

**UNIVERSIDAD MILITAR
NUEVA GRANADA**



**FORMULACIÓN Y ANÁLISIS DEL POTENCIAL DE REUTILIZACIÓN DE
LAS AGUAS RESIDUALES TRATADAS EN LA PTAR EL SALTRE -
BOGOTA D.C.**

:

Julián Ariza Bachiller
Juan Camilo Zambrano Uribe

Artículo

Director
Edgar Camilo Luengas Pinzón
Ingeniero Sanitario, Universidad del Valle. Magister Scientiae en Ingeniería
Ambiental Universidad Nacional de Colombia

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
DIRECCIÓN DE POSTGRADOS
ESPECIALIZACIÓN EN PLANEACIÓN AMBIENTAL Y MANEJO DE LOS
RECURSOS NATURALES
BOGOTA D.C.
2012**

FORMULACIÓN Y ANÁLISIS DEL POTENCIAL DE REUTILIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES TRATADAS EN LA PTAR EL SALITRE - BOGOTÁ D.C.

FORMULATION AND ANALYSIS OF TREATED WASTEWATER REUSE POTENTIAL IN THE WWTP EL SALITRE – BOGOTA D.C.

Julián Ariza Bachiller¹
Juan Camilo Zambrano Uribe²
Edgar Camilo Luengas Pinzon³

¹Ingeniero Ambiental y Sanitario, Universidad de La Salle, Bogotá, D.C., Colombia, juarba1@hotmail.com

²Biólogo, Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, D.C., Colombia, juanczambrou@gmail.com

³Ingeniero Sanitario, Magister en Ingeniería Ambiental., Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, D.C., ecalupi@hotmail.com

Resumen: La creciente escasez de agua para consumo, ya sea por agotamiento del recurso, ubicación geográfica o contaminación hídrica, da lugar al uso de aguas residuales recuperadas (tratadas) como una fuente adicional de suministro. Sin embargo, la cantidad y calidad de agua residual que puede ser permitida para su reutilización está condicionada a diversos factores, ya sean socioeconómicos, técnicos (capacidad tecnológica de la planta de tratamiento de aguas residuales - PTAR), culturales y políticos. Este estudio pretende mediante el análisis de la red de suministro y demanda, capacidad actual y potencial de la PTAR El Salitre, proveer las bases de tipo funcional para la reclamación de agua, además de la identificación de las restricciones económicas y alternativas para la implementación de técnicas competitivas que puedan ayudar para la reutilización potencial de aguas residuales en la ciudad de Bogotá D.C. Para esto, y con base en el marco teórico, se logró definir el principio de sostenibilidad como fundamento del criterio de la reutilización del recurso tratado como alternativa de conservación de los recursos naturales. De igual manera, mediante la identificación de los componentes y tipos de reutilización del recurso se delimito la normatividad ambiental aplicable al proyecto y los antecedentes globales y locales que tiene lugar en el tema. La metodología utilizada para la formulación del potencial de reutilización de aguas residuales estará determinado por la aplicación de un procedimiento matemático, con el fin analizar los diferentes escenarios de reutilización de aguas recuperadas (tratadas) y los valores registrados permiten estimar y considerar la viabilidad técnica y económica de las alternativas. Los registros de volúmenes obtenidos para los usos potenciales de reutilización permitieron definir cuales requieren de inversión capital y tecnológica debido a que representan las actividades económicas y necesidades de mayor demanda por los ciudadanos.

Palabras Clave: Potencial de reutilización, agua residuales recuperadas, reclamación del recurso, procedimiento matemático

Abstract: The increasing scarcity of drinking water, either by depletion of the resource, location or water pollution, leads to the use of reclaimed wastewater (treated) as an additional source of supply. However, the quantity and quality of wastewater that can be allowed for reuse is subject to various factors, whether socioeconomic, technical (technological capacity of the treatment plant wastewater - WWTP), cultural and political. This study aims by analyzing the network of supply and demand, current and potential capacity of the WWTP El Salitre, provide the basis of functional type for water reclamation, as well as the identification of economic constraints and alternatives for implementing competitive techniques that can assist potential for reuse of wastewater in the city of Bogotá D.C.. For this, and based on the theoretical framework, was defined the principle of sustainability as the basis of the criterion of treated resource reuse as an alternative to natural resource conservation. Similarly, by identifying the components and types of resource reuse, was delimited the environmental regulations applicable to the project and the global and local history that takes place on the subject. The methodology used for developing the potential of wastewater reuse is determined by applying a mathematical procedure, to analyze different scenarios of reuse of reclaimed water (treated) and the recorded values to estimate and consider the technical feasibility and economic alternatives. Records of volumes obtained for the potential uses of reuse allowed to define which require capital investment and technology, because they represent economic activities and needs of higher demand by citizens.

Keywords: potential reuse, reclaimed wastewater, resource reclamation, mathematical procedure.

1. Introducción

La creciente escasez de agua para consumo, ya sea por agotamiento del recurso, ubicación geográfica o contaminación hídrica, da lugar al uso de aguas residuales recuperadas (tratadas) como una fuente adicional de suministro. Sin embargo, la cantidad y calidad de agua residual que puede ser permitida para su reutilización está condicionada a diversos factores, ya sean socioeconómicos, técnicos (capacidad tecnológica de la planta de tratamiento de aguas residuales - PTAR), culturales y políticos.

Para Colombia, un país potencia en recursos hídricos, es importante conocer las implicaciones ambientales y sociales a futuro del potencial de reutilización de aguas residuales, ya que esta reclamación puede ser implementada para irrigación agrícola, recarga de acuíferos, lavado de automóviles, descarga de inodoros, riego de céspedes urbanos, limpieza de vías, entre otros, teniendo en cuenta las implicaciones a la salud. Dentro de las medidas que se puedan tomar para lidiar con los distintos problemas relacionados con la escasez de agua, expandir la capacidad de tratamiento de aguas residuales y reutilización puede llegar a ser crucial. Se trata de una práctica probada y suficientemente desarrollada para ser aplicada en condiciones seguras para la salud humana y protección del medio ambiente. [7]

Con la reutilización se busca minimizar la demanda sobre las actuales fuentes de suministro. Esta reducción implica la postergación de importantes inversiones económicas a nivel distrital en los sistemas de captación actual y proyectada y los de distribución de aguas residuales, de modo de plantear una oportunidad para la disminución en la concentración y volumen de las mismas en cuerpos de agua superficial.

Los Lineamientos de Política para el Manejo integral del Agua plantean como objetivo específico disminuir la contaminación y recuperar las condiciones de calidad de las fuentes según los usos requeridos, destacando para ello una estrategia de “Transformar los patrones tecnológicos para disminuir las descargas de sustancias contaminantes en los vertimientos de las actividades extractivas, agropecuarias, industriales y de servicios” [1].

La reutilización del agua residual tratada es el aprovechamiento en actividades diferentes a las originales, la reutilización potencial puede hacerse desde los diferentes actores de la sociedad con el fin de prestar servicios menos exigentes en calidad (diferente a agua de consumo humano) pero cumpliendo con los parámetros normativos para evitar inconvenientes de carácter ambiental, social y económico. Los registros de volúmenes obtenidos para los usos potenciales de reutilización permitieron definir cuales requieren de inversión capital y tecnológica debido a que representan las actividades económicas y necesidades de mayor demanda por los ciudadanos. Siendo el uso potencial agrícola y urbano son los que demandan el estudio y formulación de planes de mejoramiento que permitan aumentar el nivel y calidad de vida de los ciudadanos.

