

**SIMULACIÓN DEL CICLO URBANO DEL AGUA EN LA UPZ 62 DE LA
LOCALIDAD TUNJUELITO DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ DC.**

LIXCELOREEN GOMEZ HERNANDEZ

KAREN VIVIANA MORA CABRERA

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
DIVISION DE INGENIERÍAS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
BOGOTA D.C.**

2016

**SIMULACIÓN DEL CICLO URBANO DEL AGUA EN LA UPZ 62 DE LA
LOCALIDAD TUNJUELITO DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ DC.**

LIXCELOREEN GOMEZ HERNANDEZ

KAREN VIVIANA MORA CABRERA

**Trabajo de tesis para optar por el título de Ingeniero Ambiental
Modalidad: Solución de un problema de Ingeniería**

Director, Carlos Andrés Peña Guzmán

Ingeniero Ambiental.

Magister en Hidrosistemas

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS

DIVISION DE INGENIERÍAS

FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL

BOGOTA D.C.

2016

PÁGINA DE ACEPTACIÓN

Nota de aceptación

Presidente del jurado

Jurado

Jurado

Bogotá, D.C. del 2016

Contenido

RESUMEN	7
ABSTRACT.....	7
1. INTRODUCCION	8
2. JUSTIFICACIÓN	10
3. OBJETIVOS	13
4. MARCO TEÓRICO.....	14
4.1 CICLO DEL AGUA.....	14
4.1.1 Sistema Hidrológico:	¡Error! Marcador no definido.
4.2 CICLO URBANO DEL AGUA	16
4.3 COMPONENTES DEL CICLO URBANO DEL AGUA.....	¡Error! Marcador no definido.
4.3.1 Fuentes de Agua:.....	¡Error! Marcador no definido.
4.3.2 Abstracciones Hidrológicas:	¡Error! Marcador no definido.
4.3.3 Almacenamiento de agua:	¡Error! Marcador no definido.
4.3.4 Escorrentía de aguas pluviales:	21
4.4 UVQ.....	¡Error! Marcador no definido.
5. MARCO NORMATIVO	26
5.1 Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico (2010)	26
5.2 Resolución 2115 de 2007	26
5.3 Convenio 487 de 2014	29
5.4 Decreto 1076 de 2015	29
5.5 Resolución 631 de 2015	30
5.6 Resolución 3957 de 2009	31
6 METODOLOGÍA.....	32
6.1 Identificar y cuantificar las variables a utilizar para la debida simulacion	32
6.2 Calibración.....	2
6.3 Metodología Escenarios	4
7 DESARROLLO CENTRAL.....	7

7.1	Resultados de la Simulación	7
7.2	Resultados Escenarios de Recolección de agua Lluvia.	12
7.3	Resultados Escenarios Tratamiento Agua Gris.....	7
8	IMPACTO SOCIAL.....	8
9	CONCLUSIONES.....	11
10	RECOMENDACIONES	12
	Bibliografía.....	¡Error! Marcador no definido.

Tabla de Tablas

Tabla 1	Comparación de software para la simulación del ciclo urbano del agua ..	12
Tabla 2	Características Físicas	27
Tabla 3	Características Químicas de que tienen efecto adverso en la salud humana	27
Tabla 4	Características Químicas de que tiene implicaciones sobre la salud humana	28
Tabla 5	Características Microbiológicas.....	28
Tabla 6	Límites máximos permisibles vertimientos curtiembres.....	31
Tabla 7	Variables UVQ.....	1
Tabla 8	Comparación de datos	8
Tabla 9	Porcentaje de Error	3
Tabla 10	Datos obtenidos con ArcGIS	7
Tabla 11	Variables de consumo por Literatura.....	9
Tabla 12	Balance de masa de agua Modelo 2	10
Tabla 13	Remoción de contaminantes Filtro de Suelo	7
Tabla 14	Carga de los contaminantes.....	9
Tabla 15	Concentración de contaminantes	9
Tabla 16	Tabla de resultados escenario3 por industria.....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 17	Comparación con la norma	9

Tabla de Mapas

Mapa 1	Uso de Suelo UPZ 62	Mapa 2	Cuenca Sanitaria.....	2
Mapa 3	Red Local Sanitaria.....			3
Mapa 4	Cluster por Uso de Suelo y Cuenca Sanitaria			4

Mapa 5 Manzanas Por Clúster ; Mapa 6 Vías Por Clúster ...**¡Error! Marcador no definido.**

Mapa 7 Estaciones Climatológicas IDEAM 7

Tabla de figuras

Figura 1 Sistema Hidrológico	14
Figura 2 Ciclo Urbano del Agua	17
Figura 3 Componentes del ciclo urbano del agua	18
Figura 4 Escorrentía antes y después de la Urbanización	21
Figura 5 Marco UVQ para sistemas convencionales.....	24
Figura 6 Volumen Urbano	25
Figura 7 Representación De Land block, neighbourhood y study area	1
Figura 8 Filtro de Suelo inclinado a escala.....	5

Tabla de Gráficas

Gráfica 1 Comparación Precipitación Anual.....	9
Gráfica 2 Datos Faltantes.....	9
Gráfica 3 Datos con método de interpolación.....	10
Gráfica 4 Comparación de smoothing	¡Error! Marcador no definido.
Gráfica 5 Smoothing.....	¡Error! Marcador no definido.
Gráfica 6 Metodologías de relleno de datos.....	8
Gráfica 7 Consumo de agua Modelo 1.....	10
Gráfica 8 Consumo de Agua Modelo 2	10
Gráfica 9 Consumo de agua por secciones de la casa Modelo 1.....	11
Gráfica 10 Consumo de agua por secciones de la casa Modelo 2.....	12
Gráfica 11 Escorrentía Aguas Pluviales Clúster Industrial	13
Gráfica 12. Agua Consumida Clúster Industria	13
Gráfica 13 Descarga Agua Residual Clúster Industrial	2
Gráfica 14. Escorrentía Aguas Pluviales Clúster Residencial Modelo 1.....	3
Gráfica 15 Agua consumida Clúster 2 Residencial Modelo 1.....	3
Gráfica 16 Descarga de Agua Residual Clúster 2 Residencial Modelo 1.....	4
Gráfica 17 Escorrentía Aguas Pluviales Área de Estudio Modelo 2	5
Gráfica 18 Agua Consumida Área de Estudio Modelo 2	5
Gráfica 19 Descarga Agua Residual Área de Estudio Modelo 2	6
Gráfica 20 Agua Consumida Esc2 Modelo 1.....	8
Gráfica 21 Agua Consumida Esc2 Modelo 2.....	8

Gráfica 22 Agua Consumida Clúster IndustrialEc3.....	9
--	---

RESUMEN

El comportamiento del agua de una zona no urbanizada a una zona urbanizada es diferente, debido a la intervención del hombre al momento en el que se construye un asentamiento urbano, genera un impacto negativo en las variables del ciclo del agua como la esorrentía, precipitación, etc., añadido a ello se agregan componentes al ciclo natural del agua como la captación, tratamiento, sistema de distribución, convirtiéndolo en un ciclo urbano del agua. Frente a esto se observa la necesidad de estudiar el comportamiento del agua dentro de este nuevo ciclo que se forma. Para poder ser estudiado se decide realizar una simulación del ciclo urbano del agua con el programa UVQ, el cual nos permite realizar la simulación. Esta se realizara para un sector de la ciudad de Bogotá que es la UPZ 62 “Tunjuelito”, esta zona es escogida debido a que tiene los diversos usos de suelo que se tiene en la ciudad y de esta forma se busca, conocer el comportamiento del agua dentro de ella. Para finalizar se realizan propuestas para la gestión del recurso hídrico llamados escenarios, donde se permite analizar dentro del ciclo urbano del agua cual serían las diferencias de consumo, eficiencias de remoción de contaminantes y cambios en otras variables según el tipo de tecnología y tratamiento que se esté aplicando.

Palabras Claves: UVQ, Ciclo Urbano, recolección agua lluvia

ABSTRACT

The behavior of the water from a rural area to an urban area is different, due to the intervention of man at the time an urban settlement, was built in which generates a negative impact in the variables of the cycle of the water as runoff, precipitation, etc., added to it components are added to the natural cycle of water as the catchment, treatment distribution system into a urban water cycle. Against this there is need to study the behavior of water within this new cycle that forms. To be able to be studied was decided to perform a simulation of the urban water cycle, with the uvq virtual learning program which allows us to perform the simulation. This will be for a sector in the city of Bogota which is the UPZ 62 "Tunjuelito", this area is chosen since it has different uses of soil which is in the city and thus seeks to, know the behavior of the water within it. Finally there are proposals for the management of the allegations water named scenario, where is allowed to scan inside the urban water cycle which

would be the differences in consumption, pollutant removal efficiencies and changes in other variables according to the type of treatment that is this by applying.

Keywords: UVQ, Urban Cycle, rainwater harvesting

1. INTRODUCCION

La urbanización es uno de los fenómenos antrópicos que se está intensificando en todo el mundo, se afirma que dentro de 30 años dos tercios de la población mundial vivirán en las ciudades. Desde años atrás se han identificado cuales son los efectos colaterales que conlleva esta construcción masiva en estas zonas, evidenciando cambios principalmente en fenómenos meteorológicos, hidrológicos y socio ambientales. Uno de los recursos que se ve más afectado es el recurso hídrico, donde se enfrentan problemas como pérdidas de suelo, cambios en los microclimas (precipitación, evapotranspiración, escorrentía, etc.) entre otras variables que son agregadas por la urbanización como incremento en la demanda de agua y vertimientos de aguas residuales. Todo esto evidencia que el ciclo del agua natural se está viendo afectado transformándose en el ciclo urbano del agua. En la transformación es necesario conocer cuál es la dinámica del agua, como se ve afectada e identificar las variables que pertenecen al ciclo urbano del agua. Todo con el propósito de lograr una gestión del recurso hídrico, minimizando impactos y contribuyendo a mejorar calidad de vida en estas zonas.

Este trabajo tuvo el propósito de conocer el ciclo urbano del agua por medio de una simulación del año 2014 y la implementación de escenarios de gestión del recurso hídrico. En esta, se utilizó un software de última generación llamado UVQ hecho en Australia, en el cual primeramente se debía presentar la zona de estudio: esta zona escogida fue la UPZ 62 debido a su variedad en usos de suelo; posterior a esto se tuvo que fraccionar el sector respecto a su cuenca de drenaje: esta zona cuenta con dos cuencas de drenaje distintas lo cual obligó a dividir la zona en dos modelos diferentes.

En cada uno de los modelos el software exigía un gran número de variables físicas, químicas y de consumo las cuales se obtuvieron por distintos medios, como lo fueron el programa ArcGis, literatura nacional, literatura internacional y distintas bases de datos obtenidas por parte de entidades públicas.

Se realiza la simulación y se implementan 3 tipos de escenarios dentro de la zona, el primer escenario se trata de la recolecta de agua lluvia, el segundo escenario trata de reutilización de agua gris con su respectiva remoción de

contaminantes domésticos y el tercer escenario es el tratamiento de aguas residuales industriales y su posible reúso.

En los resultados se evidencia cual es el balance general de masa de agua, también se muestra cómo se comporta el consumo de agua en cada una de las partes de la casa y consumo general de agua en cada uno de los modelos. También se evidencia que dentro de los escenarios propuestos el más viable y que genera mayor ahorro frente al consumo de agua potable, fue el escenario de recolecta de agua lluvia.

Frente a los escenarios de remoción de contaminantes de agua gris se evidenció que el filtro de suelo inclinado es uno de los tratamientos con mayores porcentajes de remoción además de uno de los tratamientos más económicos para su implementación; no se encontró normativa nacional para reúso de aguas grises en zonas residenciales por tanto no habían valores mínimos de los contaminantes, se encuentra legislación extranjera pero debido a que esta es muy restrictiva, hace obligatorio la implementación de varios sistemas de tratamiento, volviendo el escenario insostenible económicamente. Y por último frente al escenario de remoción de contaminantes de aguas de uso industrial se implementó uno de los más sencillos y baratos el cual es la coagulación removiendo en un 99% uno de los contaminantes más peligrosos que en este caso es el Cromo.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La urbanización ha generado una gran variedad de problemas ambientales que los vamos a clasificar como:

Impactos ecológicos

La mayoría de las actividades antrópicas generalmente causan pérdida de hábitats, el desarrollo urbano es una de las actividades que tiene mayor tasa de extinción de ecosistemas locales y pérdida de especies nativas. A diferencia de la agricultura la urbanización genera que la pérdida del hábitat sea duradera además de su posible expansión generando impacto en los ecosistemas de alrededor. [1]

Impactos hidrológicos

Aumento de la Impermeabilidad el cual es un indicador importante del impacto de la urbanización en los sistemas de aguas pluviales, como se demuestra en el estudio realizado en Miami donde se realizó un análisis hidrológico para evaluar los impactos a largo plazo de una zona de apartamentos. El resultado muestra que el área impermeable directamente conectado (DCIA), que cubre 44% de la captación, contribuye 72% del volumen total de escorrentía durante 52 años [2], esta impermeabilidad genera una serie de impactos negativos sobre los recursos hídricos, tales como el aumento de las puntas de crecida y la frecuencia, el aumento de sedimentos, nutrientes, y los niveles de contaminación, la erosión del cauce, y el tiempo de recarga al agua subterránea (Centro de Protección de la Cuenca, 2003) [3]

Impactos ambientales

Se evidencia que la escorrentía de aguas pluviales de las vías urbanas a menudo contiene cantidades significativas de elementos metálicos y sólidos. Estos elementos se generan principalmente de las actividades relacionadas con el tráfico, en un estudio realizado en Cincinnati en el año de 1995 se tomaron muestras de la

calidad del agua de escorrentía y se evidencio la presencia de Zn, Cd, Cu, Pb y Fe [4]. en otro estudio realizado en Macao en el año 2005 se muestran que la TN y DQO son los principales contaminantes de la escorrentía superficial con la concentración media de 8,5 y 201,4 mg / L, tanto más de 4 veces mayor en comparación con el estándar de calidad de agua superficial Clase V desarrollado por China SEPA. [5]

Varios autores han reportado estos impactos, Owens y Walling (2002) encontraron mayor cantidad de fósforo total en sedimentos en una cuenca urbanizada con respecto a una cuenca rural. Rose y Peters (2001) encontraron que en estas zonas aumentan desde un 30% hasta un 100% el caudal pico de escorrentía. Para Bertrand-Krajewski et al., (1998) los niveles de contaminación de la escorrentía es mucho mayor y este fenómeno se denomina primer lavado (first flush).

Este proyecto se realizará en la UPZ 62 de la localidad de Tunjuelito, donde se encuentran varias de las características generales que comparte la ciudad en las diferentes zonas: industrial, residencial y comercial. Donde se han evidenciado diferentes problemáticas frente a la gestión del recurso hídrico, ejemplo claro es en 1996 [6] y 2002 donde se han dado algunas de las inundaciones más fuertes en la ciudad. El caudal del río Tunjuelo creció 150 veces, rebosó los sistemas de contención de Usme, se desbordó en la cuenca media, en la zona de explotación minera de Tunjuelito y tapó hasta tres metros de altura 600 casas, muchas de las cuales siguen deshabitadas y sin valor comercial. [7]

En la zona industrial de la UPZ, en el barrio San Benito, es donde ocurre la mayor contaminación del río Tunjuelito por parte de las curtiembres que allí se desarrollan. Demostrando esto, en el año 2010 se le impuso una pena de cárcel de 30 meses y una multa de 1.287 millones de pesos al dueño de una curtiembre llamado Julio Alberto Lizarazu por la gran contaminación que aportaba esta al río. [8]

Dadas estas condiciones vemos que es una de las UPZ más completas para analizar, utilizando todas las capacidades que nos brinda el programa en el que se va a realizar la simulación (UVQ). Dando evidencia de los diferentes escenarios que se pueden desarrollar en la zona y con la posibilidad de mostrar las diferentes alternativas de variabilidad para dar soluciones.

3. JUSTIFICACIÓN

Como se evidenció dentro de la UPZ 62 existen varios problemas frente a la gestión del recurso hídrico en todas sus etapas. Por tanto se decide realizar la simulación del ciclo urbano del agua en este sector, para de esta forma analizar las variables que afectan el ciclo del agua. El beneficio principal de realizar la simulación del ciclo urbano es observar y comprender cuál es el comportamiento del agua dentro de una zona urbana, también permite hacer diferentes escenarios frente a la gestión del recurso hídrico.

Para realizar la simulación, se requiere hacer una revisión de los softwares existentes en el mercado para hacer simulaciones y que este cumpla con los requerimientos técnicos para lograr ver el comportamiento del agua en este ciclo. En la tabla 1 se evidencia la comparación del softwares que simulan el ciclo urbano del agua.

Tabla 1 Comparación de software para la simulación del ciclo urbano del agua

Modelo	Escala Espacial				
	Lote	Barrio	Suburbio	Ciudad/Pueblo	Región
Mike Urban		X	X	X	X
Hydro Planner				X	X
WaterCress	X	X	X	X	
Aquacycle	X	X	X	X	
UVQ	X	X	X	X	
Krakatoa		X	X	Únicamente captación	
UrbanCycle	X	X	X		

Fuente: [9]

Se tiene en cuenta que la mayoría de los softwares buscados realizan un balance de masa hídrico y agregado a esto solo UVQ maneja balance de masa de contaminantes. [10] También en la tabla se evidencia que directamente WaterCress y UVQ son los únicos programas que pueden manejar con diferentes escalas espaciales simulando un ciclo urbano del agua más completo.

En este proyecto se utilizara el programa UVQ, ya que es uno de los programas más completos que han salido al mercado, su utilización es sencilla, tiene la mayoría

de variables que se requieren para analizar el ciclo urbano del agua y en este momento es un software gratuito: agregado a esto el programa permite simular diferentes escenarios de gestión del recurso demostrando así cuáles serán los cambios en las variables y el comportamiento de las mismas al ser implementado, ayudando a la toma de decisiones en la gestión del recurso hídrico.

4. OBJETIVOS

GENERAL

Simular el ciclo urbano del agua en la UPZ 62 de la localidad de Tunjuelito. Para la gestión del recurso hídrico, con el fin de observar cual es el comportamiento del ciclo urbano del agua

ESPECIFICOS

- Identificar y cuantificar las variables a utilizar para la debida simulación del ciclo urbano del agua.
- Calibrar el modelo con las variables y datos recolectados
- Simular el ciclo urbano del agua mediante el software UVQ.
- Proponer escenarios para la gestión del recurso hídrico.

