE 2011*, 1924–1933. [https://doi.org/10.1061/41173\(414\)251](https://doi.org/10.1061/41173(414)251)
- Todeschini, S., Papiri, S., & Ciaponi, C. (2012). Performance of stormwater detention tanks for urban drainage systems in northern Italy. *Journal of Environmental Management*, 101(December 2003), 33–45. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.02.003>
- Wijesiri, B., Egodawatta, P., McGree, J., & Goonetilleke, A. (2016). Assessing uncertainty in stormwater quality modelling. *Water Research*, 103, 10–20. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.07.011>
- Willis, R. M., Stewart, R. A., Giurco, D. P., Talebpour, M. R., & Mousavinejad, A. (2013). End use water consumption in households: impact of socio-demographic factors and efficient devices. *Journal of Cleaner Production*, 60, 107–115. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.08.006>
- XM. (2016). Capacidad efectiva por tipo de generación. Xm. Retrieved from <http://paratec.xm.com.co/paratec/SitePages/generacion.aspx?q=capacidad>
- XM. (2019). Capacidad efectiva por tipo de generación. Xm. Retrieved from <http://paratec.xm.com.co/paratec/SitePages/generacion.aspx?q=capacidad>
- Yuan, Z., Liang, C., & Li, D. (2018). Urban stormwater management based on an analysis of climate change : A case study of the Hebei and Guangdong provinces. *Landscape and Urban Planning*, 177(December 2017), 217–226. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2018.04.003>