2. Marco Teórico

El contenido del marco teórico permite desarrollar y desenvolver el tema del potencial de reutilización de aguas tratadas, aplicando el principio de sostenibilidad enfocado en la demanda y conservación del recurso hídrico. De esta manera, argumentar la reclamación y/o reutilización del agua residual, los tipos, componentes y actividades principales de reutilización.

2.1 Principio de Sostenibilidad

El principio de sostenibilidad, una piedra angular en el reporte de la comisión de Brundtland, titulado nuestro futuro común “our common future” [2], se define como lo siguiente: “la humanidad tiene la habilidad de realizar un desarrollo sostenible asegurándose de solventar las necesidades en el presente sin comprometer la habilidad de futuras generaciones de solventar sus propias necesidades”. Por esto, la sostenibilidad se ha convertido en un principio de desarrollo político, económico, y social y ha alcanzado una aceptación pública considerable; aun así, el debate continúa sobre cómo debe ser el sostenimiento y para quién. [3], [4].

El objetivo de la sostenibilidad de recursos hídricos y su manejo es cumplir las necesidades fiable y equitativamente para presentes y futuras generaciones gracias al diseño de sistemas integrados y adaptados, optimizando el uso del agua, además, de hacer continuos esfuerzos, en aras de la preservación y restauración de ecosistemas naturales. La transición a una sociedad sostenible, plantea, una variedad de retos tecnológicos y sociales; en cuanto a lo tecnológico, las innovaciones de este tipo, pueden ayudar a mejorar lo relacionado a la ecoeficiencia de las actividades humanas, reconociendo, que los recursos hídricos son finitos y es esencial que el uso en general de este recurso sea sostenible a pesar de, el aumento en la eficiencia de actuales y futuras tecnologías. A menos que las tasas población y el consumo se reduzcan, los avances técnicos pueden tan solo retrasar el inicio de consecuencias negativas [5].

Hoy, las consideraciones para la sostenibilidad deben incluir un numero de aspectos que varia tanto espacial como temporalmente, incluyendo la energía, usos de recursos y polución ambiental [6].

En lo relacionado a la producción mas limpia, para el manejo de las aguas residuales de debe partir de la prevención de la contaminación, asociando esto, a la reconversión de procesos (disminución o sustitución en el uso de materias primas, reciclaje de agua), manufacturación de productos y bienes que minimicen los efectos negativos sobre el ambiente principalmente sobre el recurso hídrico, sumando la reducción del consumo y reutilización del recurso [7].

2.2. Reclamación y Reutilización de Agua Residual

La reclamación de agua es el tratamiento o procesamiento de agua residual, con el fin de volverla reusable, implicando un tratamiento definido y confiable para criterios de calidad de aguas. La reutilización o reuso de agua, es el uso de agua residual tratada con fines benéficos, tales como el riego agrícola o la refrigeración industrial. El agua residual tratada municipal representa una fuente mas confiable y significativa para reclamación de agua, comparada, con aguas residuales provenientes de los flujos de retorno agrícola, escorrentía de aguas pluviales y descargas industriales [8].

Actualmente, en nuestra sociedad, las comunidades se están aproximando a los limites de sus suministros de agua, es por esto que, la reclamación y reutilización se ha vuelto una opción atractiva para la conservación y extensión del suministro, potencialmente, por la substitución por agua reclamada en aplicaciones que no requieran alta calidad de agua; el aumento de recursos hídricos y provisión de un medio alternativo de reservas para la manutención de necesidades actuales y futuras; protección de ecosistemas acuáticos debido al decrecimiento en el trasvase de agua fresca, reduciendo la cantidad de nutrientes y otros contaminantes tóxicos que entran a las corrientes hídricas; reducción en la necesidad de estructuras encargadas del control de aguas y el cumplimiento con las regulaciones ambientales gracias a un mejor manejo en el consumo del agua y descargas de agua residual [8].

La reclamación de agua y su reutilización involucra consideraciones de salud pública y también requiere exámenes exhaustivos de infraestructura y planeación, asentamientos de plantas de tratamiento de aguas residuales, confiabilidad en los procesos, análisis económicos y financieros, además del manejo de la utilidad involucrando la integración efectiva de recursos hídricos y reclamación de agua. Todo lo anterior de la mano bajo un estrictas consideraciones económicas, usos potenciales del agua reclamada, protección a la salud publica, rigurosidad en los requerimientos pertinentes a descarga de residuos y política publica donde el deseo de conservar sea mayor que el de desarrollar y aprovechar recursos hídricos disponibles [8].

2.2.1 Tipos de reutilización de agua

Las principales categorías de aplicación de reutilización de aguas residuales se encuentran en la Tabla 1, en orden descendente de acuerdo al volumen de uso [8].

Tabla 1. Categorías de reutilización de agua y sus aplicaciones, modificado de Asano y colaboradores [8]

CATEGORIA	APLICACIÓN
Riego agrícola	Riego de cultivos
	Viveros comerciales
Riego de paisajes	parques
	Campos escolares
	Separadores de vías
	Campos de golf
	cementerios
	residencias
Reciclaje industrial y reutilización	refrigeración
	Alimentación de calderas
	Procesos con agua
	Contracción pesada
Recarga de acuíferos	Reposición de acuíferos
	Control de intrusión de agua salina
	Control de hundimientos
Usos recreacionales y ambientales	Lagos y estanques
	Mejoramiento de pantanos
	Aumento de caudales
	Zonas de pesca
Usos no potables	Protección contra incendios
	Aire acondicionado
	Descarga de inodoros
Reutilizaciones potables	Mezcla en suministros de reservas de agua
	Mezcla en acuíferos
	Suministro de agua directo a la tubería

La reutilización de agua residual es el aprovechamiento del agua utilizada previamente, independiente del número de veces en alguna actividad para suplir las necesidades de otros usos [9]. La clasificación consta de:

Reutilización indirecta no planeada: Ocurre cuando el agua es utilizada y es descargada en forma diluida en los cuerpos de agua receptores y posteriormente es utilizada de manera no intencional.

Reutilización indirecta planeada: Ocurre cuando los efluentes tratados son descargados de manera planeada a los cuerpos receptores para ser utilizados de forma intencional y controlada en algún uso beneficio.

Reutilización directa planeada: Ocurre cuando los efluentes tratados son empleados directamente en alguna aplicación de reutilización local.

Una segunda clasificación fue establecida por Westerhoff en 1984, quien ordeno la reutilización de agua en dos grandes categorías:

Reutilización potable: Clasificado a su vez en directo o indirecto. Si los efluentes tratados son empleados directamente en alguna aplicación de reutilización local, se denomina "Directo". Por el contrario, si el agua es utilizada y descargada en forma diluida en los cuerpos receptores y posteriormente es utilizada, se denomina "Indirecto" [10].

Reutilización no Potable: Para fines agrícolas, industriales, domésticos, manejo de cursos de agua, acuicultura y recarga de acuíferos [10].

Otros autores definen la reutilización del agua como el aprovechamiento de las aguas residuales tratadas en actividad diferente a la que las originó [9], [11] y paralelamente definen el concepto de Recirculación cuando se efectúa la utilización de aguas residuales tratadas en la actividad que la generó, siendo esta una forma especial de la reutilización [11].

2.3 Componentes de la reutilización

En primer término es necesaria la recolección de las aguas residuales en sistemas de alcantarillado (Colectores, interceptores y emisarios) [12].

