

Reutilización y aprovechamiento de aguas residuales domésticas tratadas en Colombia

Joan Ferney Morales Peña

Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD)

Programa de ingeniera ambiental

Escuela de ciencias agrícolas, pecuarias

y medio ambiente

Pradera

2018

Reutilización y aprovechamiento de aguas residuales domésticas tratadas en Colombia

Joan Ferney Morales Peña

Asesor

Ing. Mario Andrés Ibarra Ortiz

Monografía presentada como requisito para optar al título de ingeniero ambiental

Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD)

Programa de ingeniería ambiental

**Escuela de ciencias agrícolas, pecuarias
y medio ambiente**

Pradera

2018

Nota de aceptación

Firma presidente del jurado

Firma jurado

Agradecimientos

El autor de esta monografía presenta los más sinceros agradecimientos a:

La Universidad nacional abierta y a distancia (UNAD), al programa de ingeniera ambiental y todo su cuerpo docente, por su colaboración, apoyo y seguimiento en mi proceso académico y formativo.

A mi asesor el Ingeniero Mario Andrés Ibarra, por su apoyo, seguimiento y coordinación durante todo el proceso de gestión de la monografía.

A mi familia, amigos y a todas las personas e instituciones que de una u otra forma colaboraron en la culminación de la presente monografía.

Contenido

	Pág.
Resumen.....	9
Abstract.....	10
1. Introducción	11
2. Planteamiento del problema.....	13
2.1 Formulación del problema	16
3. Objetivos	17
3.1 Objetivo general	17
3.2 Objetivos específicos	17
4. Justificación.....	18
5. Marco Teórico	22
5.1 El Agua.....	22
5.2 Aguas residuales	25
5.3 Aguas residuales domesticas	30
5.4 Recuperación y tratamiento de aguas residuales	34
5.5 Manejo y reuso del agua residual domestica tratada en Colombia (urbano-rural).....	40
6. Metodología	44
6.1 Tipo de estudio	44
6.2 Método	44
6.3 Técnicas e instrumentos	45
6.4 Recolección de la información	45
6.5 Desarrollo de los objetivos.....	46
6.6 Procedimientos	48
7. Análisis	49

7.1 Efectos ambientales que produce el tratamiento de aguas residuales domésticas en Colombia	49
7.2 Beneficios de la reutilización de aguas residuales domesticas tratadas en Colombia	57
7.2.1 Beneficios de la reutilización de aguas residuales domesticas en Agricultura.....	60
7.2.2 Beneficios de la Reutilización de aguas residuales domesticas en actividades urbanas	68
7.2.3 Beneficios en el Sector recreativo.....	70
7.3 Sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas utilizados a nivel nacional.....	71
7.3.1 Sistemas de tanques sépticos	72
7.3.2 Sistemas de filtración (filtros de arena).....	73
7.3.3 Pozo de absorción	74
7.3.4 Filtro anaerobio	75
7.3.5 Zanjas de oxidación.....	77
7.3.6 Lagunas de estabilización.....	78
7.3.7 Humedales	79
7.3.8 Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente con Manto de Lodos (UASB)	81
7.3.9 Lodos activados	82
7.3.10 Tratamiento con escarabajos.....	83
8. Conclusiones	85
9. Recomendaciones	87
10. Referencias bibliográficas	88
Anexos	94

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. Características físicas de las aguas residuales	27
Tabla 2. Contaminantes en el agua residual.....	28
Tabla 3. Uso de las aguas residuales tratadas	29
Tabla 4. Tratamientos de aguas residuales	37
Tabla 5. Efectos negativos ambientales producidos por los tratamientos de aguas residuales domesticas	56
Tabla 6. Aprovechamiento del lodo proveniente del tratamiento de las aguas residuales domesticas en ciudades colombianas	65
Tabla 7. Parámetros del agua para la destinación del recurso en la recreación mediante contacto primario y secundario	71

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1. Estados del Agua.....	23
Figura 2. Ciclo del agua.....	24
Figura 3. Componentes de las aguas residuales domesticas	33
Figura 4. Efectos ambientales que producen el tratamiento de aguas residuales domésticas	50
Figura 5. Porcentaje del uso del agua tratada en actividades de uso agrícola, doméstico e industrial.....	58
Figura 6. Hectáreas de Agua residual tratada en Colombia.....	61
Figura 7. Sistema de tanque séptico	73
Figura 8. Pozo de absorción.....	75
Figura 9. Filtro anaerobio.	76
Figura 10. Lagunas de estabilización.	79
Figura 11. Humedales. Tomado de Palta y Morales.....	81
Figura 12. Proceso del Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente	82