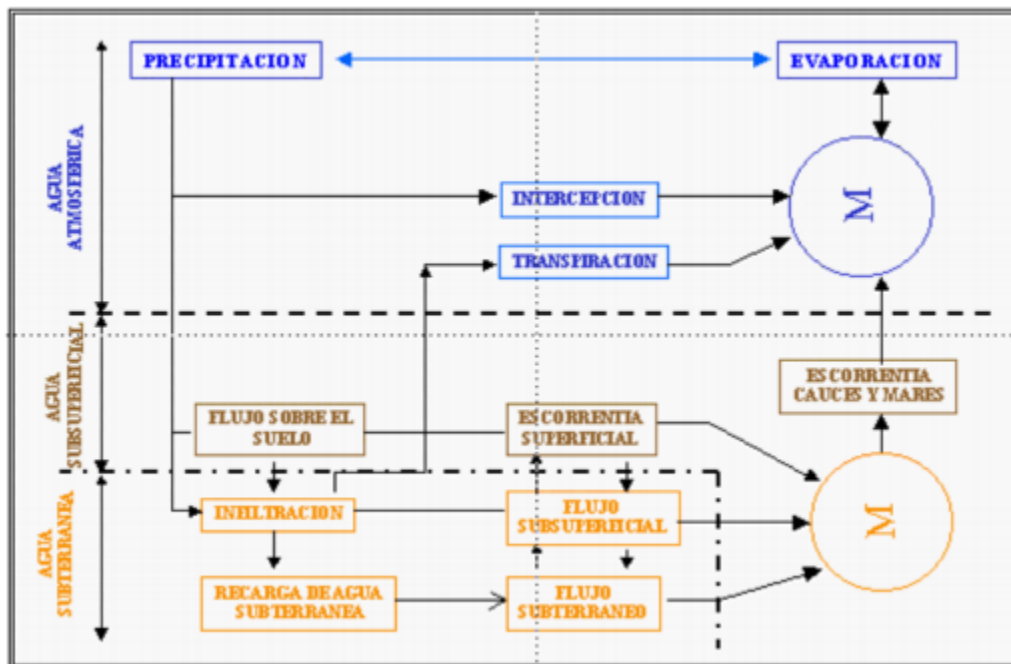
5. MARCO TEÓRICO

El proyecto que se está describiendo dentro de este trabajo hace que sea necesario tener conceptos básicos acerca del comportamiento del agua antes y después de la urbanización, a continuación se hará una breve descripción de estos conceptos.

5.1 CICLO DEL AGUA

Es la sucesión de etapas que atraviesa el agua mediante un proceso de transporte circulatorio y permanente en la hidrosfera, litosfera y atmósfera. Dentro del ciclo del agua se presentan diferentes fenómenos donde el agua se puede presentar en sus tres estados de materia líquido (precipitación y escorrentía), sólido (condensación) y gaseoso (evaporación). [11]

Figura 1 Sistema Hidrológico



Fuente: [11]

La ilustración 2 evidencia cuales son las etapas principales del sistema hidrológico mostrando su interconexión y presentando como se daría el balance de agua en el ciclo como tal. Cada una de las etapas presenta una gran importancia en el ciclo, para poder entender cuál es la interconexión que existe realmente entre ellos se hace una breve descripción a continuación.

a) Precipitación: Se denomina precipitación, a toda agua meteórica que cae en la superficie de la tierra tanto en forma líquida (llovizna, lluvia, etc.), sólida (nieve, granizo, etc.) y de manera oculta como lo es el rocío y las heladas. [11] La precipitación se da cuando las nubes se forman por el enfriamiento del aire por debajo de su punto de saturación. El enfriamiento que se presenta tiene lugar a varios procesos que conducen al ascenso adiabático con el consiguiente descenso de presión y descenso de temperatura. La cantidad de precipitación y la intensidad con la que esta se dé, depende netamente de la humedad que contenga el aire y la velocidad vertical del mismo [12]. Debido a esto la precipitación tiene distintos tipos:

- ❖ Precipitación Convectiva: Su origen radica en la inestabilidad de una masa de aire más caliente que los circunstantes. La masa de aire caliente asciende, se enfría, se condensa y se forma la nubosidad de tipo cumuliforme, origen de las precipitaciones en forma de tormentas o chubascos. . [11]
- ❖ Precipitación frontal o de tipo ciclónico: Se asocian a las superficies de contacto entre la temperatura de la masa de aire, el gradiente térmico vertical, la humedad y de los diferentes frentes. Los frentes fríos crean precipitaciones cortas e intensas. Los frentes calientes generan precipitaciones de larga duración pero no muy intensas. [11]
- ❖ Precipitación Orográfica: Es aquella que tiene su origen en el ascenso de una masa de aire, forzado por una barrera montañosa. [12]

b) Evaporación: Se define como el proceso físico por el cual un sólido o líquido pasa a estar en fase gaseosa. La evaporación del agua en la atmosfera ocurre a partir de superficies de agua libre como océanos, lagos y ríos, de zonas pantanosas del suelo y de la vegetación húmeda. [12] La cantidad y el control de evaporación depende fundamentalmente de los siguientes factores:

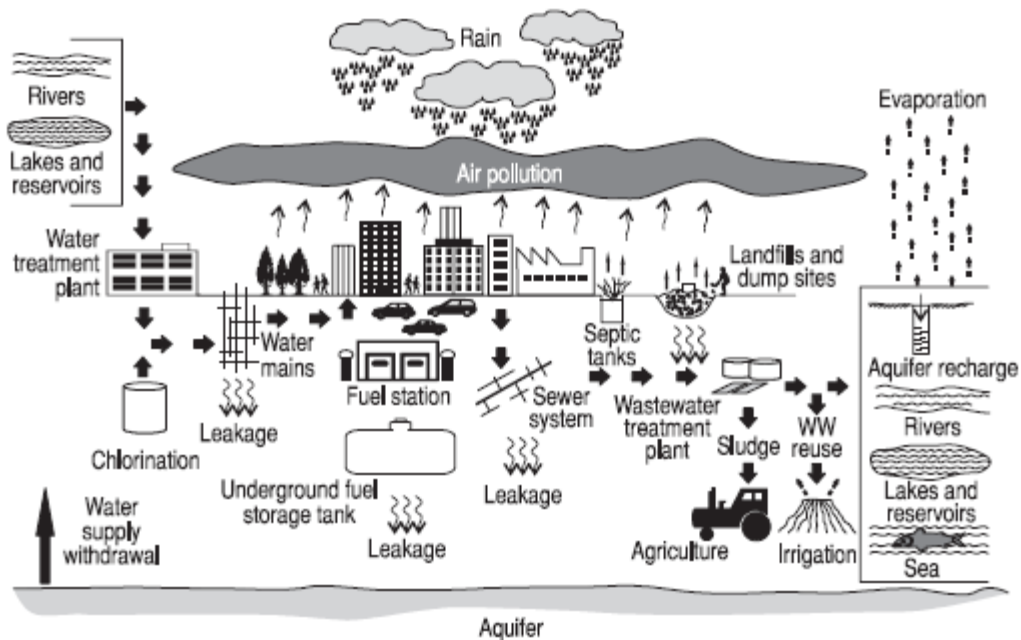
- ❖ Disponibilidad de energía (radiación solar). [12]
- ❖ Capacidad de la atmosfera de recibir humedad. (poder evaporante de la atmosfera). [12]

- ❖ Temperatura del aire: Cuanto mayor sea la temperatura del aire, mayor es presión de vapor de saturación. [12]
 - ❖ Humedad atmosférica: en cuanto es mayor la humedad relativa menor será el déficit de saturación. [12]
 - ❖ Viento: En cuanto es mayor la renovación del aire, esto es el viento, mayor será la evaporación. [12]
- c) Transpiración: Es la evaporación a través de las hojas. El proceso fisiológico de alimentación de las plantas se efectúa mediante el paso de ciertas cantidades de agua y por tanto al ser expulsada por las estomas esta ya se encuentra evaporada. [11]
- d) Infiltración: La infiltración es el movimiento del agua de la superficie hacia el interior del suelo. Del agua filtrada se proveen casi todas las plantas terrestres y animales; alimenta al agua subterránea y a la vez a la mayoría de las corrientes en el periodo de estiaje; reduce las inundaciones y la erosión del suelo. [12]
- e) Escurrimiento: es la parte de la precipitación que aparece en las corrientes fluviales superficiales, perennes, intermitentes o efímeras, y que estas regresan al mar o a los cuerpos de agua interiores. Es el deslizamiento virgen del agua, que no ha sido afectado por actividades antrópicas. Hay diferentes tipos de escurrimiento:
- Escurrimiento superficial o escorrentía: es la parte del agua que escurre sobre el suelo y después por los cauces de los ríos. [12]
 - Escurrimiento sub superficial: Es la parte del agua que se desliza a través de los horizontes superiores del suelo hacia las corrientes. [12]
 - Escurrimiento subterráneo: Es aquel que, debido a una profunda percolación del agua infiltrada en el suelo, se lleva a cabo en los mantos subterráneos y que, posteriormente, por lo general, descarga a las corrientes fluviales. [11]

5.2 CICLO URBANO DEL AGUA

Los efectos combinados de la urbanización, la industrialización, el crecimiento poblacional, afectar los ecosistemas y las cuencas hidrográficas hacen que la dinámica del agua se vea afectada. Al comienzo de la urbanización se tenía la creencia que al implementar estas prácticas no tendrían influencias dentro del ciclo pero este ha sido cambiado por los diferentes impactos generados por la urbanización al momento de tener la necesidad de proveer de agua a la población urbana, incluyendo suministro, drenaje, agua residual y la afectación de estas aguas al cuerpo receptor. [9]

Figura 2 Ciclo Urbano del Agua



Fuente: [13]

5.2.1 COMPONENTES DEL CICLO URBANO DEL AGUA

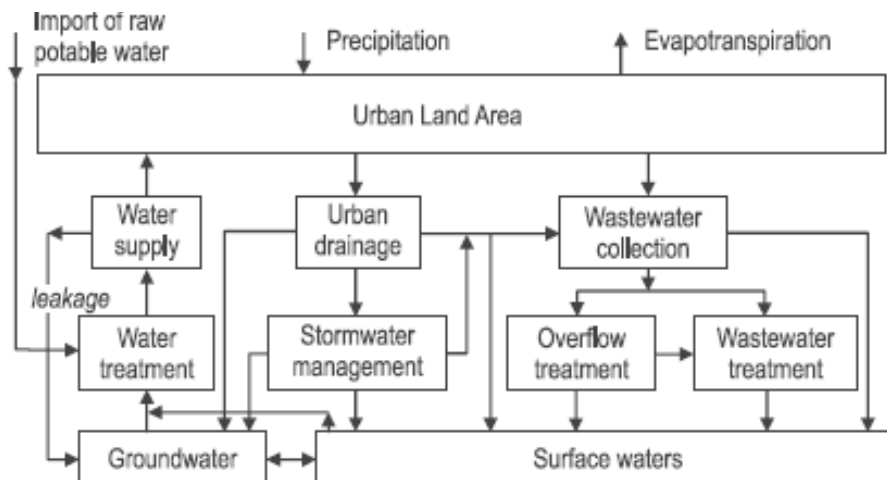
Debido al descubrimiento de estas problemáticas que generan las urbanizaciones anteriormente referenciadas, se realiza la clasificación por etapas en el comportamiento del agua:

- Captación: En esta etapa se toma el agua del medio natural, su origen puede ser superficial o subterráneo. [14] Las zonas urbanas requieren de grandes cantidades de agua para lograr su desarrollo, estas cantidades pueden estar por encima de la capacidad de la cuenca y del precipitado; por tanto se buscan fuentes de agua adicionales que sean necesarias [13], normalmente el agua potable es importada fuera del área urbana, ya sea en la cuenca en la que se encuentra esta zona o de otra cuenca. [13]
La importación de agua en caso especial de otras cuencas hace una gran afectación dentro del ciclo urbano del agua ya que la mayoría de veces el

agua residual es depositada en la cuenca a la que pertenece la zona urbana aumentando y perturbando el flujo normal de la cuenca hidrográfica. [13]

- **Precipitación:** La precipitación urbana se deriva del agua atmosférica, se reconoce que se puede acumular grandes cantidades de agua en las nubes sin precipitado afectados por los procesos de condensación. Entre las diversas causas de la condensación, la más importante es el enfriamiento dinámico o adiabático que es el que produce la precipitación. La condensación del vapor de agua en gotas se produce en los núcleos de condensación, cuya aparición está asociada con la contaminación del aire (que proporciona núcleos de condensación), los patrones de circulación del aire y emisiones de gases efecto invernadero. Se ha demostrado que la precipitación total anual o la velocidad del viento de las grandes ciudades industrializadas generalmente son 5-10% mayor que en las zonas de los alrededores, y para las tormentas individuales el aumento de la precipitación puede llegar a ser un 30% particularmente en las áreas metropolitanas que están en la dirección del viento. [13]

Figura 3 Componentes del ciclo urbano del agua



Fuente: [13]

- **Potabilización:** Después de que el agua es captada debe ser sometida a un tipo de tratamientos químicos y/o físicos para asegurar que las condiciones

del agua que va a ser distribuida en la ciudad tenga la calidad que las autoridades sanitarias exigen para el consumo humano. [14]

Se debe realizar una planta de tratamiento de agua potable donde se hacen diferentes tratamientos como lo son primeramente el desarenador posterior la coagulación, floculación, decantación, filtración y desinfección: ya que el agua la mayoría de veces se toma de un río en su estado natural hay que hacerle previamente un análisis químico para entender que tratamiento se le debe hacer al agua. [15]

- Acueducto: Debido a la urbanización es necesario hacer la implementación de recolección y acondicionamiento de agua para suplir la necesidad de consumo. Esta debe recorrer toda la ciudad a través de tuberías para abastecer a toda vivienda, escuela, hospital, industria, etc. [14]

El diseño, construcción y administración del acueducto debe planificarse estrictamente en búsqueda de que el agua este apta para consumo humano. Para esto es necesario calcular debidamente la presión, la velocidad, el tamaño y ubicación de las tuberías, estudios topográficos y obras de concreto como tanques de almacenamiento y captaciones. Debido a todas las variables anteriores los acueductos tienen distintos tipos: acueducto por gravedad donde el sistema de potabilización está en un nivel más alto que la población por ende el agua baja por efectos de la gravedad y acueducto por bombeo donde se utilizan bombas para lograr que el agua llegue a los tanques de almacenamiento o como tal a distribución. [16]

- Alcantarillado: Una vez el agua es utilizada, esta pasa a ser agua residual y es recogida por el alcantarillado de la ciudad. En este sentido también por medio del alcantarillado es recogida el agua lluvia para conducir las hasta las estaciones depuradoras. [14] Los sistemas de alcantarillado son sistemas con tuberías de grandes diámetros que permiten una gran flexibilidad en la operación del sistema, debida en muchos casos a la incertidumbre de en los parámetros que definen el caudal como lo son la densidad poblacional y su estimación futura, mantenimiento inadecuado o nulo. Hay dos tipos de alcantarillado, el convencional que es el alcantarillado básico igualmente dividido en dos como lo es el sistema de alcantarillado separado en el cual se independizan las descargas de agua pluvial y agua residual; y el sistema de alcantarillado combinado el cual conduce simultáneamente las aguas residuales y las aguas pluviales. Y el alcantarillado no convencional es una respuesta de saneamiento básico de poblaciones de bajos recursos económicos, son sistemas poco flexibles, que requieren mayor control de los

parámetros de diseño, en especial el caudal, mantenimiento intensivo algunos tipos de alcantarillado no convencional son alcantarillado simplificado, alcantarillado condominiales y alcantarillado sin arrastre de sólidos. [17]

- Depuración: la depuración de las aguas residuales consiste en eliminar las impurezas que se han acumulado al momento del uso del agua potable. Este procedimiento se da previo a que el agua sea retornada al medio natural buscando así reducir al mínimo los riesgos ambientales. [14]

En este ítem se relaciona la construcción de una planta de tratamiento de agua residual donde se realizan distintos procesos químicos, físicos y biológicos en busca de disminuir al máximo la descarga de contaminantes en masa. Dependiendo de los contaminantes se debe escoger los tratamientos a los que se debe someter el agua residual. [18]

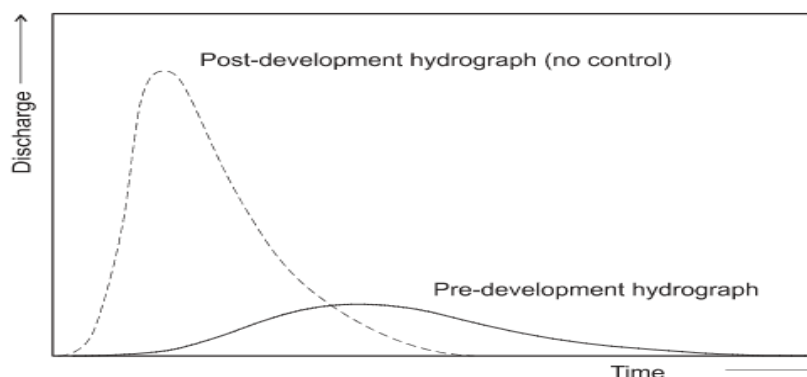
- La evaporación y evapotranspiración: La evaporación es el proceso que ocurre a lo largo de aire-agua o interface aire-suelo, donde el en estado sólido o líquido se transforma en vapor de agua que escapa hacia la atmósfera. Las tasas altas de consumo de energía y las altas temperaturas del aire que presentan las ciudades contribuyen a mayores tasas de evaporación en las zonas urbanas. La transpiración es el proceso de vaporización de agua en la superficie de las hojas de una planta. Por simplificación catiónica, el proceso de transpiración y evaporación se combinan, haciendo que suceda el fenómeno de evapotranspiración. El uso del suelo en las zonas urbanas conducen a un espacio reducido para las zonas verdes minimizando el fenómeno de transpiración en estas áreas. La evaporación y evapotranspiración son importantes para el desarrollo del balance hídrico que durante el desagüe pluvial ambas abstracciones son bastante pequeñas. [13]
- Infiltración: es el proceso del movimiento del agua en el suelo por gravedad y capilaridad efectiva. A través de este proceso los acuíferos poco profundos se recargan contribuyendo al flujo fluvial durante periodos secos. En comparación con los espacios naturales, las tasas de infiltración disminuyen en áreas urbanas debido a los siguientes factores: aumento de la impermeabilidad de las cuencas urbanas, la compactación de los suelos y presencia de un sistema de drenaje artificial que proporciona la eliminación de agua estancada, sin permitir el tiempo suficiente para infiltrarse en el suelo. Contribuyendo a la disminución de tasas de infiltración por tanto se

reduce la recarga de aguas subterráneas y aumento de tasas de escorrentía superficial. [13]

- Humedad del suelo: Gran parte de las zonas urbanas están cubiertas las superficies por materiales impermeables reduciendo las áreas permeables, disminuyendo infiltración y evapotranspiración. Otro factor que afecta la humedad del suelo en zonas urbanas es la eliminación de la capa superficial durante el desarrollo de las construcciones y los cambios de la estructura general del suelo, disminuyendo la humedad de suelo y generando mayor necesidad de riego. [13]
- Aguas subterráneas urbanas: la urbanización no solo afecta las aguas superficiales sino la calidad y la cantidad de las aguas subterráneas. Estas aguas pueden ser caracterizadas de acuerdo a su distribución vertical en dos zonas la zona de aireación y la zona de saturación. Se identifica que los problemas de aguas subterráneas urbanas varían dependiendo del clima, la zona urbana, actividades de uso de la tierra, las prácticas ambientales y otras características locales. [13]
- Escorrentía de aguas pluviales: Los cambios de régimen de la escorrentía representan uno de los impactos más significativos de la urbanización afectándola de tres maneras diferentes:
 - Mediante el aumento de los volúmenes de escorrentía debido a la reducción de la infiltración de agua lluvia y evapotranspiración
 - Mediante la velocidad de escurrimiento, debido a las mejoras hidráulicas de transporte en canales [13]
 - Mediante la reducción del tiempo de respuesta de captación y de ese modo aumentar al máximo la intensidad de la lluvia provocando una escorrentía máxima. [13]

En general la magnitud de los aumentos, depende de la frecuencia de las tormentas, clima, condiciones fisiográficas de captación (suelo, grado de impermeabilidad, etc.) A continuación se presentan un hidrograma de escorrentía donde se muestran los efectos que ha tenido el desarrollo y la urbanización frente a la escorrentía normal del ciclo del agua.