Una vez recolectadas las aguas deben ser sometidas a un tratamiento previo que puede ser sencillo o complicado dependiendo del uso que se vaya a dar a las aguas residuales para cumplir con los criterios de calidad requeridos, realizando el control y monitoreo continuo del efluente de la planta de tratamiento, mediante caracterizaciones fisicoquímicas y microbiológicas, para garantizar que no existen riesgos de afectación a la salud humana y al medio ambiente. En este punto, el efluente de la planta de tratamiento se constituye en recurso y para su aprovechamiento se requiere concesión de aguas. El efluente debe conducirse al sitio o sitios donde se aplicará la reutilización [12].

Administración del recurso: La concesión de aguas es el instrumento mediante el cual se administra el recurso y a la vez regula la reutilización, ya que establece unos criterios de calidad admisibles y otras condiciones para el uso del agua residual en condiciones de seguridad sanitaria y ambiental [12].

Control y seguimiento ambiental: Para verificar que los efluentes de la planta de tratamiento cumplan con los criterios de calidad que el tipo de reutilización demande [12].

La reutilización logra la reducción de los volúmenes de agua captada de corrientes o cuerpos de aguas naturales y simultáneamente minimiza o elimina cargas contaminantes que antes se vertían a fuentes hídricas y se posibilita una mayor disponibilidad de aguas naturales de mejor calidad para el consumo humano, animal y desarrollo de los recursos hidrobiológicos [12].

2.3.1 Otras actividades para reutilizar el agua

La reutilización tiene aplicación en los sectores urbano, industrial y minero. A continuación, se describen los potenciales usos del agua en cada sector:

SECTOR URBANO: El agua cruda es generalmente tratada para satisfacer las demandas de agua potable de la población. La demanda de agua potable en Colombia depende de diferentes factores como el estrato socioeconómico, el clima y las tarifas del servicio y puede variar entre 112 y 226 L/hab día, siendo el consumo medio 175 L/hab día. [12]

SECTOR INDUSTRIAL: Aunque el agua que demanda el sector industrial es en promedio el 5% del total utilizado en los municipios, en algunos casos en regiones industrializadas puede representar hasta el 20% del total. La reutilización de agua es ideal para muchas industrias que para sus procesos productivos no requieren agua de gran calidad. Su aplicación resulta en la disminución del volumen de agua captada, reduce el volumen y carga del vertimiento y minimiza los costos de descontaminación para cumplir con la normatividad ambiental. La reutilización de agua en este sector puede darse a través de la recirculación dentro de la misma industria, o por recepción de agua de reutilización de una fuente externa [12].

SECTOR AGRICOLA: Especie, sistema de cultivo, área cultivar, densidad de siembra, prácticas culturales, agroquímicos a utilizar, sistema de riego, número de cosechas anuales, cronograma mensual de requerimientos de agua [12].

PECUARIO: Se aplica además de lo anotado para el sector agrícola tomando como cultivo el pasto: especie de ganado, tipos de ceba, procedencia del agua para el consumo del ganado, rotación del riego de potreros y tiempo que se deja sin regar para alimentar el ganado [12].

FORESTAL: Especie, sistema de plantación, área a plantar, densidad de plantación, prácticas culturales, agroquímicos a utilizar, sistema de riego, y cronograma mensual de requerimientos de agua [12].

ACUÍCOLA: Especie, sistema de cultivo, número y tamaño de estanques, densidad de siembra, prácticas de zootecnia, alimento y ración, cronograma mensual de requerimientos de agua y demás información solicitada en los términos de referencia [12].

3. Antecedentes

La recuperación y reutilización del agua residual no es un concepto nuevo. Este tipo de prácticas ha sido realizado desde hace siglos, de hecho, en la literatura científica, hay un gran número de estudios con respecto al tratamiento de aguas residuales desde el punto de vista tanto tecnológico como de ingeniería. Las preocupaciones en cuanto a las implicaciones a la salud por el uso de aguas recuperadas, especialmente en la irrigación agrícola y recarga artificial de acuíferos ha tenido una creciente atención en la última década, donde las ganancias son enfocadas más hacia problemas ambientales que a las ganancias económicas, donde estas son relativamente menos significativas. Aunque la recuperación de aguas residuales y reutilización se ha reconocido como una promisorio estrategia para aliviar la escasez de agua y reducir los impactos en el ambiente, actualmente, la reutilización de agua residual tratada, es más bien limitado tanto en países desarrollados, como en países en vía de desarrollo, siendo estos últimos, los que poseen un menor porcentaje de reutilización en relación al tamaño de sus ciudades [13].

Dentro del marco internacional, China es reconocida por su alcance tecnológico en la recuperación de aguas residuales, debido a la escasez del recurso y la contaminación. Por tal motivo, se han adelantado estudios para estimar la cuantificación y el potencial de reutilización, que han permitido establecer los lineamientos ambientales en el desarrollo de la gestión del recurso hídrico [14].

En los países Europeos, donde la gestión ambiental está centrada en la protección y conservación del recurso hídrico, la utilización de agua residual tratada es considerada como un suministro adicional para usos como la agricultura y el turismo. De acuerdo con lo anterior y teniendo en cuenta los beneficios potenciales, como la protección de los recursos hídricos, la prevención de la contaminación costera, la recuperación de nutrientes para la agricultura, el aumento del caudal de los ríos, el ahorro en el tratamiento de aguas residuales, recarga de acuíferos, y la sostenibilidad de la gestión de los recursos hídricos, etc., la reutilización de aguas residuales puede contribuir al desarrollo de países vecinos, enmarcado en el desarrollo de prácticas internacionales y las directrices relacionadas con la reutilización de aguas residuales tratadas [15].

El cambio en los patrones climáticos hace que la situación empeore, particularmente en los países del sur de Europa, siendo estos más susceptibles a condiciones de sequía que pueden causar mayores problemas ambientales, económicos y sociales, es decir, que la situación precaria a la que se enfrentan algunas municipalidades, a causa de su creciente demanda de recursos hídricos [15].

La unión europea y sus estados miembros, satisfactoriamente han implementado en las últimas tres décadas, medidas internacionales y nacionales para garantizar el proceso sobre el manejo sostenible del agua, gracias al “Water framework directive (WFD)” [16]. Se espera que la promoción de este sistema integrado sobre el manejo del agua, favorezca la recuperación y reutilización de aguas residuales municipales a gran escala, aumentando el suministro de agua y disminuyendo el impacto por actividades antrópicas al ambiente [16].

En Colombia se utilizan aguas residuales crudas o parcialmente tratadas de origen doméstico, pecuario (cría de vacunos y cerdos, especialmente) e inclusive industrial y agroindustrial para el riego de cultivos. En la sabana de Bogotá, en el distrito de riego y drenaje de la Ramada, se riegan 3.500 ha de cultivos de hortalizas, flores y pastos con un caudal de 1.5 m³ de agua bombeada del río Bogotá, que pasan a través de humedales naturales como forma de tratamiento [17].

En Ibagué se evaluó la viabilidad de una propuesta para el uso productivo de las aguas residuales. Los cultivos dentro del plan agrícola de reutilización serían: arroz, sorgo, pastos, soya, y algodón. La tecnología de tratamiento de aguas residuales seleccionada fue lagunas facultativas con tratamiento preliminar y primario. El total de aguas

residuales para tratar fue de 1.438,66 L- s-1. Los principales impactos negativos serían los riesgos para la salud, por el uso indirecto e inseguro de aguas residuales diluidas [18].