Resumen

El presente trabajo determino la importancia de la reutilización y aprovechamiento eficiente de aguas residuales domésticas en Colombia bajo los diferentes sistemas de tratamiento. Por medio de una amplia revisión bibliográfica y de análisis documental se establecieron los efectos ambientales que produce el tratamiento de aguas residuales domésticas en Colombia. A su vez se plantearon los beneficios de la reutilización de aguas residuales domésticas tratadas en Colombia y se conocieron los diferentes sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas utilizados a nivel nacional.

En Colombia la implementación de sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas, ha permitido beneficios en la reutilización y aprovechamiento del recurso. Generando impactos medio ambientales fundamentales que favorecen a la descontaminación en las fuentes hídricas de todo el país, la disminución de la carga orgánica vertida en ríos, suelos; conservando la calidad del agua. Los beneficios de la reutilización de las aguas residuales domesticas tratadas han consistido en el empleo del recurso en actividades de uso agrícola.

El riego de cultivos de sorgo, maíz, café, girasol y la siembra de la caña de azúcar y hortalizas alrededor del país, constituyen el principal uso del recurso domestico tratado. A su vez se han reconocido beneficios en actividades como la piscicultura, silvicultura, estabilizar áreas deforestadas o perturbadas por la minería. En actividades urbanas los beneficios encontrados contemplan el riego de espacios, lavado de casas, edificios, parques y automotores.

Palabras claves: Aguas residuales domésticas, reutilización, sistemas de tratamiento, agrícola, ambiental.

Abstract

The present work determines the importance of the reuse and efficient use of domestic wastewater in Colombia under the different treatment systems. Through an extensive literature review and documentary analysis, the environmental effects produced by the treatment of domestic wastewater in Colombia are established. At the same time, the benefits of the reuse of domestic wastewater treated in Colombia are discussed and the different systems of domestic wastewater treatment used at the national level are known.

In Colombia, the implementation of domestic wastewater treatment systems has allowed benefits in the reuse and use of the resource. Generating fundamental environmental impacts that favor decontamination in water sources throughout the country, reducing the organic load released to rivers and soils and conserving water quality. The benefits of the reuse of domestic wastewater treated have consisted in the use of the resource in activities of agricultural use.

The irrigation of crops of sorghum, corn, coffee, sunflower and the sowing of sugarcane and vegetables around the country, constitute the main use of the domestic resource treated. At the same time, benefits have been recognized in activities such as fish farming, silviculture, stabilizing deforested areas or disturbed by mining. In urban activities, the benefits found include the irrigation of spaces, washing of houses, buildings, parks and motor vehicles.

Keywords: Domestic wastewater, reuse, treatment systems, agricultural, environmental.

1. Introducción

El crecimiento de las ciudades, sumado al incremento de población y desarrollo empresarial, han aumentado los niveles de contaminación en gran parte de los recursos hídricos superficiales. Este hecho se origina en gran parte por el manejo inadecuado de las aguas residuales; esta situación permite tomar conciencia acerca de la importancia de aplicar correctos sistemas de tratamiento en aguas residuales. En este aspecto se considera fundamental el poder desarrollar tratamientos sostenibles acordes a las condiciones socioeconómicas y culturales de cada región, buscando el mejoramiento en las condiciones de salud de las personas, efectos ecológicos integrales, que aporten una verdadera interacción con el medio ambiente, permitiendo su cuidado y conservación en el tiempo.

En ese contexto las aguas residuales domésticas, son aquellas que provienen de los hogares, producto de todas las actividades realizadas. El derrame directo y el tratamiento poco adecuado en aguas provenientes por las actividades humanas, es una de las causas principales de contaminación de aguas fluviales, marinas y degradación de ecosistemas. Por ende las aguas residuales domésticas deben presentar un correcto tratamiento antes de su vertimiento al medio ambiente, por dos razones específicas. En primera medida, la intervención en la salud pública y medio ambiente, y en segunda medida, el poder reutilizar el agua tratada en otras actividades. En consecuencia la reutilización del recurso tratado en diferentes actividades, contribuye al desarrollo sostenible del país en materia ambiental y económica.