Figura 4 Escorrentía antes y después de la Urbanización



Fuente: [13]

5.3 Gestión Integrada de las corrientes urbanas

El drenaje urbano es un concepto muy antiguo, con un enfoque principal de conducir el agua residual lo más lejos posible de las áreas urbanas. En las últimas décadas la idea de drenaje ha evolucionado lo que provocó la creación de conceptos para obtener un análisis de este más integral. A continuación se presentan algunos de estos conceptos y estrategias de control que ya hacen parte del ciclo urbano del agua:

- **Desarrollo de bajo impacto:** el enfoque de este desarrollo es minimizar el costo de la gestión de aguas pluviales mediante la adopción de enfoque “en la naturaleza”. Este desarrollo controla los escurrimientos generados por una tormenta desde su fuente, esto sucede al ir dejando áreas reservadas que minimicen el impacto hidráulico hacia aguas abajo mediante retenciones temporales. Esto se logra integrando funciones hidrológicas (control de volumen, frecuencia, recarga y descarga) usando cuatro principios de manejo. El primero minimiza los impactos al reducir la impermeabilidad, conservando los recursos naturales y manteniendo los drenajes naturales. El segundo, provee un sistema de micro reservorios de retención temporal de escurrimientos. El tercer principio radica en mantener y en lo posible aumentar el tiempo de la concentración de la cuenca en estado pre antrópico, al controlar los tiempos de flujo. Y el cuarto usar programas educativos con medidas de prevención de riesgos ambientales. [19]
- **Diseño urbano sensible al agua:** este diseño sirve gestionar el balance hídrico (teniendo en cuenta los caudales de aguas subterráneas y, junto con los daños de las inundaciones y la erosión fluvial), mantener y mejorar en lo posible la calidad del agua (incluidos los sedimentos, la protección de la

vegetación de ribera, y reducir al mínimo la exportación de contaminantes a la superficie y las aguas subterráneas), fomentar la conservación del agua (minimizando la importación de suministro de agua potable, a través de la recolección de agua de lluvia y el reciclaje de aguas residuales) y mantener las oportunidades ambientales y recreativas relacionadas con el agua. [19]

- Gestión integrada del agua urbana: este considera todas las partes del ciclo del agua, natural y construido, superficial y sub superficial, reconociéndolas como un sistema integrado, también considera todos los requisitos para el agua, tanto antropogénicos como ecológicos, y tiene en cuenta el contexto local, que representa el punto de vista ambiental, social, cultural y económico, lucha por la sostenibilidad, con el objetivo de equilibrar las necesidades ambientales, sociales y económicos en corto, mediano y largo plazo. [19]
- Sistema de drenaje urbano sostenible: este sistema consiste en una serie de tecnologías y técnicas utilizadas para drenar el agua de la superficie de una manera que es posiblemente más sostenible que las soluciones convencionales. Se basan en la filosofía de replicar lo más cerca posible el drenaje natural de pre-desarrollo de un sitio previo a la urbanización. Por lo general, se configuran como una secuencia de prácticas y tecnologías que funcionan conjuntamente para formar un tren de gestión de aguas pluviales. [19]

5.4 UVQ

El programa UVQ es una herramienta donde se implementa un balance de aguas urbanas y análisis de balance de contaminantes desarrollándose para los siguientes propósitos:

- Analizar como el agua y los contaminantes fluyen a través de la zona urbana. [20]
- Examinar los flujos desde la recolección a la deposición de agua.
- Identificar y destacar las interconexiones del suministro de agua, agua pluvial y el sistema de agua residual. [20]
- Además de proporcionar una herramienta para investigar cómo se podrían implementar prácticas no tradicionales en el ciclo urbano del agua. [20]

Inicialmente este programa fue desarrollado para apoyar el sistema de evaluación de un sistema de agua urbana alternativo, identificando diferentes escenarios en etapa de factibilidad del programa de agua urbana CSIRO. Dentro de este programa

CSIRO ya se manejaba el software AQUACYCLE, pero este carecía en parte de la extensión del modelo del balance hídrico ya que le faltaban algunas vías de flujo de agua además del modelo del balance de contaminantes. Por tanto el software UVQ comprende dos componentes principales. El modelo de balance de flujo de agua que calcula los flujos de agua a través de un sistema de agua urbana; y el modelo de balance de contaminantes que calcula cargas y concentraciones de contaminantes a lo largo de un sistema de agua urbana. [20]

Existen varios software para la simulación del ciclo urbano del agua, pero estos están viendo a los sistemas naturales y al sistema antrópico como entidades separadas; teniendo en cuenta solamente el ciclo del agua sin ver en qué forma interactúan estos dos sistemas. UVQ integra todas las redes en un marco único bajo algoritmos y rutinas conceptuales, proporcionando una visión holística e integrada del ciclo urbano del agua. [20]

A continuación se muestra los flujos de agua y flujos de contaminantes que representa el modelo. [20]

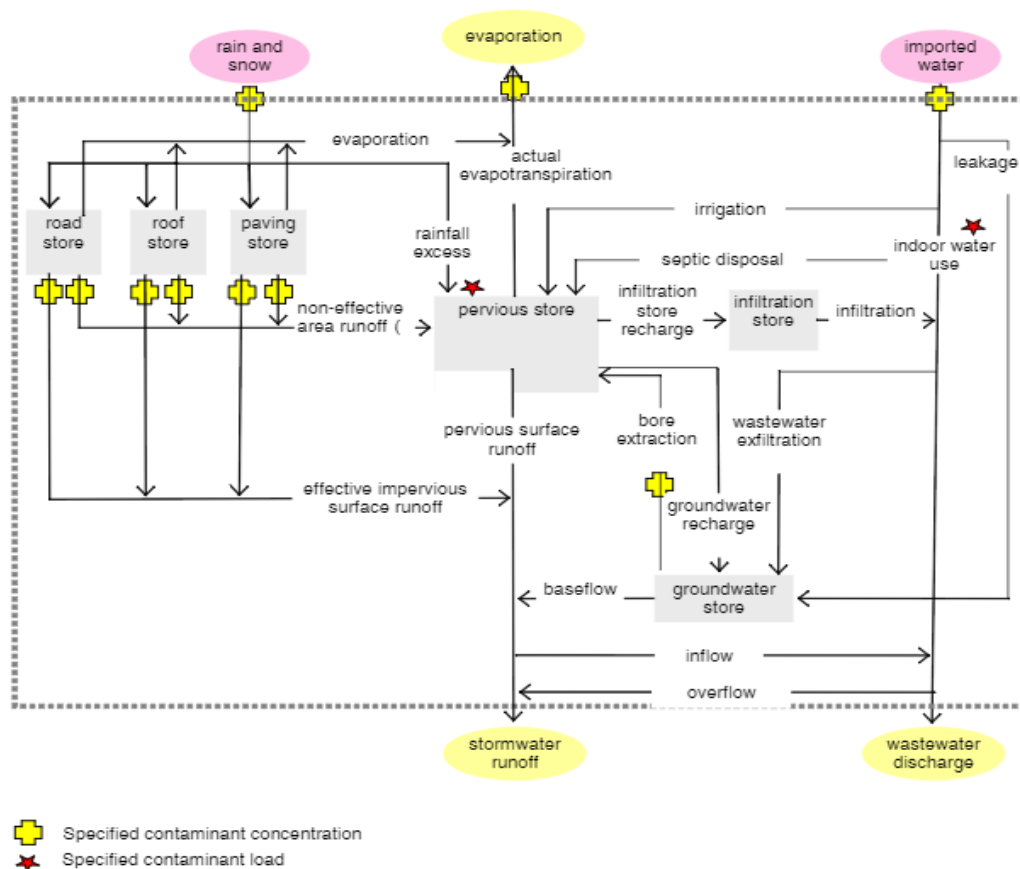


Figura 5 Marco UVQ para sistemas convencionales

Fuente: [20]

La técnica de balance de agua fue descubierta en 1940 y 1950 por Thornthwaite y Mather para evaluar la importancia de los diferentes parámetros hidrológicos bajo una variedad de condiciones, como por ejemplo para obtener información en periodos de exceso de humedad y déficit de agua. En los últimos cuarenta años, el método se ha convertido en un modelo detallado de balance de agua tomándolo desde diferentes conceptos. En lo que respecta a UVQ el balance de agua se define como la evaluación completa de las entradas, salidas y movimientos de agua dentro de un área urbana. [20]

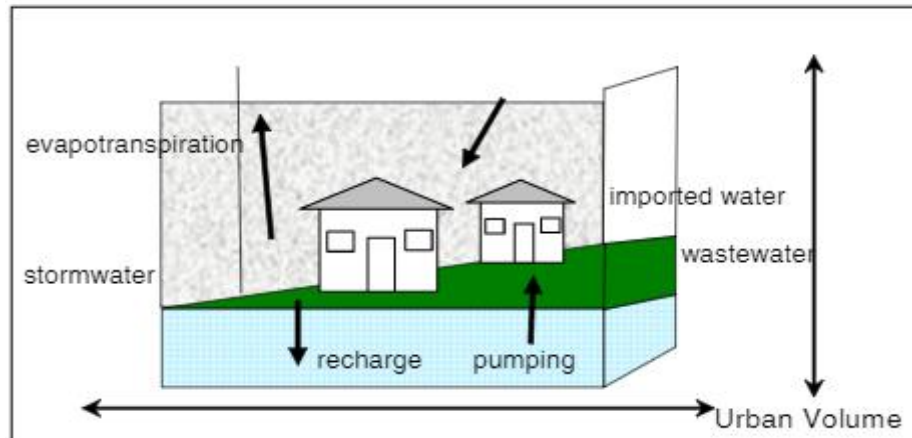
Mientras que hay un sin fin de software desarrollados para predecir el movimiento de contaminantes en zonas rurales o de las zonas urbanas a sub-superficie o cursos de aguas abiertas, pocos se centran en el seguimiento de los contaminantes de origen hídrico en el ambiente urbano y los impactos que genera el flujo contaminado que pueden llegar a ser vertidos al subsuelo, a los cursos de agua abierto, así como a las plantas de tratamiento de agua residual. [20]

UVQ tiene en cuenta aspectos de calidad de agua, la cantidad de agua también proporciona un método para el seguimiento de los contaminantes del agua asociado a través del medio ambiente urbano. [20]

UVQ simula un sistema de agua urbana integrada, estimando la carga contaminante y el volumen de los flujos de agua a través de los sistemas fuente y descargue de agua. Ofrece la posibilidad de representar una amplia gama de técnicas para abastecimiento de agua, aguas pluviales y aguas residuales a cualquiera área urbana existente o un sitio que va a ser urbanizado. [20]

UVQ utiliza en concepto de volumen urbano, que es un cubo con unidad de área de superficie horizontal, que se extiende hasta una altura por encima del nivel del techo a una profundidad por debajo de la capa freática

Figura 6 Volumen Urbano



Fuente: [20]

Este concepto permite modelar las transferencias de agua como profundidades, componentes de acumulación o dispersión del agua. El concepto permite modelar diferentes formas de áreas urbanas y aumento en la capacidad del modelo.

Cada uno de los ítems de entrada y salida se clasificaran de entre parámetros y variables de estado en donde parámetro se define como como una magnitud encargada de describir las características físicas y funcionales del sistema. Y variable de estado se define como magnitud que representa el estado del sistema y cuya evolución espacio temporal constituye a las salidas del modelo. [21]

6. MARCO NORMATIVO

6.1 Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico (2010)

Dentro de este documento se está agregando en sí un diagnostico que les servirá de base para la formulación de objetivos, principios, estrategias, líneas de acción generales y metas nacionales para lograr hacer un plan de acción que se denominará Plan Hídrico nacional. [22]

Lo más relevante respecto a nuestro tema de la política de gestión integral del recurso hídrico es el diagnostico A en donde se hace un balance general hídrico en Colombia, describiendo que por la ubicación geográfica, orografía y gran variedad de ecosistemas Colombia se ubica entre los países con mayor recurso hídrico en el mundo. Pero que sin embargo mirando en detalle la población y las actividades socioeconómicas no es algo que se denote en el desarrollo del país, ya que en algunas poblaciones no se cumplen las necesidades hídricas básicas y algunas de

las actividades socioeconómicas únicamente contaminan el recurso, disminuyendo cada vez más la disponibilidad del agua. También en esta sección se muestra cual es la oferta y disponibilidad del recurso, tomando datos del IDEAM donde se muestra que más o menos en un año en condiciones normales se tiene una disponibilidad de 34000 m³ de agua al año por persona y en año con condiciones de tiempo seco se considera una disponibilidad de 26700 m³ de agua por persona al año. [22]

6.2 Resolución 2115 de 2007

En esta resolución se señalan las características, instrumentos básicos y frecuencias de sistema de control y vigilancia para la calidad de agua para consumo humano. En este documento se dividen las características del agua potable especificando cuales límites de cada parámetro.

- Características Físicas: El agua para consumo humano no podrá sobrepasar los valores máximos aceptables para cada una de las características físicas que señalan a continuación:

Tabla 2 Características Físicas

Características físicas	Expresadas como	Valor máximo aceptable
Color aparente	Unidades de Platino Cobalto (UPC)	15
Olor y Sabor	Aceptable ó no aceptable	Aceptable
Turbiedad	Unidades Nefelométricas de turbiedad (UNT)	2

Fuente: [23]

- Conductividad: El valor máximo aceptable para la conductividad puede ser hasta 1000 micro siemens/cm. Este valor podrá ajustarse según los promedios habituales y el mapa de riesgo de la zona. Un incremento de los valores habituales de la conductividad superior al 50% en el agua de la fuente, indica un cambio sospechoso en la cantidad de sólidos disueltos y su procedencia debe ser investigada de inmediato por las autoridades sanitaria y ambiental competentes y la persona prestadora que suministra o distribuye agua para consumo humano. [23]
- Potencial de hidrógeno: El valor para el potencial de hidrógeno pH del agua para consumo humano, deberá estar comprendido entre 6,5 y 9,0. [23]
- Características químicas de sustancias que tienen efecto adverso en la salud humana: Las características químicas del agua para consumo humano de los elementos, compuestos químicos y mezclas de compuestos químicos diferentes a los plaguicidas y otras sustancias que al sobrepasar los valores

máximos aceptables tienen reconocido efecto adverso en la salud humana, deben enmarcarse dentro de los valores máximos aceptables que se señalan a continuación:

Tabla 3 Características Químicas de que tienen efecto adverso en la salud humana

Elementos, compuestos químicos y mezclas de compuestos químicos diferentes a los plaguicidas y otras sustancias	Expresados como	Valor máximo aceptable (mg/L)
Antimonio	Sb	0,02
Arsénico	As	0,01
Bario	Ba	0,7
Cadmio	Cd	0,003
Cianuro libre y disociable	CN ⁻	0,05
Cobre	Cu	1,0
Cromo total	Cr	0,05
Mercurio	Hg	0,001
Níquel	Ni	0,02
Plomo	Pb	0,01
Selenio	Se	0,01
Trihalometanos Totales	THMs	0,2
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP)	HAP	0,01

Fuente: [23]

- Características químicas de sustancias que tienen implicaciones sobre la salud humana: Las características químicas del agua para consumo humano en relación con los elementos, compuestos químicos y mezclas de compuestos químicos que tienen implicaciones sobre la salud humana se señalan en el siguiente ilustración:

Tabla 4 Características Químicas de que tiene implicaciones sobre la salud humana

Elementos, compuestos químicos y mezclas de compuestos químicos que tienen implicaciones sobre la salud humana	Expresados como	Valor máximo aceptable (mg/L)
Carbono Orgánico Total	COT	5,0
Nitritos	NO ₂ ⁻	0,1
Nitratos	NO ₃ ⁻	10
Fluoruros	F ⁻	1,0

Fuente: [23]

- Características microbiológicas: Las características microbiológicas del agua para consumo humano deben enmarcarse dentro de los siguientes valores máximos aceptables desde el punto de vista microbiológico, los cuales son establecidos teniendo en cuenta los límites de confianza del 95% y para

técnicas con habilidad de detección desde 1 Unidad Formadora de Colonia (UFC) o 1 microorganismo en 100 cm³ de muestra:

Tabla 5 Características Microbiológicas

Técnicas utilizadas	Coliformes Totales	Escherichia coli
Filtración por membrana	0 UFC/100 cm ³	0 UFC/100 cm ³
Enzima Sustrato	< de 1 microorganismo en 100 cm ³	< de 1 microorganismo en 100 cm ³
Sustrato Definido	0 microorganismo en 100 cm ³	0 microorganismo en 100 cm ³
Presencia – Ausencia	Ausencia en 100 cm ³	Ausencia en 100 cm ³

Fuente: [23]

Dentro de esta resolución también se explica el cálculo del índice de riesgo de calidad del agua para consumo humano (IRCA), definiendo cual es el nivel de riesgo del agua suministrada para consumo humano.