Valencia (1998) [19] y Madera et al. (2003)[20] compararon las características de los efluentes de tres sistemas de tratamiento de la estación de transferencia de investigación de Ginebra (Valle): UASB-laguna facultativa, UASB-laguna duckweed y laguna de estabilización, encontrando que no hay diferencias significativas en la calidad microbiológica y parasitológica de los tres efluentes, aptos sólo para uso restringido, según la OMS, y que no representan riesgo potencial de toxicidad para los cultivos por sus bajos contenidos de Cl, Na y B [21].

Osorio (2006) [21] realizó una evaluación teórica de opciones de oferta de agua para riego de cultivos en distritos agroalimentarios proyectados en el Valle del Cauca, tomando como caso de estudio el distrito agroalimentario de Palmira. Los resultados reafirman la viabilidad del uso de las aguas residuales domésticas para riego agrícola, en términos de disponibilidad y control de impacto por las actividades productivas [22].

Actualmente se evalúa la viabilidad de la reutilización en el cultivo de caña del efluente de sedimentación primaria y de tratamiento primario avanzado (TPA) de la PTAR Cañaveralejo. En general, la calidad físico-química y microbiológica de estos efluentes no han presentado restricción para reutilización; en términos de metales pesados, los análisis han mostrado valores por debajo de los niveles definidos por la EPA 2004, para riego agrícola y, en términos de crecimiento, las unidades experimentales regadas con los efluentes han presentado mejor desempeño que las regadas con agua de pozo [23]

En Colombia, el alcance que se tiene del estudio de caso es limitado, el documento “Reutilización de Aguas Residuales: Un recurso Hídrico Disponible [24], desarrollado en la Universidad del Norte (Barranquilla-Colombia), presenta las directrices de aprovechamiento de aguas residuales para garantizar la utilización eficiente y segura del recurso recuperado para la Costa Atlántica. El contenido se enfoca en determinar los componentes y parámetros a tener en cuenta y que son indispensables para el desarrollo de ese tipo de proyectos en el territorio nacional, dentro de los cuales están: conocer a profundidad el tipo de agua residual que se genera y sus características físicoquímicas; los sistemas de tratamiento con que se dispone y el estado de servicio; los estándares calidad establecidos en la normatividad ambiental y las consideraciones financieras para su viabilidad.

3.1 Normatividad Ambiental

Dentro de Los Planes de Desarrollo y de Ordenamiento Departamental y Municipal en sus programas de Agua Potable y Saneamiento Básico cuando específicamente plantean la formulación e implementación de planes Maestros de Acueducto y Alcantarillado y/o de saneamiento municipal, estos programas de uso eficiente y ahorro del agua, llevan intrínseco proyectos concretos de tratamiento y reutilización de aguas residuales. [11].

En el numeral 2.5 del Plan de gestión ambiental del distrito de Bogotá, relaciona los objetivos de la gestión ambiental distrital refiriéndose al Uso eficiente del agua de la siguiente manera:

“ ... Este objetivo propende por el mantenimiento de la oferta natural de agua mediante la conservación de los ecosistemas reguladores y el ciclo hidrológico regional, así como promover el consumo racional del recurso, la promoción de alternativas de producción más limpia y la sostenibilidad del desarrollo. Así, atiende a los parámetros de cantidad, regularidad (distribución temporal), accesibilidad (distribución espacial) y seguridad del recurso hídrico, obligando a una gestión integral de todos los elementos y procesos encadenados en el ciclo hidrológico, así como a la participación de todas las áreas y actores que en las cuencas y la región hacen parte del mismo...” [25].

En el contexto Colombiano no existe una guía particular que proponga valores de calidad específicos para la reutilización del agua residual. La normatividad vigente en la temática de reutilización se encuentra en la Ley 373, referente al uso eficiente y ahorro de agua, el cual se establece en su artículo 5, la reutilización obligatoria [26].

En cuanto a los usos del agua y los residuos líquidos, estos, se encuentran en el Decreto 1594 de 1984 del Ministerio de Salud, donde se establecen los criterios de calidad admisible para la destinación del recurso en los diferentes usos. Para el uso en la agricultura, los criterios admisibles son: “la concentración de boro deberá estar entre 0,3 y 4,0 mg/l, dependiendo del tipo de suelo y de cultivo; el NMP de Coliformes totales y fecales no deberá exceder de

5.000/100 ml y 1.000/100 ml, respectivamente, cuando se use el recurso para riego de frutas que se consuman sin quitar la cáscara y para hortalizas de tallo corto” [27].

Los criterios de calidad para la irrigación con aguas residuales en la agricultura dependen también del tipo de cultivo (restringido y no restringido), conforme a los lineamientos de la Organización Mundial de la Salud en 1989.

El Plan de Desarrollo para la ciudad: “Bogotá Humana” 2012-2016 en el numeral 2.1: *Visibilizar el medio natural y el entorno del agua*, propone la renaturalización de los cuerpos de agua, evitando la ocupación de las zonas de desborde o aliviadero de las temporadas invernales, el manejo de las riberas de manera natural evitando las canalizaciones y respetando las áreas de ronda que define la ley. Comprende acciones como la actualización y ampliación de las redes de acueducto y alcantarillado; la construcción de sistemas de conducción, drenaje y reutilización del agua. [42]

La Tabla 2 relaciona de manera más específica la normatividad ambiental aplicable al proyecto, enfocado a la reutilización del agua tratada.

Tabla 2. Normatividad ambiental aplicable al proyecto. [11]

Decreto 2811 de 1974, libro II parte III	Artículo 99: Establece la obligatoriedad de tramitar el respectivo permiso de explotación de material de arrastre. Art. 77 a 78 Clasificación de aguas. Art. 80 a 85: Dominio de las aguas y cauces. Art. 86 a 89: Derecho a uso del agua. Art.134 a 138: Prevención y control de contaminación. Art. 149: aguas subterráneas. Art.155: Administración de aguas y cauces.
Decreto 1594 de 1984	Normas de vertimientos de residuos líquidos Art. 1 a 21 Definiciones. Art. 22-23 Ordenamiento del recurso agua. Art. 29 Usos del agua. Art. 37 a 50 Criterios de calidad de agua Art. 60 a 71 Vertimiento de residuos líquidos. Art. 72 a 97 Normas de vertimientos. Art. 142 Tasas retributivas. Art. 155 procedimiento para toma y análisis de muestras
	Normas de vertimientos de residuos líquidos reglamenta los usos del agua y el manejo de los residuos líquidos. CAPITULO VI DEL VERTIMIENTO DE LOS RESIDUOS LIQUIDOS, CAPITULO VIII DE LA OBTENCION DE LOS PERMISOS DE VERTIMIENTO Y DE LOS PLANES DE CUMPLIMIENTO PARA USUARIOS EXISTENTES.

3.2 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales PTAR El Salitre

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales -PTAR Salitre- ayuda a la descontaminación de las aguas residuales de la cuenca del río Salitre, los humedales Torca y la Conejera, para cumplir de esta manera una importante labor en la solución integral para el saneamiento del río Bogotá [28].

La PTAR Salitre es el resultado del esfuerzo conjunto del gobierno nacional, distrital y el Acueducto de Bogotá, y en la actualidad entrega 4.000 l/s de agua tratada al río Bogotá. El proceso aplicado es un Tratamiento Primario Químicamente Asistido. Es decir, se extrae del agua un 40% de materia orgánica y un 60% de sólidos suspendidos totales [28].

La Planta trata el agua residual producida por aproximadamente 2.2 millones de habitantes, correspondientes al 28% del total de la población de la ciudad, provenientes principalmente de hogares, oficinas, colegios y universidades, entre otros.