“Gran cantidad de países en América latina han adoptado programas para el tratamiento de aguas residuales domésticas, tanto en zonas urbanas como rurales. Este procedimiento permite conservar los estándares mínimos de calidad de las fuentes hídricas y el mantenimiento del equilibrio ambiental” (Romero, 2010, pág. 5).

En Colombia el tratamiento de aguas es considerado como uno de los problemas de orden ambiental más crítico. La presente monografía, establece la importancia de la reutilización y aprovechamiento eficiente en aguas residuales domésticas en Colombia, teniendo en cuenta que dichos procesos son indispensables tanto para tratar el desperdicio de agua, como para mitigar el impacto contaminante que trae consigo el agua residual domestica no tratada, velando principalmente por la disminución del impacto sobre el medio ambiente.

Para tal fin la monografía se orienta bajo tres objetivos específicos, los cuales determinan los efectos ambientales que produce el tratamiento de aguas residuales domésticas en Colombia; plantear los beneficios de la reutilización de las aguas residuales domésticas tratadas en Colombia y conocer los diferentes sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas utilizados a nivel nacional.

En este proceso se establece el contexto generalizado del tema, permitiendo ampliar el conocimiento acerca de los diferentes sistemas de tratamiento empleados en aguas residuales domésticas, concientizando el buen uso, cuidado y aprovechamiento eficiente del agua en todas sus dimensiones. Además de aportar conceptos de importancia en el campo de estudio. Un tema considerado de interés general, debido a las facultades que ofrece el agua para todas las actividades humanas.

2. Planteamiento del problema

“La disponibilidad del agua apta para el consumo humano a nivel mundial enfrenta una serie de complicaciones, lo cual establece lo que se conoce hoy en día como la problemática del agua” (Barrera, 2014, pág. 10). En esta problemática se incluye el mal manejo de las aguas residuales domésticas. En ese sentido las aguas residuales domesticas son las que provienen de zonas urbanas como viviendas y edificaciones; y de los acciones generadas principalmente por el metabolismo humano y las actividades de carácter doméstico

Como lo indica Delgadillo y Condori (2009) en el planeta existe una gran cantidad de agua residual domestica producto de los hogares que no recibe un tratamiento adecuado. Este tipo de aguas residuales automáticamente ingresan a los recursos hídricos provocando un sin número perjuicios ambientales, como la contaminación de lagos, ríos y océanos, afectando los ecosistemas y arrecifes.

Este hecho se ha convertido en uno de los problemas ambientales de mayor gravedad en Colombia. El contexto nacional se ha caracterizado por la descarga de aguas residuales domésticas y los vertimientos provenientes de actividades agrícolas y de riego a las fuentes hídricas en todo el país. Este accionar ha provocado la contaminación de aguas subterráneas, humedales y represas hídricas, produciendo un daño significativo al medio ambiente y a la salud de los habitantes de ciudades y municipios de todo el territorio nacional.

“En este escenario sobresalen los vertimientos realizados por el sector industrial en ciudades como Bogotá, Cali, Medellín, Cartagena y Barranquilla, originados principalmente por los productores de alimentos. Teniendo en cuenta lo anterior, el tratamiento de aguas residuales es uno de aspectos fundamentales en prevenir el daño ambiental ocasionado por el mal manejo de dichas aguas” (Almudena, 2014, pág. 6).

Es importante señalar que la normatividad que busca prevenir este flagelo, han significado un gran avance en Colombia, ya que se ha generado mayor consciencia de la importancia de mantener limpias las fuentes hídricas naturales del país y de las posibles consecuencias ambientales que este problema origina. No obstante, la construcción de sistemas de tratamientos de aguas es una labor novedosa en Colombia; la cual demanda más atención por parte de los gobiernos departamentales en asignar recursos para mejorar su cobertura y aplicación.

“Las cifras indican que Colombia presenta una infraestructura para tratar el 32% de las aguas residuales, pero realmente se trata entre un 8% y un 10%, reflejando una falta de sostenimiento y buen uso de dicha infraestructura” (Castillo, 2015, pág. 12). Referente al contexto regional es similar al presentando en Colombia, ya que sólo el 20% de las aguas residuales en Latinoamérica son tratadas, provocando no solamente que la población se vea expuesta a problemas en salubridad (enfermedades) y ambiental, sino en un problema de estado, puesto que involucra sectores de la economía.