6.3 Convenio 487 de 2014

En este convenio es donde las empresas de acueducto, energía y las corporaciones autónomas regionales, donde se evidencia que se realizaron 21 reuniones con los sectores más influyentes en el consumo de agua del país, autoridades ambientales agregando 6 visitas que se realizaron a cada una de estas entidades. Comenzando con las empresas de acueducto donde se muestra que en acueductos grandes cumplen a cabalidad los requerimientos como lo son implementación de PUEAA, mediciones macro y micro, programas de control frente a pérdidas en el sistema y capacitaciones a los usuarios frente a los PUEAA. En cambio al ser evaluados los acueductos pequeños estos no tienen un PUEAA, muy poca medición en la mayoría de acueductos, en ninguno se realizan controles de pérdidas del sistema y muy pocas aplican los programas de capacitación. Las empresas hidroeléctricas en estas empresas evidencian que tienen PUEAA además las autoridades ambientales exigen que estos planes estén agregados al PMA, estos a su vez tienen que el manejo de las cuencas y sus zonas aledañas, control de fugas y según informes el 98% del agua captada se utiliza para la generación de energía y el 2% restante para actividades de oficina y productivas. [24]

6.4 Decreto 1076 de 2015

Es el decreto único reglamentario del Sector Ambiente y desarrollo sostenible; este decreto es la compilación de decretos en busca de tener una actualización de estas normas con objeto de no encontrar nulidad o de suspensión provisional de estas; a su vez se busca la racionalización y simplificación del ordenamiento jurídico como principal herramienta, asegurando eficiencia económica y social del sistema legal. [25]

En este decreto se describen todos los aspectos ambientales relevantes dentro del país incluyendo el recurso hídrico que es de nuestro interés. En si este recurso se relaciona con todos los aspectos ambientales pero el Título 3 Aguas No marítimas es específico, donde se describen diferentes instrumentos de planificación, ordenación y manejo de cuencas hidrográficas y acuíferos del país. Se muestran temas generales donde se habla del derecho al uso de las aguas, concesiones, dominio de cauces, obras hidráulicas, conservación y preservación de las aguas, vertimientos tanto a aguas superficiales como aguas subterráneas. Posteriormente en el Título 9 que se refiere a instrumentos financieros, económicos y tributarios se maneja la inversión forzosa del 1%, las tasas por utilización de agua incluyendo aguas superficiales, subterráneas excepto aguas marítimas y las tasas retributivas por vertimientos puntuales al agua con su respectivo cálculo. [25]

En estos títulos se puede evidenciar que al momento del análisis del ciclo urbano del agua es necesario conocer la legislación actual facilitando así el análisis de la zona de estudio y que certámenes aplicarían dentro de la zona de estudio. [25]

6.5 Resolución 631 de 2015

Esta resolución empezó a regir desde el 1 de enero de 2016, en esta se describen cuáles son los parámetros y valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficial y al sistema de alcantarillado público; teniendo en cuenta los dos tipos de agua residual como es el agua residual doméstica y el agua residual No doméstica. Además en esta resolución se realiza una división entre las empresas industriales por sector productivo dándole los límites por parámetro según el sistema de producción, haciendo más efectivo el control de vertimientos. [26]

Según el estudio que se realizó a la zona las industrias que principalmente se desarrollan en el área de estudio es de curtido y adobo de pieles en el sector San Benito con límites máximos permitidos de:

Tabla 6 Límites máximos permisibles vertimientos curtiembres

PARÁMETRO	UNIDADES	FABRICACIÓN DE PRODUCTOS DERIVADOS DEL TABACO	FABRICACIÓN DE PRODUCTOS TEXTILES	FABRICACIÓN DE ARTÍCULOS DE PIEL, CURTIDO Y ADOBO DE PIELES	FABRICACIÓN DE GASES INDUSTRIALES Y MEDICINALES
Generales					
pH	Unidades de pH	6,00 a 9,00	6,00 a 9,00	6,00 a 9,00	6,00 a 9,00
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L O ₂	400,00	400,00	1 200,00	300,00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L O ₂	200,00	200,00	600,00	200,00
Sólidos Suspendedos Totales (SST)	mg/L	200,00	50,00	600,00	50,00
Sólidos Sedimentables (SSED)	mL/L	2,00	2,00	2,00	5,00
Grasas y Aceites	mg/L	20,00	20,00	60,00	10,00
Fenoles	mg/L		0,20		
Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)	mg/L		Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Hidrocarburos					
Hidrocarburos Totales (HTP)	mg/L		10,00	10,00	
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP)	mg/L		Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	
BTEX (Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xileno)	mg/L		Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	
Compuestos Orgánicos Halogenados Adsorbibles (AOX)	mg/L		Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	
Compuestos de Fósforo					
Ortofatos (P-PO ₄ ³⁻)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	
Fósforo Total (P)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Compuestos de Nitrógeno					
Nitratos (N-NO ₃ ⁻)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	
Nitrógeno Amoniacal (N-NH ₃)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	
Nitrógeno Total (N)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Iones					
Cloruros (Cl ⁻)	mg/L		1 200,00	3 000,00	250
Sulfatos (SO ₄ ²⁻)	mg/L		Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	500,00
Sulfuros (S ²⁻)	mg/L		1,00	3,00	
Metales y Metaloides					
Cadmio (Cd)	mg/L		0,02		0,05
Cinc (Zn)	mg/L		3,00		
Cobalto (Co)	mg/L		0,50		
Cobre (Cu)	mg/L		1,00		
Cromo (Cr)	mg/L		0,50	1,50	
Niquel (Ni)	mg/L		0,50		
Otros Parámetros para Análisis y Reporte					
Acidez Total	mg/L CaCO ₃	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Alcalinidad Total	mg/L CaCO ₃	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Dureza Cálcica	mg/L CaCO ₃	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Dureza Total	mg/L CaCO ₃	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Color Real (Medidas de absorbancia a las siguientes longitudes de onda: 436 nm, 525 nm y 620 nm)	m ⁻¹	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte

Fuente: [26]

A cada una de las empresas industriales que se dedican al curtido y adobo de pieles se le otorga por parte Secretaria de Ambiente una resolución donde se le otorga el permiso de vertimientos.

6.6 Resolución 3957 de 2009

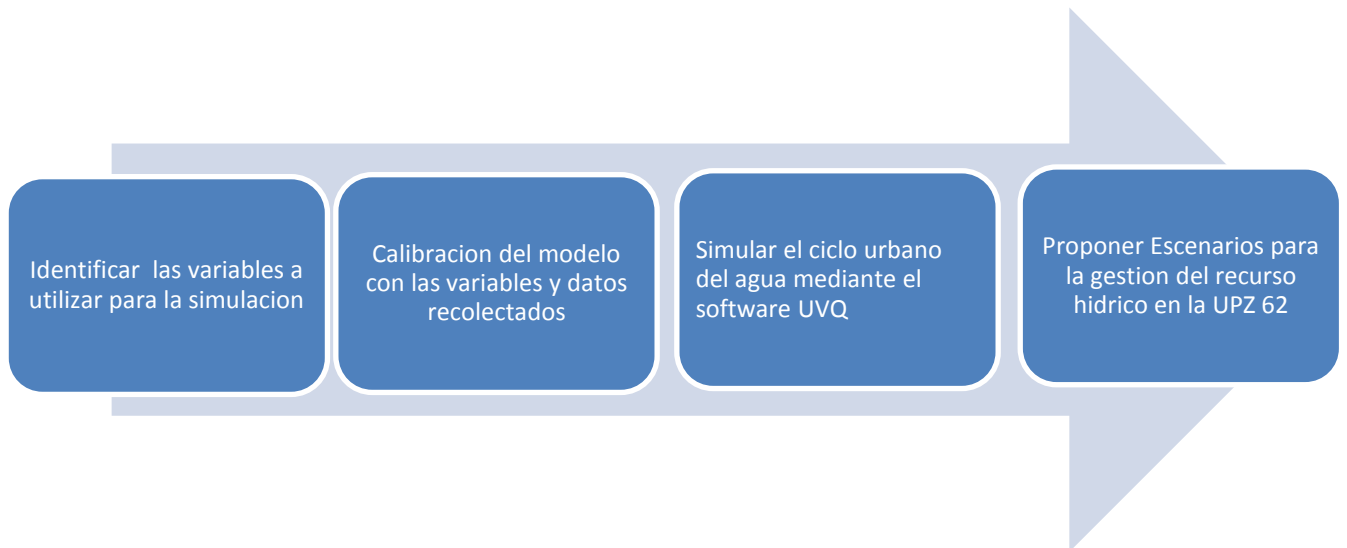
En esta resolución se reglamenta que todo usuario que genere vertimientos de aguas residuales no domesticas (sustancias de interés ambiental o sanitario) está obligado a solicitar el registro de sus vertimientos ante la Secretaría Distrital de Ambiente, en esta resolución se explican los parámetros que deben seguir para lograr hacer el registro de vertimientos y posterior solicitar el permiso. [27]

7. METODOLOGÍA

Como se mencionó anteriormente se eligió el programa UVQ por sus diversos beneficios y características que nos permiten llevar a cabo una simulación del ciclo urbano del agua en la UPZ 62.

La metodología desarrollada para la ejecución de este trabajo se establece en el Diagrama 1, en el cual es posible observar las actividades propuestas para llevar a cabo cada objetivo planteado.

Diagrama 1 Metodología



Fuente: Autoras.

7.1 Identificar las variables a utilizar para la debida simulación

Se realizó una revisión bibliográfica donde se encontró que para poder llevar a cabo la simulación del ciclo urbano del agua, el programa requiere una serie de variables y datos específicos definidos en cuatro aspectos: (i) Físicos, (ii) climatológicos, (iii) químicos y (iv) volúmenes de consumo.

Se busca realizar la clasificación general de las variables de entrada y salida entre parámetros y variables de estado con objeto de definir cuáles son las variables que

van cambiando en el tiempo en caso de estado y cuales son las que describen en sí el sistema o sea las variables físicas siendo en este caso los parametros.

Clasificación de variables del programa UVQ

Parámetros

- Área total de zona de estudio
- Área de vías
- Áreas de las viviendas
- Área de espacio abierto
- Concentración de contaminantes generado por las viviendas

Variables de Estado

- Población en la UPZ y por vivienda
- Consumos de agua dentro de cada independencia de la casa
- Climatología (precipitación, evaporación, temperatura media)

VARIABLES DE SALIDA

- Concentración general de contaminantes
- Escorrentía dentro de la UPZ
- Descargas de agua residual por vivienda y por área de estudio
- Consumo de agua general en la UPZ
- Evaporación generada

En la tabla 7 se mostrará un resumen de las variables utilizadas para realizar la simulacion, allí se identifican la variables, su tipo, unidad de medida

Tabla 7 Variables UVQ

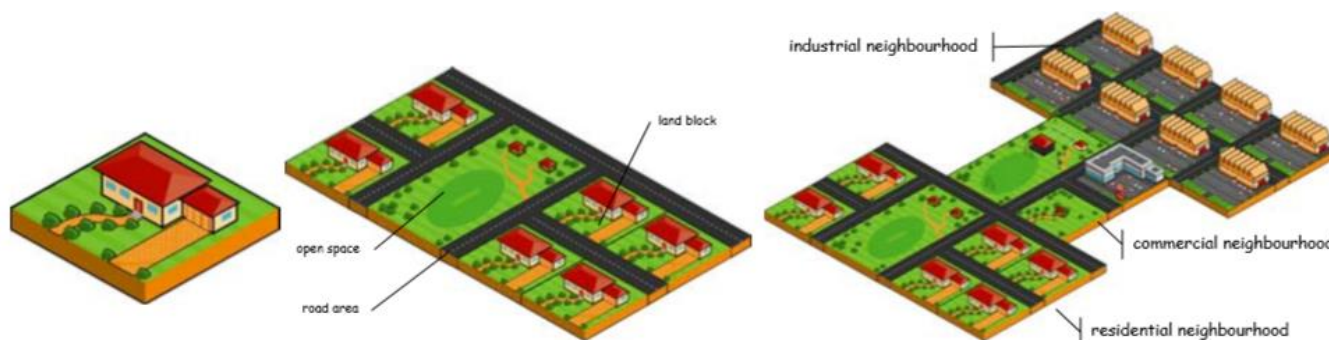
Variable	Tipo de variable	Tipo	Unidad	Valor	Fuente				Observación
					Medida	Literatura local	Literatura internacional	No Usado	
Área total	Física	Variable de Entrada	Ha.	No constante	X				Medida mediante ArcGis
Área de vías	Física	Variable de Entrada	Ha.	No constante	X				Medida mediante ArcGis
Área de espacios abiertos	Física	Variable de Entrada	Ha.	No constante	X				Medida mediante ArcGis
Porcentaje de espacios abiertos irrigados	Abastecimiento y consumo	Variable de Entrada	%	0				X	
Numero viviendas dentro de un barrio	Física	Variable de Entrada	#	No constante	X				Medida en ArcGis
Área de vivienda	Física	Variable de Entrada	m2	No constante	X				Medida mediante ArcGis
Población por vivienda	Física	Variable de Entrada	#	4	X				Medida En ArcGis y encuestas
Área de jardín de vivienda	Física	Variable de Entrada	m2	No constante	X				Medida mediante ArcGis
Área de techos de vivienda	Física	Variable de Entrada	m2	No constante	X				Medida mediante ArcGis
Área pavimentada de vivienda	Física	Variable de Entrada	m2	No constante	X				Medida mediante ArcGis
Porcentaje de áreas de jardines irrigados	Física	Variable de Entrada	%	0	X			X	Encuestas
Escorrentía direccionada a Spoon drain o Soakaway	Física	Variable de Entrada	Relación	0					Se asume por las características de manejo de aguas lluvias
Consumo de agua en la cocina	Abastecimiento y consumo	Variable de Entrada	L/d/c	20.75		X			De acuerdo a la literatura [26]
Consumo de agua en el baño	Abastecimiento y consumo	Variable de Entrada	L/d/c	28.75		X			De acuerdo a la literatura [26]
Consumo de agua en inodoros	Abastecimiento y consumo	Variable de Entrada	L/d/c	25		X			De acuerdo a la literatura [26]
Consumo de agua en lavandería	Abastecimiento y consumo	Variable de Entrada	L/d/c	84		X			De acuerdo a la literatura [26]
Carga de contaminante en cocina	Parámetros Químicos	DBO	mg/c/d	7160					De acuerdo a literatura [37]
		DQO	mg/c/d	14320			X		De acuerdo a literatura [37]
		Fosforo Total	mg/c/d	42			X		De acuerdo a literatura [37]
		Nitrógeno Total	mg/c/d	238			X		De acuerdo a literatura [37]
		SST	mg/c/d	3990					De acuerdo a literatura [37]
Carga de contaminante en baño	Parámetros Químicos	DBO	mg/c/d	10892					De acuerdo a literatura [37]
		DQO	mg/c/d	21784			X		De acuerdo a literatura [37]
		Fosforo Total	mg/c/d	22			X		De acuerdo a literatura [37]
		Nitrógeno Total	mg/c/d	462			X		De acuerdo a literatura [37])
		SST	mg/c/d	8303					De acuerdo a literatura [37]
Carga de contaminante en inodoros	Parámetros Químicos	DBO	mg/c/d	19500					De acuerdo a literatura [37]
		DQO	mg/c/d	48000			X		De acuerdo a literatura [37]
		Fosforo Total	mg/c/d	3000			X		De acuerdo a literatura [37]
		Nitrógeno Total	mg/c/d	11200			X		De acuerdo a literatura [37]
		SST	mg/c/d	36240					De acuerdo a literatura [37]
		Cr	mg/c/d						Este contaminante es utilizado específicamente para uso de suelo INDUSTRIAL. [28]
Carga de contaminante en lavandería	Parámetros Químicos	DBO	mg/c/d	5363					De acuerdo a literatura
		DQO	mg/c/d	10726			X		De acuerdo a literatura
		Fosforo Total	mg/c/d	152			X		De acuerdo a literatura [37]
		Nitrógeno Total	mg/c/d	328			X		De acuerdo a literatura [37]
		Variable de entrada (SST)	mg/c/d	4858					De acuerdo a literatura [37]
Lluvia	Climatológicos	Variable de Estado	mm	Datos históricos	X				Estación Jardín Botánico 1998 - 2014, incompleta se reconstruye
Temperatura	Climatológicos	Variable de Estado	°C	Datos históricos	X				Estación Jardín Botánico 1998 - 2014, incompleta se reconstruye
Evaporación real	Climatológicos	Variable de Estado	mm	Datos históricos	X				Estación Jardín Botánico 1998 - 2014, incompleta se reconstruye

i) Variables Físicas

Dentro de las variable físicas que nos pide el programa se encuentran las áreas dimensionales del área de estudio donde se realizará la simulación.

La definicion del Área de estudio para el programa UVQ es “el Área Total del sitio que sera simulado” [20], dentro del Área de estudio se encuentran diferentes escalas espaciales como Land Block ,Neighbourhood a las cuales se muestran en la Ilustracion 13 donde se vera la representación espacial de cada una y lo que contienen.

Figura 7 Representación De Land block, neighbourhood y study area



Fuente: [28]

Dentro de esta investigación las escalas espaciales seran definidas como:

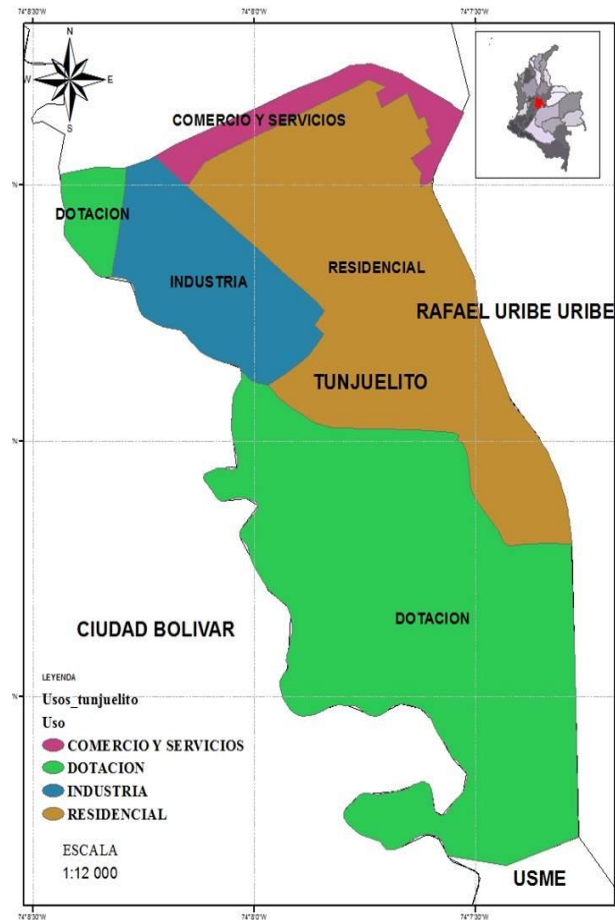
- ✓ Área de estudio= UPZ 62
- ✓ Neighbourhood= Cluster
- ✓ Land Block= Vivienda

Para determinar las caracteriticas de los Cluster de la Zona de estudio,se realizó una revisión bibliográfica sobre el balance de agua en zonas urbanas, donde se recomendaba dividir la zona de estudio por uso de suelo y direccion de drenaje [29].

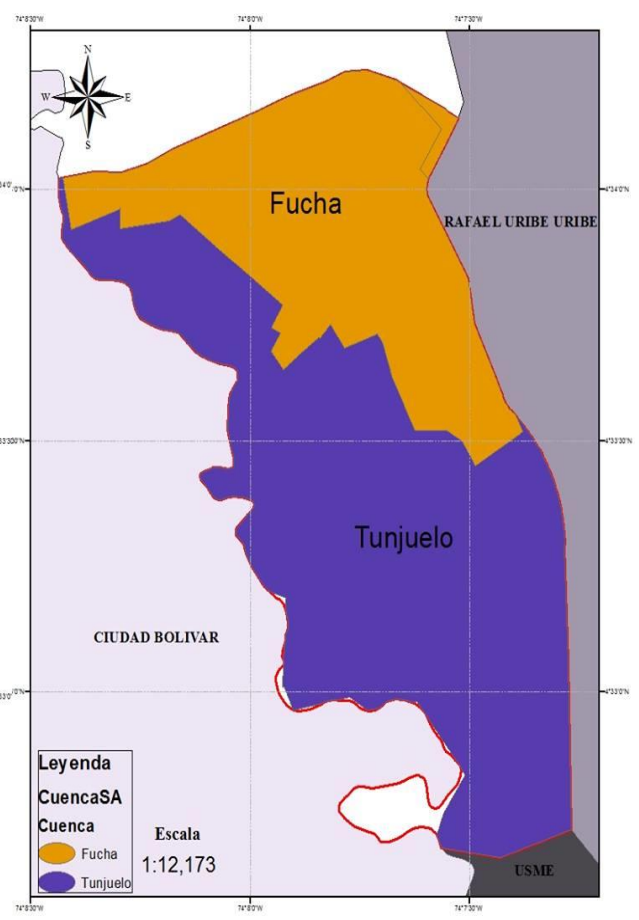
Con el fin de definir los Cluster de dicha zona se tuvo en cuenta las capas en ArcGis de uso de suelo de la Upz y de las cuencas hacia donde drena el agua, las cuales se obervan en el Mapa 1 y 2 respectivamente, alli se puede notar que en la Upz existen 2 cuenca sanitarias.