El Distrito ha adoptado para el tratamiento de las aguas residuales de la ciudad la construcción de dos plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR). La primera para el tratamiento de las aguas residuales generadas en la

cuenca El Salitre y la segunda para las cuencas del Fucha y Tunjuelo, así como la construcción de una serie de interceptores como el ENCOR, IFT, ITC, entre otros [28].

En cuanto a los costos del tratamiento, al inicio de operaciones el costo por metro cúbico era de US\$0.27. A partir de julio de 2004, cuando se hizo entrega de la administración, operación y mantenimiento de la PTAR Salitre al Acueducto de Bogotá este costo de tratamiento disminuyó a US\$0.06 por metro cúbico [28].

El Capítulo VI: *Sostenibilidad Ambiental y Prevención del Riesgo* del Plan Nacional de Desarrollo 2012 - 2014, en el Programa de Saneamiento del río Bogotá determina que destinarán recursos económicos para la financiación de los proyectos de adecuación hidráulica, ampliación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Salitre y construcción de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Canoas, cualquiera sea el área de la cuenca media del río Bogotá en la cual se realicen las inversiones. [41]

4. Metodología

Con el ánimo de desarrollar el objetivo general del proyecto que es la formulación y el análisis del potencial de reutilización de las aguas residuales tratadas en la PTAR El Salitre en Bogotá D.C., y con el fin determinar las bases funcionales para la reutilización de las mismas se llevo a cabo la búsqueda y revisión de documentos relacionados con el tratamiento de aguas residuales en la ciudad de Bogotá, y principalmente la relación de volúmenes tratados en la PTAR El Salitre. Con esto, determinar las consideraciones socioculturales y ambientales que definieran el cumplimiento de la normatividad para dar lugar a la funcionalidad e implicaciones del estudio para el distrito.

Mediante la aplicación de una serie de ecuaciones se determinaron los valores de los tipos de reutilización potencial de aguas residuales para con ellos realizar el análisis respectivo y determinar la factibilidad de reutilización del recurso. Cabe indicar que para el ejercicio práctico fueron introducidos valores supuestos pero acogidos a la realidad.

La Figura 1, presenta los diferentes tipos de uso de aguas residuales que puede ser reutilizada posterior al tratamiento.

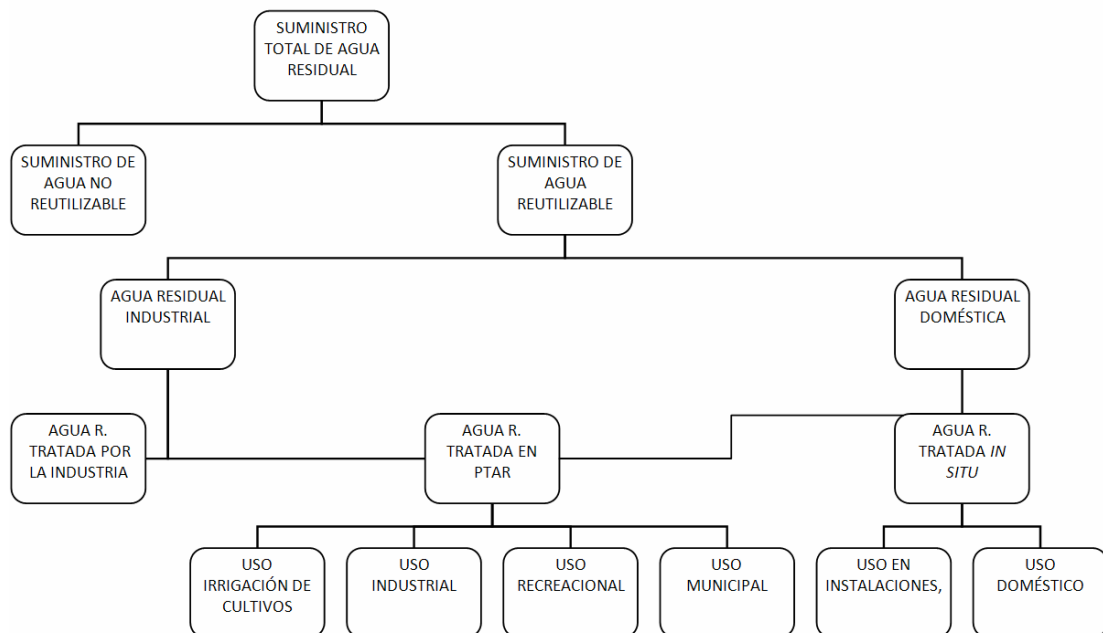


Figura 1. Tipo de aguas residuales y marco de demanda

4.1. Valores obtenidos para reutilización potencial

Con base en información secundaria obtenida, se presentan los tipos mas importantes de demanda máxima posible para reutilización de aguas residuales con fines específicos, basándose en la relación entre la demanda de reutilización y el suministro, como se mostró en la figura 1. Esta relación pudo ser determinada por las ecuaciones que se presentan para los usos potenciales: riego agrícola, descarga de inodoros, recreación, urbano e industrial.

Los valores obtenidos con base en los recursos hídricos superficiales de la Cuenca Alta y Media del Río Bogotá que son utilizados para el abastecimiento de agua potable para la ciudad de Bogotá y municipios aledaños, así como en actividades agropecuarias y para generación hidroeléctrica.[30]

4.1.1. Riego agrícola

En Bogotá existen aproximadamente 600,000 hectáreas destinadas a cultivos agrícolas de las cuales 400.000 ha están ubicadas en las laderas y 200.000 ha en zonas planas (ASOCOLFLORES), para este estudio solo se emplearan los valores para zonas planas.

La ecuación que representa la demanda de uso para el riego agrícola es:

$$D_1 = V_a - A_v E_v \quad (1)$$

Donde V_a = es la demanda de agua para agricultura (millones de m^3); A_v = área de vegetales comestibles (millones de Hectáreas); E_v = unidad de área vegetal de riego requerido (m^3/ha) [13].

Una vez estos valores son remplazados en la ecuación, como se muestra a continuación:

$$V_a = 2.400.000.000 \text{ m}^3$$

$$A_v = 192.000 \text{ ha}$$

$$E_v = 12.000 \text{ m}^3/\text{ha}$$

$$D_1 = V_a - A_v E_v$$

$$D_1 = (2.400.000.000 \text{ m}^3) - ((192.000 \text{ ha}) \cdot (12.000 \text{ m}^3/\text{ha}))$$

$$D_1 = (2.400.000.000 \text{ m}^3) - (2.304.000.000 \text{ m}^3)$$

$$D_1 = 96.000.000 \text{ m}^3/\text{año}$$

4.1.2 Descarga de inodoros

En Bogotá, la demanda promedio de agua para consumo doméstico es $13,3 \text{ m}^3/\text{s}$. Adicionalmente, existe una demanda de cerca de $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$, para la modalidad de venta de agua en bloque. La EAAB trata $16 \text{ m}^3/\text{s}$ en cinco plantas de potabilización, con una capacidad total instalada de $26,3 \text{ m}^3/\text{s}$. [29]

Para el cálculo de la demanda de agua en la utilización de inodoros se utilizo la siguiente ecuación:

$$D_5 = K_1 V_d \quad (2)$$

En donde V_d es la demanda de agua con fines domésticos (m^3) y K_1 es la proporción de uso de agua de baños para uso domestico (%) [13].