La problemática en cuanto al mal uso de las aguas residuales domésticas, tiende a incrementarse día a día, debido a la falta de una cultura dentro de los propios hogares en cuanto a la implementación y técnicas para el tratamiento y a la falta de eficiencia por parte del estado para

enfrentar esta situación. Las aguas residuales que provienen de los hogares son las que más contaminantes tienen, el realizar un correcto tratamiento, previo a su liberación en los afluentes hídricos naturales es uno de los factores considerados en prevenir la degradación ambiental ocasionada por el hombre.

Teniendo en cuenta lo anterior y en razón a buscar soluciones al problema ambiental que origina el manejo inadecuado de las aguas residuales, la presente monografía determina la importancia de la reutilización y aprovechamiento eficiente de aguas residuales domésticas en Colombia bajo los diferentes sistemas de tratamiento; estableciendo los efectos ambientales que produce el tratamiento de aguas residuales domésticas en Colombia; planteando los beneficios de la reutilización de las aguas residuales domésticas tratadas en Colombia y conocer acerca de los diferentes sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas utilizados nacional.

Por ende el desarrollo del presente documento permite profundizar en un tema de vital importancia en la actualidad, reconociendo todos los beneficios que ofrece la reutilización y aprovechamiento eficiente de aguas residuales domésticas. Por medio de la revisión bibliografía y análisis documental empleada en la elaboración del trabajo se adquieren nuevos conocimientos y conceptos fundamentales para el entendimiento del tema de estudio.

A su vez se tendrá en cuenta el aporte de un ingeniero ambiental vinculado a una entidad departamental especializada en el tema, con el fin de obtener una opinión que permitan una mejor comprensión del objeto de estudio y contribuyan al desarrollo del trabajo.

2.1 Formulación del problema

¿Cuál es la importancia que aporta la reutilización y aprovechamiento eficiente de aguas residuales domésticas en Colombia por medio de los sistemas de tratamiento utilizados?

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

Determinar la importancia de la reutilización y aprovechamiento eficiente de aguas residuales domésticas en Colombia por medio de los sistemas de tratamiento utilizados.

3.2 Objetivos específicos

- Establecer los efectos ambientales que produce el tratamiento de aguas residuales domésticas en Colombia.
- Plantear los beneficios de la reutilización de aguas residuales domésticas tratadas en Colombia.
- Conocer los diferentes sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas utilizados a nivel nacional.

4. Justificación

La crisis ambiental que enfrenta actualmente Colombia y el resto del mundo, establece la búsqueda de alternativas para el tratamiento de aguas residuales domésticas; utilizando las diversas formas de reutilización con un debido proceso y dirección correcta, contribuyen a la preservación del medio ambiente y la calidad de la salud.

“El problema principal que se presenta en la actualidad es la escasez de agua, y esto se debe al uso ineficiente del recurso y a la contaminación a gran escala producida por las diferentes actividades del hombre. Por tal motivo se requiere hacer más aprovechable este recurso no renovable y que su uso sea mucho más eficiente” (Arango & Sanchez, 2015, pág. 12).

Colombia es uno de los países que presenta mayor riqueza hídrica del mundo, sin embargo presenta regiones enteras donde no se tiene acceso al agua potable. “Según el informe realizado por la Superintendencia de servicios públicos en el año 2014, se evidenció que solo el 59% por ciento de la población en Colombia recibió agua en óptimas condiciones de consumo (potable), de la cual solo el 27% es tratada. El restante de las aguas se descarga sin ningún tipo de tratamiento, contaminando una parte significativa de los recursos naturales de agua” (Silva & Torres, 2014, pág. 32).

Para el año 2017 el cubrimiento de agua potable en las zonas urbanas se ubicó en el 95 %; pero a nivel rural solo el 18% de los hogares presentó el servicio en condiciones óptimas, es decir, con un indicador de calidad entre 14.1 y 35, según la norma nacional (Ospina, 2018). Para ese

mismo año cifras reveladas por el Viceministerio de aguas y saneamiento básico, indicaron que al menos el 57% las aguas residuales en Colombia no son tratadas. En consecuencia las ciudades tienden a tener mayor cobertura y un servicio de mejor calidad que las zonas rurales. La población rural, que comprende aproximadamente el 23% de la población total, presenta las tasas de cobertura más bajas.