Para determinar la dirección de flujo de agua residual en cada zona de la Upz se observa la red local sanitaria mostrada en el Mapa 3, Estas capas se superponen para determinar la dirección de flujo de cada zona, debido a que cada modelo debe tener una Única Dirección de drenaje.

Mapa 1 Uso de Suelo UPZ 62

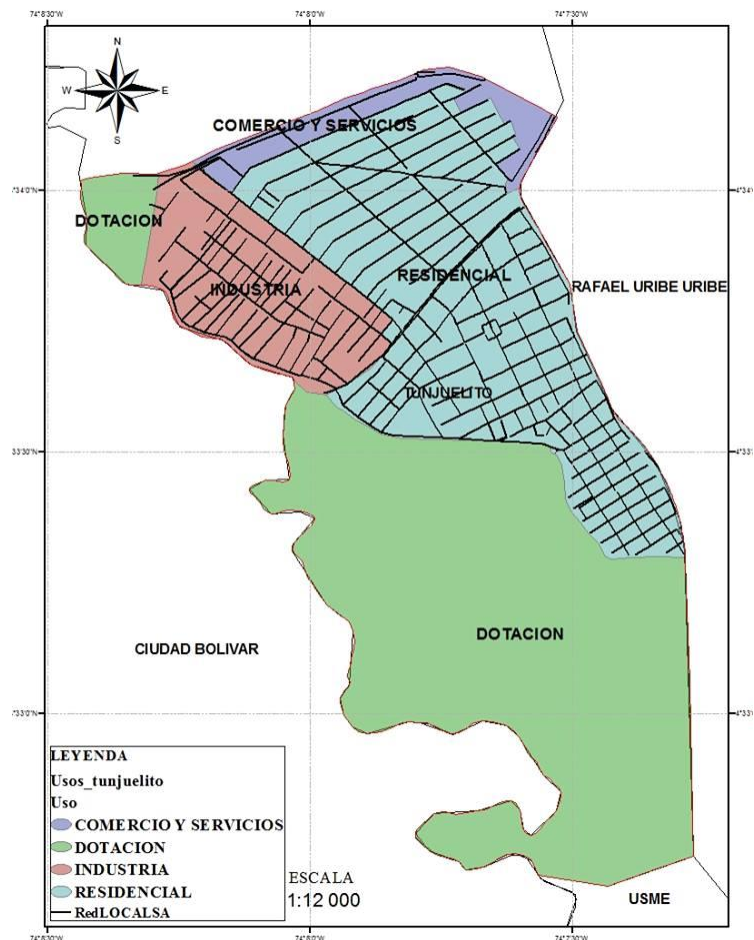


Mapa 2 Cuenca Sanitaria



Fuente: Autoras

Mapa 3 Red Local Sanitaria

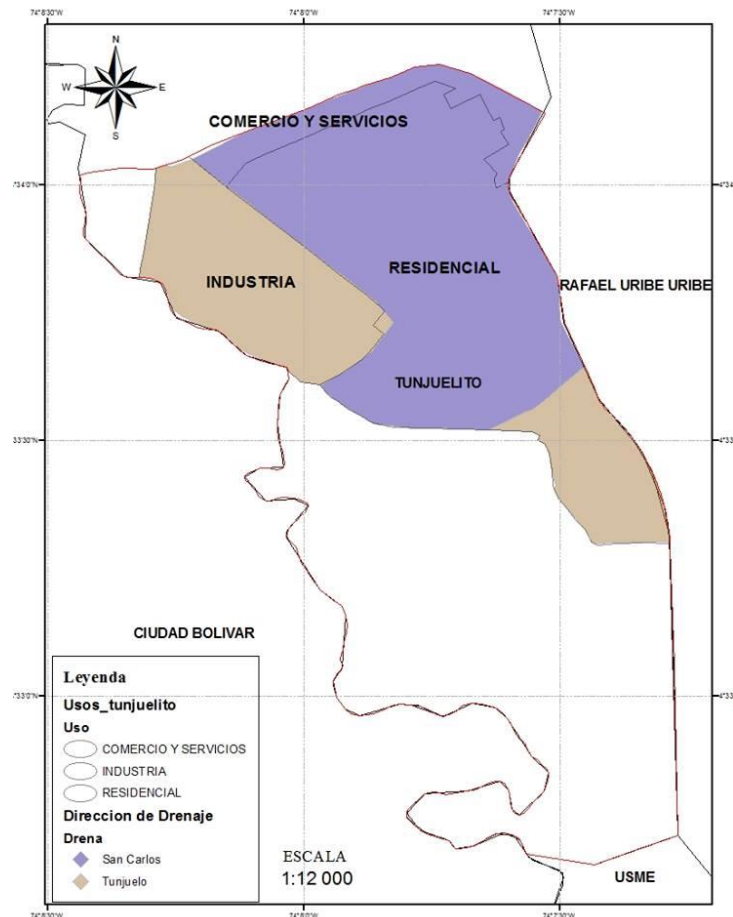


Fuente: Autoras

Al sobreponer las capas se logra identificar en el Mapa 3 que en las zonas donde existe un uso de suelo Dotacional (en este tipo de suelo según se tiene entendido se desarrollan dos actividades, la primera es un tipo de actividad minera y la segunda es la Escuela de Artillería del Ejército) no hay una Red Sanitaria existente, lo que nos indicó que estas zonas no drenan agua, por esta razón se eliminan las zonas de Dotación de la UPZ, y la zona de estudio se reduce.

Como se observo en el mapa 2 que el agua drena hacia dos cuencas diferentes, una hacia la cuenca sanitaria San Carlos y la segunda hacia la cuenca sanitaria del Rio Tunjuelo al Interceptor Tunjuelo Medio, se delimitan los Cluster según el uso de suelo y dirección de drenaje mostrado en el Mapa 4.

Mapa 4 Cluster por Uso de Suelo y Cuenca Sanitaria



Fuente: Autoras

Debido a que cada modelo solo puede tener un sentido de flujo de drenaje se divide la zona de estudio en dos modelos, la distribución de cada modelo sería la mostrada en el Diagrama 3.

Diagrama 2 Distribución de los Modelos

Modelo 1 Tunjuelo

- Uso Industrial (Clúster 1)
- Uso Residencial (Clúster 2)

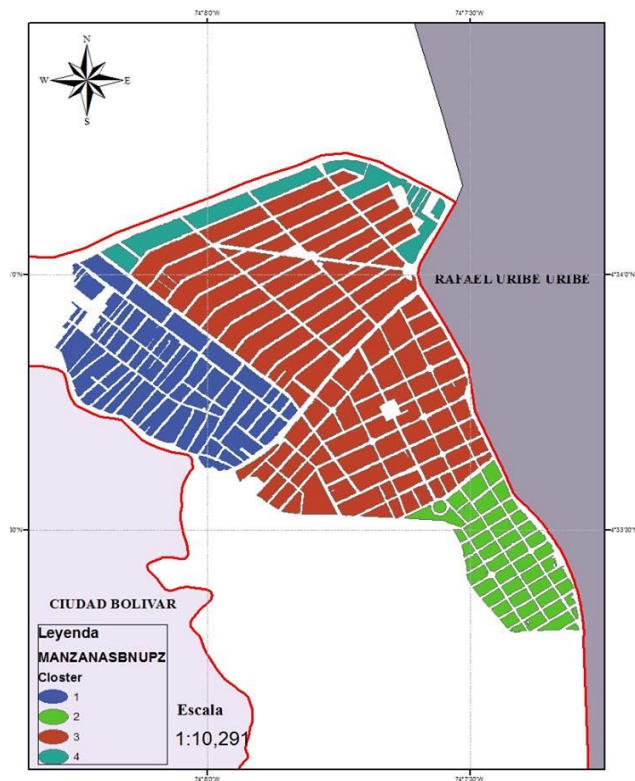
Modelo 2 San Carlos

- Uso Residencial (Clúster 3)
- Uso Comercial (Clúster 4)

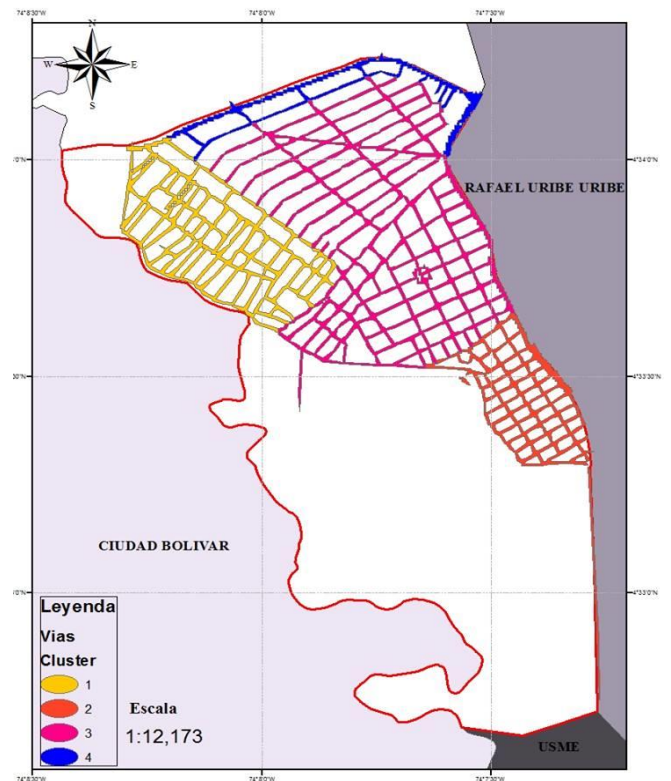
Fuente: Autoras

Para determinar las áreas por cluster, se realizan los calculos con la ayuda del programa ArcGis, donde se toman las capas de Manzanas y Vías y se dividen según el Cluster, como se muestra en el Mapa 5 y Mapa 6 respectivamente.

Mapa 5 Manzanas Por Clúster



Mapa 6 Vías Por Clúster



Fuente: Autoras

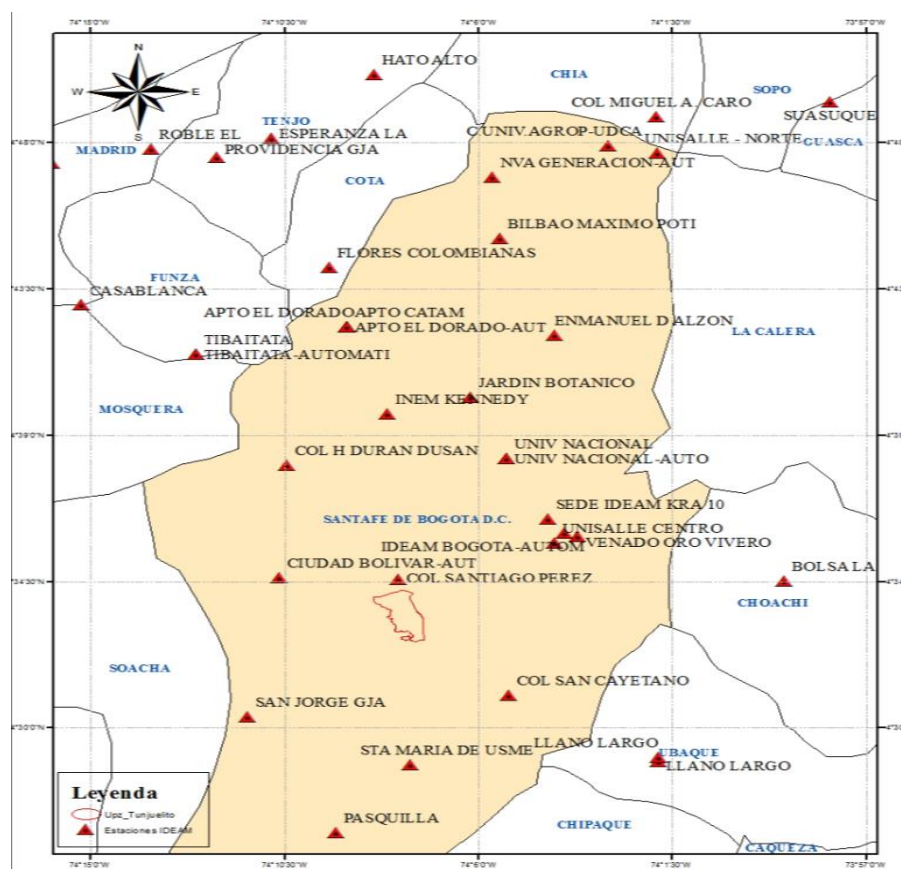
ii) Variables Climatológicas

Para las variables climatológicas el programa pide como entrada un archivo .CSV, el cual debe contener los datos de precipitación, evapotranspiración y temperatura media que se da en la zona de estudio, en una periodicidad diaria y por un lapso mínimo de un año.

A pesar de que el programa pide la evapotranspiración, dentro del modelo se ha introducido los valores de evaporación que se presentan en el lugar, ya que como se explicó en el marco teórico uno de los impactos principales que se dan al momento de la urbanización es que se ve afectada la transpiración debido a la reducción de zonas verdes. En la zona de estudio del modelo las zonas verdes representan un valor menor del 1% por tanto la transpiración se toma como un valor depreciable.

Para realizar este archivo se hace una búsqueda exhaustiva en las estaciones climatológicas implementadas en la localidad y en la ciudad buscando la estación que contenga la base de datos más completa reflejado en la cantidad de variables IDEAM. Seleccionando las estaciones del IDEAM que se muestran en el Mapa 7.

Mapa 7 Estaciones Climatológicas IDEAM



Fuente: Autoras

Para determinar cual es la estación adecuada, se realiza una revisión de cada estación y se contruye la tabla 10 donde se realiza la comparación de las nueve estaciones que estan ubicadas en la ciudad de Bogotá y de las cuales el IDEAM brinda información, en la tabla se tienen encuentra las variables requeridas y los año de datos en cada estación. Esto con el fin de determinar que estación posee la información mas completa.

Tabla 8 Comparación de datos

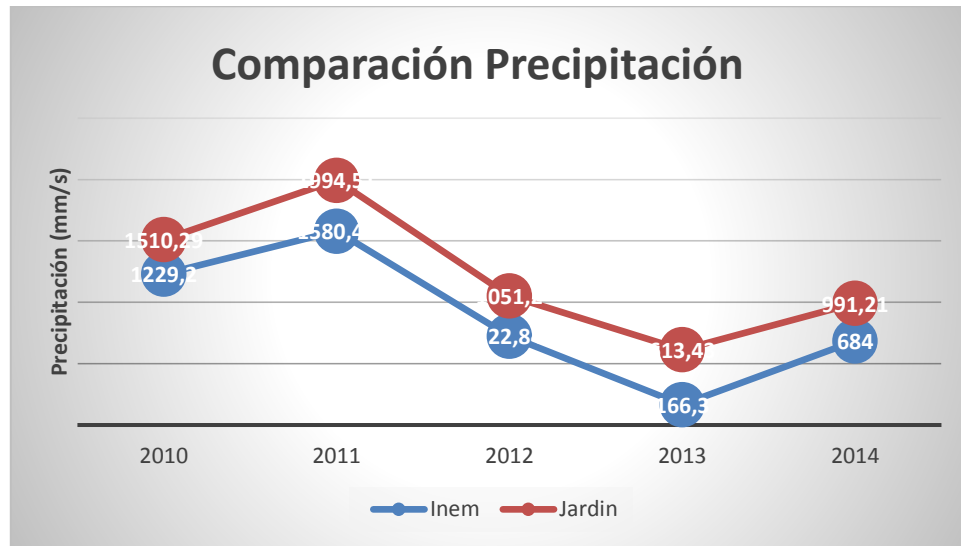
Estación	Precipitación	Evaporación	T. Media
Univ. Nacional	(1988-2005,2011-2013)	(1988-2005,2011-2013)	(1988-2005,2011-2013)
Betania	(1988-2014)		(1999-2014)
Inem Kennedy	(1999-2014)		
U Pedagógica	(1987- 2001)	1987	(1987-2001)
Col Ingeniería	(1987-2007)	(1987-2007)	(1987-2006)
Sena Kr 30	(1985-2009)		2005
Jardín Botánico	(1985-2014)	(1985-2014)	(1985-2014)
Ideam Fontibón	(2001-2003)		
María de Usme	(1978-2014)		

Fuente : Autoras

En el mapa 7 se observa que la estación mas cercana al área de estudio es INEM KENNEDY pero esta no puede ser elegida ya que no contiene uno de los items principales como lo es la evaporación, por esta razón se decide escoger la estación Jardín Botánico ya que mide todas la variable requeridas y su periodicidad es de 30 años.

Con el objetivo de observar que las variables medidas en las estaciones INEM KENNEDY y JARDÍN BOTANICO tienen un comportamiento similar se realiza la comparación con la variable de precipitación y se demuestra que aunque los valores no son iguales si tienden a tener el mismo comportamiento anual, esto se observa en la Grafica 1.

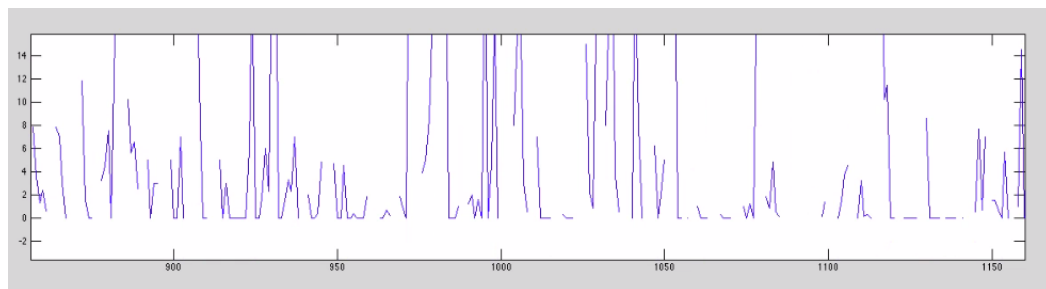
Gráfica 1 Comparación Precipitación Anual



Fuente: Autoras

A pesar de que se ha escogido la estación con mayor cantidad de datos, estos no están completos en varios lapsos de tiempo, incluso en diferentes variables se observa que pueden hacer falta datos de meses completos, como se observa en la siguiente Gráfica 2.