Según un informe de eltiempo.com el 2 de abril de 2011, el porcentaje por usuario, es decir, lugar donde se factura el consumo de agua potable entregada por la empresas de acueducto y alcantarillado de Bogotá (EAAB) es de 29% para descargas de inodoros, se estima también que el promedio por hogar de consumo mensual es de $12,8 \text{ m}^3$ que es el equivalente anual de $153,6 \text{ m}^3$. Remplazándolos en la ecuación se determina lo siguiente:

$$K_1 = 153,6 \text{ m}^3$$

$$V_d = 0,29 \%$$

$$D_5 = K_1 V_d$$

$$D_5 = (153,6 \text{ m}^3).(0,29\%)$$

$$D_5 = 44.544 \text{ m}^3/\text{año}$$

Este valor multiplicado por 1.800.000 usuarios del servicio, según la EAAB en Bogotá da un total anual de:

$$D_5 = 80.179.200 \text{ m}^3/\text{año}$$

4.1.3 Recreación

Por uso recreacional del agua, se entiende la actividad no consuntiva del agua que genera un bienestar social, sociológico, estético, al existir una relación directa o indirecta con ella.

Este uso ha sido considerado un uso secundario particularmente por su carácter no consuntivo y también debido a sus beneficios no son muy aparentes y difícilmente se puede medir. Los usos recreacionales del agua pueden dividirse en dos categorías:

Con contacto directo: todas aquellas actividades que se realizan en contacto con el agua como: natación, rafting, kayakismo, canotaje, velerismo, pesca, entre otros. De igual manera, una clasificación mas específica se diferencia entre contacto primario y secundario.

Sin contacto directo: actividades como: fotografías, caminatas, navegación en embarcaciones mayores, esparcimiento. etc.

Otra clasificación del uso recreacional se puede realizar en función del origen del curso de agua. Se distinguen tres ambientes según el origen del curso del agua: embalses (lagos, lagunas, etc.), ríos y área silvestres. [35]

De acuerdo con lo anterior, la ciudad de Bogotá cuenta con 200 cuerpos de agua, entre quebradas, ríos y canales, hacen parte del sistema de drenaje pluvial (de lluvias) de Bogotá. Cuenta con 5 localidades que son zona de reserva: Usaqué, Chapinero, Santa Fe, San Cristóbal y Usme. En ellas nacen la mayoría de los ríos y quebradas de la ciudad. Es un sistema hídrico que hace parte de la conexión que está entre el mayor páramo productor de agua en el mundo (Chingaza) y el páramo más extenso. (Sumapaz). [36]

Bogotá cuenta con trece humedales que forman parte del más importante centro de reproducción de aves al norte de los Andes: la Sabana de Bogotá, éstos son: La Conejera, Juan Amarillo, Torca, Guaymaral, Jaboque, Techo, El Burro, La Vaca, Córdoba, Santa María del Lago, La Tibanica, Capellanía y El Meandro del Say.[37]

Para el cálculo de la demanda de agua para usos recreacional se utilizó la siguiente ecuación:

$$D_6 = R_w \tag{3}$$

Donde R_w es la demanda de agua para propósitos recreativos (m^3) [13].

De acuerdo a la dinámica de oferta natural de agua superficial y subterránea obtenida a partir de los registros de abastecimiento agropecuario y actividades industriales realizados por la CAR Cundinamarca [38], se estima en:

Oferta natural de aguas superficiales para la cuenca del río Bogotá (alta, media y baja): $48,68 \text{ m}^3/\text{s}$

Oferta natural de aguas subterráneas para la cuenca del río Bogotá (alta, media y baja): $128 \text{ Mm}^3/\text{año}$

4.1.4 Uso urbano

La ecuación (4) permite estimar el volumen de agua generada que es utilizada para el uso urbano en la ciudad de Bogotá.

$$D_{3+4} = A_g K_g E_g T_g + A_r K_r E_r + A_c K_c E_c \quad (4)$$

Donde A_g y A_r son las áreas de céspedes y vías, respectivamente (m^2); A_c es el numero de autos; E_g y E_r son los estándares de riego para céspedes y vías respectivamente, (m^3/m^2); E_c es el requerimiento de lavado por automóvil (m^3); K_g es la proporción de área regada de césped (%); K_r y K_c son el numero anual de riego de vías y lavado de autos, respectivamente; T_g son los días de irrigación de céspedes urbanos por año [13].

A_r : La Malla Vial de Bogotá D.C., a Diciembre de 2011, alcanza 15,275 Kilómetros carril por 5 metros de ancho aproximadamente ($76,375 m^2$), de los cuales el 94.24% (14,396 km-carril) corresponden al Subsistema Vial y el 5,76% (87,955 km-carril) al Subsistema de Transporte (Troncales Transmilenio).[34]

A_g : En Bogotá se estima que para el año 2011 hay aproximadamente 22.870.796 de metros cuadrados de áreas de césped. Las localidades que mayor cantidad de estas áreas posee son Suba, Engativá y Usaquén. [31]. Riego de Jardines: la dotación de agua para áreas verdes se calcula a razón de 2 litros/día x m^2 . No se incluyen áreas pavimentadas, andenes, etc. [32]

A_c : De acuerdo con la Secretaría Distrital de Movilidad y el SIM (Servicios Integrales para la Movilidad) el parque automotor de uso privado que se encuentra registrados en la ciudad de Bogotá para el año 2011 es de 1.185.610 vehículos. [30]

E_c : El lavado de un automóvil con manguera puede suponer un consumo de unos 500 litros de agua. [33]

E_g : se tomara el mismo volumen utilizado para riego agrícola, es decir $1,2 m^3/m^2$.

E_r : se tendrá en cuenta para riego de pavimentos la mitad del volumen de riego para céspedes, ya que en pavimentos no existe percolación; $0,6 m^3/m^2$.

K_g : aunque se asume que se debe regar el 100% del césped, se atribuye un margen de error del 3%, es decir la proporción manejada de riego de césped será 7%.

K_r y K_c : corresponden al número anual de lavado de vías y de automóviles, asumiendo que se lavaran una vez a la semana, es decir 48 días al año.

T_g : Los riegos de césped por año se asume que son una vez a la semana, es decir 48 días al año.

Reemplazando los valores en la ecuación, tenemos lo siguiente:

$$D_{3+4} = A_g K_g E_g T_g + A_r K_r E_r + A_c K_c E_c$$

$$D_{3+4} = (22.870.766 m^2)(0,7)(1,2 m^3/m^2) (48 días) + (76,375 m^2)(48 días)(0,6 m^3/m^2) + (1.185.610 Vehículos)(48 días)(0,5 m^3)$$

$$D_{3+4} = (922.149,285 m^3) + (2.199.600 m^3) + (28.454.640 m^3)$$

$$D_{3+4} = \mathbf{92.245.582.752 m^3/año}$$

4.1.5. Industrial

El volumen de agua para uso industrial enfocado en la capacidad de generación de centrales térmicas se estima mediante la ecuación (5).

$$D_2 = C_e E_e K_e \quad (5)$$

Donde C_e es la capacidad de generación de centrales térmicas (millones de KWh); E_e es el consumo de agua por unidad de capacidad generadora en plantas generadoras de energía térmica (m^3/KWh); K_e es el porcentaje de agua circulante en refrigeración y agua de enjuague frente al total de agua retirada en plantas de generación de energía térmicas (%). [13]

Existen dos cadenas de generación hidroeléctrica, hoy propiedad de EMGESA, que aprovechan la caída de cerca de 2.100 metros que existe entre la Sabana de Bogotá y la parte baja de la Cuenca. La primera cadena toma las aguas directamente del Río Bogotá y está compuesta por cinco plantas menores en serie (i.e. Charquito, San Antonio, Tequendama, Limonar y La Tinta) con una capacidad total de 95,6 MW. Esta cadena no opera regularmente, pero es importante contar con la disponibilidad de estas unidades para asegurar el suministro eléctrico por razones técnicas. La segunda cadena tiene una capacidad de 600 MW que inicia con el bombeo de agua del Río Bogotá al Embalse del Muña, y de allí descarga por tubería y túneles hasta las plantas El Paraíso y La Guaca, localizadas en el Municipio de El Colegio. La capacidad hidráulica total del sistema es de $75 m^3/s$, sin embargo, el caudal medio del río en Alicachín es de $28,5 m^3/s$, por lo cual, sólo durante cortos períodos de aguas altas el sistema puede ser utilizado plenamente. [29].