“En ese aspecto se establece que los tipos y aplicaciones de los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas, presentan una clasificación de acuerdo con el sector o infraestructura que recibe el beneficio, siendo los principales: el doméstico, el industrial, y el agrícola” (Lizarazo & Orejuela, 2013, pág. 5). En ese sentido es importante señalar que la reutilización de aguas residuales domésticas, trae beneficios de orden ambiental y económico como el ahorro de agua potable y menos contaminación de aguas superficiales.

El tratamiento en aguas domésticas permite recuperarlas para ser reutilizadas en funciones secundarias, implementadas en el lavado de exteriores, pisos, vehículos y riego de plantaciones. A su vez se emplea como recurso alternativo en diversas actividades agrícolas, siempre que sea tratada apropiadamente. Esta serie de acciones aportan un ahorro en consumo de agua potable que simplemente sería desperdiciada y se podría emplear en usos de provecho humano (Trejos, 2007).

El agua es un recurso limitado y la demanda en el mundo se encuentra en crecimiento. Por ende es necesario reducir las aguas residuales y buscar por los diferentes métodos de tratamiento su reutilización. Teniendo en cuenta lo anterior la presente propuesta busca determinar la importancia de la reutilización y aprovechamiento eficiente de aguas residuales domésticas, bajo los diferentes sistemas de tratamiento; considerando este proceso fundamental para la recuperación

ambiental del país, las fuentes hidrográficas con mayor contaminación y optimizar la calidad de vida de las personas. De esta manera si se produce un correcto tratamiento, se evitara el vertimiento de contaminantes en ríos, lagos y mares; se estara haciendo un aporte significativo que permita disminuir algunos problemas de contaminación ambiental.

En ese sentido se propone determinar la importancia de la reutilización y aprovechamiento eficiente de aguas residuales domésticas en Colombia bajo los diferentes sistemas de tratamiento; estableciendo los efectos ambientales que produce el tratamiento de aguas residuales domésticas en Colombia.

“Un tema de relevancia social y ambiental, teniendo en cuenta que solo el 0.3% del agua dulce que hay en la tierra es apta para el consumo humano, es cuando se debe actuar y pensar en las próximas generaciones” (Castillo, 2015, pág. 4). La salud y productividad de un país dependen en gran parte del acceso al agua y al saneamiento que se le da a este recurso. Por ende es necesario poner en conocimiento público esta situación, la cual contribuya a promover la gestión de las aguas residuales domésticas en Colombia.

El desarrollo de este tipo de documentos se convierten en una necesidad, ya que permite concientizar acerca del buen uso y cuidado del agua en todas sus dimensiones, además de aportar conceptos de importancia en el conocimiento de los sistemas de tratamientos y procesos empleados en la reutilización y aprovechamiento eficiente de las aguas residuales domésticas en Colombia. Permitiendo al estudiante diagnosticar una situación real y a partir de esta, plantear un concepto propio.

A su vez este trabajo servirá como elemento de consulta a personas interesadas en el tema y podrá considerarse como un documento de sensibilización e información, que contribuye al entendimiento del tema de estudio. La investigación y el conocimiento del desarrollo de nuevos sistemas de tratamiento en Colombia para reducir las cargas contaminantes producto de las aguas residuales domesticas resulta fundamental, dada la necesidad de conservar el medio ambiente, el cual se constituye en un patrimonio común, y de conveniencia en detener la creciente degradación ambiental.

5. Marco Teórico

5.1 El Agua

El Agua es una sustancia que presenta una molécula compuesta por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno (H₂O). Este elemento es considerado vital para la conservación de la fauna y la preservación de todas las diversas formas de vida en la tierra.

“La referencia de agua normalmente representa la sustancia en su estado líquido, sin embargo este puede presentarse en forma sólida llamado hielo, y en su forma gaseosa denominada vapor” (Garcia, 2010, pág. 2). Por consiguiente el agua se presentan en el medio ambiente en los tres estados de la materia: sólido, líquido y gaseoso.

Es importante señalar que el agua en su estado sólido, establece una menor densidad que en su presentación líquida; crea estructuras sistemáticas en las que cada molécula de agua permanece estable y unida a otras cuatro moléculas.

Referente a su estado líquido, las moléculas presentan un incremento en la fuerza de cohesión que las mantiene incorporadas; esto como consecuencia de su rápida formación y ruptura de enlaces entre las moléculas; en cuanto a su fase gaseosa, las moléculas de agua se presentan de forma separada y en desorden.