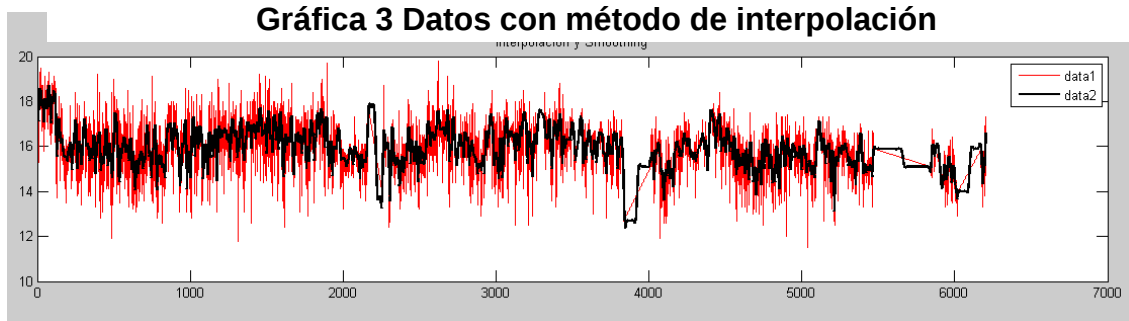
Gráfica 2 Datos Faltantes



Fuente: Autores

Por tanto se han implementado dos tipos de metodologías para completar los datos. La primera metodología es una interpolación codificada en Matlab, pero al realizar la interpolación se podía notar que la tendencia de los

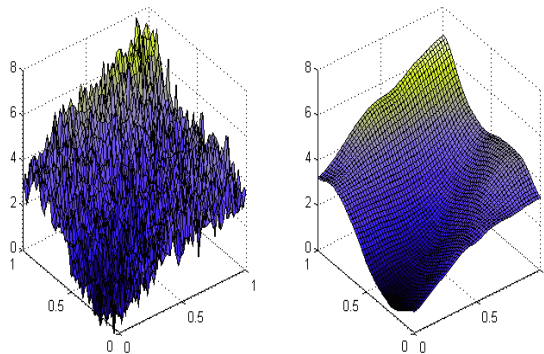
valores que estaban vacios no generaban datos muy acordes al comportamiento y se veian trazos de datos bruscos como se observa en la Grafica 3.



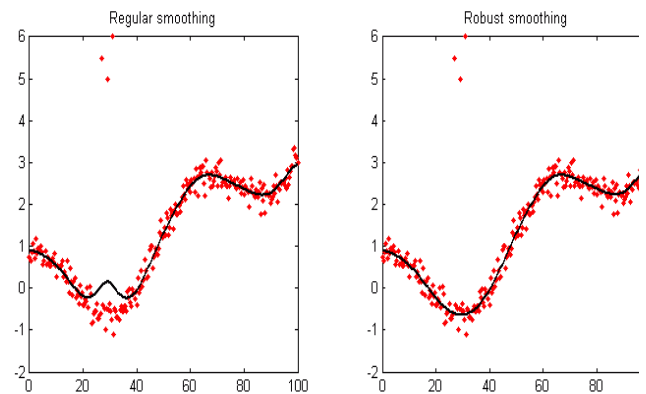
Fuente: Autores

Por esta razon se decide utilizar otra metodologia para los datos faltantes con lapsos mayores a 10 días, esta metodologia esta basada en un método de minimos cuadrados penalizado permitiendo suavizar los datos agregando una transformada de coseno discreta llamado Smoothing [30], como se muestra en la grafica 4, esto permite obervar con más claridad el comportamiento de los datos.

Gráfica 4 Smoothing



Gráfica 5 Comparación de smoothing



Fuente: [30]

De este tipo de metodología se encuentra que hay dos tipos de Smoothing uno regular y otro robust, como se observa en la Gráfica 5 en el regular el comportamiento toma en cuenta todos los valores incluyendo aquellos valores atípicos, y el robust realiza una tendencia de valores mas acorde al comportamiento general de los datos, debido a ello se toma el modelo Robust Smoothing para realizar la estimación de los datos faltantes en las 3

iii) Variables Químicas

Dentro de las variables químicas se toman en cuenta la concentración de los contaminantes que se producen en cada área de las casas como el inodoro, la cocina, el baño y la lavandería.

Estas variables como se muestra en la tabla de identificación de variables son tomadas directamente de la literatura, según las características de cada cluster.

Para las concentraciones de contaminantes en la zona industrial se realiza una revisión bibliográfica donde se encuentran algunos componentes de los efluentes de curtiembres.

- DBO 89 kg/ton [31]
- DQO 258 Kg/Ton [31]
- SST 138Kg/Ton [31]
- Cr 3.5kg/Ton [31]

Para poder realizar el cálculo de las concentraciones de los contaminantes por unidad producida se encuentra que una piel de cuero pesa alrededor de 32Kg [32] lo que significa que una tonelada tiene 32 pieles, con estos datos ya se pueden determinar las concentraciones en mg por piel tratada.

vi) Variables de consumo

Las variables de consumo se relacionan con el consumo per cápita del recurso hídrico en las áreas de la casa nombradas anteriormente, estas de igual forma que las variables químicas son tomadas de la literatura. En estas variables se tienen en cuenta el promedio de personas que viven en cada casa ya que el estudio da los valores de consumo por familia de la ciudad de Bogotá.

- Inodoro 100 L/familia [33]
- Lavadora 302 L/familia [33]
- Baño 85 L/familia [33]
- Cocina 83 L/familia [33]

7.2 Calibración

Para realizar la calibración se decide tomar el método ensayo y error, haciendo una búsqueda de datos para lograr la calibración de los modelos, teniendo en cuenta que la base de los modelos es el consumo de agua.

Primero, la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB) nos suministra una base de datos promedio de agua potable consumida en el acueducto sobre cada contador en el año 2014 específicos de la UPZ; Para poder calibrar el consumo de los respectivos modelos se realiza la búsqueda según el código CHIP el cual se tiene por casa en la capa de Predios de ArcGIS y se filtran en la base de datos de la EAAB para de esta forma tener el consumo promedio por Clúster, luego de esto se toma la suma total del consumo promedio del 2014 siendo este valor el consumo observado.

Segundo, en el momento de la calibración se tiene en cuenta el número de habitantes por vivienda en los casos de uso de suelo residencial y comercial ya que los consumos de baños, lavandería, etc., se dejan fijos al ser tomados de la literatura como se especificó anteriormente. Se toma la decisión del cambio de habitantes por vivienda ya que por lotes se observa que hay más de un contador por dirección dentro de la base de datos suministrada por la EAAB , agregando que bajo unas encuestas que se hicieron en el sector varios lotes estaban divididos por apartamentos o en otros casos vivían varias personas en la misma casa de tipo inquilinato, de esta forma en los Clúster Residencial y Comercial se aumenta el promedio de población en las viviendas y así se observa que lo Simulado se acerca más a lo Observado en la base de datos de consumo de agua de la EAAB.

Por otra parte, en el sector industrial la calibración se realizó bajo los consumos que se utilizaban por piel producida dentro de cada una de las curtiembres, utilizando los promedios de agua consumida de una base de datos suministrada por la Secretaria Distrital de Ambiente donde se puede observar el promedio de agua consumida por piel, de esta forma se observa que lo Simulado se acerca a lo Observado, pero aún queda un déficit de agua residual lo cual al observar las encuestas denotamos que varias de las industrias realizan una recolección de agua y/o recirculación de agua, por esta razón se ve reflejado un mayor valor de agua residual

que agua consumida, lo que se realiza es la sumatoria de consumos de la cocina y la lavandería colocando el consumo total de agua en el área del inodoro para que el programa comprenda que todo este consumo es de agua residual.

Para realizar este procedimiento de calibración se tuvieron en cuenta otros trabajos manejados con el mismo software en búsqueda de procedimiento de calibración y margen de error. Estos manejaban la calibración observado vs. Simulado en variables como el consumo, el agua residual y los contaminantes; debido a que la información requerida en este proyecto solo se tenía agua consumida se toma como referencia este valor para la calibración. Se visualiza que no tienen definido el margen de error pero en este proyecto se toma como máximo el 10% tomando como referencia los proyectos revisados anteriormente en los cuales el porcentaje máximo era el 10.9%. [34]

El porcentaje de error en cada uno de los barrios se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 9 Porcentaje de Error

Barrio/Modelo	Simulado	Observado	Diferencia	Porcentaje
Industrial Modelo 1	234142	238836	-4694	1.96536536
Residencial Modelo 1	442681	429120	13561	3.16018829
Residencial Modelo 2	2087303	2249088	-161785	7.19336015
Comercial Modelo 2	148126	152640	-4514	2.95728512

Fuente: Autoras

7.3 Metodología Escenarios

- **Implementación de tanque de recolección de agua lluvia**

En este escenario se busca visualizar de qué manera la recolección de agua lluvia puede afectar en general el ciclo urbano del agua dentro de la UPZ.

En las zonas residenciales y comerciales de los dos modelos se decide implementar un tanque en cada una de las casas que tenga la capacidad de recolectar 1000 Litros de agua lluvia, y que para el uso del tanque se tenga como recarga mínima 100 Litros; su costo es de alrededor \$285.000 pesos; el agua recolectada por el tanque será utilizada en la lavandería y en el inodoro ya que al observar los consumos es donde más se utiliza agua potable y que esta puede ser remplazada por agua pluvial.

En la zona industrial, ubicada en el Modelo 1 se decide implementar tanques recolectores más grandes con una capacidad de 6.000 Litros de agua, y que para el uso del tanque se tenga como recarga mínima 1.000 Litros. Estos tanques tienen un costo aproximado de \$2'595.036 pesos; el agua recolectada será implementada dentro del modelo en el inodoro donde anteriormente se explicaba que se colocaba la cantidad de agua residual producida por el proceso industrial.

Para dichos escenarios se decide hacer la simulación para el año el cual se tienen datos de consumo de agua de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá por esta razón se extraen los resultados mensuales del año 2014. Se debe tener en cuenta que para implementar este escenario es necesario hacer un estudio en la tipología de las casas, cuál sería la localización del tanque, el tipo de estructura en la casa y el acondicionamiento de canaletas para lograr la recolección.

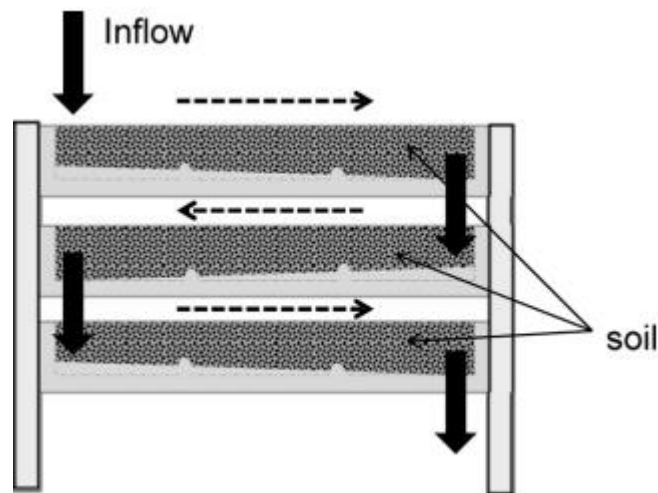
- **Escenario 2: Escenario de agua gris con filtro de suelo inclinado**

El sistema de tratamiento con suelo inclinado es uno de los tratamientos más económicos, a su vez tiene altas eficiencias en remoción de contaminantes de aguas grises domésticas. Se hace una combinación

de una capa de suelo fino y otra capa de suelo grueso, debido a que si solo se tomaba suelo fino había buenos porcentajes de remoción pero se colmataba a las 3 semanas, y si solo se tomaba suelo grueso este no cumplía con los porcentajes de remoción pero su colmatación se da a las 8 semanas. Por eso se hace la combinación de una cámara de suelo fino y una cámara suelo grueso. [35]

Como este es un suelo compacto contiene a zonas aerobias y anaerobias logrando la remoción de nitrógeno total y fosforo total. La figura siguiente demuestra un prototipo a escala de laboratorio de cómo sería el filtro. [35]

Figura 8 Filtro de Suelo inclinado a escala



Fuente: [35]

Los porcentajes de remoción de cada contaminante son:

- ❖ DBO 83.02 % [36]
- ❖ DQO 85.02% [36]
- ❖ TN 78.7% [36]
- ❖ TP 84.2% [36]
- ❖ SST 78.1% [36]

- **Escenario 3: Escenario de remoción de contaminantes en clúster industrial**

En este escenario lo que se busca es realizar el tratamiento del agua residual producida dentro del proceso de curtido, con el fin de poder reutilizarla, para ello se realizó una búsqueda bibliográfica y se encontró que diversas técnicas físico-químicas han sido estudiados por su aplicabilidad en el tratamiento de aguas residuales de curtiembres entre ellas se encuentran la coagulación, floculación, ozonización, ósmosis inversa, intercambio iónico y adsorción con carbón activado. La coagulación es, con mucho, el proceso más utilizado para eliminar las sustancias que producen turbidez en el agua. [37]

Estas sustancias consisten principalmente en minerales de arcilla y materia proteica en muy diversos tamaños, el proceso de coagulación y floculación ayudan a la remoción de parámetro como TSS, DBO Y DQO. [37]

Para este escenario se decide implementar la tecnología de coagulación química la cual en la revisión se observa como la más eficiente y la más viable económicamente para la zona de estudio. [37]

Sus porcentajes de remoción para el agua residual de curtiembres son:

- Cr 74-99% [37]
- SS 38 – 46 % [37]
- DQO 30 – 37% [37]
- DBO 38- 40% [37]

Con una dosis optima de (800 mg/l) de sulfato de aluminio o cloruro férrico, cabe recalcar que las eficiencias cambian según el pH del efluente a tratar. [37]

8 DESARROLLO CENTRAL

8.3 Cuantificación de variables

i) Variables Físicas

Como se explica en la metodología las área que se necesitan para ingresar como datos al programa son calculados con ayuda del programa Argis y se muestran consolidados en la tabla 9.

Tabla 10 Datos obtenidos con ArcGIS

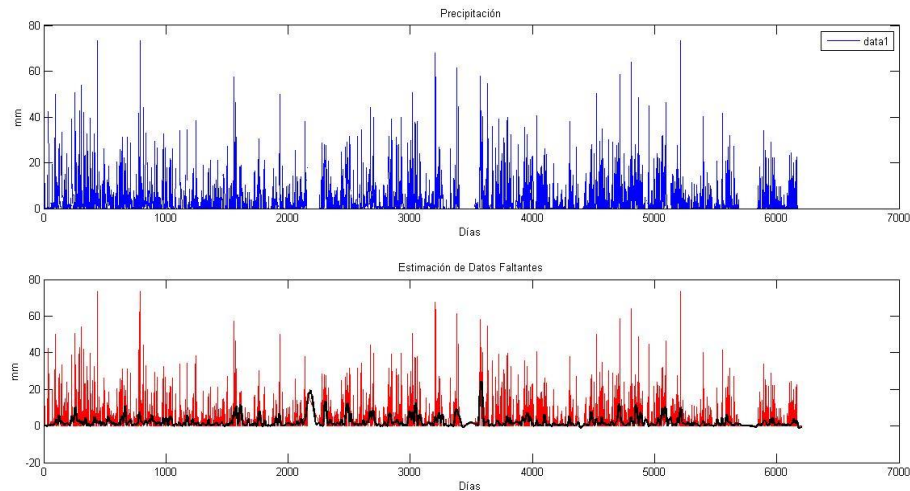
Modelo 1		Modelo 2	
Área de estudio	57.82 Ha	Área de estudio	105.034 Ha
Cluster 1		Cluster 3	
Área Total	38.78 Ha	Área Total	92.034 Ha
Área de vías	13.03 Ha	Área de vías	25.1 Ha
Área de espacio abierto	3.75 Ha	Área de espacio abierto	0.5 Ha
Área de manzanas	26.02 Ha	Área de manzanas	66.715 Ha
Promedio área de casas	212.29 m2	Promedio área de casas	179.6 m2
Número de viviendas	1038	Número de viviendas	3699
Cluster 2		Cluster 4	
Área Total	19.04 Ha	Área Total	13.088 Ha
Área de vías	6.73 Ha	Área de vías	5.02 Ha
Área de espacio abierto	0.12 Ha	Área de espacio abierto	0.5 Ha
Área de manzanas	12.31 Ha	Área de manzanas	7.737 Ha
Promedio área de casas	155.28 m2	Promedio área de casas	199.7 m2
Número de viviendas	785	Número de viviendas	375

Fuente: Autoras

ii) Variables Climatológicas

En la gráfica 6 se muestran las variables climatológicas luego de haber utilizado las dos metodologías de estimación de dato faltantes.

Gráfica 6 Metodologías de relleno de datos



Fuente: Autoras

De esta forma se realiza dichas metodologías para las tres variables precipitación, evaporación y temperatura.

Luego de realizar la estimación de los datos faltantes se completa la base de datos requerida y se transforma a un archivo.CSV.

iv) Variables Químicas

Tabla 11 Valores de Contaminantes

Clúster Residencial y Comercial		Clúster Industrial	
DBO	7160 mg/c/d	DBO	2870967,742mg/c/d
DQO	14320 mg/c/d	DQO	8322580,645 mg/c/d
Fosforo Total	42 mg/c/d	SST	4451612,903 mg/c/d
Nitrógeno Total	238 mg/c/d	Cromo	112903,2258 mg/c/d

Fuente: [38]

iv) Variables de consumo

Tabla 12 Variables de consumo por Literatura

Clúster Residencial y Comercial		Clúster Industrial	
Cocina	20.75 L/c/d	Cocina	0 L/c/d
Baño	28.75 L/c/d	Baño	28.75 L/c/d
Inodoro	25 L/c/d	Inodoro	125.75 L/c/d
Lavandería	80 L/c/d	Lavandería	0 L/c/d

Fuente: Autoras

8.4 Resultados de la Simulación

En esta sección se mostrará la dinámica del agua por cada área de estudio, resultado de la simulación del escenario base sin la implementación de ningún tecnología para la gestión del recurso hídrico.

Tabla 13 Balance de agua Modelo 1

Balance de agua Anual - superficie de profundidad (mm) - Área de estudio	Promedio	2010	2011	2012	2013	2014
Precipitación	1486	1510	1880	1051	613	991
Agua Consumida	1172	1171	1171	1174	1171	1171
Evaporación	77	71	83	69	39	62
Escorrentía de agua pluviales	1207	1241	1528	849	508	800
Descarga de agua residual	1045	1047	1072	1014	982	1008
Cambio de almacenamiento	332	340	367	293	274	292
Medios de entrada neta	0	0	0	0	0	0

Fuente: Autoras

Tabla 14 Balance de masa de agua Modelo 2

Balance de agua Anual - superficie de profundidad (mm) - Área de estudio	Promedio	2010	2011	2012	2013	2014
Precipitación	1486	1510	1880	1051	613	991
Agua Consumida	2129	2127	2127	2133	2127	2127
Evaporación	23	21	23	21	17	20
Escurrimiento de aguas pluviales	1285	1321	1626	905	541	852
Descarga de agua residual	1830	1832	1860	1799	1761	1790
Cambio de almacenamiento	480	483	499	459	441	456
Medios de entrada neta	0	0	0	0	0	0

Fuente: Autoras

El programa UVQ como primer resultado nos muestra cual fue el comportamiento general del agua dentro de la zona de estudio según un balance de agua, demostrando en los resultados que toda el agua de entrada del balance sería la precipitación y el agua consumida y como salida de agua escurrimiento, descargas de agua residual y cambios en el almacenamiento del agua. Frente a los dos balances de agua se denota que el consumo de agua frente a los últimos 5 años estuvo relativamente estable, esto se debe a que en la localidad no hay un crecimiento poblacional significativo; el año con mayor consumo fue el año 2012, también se evidencia que debido al área descubierta en cada uno de los modelos, se ve reflejada la evaporación y la escurrimiento demostrando que en el modelo 1 el área descubierta es mayor que el área descubierta del modelo 2. Al revisar el agua residual se ve que esta es proporcional al agua consumida

Gráfica 7 Consumo de agua Modelo 1



Gráfica 8 Consumo de Agua Modelo 2

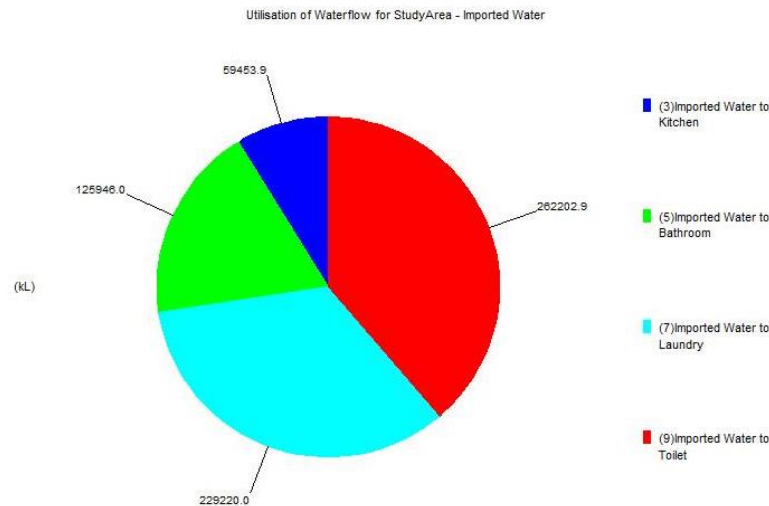


Fuente: Autoras

En las gráficas 7 y 8 se muestran como es el consumo de agua mensual por cada modelo en el año 2014, el consumo anual de agua consumida en el modelo 1 es de 676.823 m³ y el consumo del modelo 2 es de 2.233.989 m³. Se evidencia que en el modelo 2 se consume más agua que en el modelo 1, debido a que en esta zona de estudio hay una zona residencial y zona comercial, en las bases de datos de la EAAB el consumo que se da en las zonas residenciales es mucho mayor al consumo que se está presentado en la zona industrial, también se observa que en este modelo hay una mayor cantidad de viviendas lo que implica una mayor cantidad de habitantes por tanto un mayor consumo.