La capacidad de generación eléctrica media anual de las centrales que sirven a Bogotá [39], se relacionan a continuación:

C_e :

Cadena 1: Central Charquito: 16,94 GWh
 Central San Antonio: 70,2 GWh
 Central El Limonar: 47,18 GWh
 Central Tequendama: 114,91GWh
 Central La Tinta: 194,3 GWh

Cadena 2:

Central La Guaca: 1250 GWh
 Central Paraíso: 1065 GWh

C_e total: 2758,53 GWh = 2758530000 kWh

E_e : $7,6 \times 10^{-4} m^3/kWh$ [40]

K_e : 82% [13]

$D_2 = C_e E_e K_e$

$D_2 = 2.758.530.000 \text{ kWh} \times 7.6 \times 10^{-4} m^3/kWh \times 0.82$

$D_2 = 17.191.159 m^3$

5. Análisis del potencial de reutilización y gestión de riesgo

Dadas las características del agua residual y los tipos de tratamiento con lo que cuenta la PTAR Salitre y requeridos por la legislación ambiental podría asegurarse que no hay una reducción importante en las características nocivas del recurso tratado. A partir de lo anterior, para la reutilización es imprescindible proceder a una gestión del riesgo. Para lo cual, la aplicación de tecnologías para el cumplimiento de estándares de calidad permitiría que los valores encontrados del potencial de reutilización de agua tratada se aproxime a la realidad.

Por otra parte, las entidades encargadas de prestar el servicio de suministro y la autoridad ambiental suelen determinar la calidad del agua tratada en el efluente de la PTAR, y no en el punto de uso ni en el producto final que ha tenido contacto con el agua tratada, además de la implementación de la infraestructura para su distribución.

Dado por sentado el volumen de agua residual tratada por la PTAR Salitre es de 4.000l/s [28] que es el equivalente a 10.368.000m³/mes y 124.416.000m³/año, este valor servirá como referencia para el análisis del potencial de reutilización de las aguas tratadas.

Para el desarrollo del análisis de los valores obtenidos, el valor de uso recreacional no será tenido en cuenta, debido a que se asume que el origen del recurso no proviene de aguas tratadas.

La sumatoria de los volúmenes calculados para los posibles usos potenciales (Agrícola, Urbano, Inodoros, Industrial) equivale a 92.438'899.111m³/año, de los cuales tan solo el 0,13% es tratado por la PTAR Salitre. Por ende, se concluye que el sistema de tratamiento de aguas residuales de la ciudad es insuficiente si se piensa que en algún momento se viera mermada el agua potable disponible y fuese necesario la reutilización de la misma. Aun sumando la capacidad de tratamiento de las demás PTAR con las que dispone la ciudad de Bogotá, el incremento del porcentaje del agua residual tratada es irrelevante para el volumen de agua con potencial de reutilización.

Ciertamente, si se dispusiera el volumen total de agua residual tratada por la PTAR Salitre (124 millones de m³) cumpliendo con los parámetros normativos de calidad de agua para uso agrícola y de acuerdo con los valores obtenidos (96 millones de m³), se podría asegurar la reutilización del para la actividad agrícola. En valores porcentuales, se dispone de un 29% de volumen de agua tratada, que si el gobierno de la ciudad gestionar un proyecto que incremente la capacidad alimentaria para la ciudad resguardando la salubridad de la población.

6. Conclusiones y recomendaciones

Los registros de volúmenes obtenidos para los usos potenciales de reutilización identificados en el documento, permiten definir cuales requieren inversión de capital y tecnológica debido a que representan las actividades económicas y necesidades de mayor demanda por los ciudadanos. Por lo anterior, el uso potencial agrícola y urbano son los que demandan el estudio y formulación de planes de mejoramiento que permitan aumentar el nivel y calidad de vida de los ciudadanos.

El ejercicio de determinar los valores de agua con potencial de reutilizar en la ciudad de Bogotá, permitió determinar que el sistema de tratamiento actual de aguas residuales esta por debajo de los estándares internacionales de calidad de ciudades capitales primermundistas en la reutilización de agua tratada.

El agua residual se produce de una forma continua, es decir, se trata de una 'fuente' teórica de agua con características propias de su utilización. Por lo tanto, por consideraciones de salubridad, sanitarias y socio-políticas, las empresas de servicios públicos deberían asegurar el suministro bajo parámetros normativos de calidad, que luego de haber prestado su servicio, la reutilización en su gran mayoría es en el sector agrícola.

Es necesario que la autoridad ambiental y los organismos de gestión y control tomen las decisiones correspondientes para reglamentar la reutilización del recurso del agua tratada como una herramienta para la conservación de los recursos naturales. Para que lo anterior tenga trascendencia positiva en la sociedad y que en un futuro a mediano plazo en la ciudad de Bogotá se vea como una alternativa viable, se deben realizar planes y proyectos que estimulen el progreso socioeconómico de la ciudad acorde a las necesidades de la población.

Los resultados arrojados en el desarrollo de las ecuaciones, sugieren que la reutilización de agua residual es también sensible a los precios de tratamiento y como se ha mencionado antes a la implementación de tecnologías para la reclamación de este tipo de agua, además, del alto costo del tratamiento de agua residual, es decir los costos que tiene la potabilización de agua ayuda a no emitir fuerzas hacia el reusó de aguas residuales.

Aunque este estudio fue netamente teórico, no deja de mostrar datos importantes sobre el potencial de reutilización de aguas residuales en la ciudad de Bogotá, sobre todo en uso agrícola, domestico y urbano en donde los estándares microbiológicos y salubres no son de importancia para su implementación.

Es importante realizar la divulgación a las autoridades correspondientes y a los usuarios de los beneficios económicos, ambientales y sociales presentes y a futuro del uso del agua residual tratada.