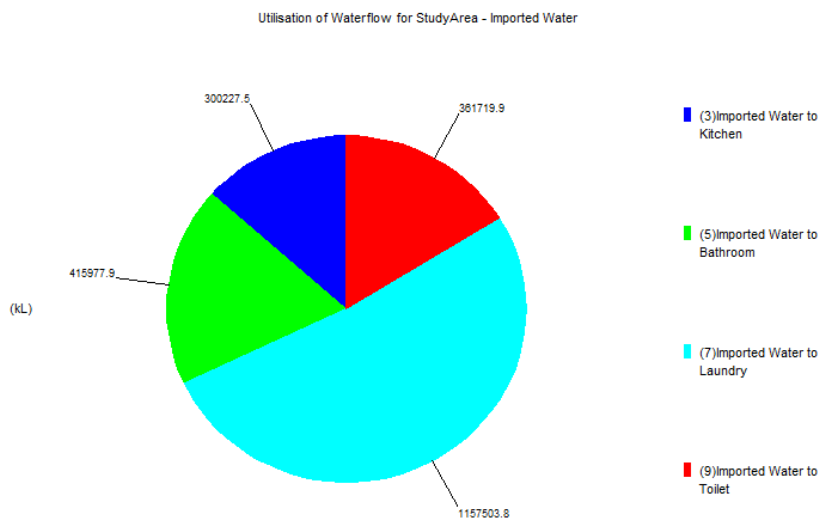
A continuación se mostrará el consumo del año 2014 en cada sección de la casa en cada uno de los modelos:

Gráfica 9 Consumo de agua por secciones de la casa Modelo 1



Fuente: UVQ

Gráfica 10 Consumo de agua por secciones de la casa Modelo 2



Fuente: UVQ

En la gráfica 7 se evidencia que en el modelo 1 el consumo de agua en el inodoro es mucho mayor que respecto al modelo 2 y en la gráfica 8 se denota que el consumo más alto se evidencia en la zona de lavandería, esto se debe a los datos de consumo y a los cambios realizados en el clúster industrial como se explicó en la calibración.

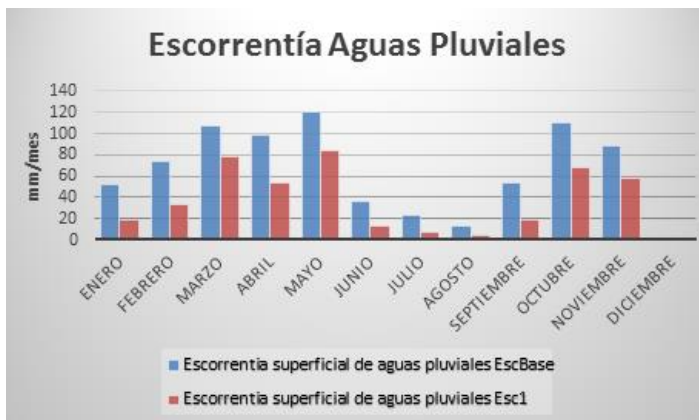
8.5 Resultados Escenarios de Recolección de agua Lluvia: Debido a que en el modelo 1 se implementaron dos tipos de tanques por sus usos de suelo y consumos de agua, los resultados se presentaran por cada clúster, en cambio en modelo 2 como se implementa el mismo tanque y la misma capacidad se mostraran los resultados como área de estudio. En este tipo de escenario las variables que mayormente se ven afectadas son la escorrentía, el agua consumida y el agua residual.

- **Clúster Industrial Modelo 1**

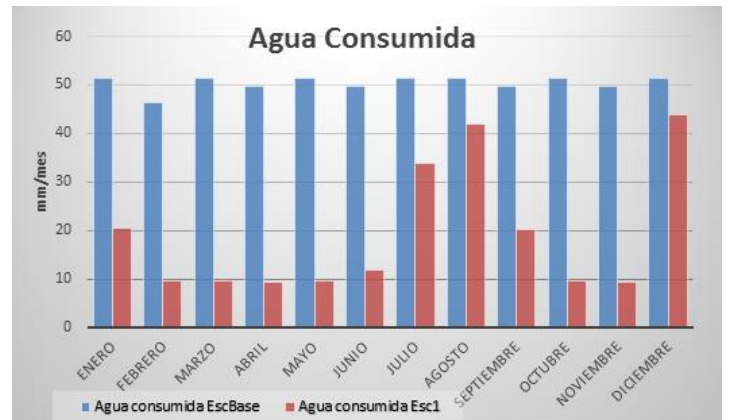
Como se especificó en la metodología en la zona industrial del modelo 1, se implementó un tanque de 6000 litros para la recolección de agua lluvia. El agua recolectada será utilizada para las actividades productivas y para inodoro; dentro del programa esta agua consumida se decidió ponerla en el consumo de inodoro ya que estas aguas por sus contaminantes no se podrían especificar como aguas grises, debido

a que en este escenario no se están aplicando ningún tipo de tratamiento para estos.

Gráfica 11 Escorrentía Aguas Pluviales Clúster Industrial



Gráfica 12. Agua Consumida Clúster Industria



Fuente: Autoras

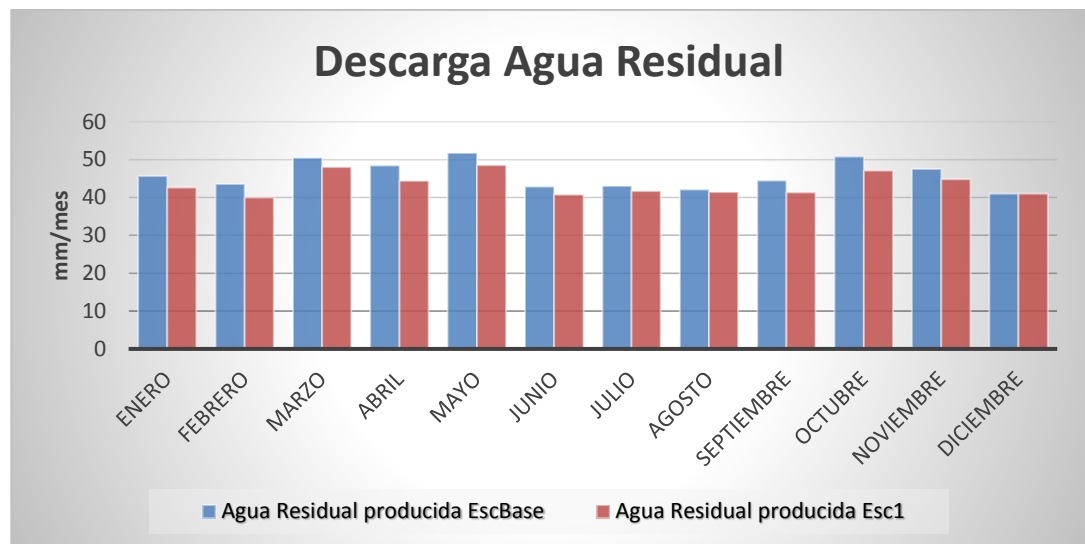
En la gráfica número 7 se observa como la escorrentía de aguas pluviales disminuye dentro del modelo al implementar el tanque de recolección del agua lluvia. En promedio mensual la escorrentía se disminuye en 28.1 mm, donde el mes donde hubo una mayor diferencia en las escorrentías del escenario base a escenario 1 fue abril con 44.9 mm y el mes con menor diferencia fue agosto con 8.3 mm.

En la gráfica número 8 se nota que también hay disminución gracias al tanque. En los meses que se presentan pocas precipitaciones se nota como el tanque tiene reserva de agua por las precipitaciones del mes anterior, lo cual ayuda a suplir el déficit de lluvias que se dan en el mes de junio. Más en julio se nota el cambio que tiene el consumo y se hace mucho más evidente en agosto aumentando el consumo de agua del acueducto por encima de los 40 mm/mes, aunque el consumo aumenta en este caso, gracias al tanque implementado se evidencia en la gráfica que en ninguno de los meses se iguala al consumo que se genera en el escenario base.

Al hacer el estudio de costo se encuentra que en el sector industrial un metro cubico de agua cuesta \$3.465 pesos en el año 2014 [39], en promedio el gasto

de agua mensual por industria es de alrededor de 18.8 m³ de agua potable, al momento de aplicar el escenario el consumo disminuye a 7.1 m³ de agua, lo cual implica un ahorro en el consumo de agua de alrededor de \$40.500 pesos.

Gráfica 13 Descarga Agua Residual Clúster Industrial



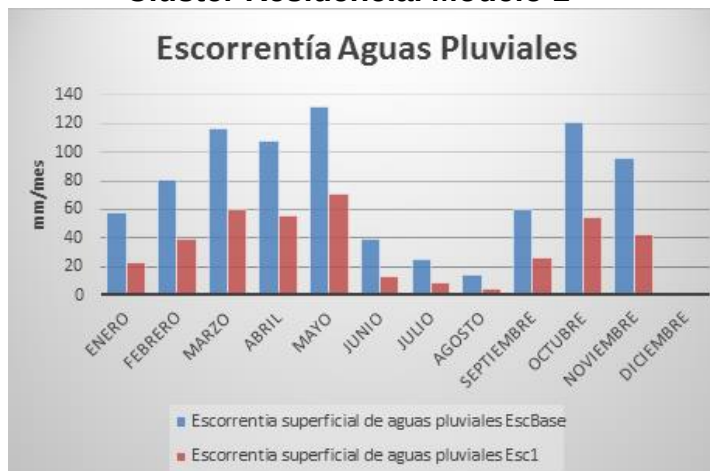
Fuente: Autoras

El agua residual generada en las industrias disminuye, debido a que el porcentaje de agua lluvia que ingresa al sistema de alcantarillado se elimina al momento de hacer la recolección

- **Zona Residencial Modelo 1**

Dentro de la zona residencial como se explicó en la metodología se implementa un tanque de 1000 litros para el uso específico en el inodoro y la lavandería de las casas ya que en estos lugares es donde más se da el gasto de agua en las zonas residenciales.

**Gráfica 14. Escorrentía Aguas Pluviales
Clúster Residencial Modelo 1**



**Gráfica 15 Agua consumida Clúster 2
Residencial Modelo 1**

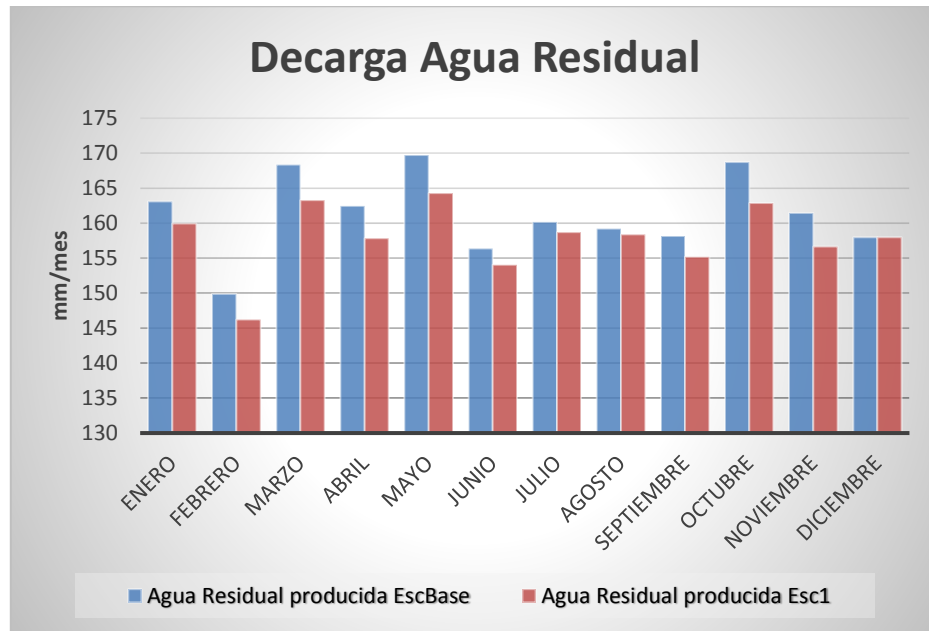


Fuente: Autoras

En la gráfica numero 10 evidenciamos que el cambio es drástico al momento en que se implementa una recolección de agua lluvia, disminuyendo así la escorrentía que se da en la zona. En el mes donde se ve que la diferencia de escorrentía es mayor es en el mes de octubre con un valor de diferencia de 65.85 mm a diferencia del industrial que es el mes de abril (esto puede ser por la capacidad del tanque de recolección de agua pluvial); el mes donde menor diferencia de escorrentía hubo igualmente fue en agosto por su escaza precipitación.

En la gráfica 11 se puede identificar que gracias al tanque de recolección de agua pluvial, el consumo de agua del acueducto disminuye evidentemente. En el mes en el que se da el mayor ahorro de agua es el mes de octubre con un valor de 73.17 mm, y el mes en el que se da el mínimo ahorro de consumo de agua es agosto con un valor de 10.40mm. Al hacer el estudio económico de la zona frente al cobro de agua potable se da que antes de la implementación del tanque de recolección de agua lluvia el consumo promedio de cada casa es de 46.99 m³ y posterior a la implementación del mismo disminuye a 36.82 m³, la tarifa de agua residencial por metro cubico es de \$2511 pesos; dando un ahorro económico de alrededor \$25.540 mensualmente.

Gráfica 16 Descarga de Agua Residual Clúster 2 Residencial Modelo 1



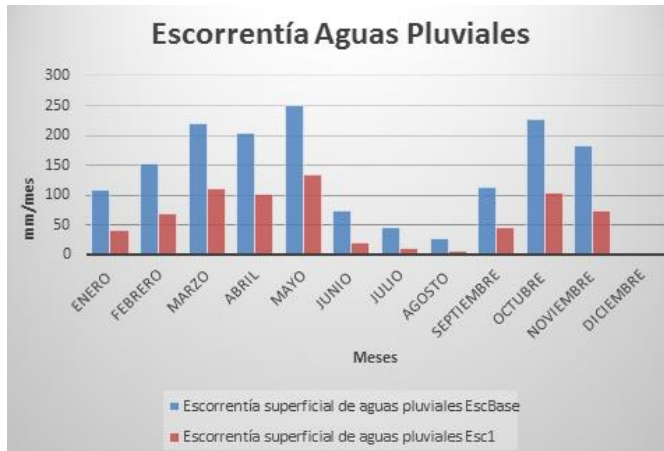
Fuente: Autoras

En la gráfica 12 se evidencia la disminución de agua residual, debido a que un porcentaje del agua pluvial se infiltra en la red de alcantarillado sanitaria; como se está realizando la recolecta en el tanque hace que el caudal de agua lluvia disminuya, por tanto la descarga de agua residual disminuye.

- **Zona Residencial y Comercial Modelo 2**

Se decide presentar los resultados del modelo 2 en área total ya que dentro de las variables de consumo estos gastan la misma cantidad de agua en todas las zonas de la casa además de que al momento de realizar la implementación de esta escenario, se elige que en el modelo se va a utilizar un tanque con la misma capacidad en metros cúbicos.

**Gráfica 17 Escorrentía Aguas Pluviales
Área de Estudio Modelo 2**



**Gráfica 18 Agua Consumida Área de Estudio
Modelo 2**

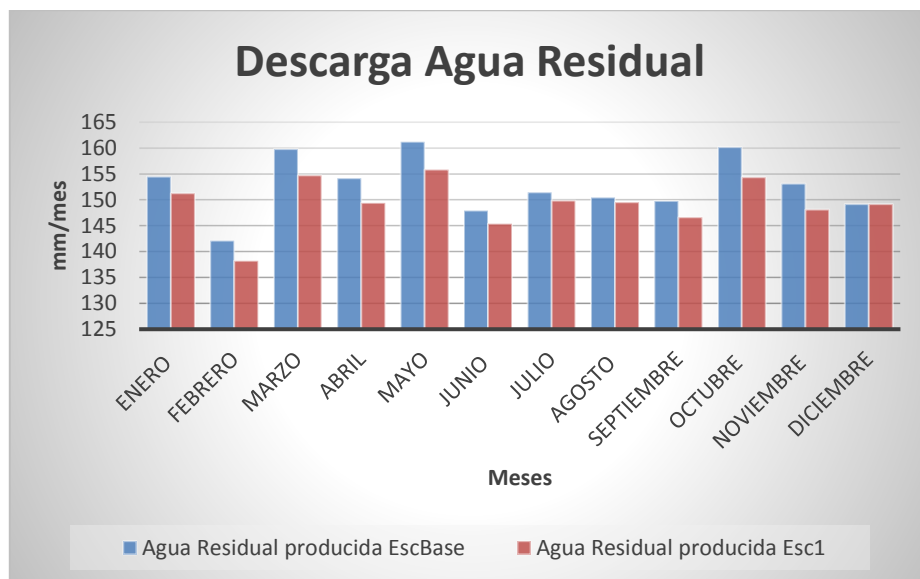


Fuente: Autoras

El cambio que se dio en la escorrentía al momento de aplicar el tanque que recolecta las aguas pluviales de este sector anualmente es de alrededor del 59.6% por debajo de la escorrentía del escenario base; en donde el mes de agosto es donde hubo mayor porcentaje de disminución con un 73.7% y el mes donde hubo menor porcentaje de disminución de escorrentía fue el mes de mayo con un 46.3% , agregando que este porcentaje de escorrentía depende directamente de las precipitaciones que se dan en el sector según la climatología que se incluyó dentro del programa para el posterior análisis del ciclo urbano.

Esta grafica es una de las más importantes porque es donde realmente se evidencia en que beneficiaria la recolecta de agua pluvial al sector, en el escenario base el agua que se estaría consumiendo el año 2014 en promedio mensual es de 181.8 mm y aplicando el escenario del tanque el promedio mensual es de 139.2 mm, demostrando que en promedio el agua que se consume estaría disminuyendo 42.7 mm mensualmente; donde el mes donde mayor ahorro se estaría dando es en mayo con 66.7 mm de agua potable y el que menos se estaría ahorrando es agosto con 11.4 mm debido a las precipitaciones que se dan en este año. `

Gráfica 19 Descarga Agua Residual Área de Estudio Modelo 2



Fuente: Autoras

Según la teoría se debería suponer que dentro del agua residual no deberían encontrarse cambios, ya que no se está implementando ninguna estrategia de disminución de consumo, a pesar de eso se encuentra que el porcentaje de descarga de aguas residuales disminuye en promedio un 2.3% al realizar la implementación del tanque de agua lluvia. Esto se podría justificar, debido a que en la zona puede haber una filtración de agua lluvia en el alcantarillado sanitario de la zona lo cual disminuye a la hora de recolectar el agua lluvia.

El estudio de costos dentro de la localidad se encuentra que hay precios diferentes frente al uso del suelo como lo es residencial y comercial, se hace un promedio de precio por m^3 \$2511 pesos, normalmente el consumo por casa es de $46.9 m^3$ mensual, al momento en el que implementa el tanque de agua lluvia disminuye el consumo a $35.9 m^3$ ahorrando en por mes \$27.700 pesos.

8.6 Resultados Escenarios Tratamiento Agua Gris

- **Filtro de suelo inclinado:** se encuentra que este es uno de los sistemas con bajo costo pero muy eficiente a la hora de remover contaminantes de las aguas grises domésticas, teniendo eficiencias altas a la hora de eliminar contaminantes orgánicos, nitrógeno total y fósforo total. [36]

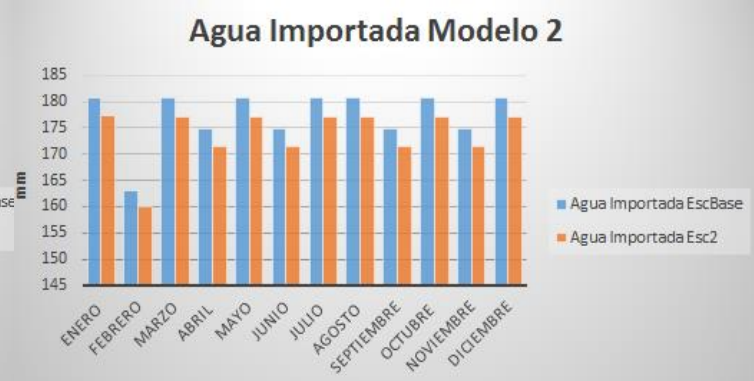
Tabla 15 Remoción de contaminantes Filtro de Suelo

Modelo	Escenario	TP (mg/L)	TN (mg/L)	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	SST (mg/L)
Modelo 1 (Residencial)	Base	20.00	76.06	266.92	589.83	332.08
	Esc 2	3.19	16.43	45.86	89.26	73.79
Modelo 2	Base	19.92	75.73	265.78	587.29	330.66
	Esc 2	3.16	16.19	45.27	88.22	72.71

Fuente: Autores

Gracias a los porcentajes de remoción se denota como los contaminantes disminuyen significativamente, se quiso comparar el tratamiento con una normativa colombiana o internacional. Pero nacional para reuso de aguas grises domesticas no existe y al momento de revisar normativa internacional en este caso de España [40] la remoción no alcanzaba a cumplir los niveles mínimos por litro y si se integran más tratamientos deja de ser viable económicamente.

Frente al agua consumida en cada uno de los modelos se presentan las siguientes gráficas:

Gráfica 20 Agua Consumida Esc2 Modelo 1**Gráfica 21 Agua Consumida Esc2 Modelo 2**

Fuente: Autoras

El agua consumida depende directamente de la cantidad de viviendas y personas que haya en cada zona de estudio, al momento de la implementación de la circulación de agua gris se busca una solución frente a la disminución de consumo de agua, el programa UVQ permite únicamente que estas aguas pueden ser utilizadas en la descarga del inodoro, tal vez es una de las razones por las cuales en este escenario no se ven unas diferencias más grandes frente al agua consumida, sin embargo se puede ver que hay un ahorro de agua al momento de implementar este escenario. En el modelo 1 se da un ahorro más grande con promedio de 15.6 mm ahorrados de agua por mes, más en el modelo dos el promedio 3.4 mm ahorrados mensuales, hay que tener en cuenta que este análisis se está haciendo de forma que el modelo 1 solo se está teniendo en cuenta la zona residencial y el modelo 2 se está tomando como zona de estudio.

- **Escenario de remoción de contaminantes en clúster industrial**

En este escenario se plantea un tratamiento para el agua residual del clúster industrial específicamente por la cantidad de cromo que presenta. Se removerá a partir del proceso de coagulación como se explicó en la metodología.

El programa muestra la carga contaminante del total del agua residual por zona de estudio en este caso por Cluster, como se observa en la tabla 14, para poder realizar un análisis más acertado se decide realizar la conversión de unidades de carga a concentración.

Tabla 16 Carga de los contaminantes

	kL	Cromo mg	DBO mg	DQO mg	TSS mg
Esc Base Wastewater out	214038.117	2994588480	4910155200	1422126432	7601647680
Esc3Wastewater out	196912.934	27241997.5	2831792000	863665269	3923047040

Fuente: Autoras

Para realizar la conversión de carga a concentración se divide la carga contaminante por el caudal y esto lo divido por 1000, de esta forma se obtiene la concentración contaminante en unidades de mg/l, como se ve en la tabla 15.

Tabla 17 Concentración de contaminantes

	kL	Cromo mg/l	DBO mg/l	DQO mg/l	TSS mg/l
EscBase	13.9909121	22.9405644	6.64426717	35.5153923	
Esc3	0.103834539	14.3809345	4.3860261	19.9227494	

Fuente: Autoras

Al observar las concentraciones de los contaminantes antes y después del escenario, se demuestra que el tratamiento es efectivo puesto que reduce la concentración de los contaminantes más del 50%, al implementar esta tecnología por Clúster se permite mejorar la calidad del agua.

La reutilización de agua en procesos industriales es regida por la resolución 1207 del 2014, esta establece los límites permisibles para dicho proceso. Con el fin de poder comparar la norma es necesario hacer un escenario adicional por industria, mostrando así si el tratamiento es efectivo para poder hacer dicha reutilización.

Tabla 186 Comparación con la norma

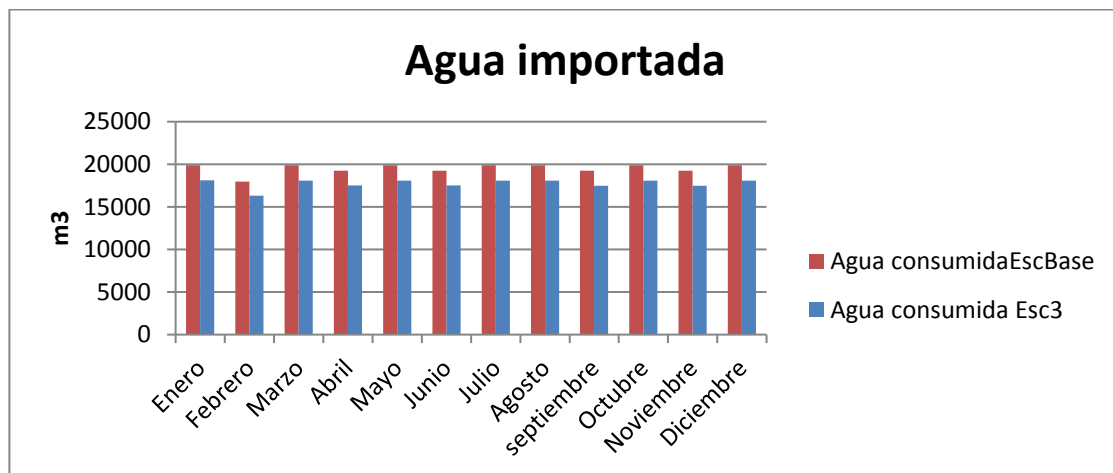
	kL	Cromo mg/l	DBO mg/l	DQO mg/l	TSS mg/l
Esc3	0.103834539	14.3809345	4.3860261	19.9227494	
Resolución 1207 2014	0.1	30	-	-	

Fuente: Autoras

Como se puede observar en la tabla 16 se evidencia que los únicos parámetros que exige la norma para el reúso en industria son Cr y DBO los cuales cumple la norma al implementar el escenario de tratamiento

Al realizar la implementación del tratamiento se permite hacer un reúso del agua en el proceso de la industria lo que implica una disminución de consumo de agua como se evidencia en la grafica

Grafica 22 Agua consumida Clúster industrial modelo 1



Fuente: Autoras

En la gráfica 22 se observa la disminución del consumo de agua por la EAAB, en promedio anual en el Clúster se consume 19511.805m³ y disminuye a 17739.5096 m³ lo que genera un ahorro de 1772.295417 m³ de agua, esto calculado en valor económico en la zona se está ahorrando \$ 61'467.400 pesos anualmente

9 IMPACTO SOCIAL

El impacto social que genera el proyecto se podría ver desde diferentes perspectivas, inicialmente se da una solución ambiental debido a que según los escenarios planteados la recolecta de agua lluvia o reutilización de aguas grises disminuye el consumo de agua potable lo cual hace que el agua que debe ser consumida desde la cuenca es menor, generando el mínimo impacto; se podría decir que hay un impacto positivo económicamente ya que gracias a los m³ ahorrados el pago en acueducto disminuye, añadido a ello se evidencia la disminución en la escorrentía lo cual disminuiría la probabilidad de inundaciones en la zona, generando un mejoramiento en la calidad de vida de las personas al no tener que afrontar estos evento hidrológico o al poder controlar el caudal que genera el mismo. Otro impacto Social que se podría generar al realizar el proyecto es el mejoramiento de la calidad de vertimiento del agua residual de la zona industrial del barrio san Benito, lo que podría mejorar la calidad de vida de los habitantes controlando los olores de los vertimientos cumpliendo su derecho constitucional de convivir en un ambiente sano y mejorando la calidad del agua del rio Tunjuelo.

10 CONCLUSIONES

- Se pudo mostrar que el mejor escenario para la gestión del recurso hídrico es la recolección de agua lluvia puesto que es un escenario que no requiere un valor económico elevado de implementación y por el contrario beneficia a la población a disminuir el consumo de agua de la EAAB lo que genera un impacto positivo en la economía dentro del hogar
- El programa UVQ es un software de gratuito acceso que nos muestra la dinámica hídrica en las ciudades, la cantidad de variables requeridas y la complejidad del mismo lo hace un programa muy completo; para el caso aplicable de este proyecto la calidad de los datos suministrados por las entidades encargadas de monitorear la zona de estudio y los procesos propios del modelado pueden generar cierta incertidumbre en los resultados obtenidos, aunque esta fue una muy buena aproximación a la aplicabilidad del programa

- El consumo de agua en el sector residencial es mayor en comparación del sector industrial porque al realizar la simulación de cada modelo se determinó el consumo para cada zona, demostrando así que el uso de suelo residencial gasta mucha más agua que el sector industrial.
- Las variables requeridas para la simulación en su mayoría son extraídas de literatura extranjera debido a la falta de estudios del agua en zona urbana en Bogotá y en el país en general.
- Al realizar la recolección de agua lluvia se puede visualizar que disminuye el agua de escorrentía, esto conlleva al beneficio a la población ya que disminuye la probabilidad de inundaciones en la zona

11 RECOMENDACIONES

- Las bases de datos de las empresas públicas, deben estar más organizadas porque no contiene datos completos, al diligenciar esta información es aún mayor el porcentaje de error en la simulación.
- Se deberían hacer estudios oficiales de cuál es el comportamiento y consumo de agua en la ciudad de Bogotá, para que así la gestión del recurso hídrico sea viable y confiable.
- El software debería tener más en cuenta los usos de suelo, así no es necesario incluir el consumo en otra sección.
- Para la implementación de escenarios de tratamiento de agua residual es recomendable antes, realizar una caracterización de la calidad del agua en la zona de estudio donde se propondrá, con el fin de implementar una tecnología adecuada para dicho vertimiento.

Bibliografía

- [1] M. McKinney, «Urbanization, Biodiversity and Conservation,» vol. 52, nº 10, 2002.
- [2] J. Lee y J. Heaney , «Estimation of Urban Imperviousness and its Impacts on Storm Water Systems,» vol. 129, nº 5, 2003.
- [3] Environmental Protection Agency , Estimating Change in Impervious Area (IA) and Directly Connected Impervious Areas (DCIA) for Massachusetts Small MS4 Permit, Massachusetts: Environmental Protection Agency , 2010.
- [4] J. Sansalone y S. Buchberger, Partitioning and First Flush of Metals in Urban Roadway Storm Water, Journal of Environmental Engineering, 1997.
- [5] J.-l. Huang, P.-f. Du, C.-t. Ao, M.-h. Lei y D.-q. Zhao, «Characterization of surface runoff from a subtropics urban catchment,» vol. 19, nº 2, 2007.
- [6] El Tiempo, «El Tiempo,» 20 12 2010. [En línea]. Available: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-8637800>. [Último acceso: 28 10 2015].
- [7] Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático, «Bogotá Mejor para Todos,» Alcaldía Mayor de Bogotá, [En línea]. Available: <http://www.idiger.gov.co/inundacion>. [Último acceso: 22 10 2015].
- [8] E. Gutierrez, «El Espectador,» 25 08 2008. [En línea]. Available: <http://www.elespectador.com/impreso/bogota/articuloimpreso-tunjuelito-sigue-inundado>. [Último acceso: 25 10 2015].
- [9] M. Inman, G. Mitchell, H. Duncan, M. Rahilly y J. Stewart, «Integrated Urban Water Modelling – Past, Present, and Future,» 2007.
- [10] G. Mitchell, H. Duncan , M. Inman, M. Rahilly, J. Stewart y A. Vieritz, «Integrated Urban Water Modelling-Past,Present and Future,» 2007.
- [11] J. Ordoñez, Ciclo Hidrológico, Lima : Sociedad Geográfica de Lima, 2011.
- [12] L. Maderey y A. Jimenez, Principios de Hidrogeografía, Estudio del ciclo hidrológico, México: UNAM Geografía, 2005.

- [13] J. Marsalek, B. Jimenez, M. Karamouz, P.-A. Malmquist, J. Goldenfum and B. Chocat, Urban Water Cycle Processes and Interactions, Paris: Taylor & Francis, 2008.
- [14] A. Ehrenfried, P. Pérez del Real y M. Lopez de Asiain Alberich, El ciclo urbano del agua, Sevilla : Ideas Sostenible, 2007 .
- [15] D. Casero, Potabilización del Agua, Escuela de Negocios, 2008.
- [16] A. Sanabria , M. Fonseca y A. Cotes , Operación y mantenimiento de sistemas de abastecimiento de agua, ANAM, 2010.
- [17] SEMANART, Alcantarillado Sanitario, México: Gobierno Federal de Mexico , 2009.
- [18] J. Lizarazo y M. Orjuela, Sistemas de plantas de tratamiento de aguas residuales, Bogotá: Universidad Nacional, 2013.
- [19] T. Fletcher, W. Shuster , W. Hunt , R. Ashley, D. Butler , S. Arthur, S. Trowsdale y S. Barraud, «SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage,» vol. 12, nº 7, 2014.
- [20] CSIRO, UVQ User Manual , 2010.
- [21] E. Dominguez, «Modelacion Matematica- una introduccion al metodo».
- [22] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico, Bogotá, 2010.
- [23] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Resolución 2115, Bogotá, 2007 .
- [24] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Convenio 487, Bogotá, 2014.
- [25] Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible, Decreto 1076, Bogotá, 2015.
- [26] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Resolución 631, Bogotá, 2015.
- [27] Secretaria Distrital de Ambiente, Resolución 3957, Bogotá , 2009.
- [28] C. D. V G Mitchell*, UVQ: A tool for assessing the water and contaminant balance impacts of urban development scenarios, Australia: CSIRO .
- [29] E. M.Last, CITY WATER BALANCE, Birmingham, United Kingdom, 2010.

- [30] D. García, "Robust smoothing of gridded data in one and higher dimensions with missing values," *Computational Statistics & Data Analysis*, vol. 54, pp. 1167-1178, 2010.
- [31] Ministerio de Ambiente, Formulación de Planes de Pretratamiento de Efluentes Industriales, SINA, 2002.
- [32] Cámara de Industria Curtidora, Cueros, Argentina, 2003.
- [33] D. Parra , L. Carrillo y E. Velandia , Estudios de alternativas para el aprovechamiento y reuso del agua doméstica, Bogotá: Epsilon, 2015.
- [34] S. E. Martinez, O. Escolero y L. Wolf, «Total Urban Water Cycle Models in Semiarid Environmets- Quantitative Scenario Analysis at the area of San Luis Potosi, Mexico,» vol. 25, nº 1, 2010.
- [35] K. Ushijima, . K. Ito, R. Ito y N. Funamizu, «Greywater treatment by slanted soil system,» vol. 50, 2013.
- [36] L. Fangyue, W. Knut y O. Ralf, «Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses,» vol. 407, 2009.
- [37] Z. Song, C. J. Williams y R. G. Edyvean, «Treatment of tannery wastewater by chemical coagulation,» vol. 164, 2004.
- [38] A. Sharma, A. Grant , S. Gray y G. Tjandraatmadja, Sustainability of Alternative Sewerage servicing options- Yarra Valley Water, Australia : CSIRO, 2006.
- [39] ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO, «Tarifas Cargo Fijo y Consumo,» 01 07 2014. [En línea]. Available:
http://www.acueducto.com.co/wpsv61/wps/portal/!ut/p/c5/hY47DoJQEEXXwgpmeF8oiSKgwNMgCjTlxRDE8LEwJuxeil0NMIOee88MFDBtr99NrV_N0OsWMihEaZIJIEifoJJki4HjupagjJ4ZnXguyo3n-EyGilpcEEEnMkxOmCcWArrSv872fhMd3NgaK26GKPBORf_k__8xxYRYE2B-6CtIVS84hE5BDIRe-3bPDxNuq1rcRnl2G. [Último acceso: 20 04 2016].
- [40] BOE, Real Decreto 1620 por el que se establece el régimen jurídico de reutilización de aguas depuradas, España , 2007.
- [41] Empresa de Acueducto Agua y Alcantarillado de Bogota, «Reporte de consumo por usuario UPZ 62,» Bogota, 2015.

- [42] Secretaría de Planeación, Bogotá, Ciudad de Estadísticas Boletín no. 31, Bogotá: Alcaldía Mayor de Bogotá, 2011.
- [43] G. Mitchell, «Applying Integrated Urban Water Management Concepts,» vol. 37, nº 5, 2006.
- [44] Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado, Bogotá, 2006.
- [45] A. Sharma, A. Grant, G. Tjandraatmadja y S. Gray, Sustainability of Alternative Sewerage Servicing Options, Australia: CSIRO, 2006.