7. Bibliografía

- [1] Ministerio del Medio Ambiente. Guía técnica para el desarrollo de proyectos de reutilización de aguas residuales domesticas municipales. Bogota. (2001).
- [2] WCED. Our Common Future (The Brundtland Commission's Report), World Commission on Environment and Development, Oxford University Press, Oxford, UK. (1987)
- [3] Wilderer, P. A., E. D. Schroeder, and H. Kopp (eds.) Global Sustainability, Wiley-VCH, Germany. (2004).
- [4] Sikdar, S. K. "Science of Sustainability," Clean Tech. Environ. Pol., 7, 1, 1-2. (2005).
- [5] Huesemann, M. W. "The Limits of Technological Solutions to Sustainable Development," Clean Tech. Environ. Pollut., 5, 1, 21-34. (2003).
- [6] Hermanowicz, S. W. "Sustainability in Water Resources Management: Changes in Meaning and Perception," University of California Water Resources Center Archives. http://repositories.cdlib.org/wrca/wp/swr_v3 (2005).
- [7] MAVDT. "Plan Nacional de Manejo de Aguas Residuales Municipales en Colombia." (2004).
- [8] Asano, T., Burton, F.L., Leverenz, H.L., Tsuchihashi, R., Tchobanoglous, G., Water Reuse: Issues, Technologies and Applications. Metcalf and Eddy, Inc. (2007).
- [9] Lavrador Filho, J. "Contribuição para o entendimento do reutilización planejado da água e algumas considerações sobre suas possibilidades no Brasil." (1987).
- [10] Westerhoff, G. P. "Un update of research needs for water reuse." 1731-1742. (1984).
- [11] MAVDT. (1997). "Guía Técnica para el Desarrollo de Reutilización de Aguas Residuales."
- [12]<http://www.buenastareas.com/ensayos/Reutilización-Del-Agua/929106.html> consultado viernes 27 de mayo de 2011
- [13] Yang H, Abbaspour K C. :Analysis of wastewater reuse potential in Beijing, Desalination 212, 238-250. (2007).
- [14] Chu J, Chen J, Wang C, Fu P.: Wastewater reuse potential analysis: implications for China's water resources management. Water Research 38. pp 2746-2756 (2004).
- [15] Angelakisa A.N., Bontoux L.: Wastewater reclamation and reuse in Eureau countries. Water Policy 3. pp 47-59 (2001).
- [16] Bixio, D. Thoeye, C., :Wastewater reuse in Europe. Desalination 189, 89-101 (2006).
- [17] Gradex.: Estudio de impacto ambiental Distrito de riego Girardot-Tocaima. Instituto Nacional de Adecuación de Tierras (INAT), Bogotá (1996) En: Silva J., Torres S.,Madera C.: Reutilización de aguas residuales domesticas en agricultura. Agronomía Colombiana 26(2), pp 347-359 (2008).
- [18] Cepis (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente): Inventario de la situación actual de las aguas residuales domésticas en Colombia. Sistemas integrados de tratamiento y uso de aguas residuales en América Latina: realidad y potencial. Perú. En: www.cepis.ops.oms.org; consulta: septiembre de 2006.(2003). En: Silva J., Torres S.,Madera C.: Reutilización de aguas residuales domesticas en agricultura. Agronomía Colombiana 26(2), pp 347-359 (2008).
- [19] Valencia, E.: Potencialidad del reutilización del efluente de una laguna facultativa en irrigación comparación de la producción utilizando dos hortalizas regadas con efluente y agua subterránea. Universidad del Valle, Cali.(1998).

En: Silva J., Torres S., Madera C.: Reutilización de aguas residuales domésticas en agricultura. *Agronomía Colombiana* 26(2), pp 347-359 (2008).

[20] Madera, C., P.V. Steen y H. Gijzen.: Comparison of the agronomic quality of effluents from conventional and duckweed waste stabilisation ponds for reuse in irrigation. Seminario internacional sobre métodos naturales para el tratamiento de aguas residuales domésticas y sus implicaciones ambientales y de salud pública, Cartagena (Colombia) (2003). En: Silva J., Torres S., Madera C.: Reutilización de aguas residuales domésticas en agricultura. *Agronomía Colombiana* 26(2), pp 347-359 (2008).

[21] Osorio, J.: Estrategia de evaluación de usos conjuntivos del agua, incluyendo reutilización para contribuir con la seguridad alimentaria de distritos agroalimentarios proyectados en el Valle del Cauca, Colombia. Tesis de maestría. Facultad de Ingeniería, Universidad del Valle, Cali. (2006). En: Silva J., Torres S., Madera C.: Reutilización de aguas residuales domésticas en agricultura. *Agronomía Colombiana* 26(2), pp 347-359 (2008)

[22] Silva J., Torres S., Madera C.: Reutilización de aguas residuales domésticas en agricultura. *Agronomía Colombiana* 26(2), pp 347-359 (2008).

[23] Silva, J.: Reutilización del agua residual tratada en la planta de tratamiento de aguas residuales de Cañaveralejo PTAR-C en el cultivo de caña de azúcar. Tesis de maestría (en desarrollo). Facultad de Ingeniería, Universidad del Valle, Cali. (2008). En: Silva J., Torres S., Madera C.: Reutilización de aguas residuales domésticas en agricultura. *Agronomía Colombiana* 26(2), pp 347-359 (2008).

[24] Manga, J., Logreira, N.: "Reutilización de Aguas Residuales: Un recurso Hídrico Disponible, Universidad del Norte (Barranquilla-Colombia), pp 12-21(2001)

[25] Decreto Distrital 456 de 2008: Plan de Gestión Ambiental el Distrito Capital P. G. A. 2008 - 2038. Alcaldía Mayor de Bogotá Secretaría Distrital de Ambiente, SDA, (2010).

[26] MAVDT "Ley 373. Uso eficiente y ahorro del agua." Bogotá. (1997).

[27] Ministerio de salud. "Usos del agua y residuos líquidos." (1984).

[28] http://www.acueducto.com.co/wpsv61/wps/portal!/ut/p/c4/04_SB8K8xLLM9MSSzPy8Bz9CP0os3gLw2DfYHMPIwOLQB9nA09_QyMXI0NfQwMfU_2CbEdFAL4Q3GI/ consultada sábado 27 de mayo de 2011

[29] Consejo Nacional de Política Económica y Social (Conpes). ESTRATEGÍA PARA EL MANEJO AMBIENTAL DEL RÍO BOGOTÁ. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Bogotá, D.C. (2004).

[30] Secretaría Distrital de Movilidad - Dirección de Estudios sectoriales y de Servicios. (2011).

[31] Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos. "Programa para la Gestión de los Residuos Sólidos Orgánicos para la Ciudad de Bogotá, D.C." (2010).

[32] ACEVEDO A., Antonio Caso. Manual de Hidráulica. Prensa Técnica S.A. México 1976. Págs. 482-485.

[33] http://www.ericrolf.com/revista_4/arti_sabias.htm. Consultada lunes 09 de abril de 2012

[34] Instituto de Desarrollo Urbano – IDU. Inventario Malla Vial. Consultada lunes 09 de abril de 2012. http://www.idu.gov.co/web/guest/malla_inventario

[35] http://www.uach.cl/proforma/insitu/3_insitu.pdf. Consultada el lunes 09 de abril de 2012

[36] <http://www.culturarecreacionydeporte.gov.co/portal/bogotanitos/curiosidades/rondas>. Consultada el lunes 09 de abril de 2012

[37] www.bogota.gov.co/guia/interfaz/usuario/anexos/Humedales.doc. Consultada el lunes 09 de abril de 2012

[38] Ecoforest-Swedforest (1999): Inventario y diagnóstico de los recursos naturales renovables del área CAR. Subdirección Científica. (2001)

[39] http://www.endesa.cl/Endesa_Chile/action.asp?id=03410. Consultada lunes 23 de abril de 2012

[40] P. Torcellini, Long N., y R. Judkoff: uso consuntivo del agua para la producción de energía EE.UU. (2003)

[41] Ministerio de Hacienda y Crédito Público: Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014 ley 1450 de 2011.

[42] Alcaldía Mayor de Bogotá: Plan de Desarrollo Económico y Social y de Obras Públicas para Bogotá Distrito Capital 2012-2016 Bogotá Humana (2011).