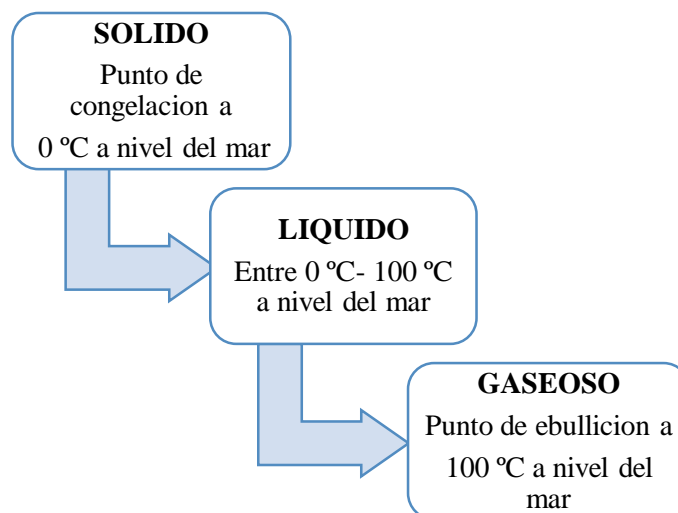


Figura 1. Estados del Agua. Fondo para la educación ambiental, definiciones (2014).

El agua presenta una cobertura de la superficie en la tierra de aproximadamente el 71 %. Esta sustancia se encuentra especialmente en los océanos, con el 96,5 % del agua total del planeta. “Los glaciares y casquetes polares poseen el 1,74 %, los depósitos subterráneos (acuíferos), los permafrost y los glaciares continentales son el 1,72 % y el restante 0,04 % se reparte en orden decreciente entre lagos, humedad del suelo, atmósfera, embalses, ríos y seres vivos” (Fondo la educacion ambiental, 2013, pág. 3).

En la identificación de los componentes cíclicos del agua, se establecen aproximadamente 15 procesos. Dentro de dicho ciclo la U.S. Geological Survey (USGS) (2013) “ha establecido los siguientes: el agua almacenada en océanos, evaporación, agua en la atmósfera, condensación, precipitación, agua almacenada en hielos y en la nieve, agua de deshielo, escorrentía superficial, corriente de agua, agua dulce almacenada, infiltración, descarga de agua subterránea, manantiales, transpiración, agua subterránea almacenada y distribución global del agua”.

Teniendo en cuenta lo anterior el ciclo del agua permite describir la presencia y movimiento del agua en la tierra y sobre ella. El agua de la tierra está siempre en constante movimiento y cambio de sus tres estados (líquido, gaseoso y solido). Esta representación se identifica en la figura 2.



Figura 2. Ciclo del agua. U.S Dept. of the interior. U.S Geological Survey Howard Perlman. USGS, John Evans. <https://water.usgs.gov/edu/watercyclespanish.html> (2013).

“El agua que permanece en los océanos por gran cantidad de tiempo es mayor a la que actualmente se encuentra en movimiento en el ciclo del agua. Este hecho indica que de los 1.380.000.000 kilómetros cúbicos de agua en la Tierra, un 96.5% se encuentra almacenado en los océanos” (U.S. Geological Survey (USGS), 2013).

“Este hecho produce que los océanos proporcionen aproximadamente el 90% del agua que se evapora hacia la atmósfera, ya que las corrientes presentes en los océanos desplazan grandes cantidades de agua alrededor de la Tierra. Esta serie de movimientos influyen notoriamente en la influencia en el ciclo del agua y el clima” (Fondo la educacion ambiental, 2013, pág. 4).

Las aguas superficiales comprenden los lagos, ríos y humedales comprendiendo únicamente el 0,3 % del agua dulce del planeta. Sin embargo estas fuentes hídricas representan el 80 % de las aguas dulces renovables. Es importante señalar que el acceso al agua potable se ha incrementado durante las últimas décadas en prácticamente todos los países.

“Es estimado que el 70 % del agua dulce se emplea en labores agrícolas. El agua en la industria ocupa una media del 20 % del consumo mundial, utilizada en tareas de refrigeración, transporte y disolvente en variedad de procesos industriales. El consumo doméstico representa el 10 %” (Fondo la educacion ambiental, 2013, pág. 5).

5.2 Aguas residuales

Actualmente las aguas residuales se convierten un importante recurso necesario para satisfacer la demanda a nivel global del líquido más importante presente en el planeta. Este tipo de aguas con un correcto tratamiento, aumentan la disponibilidad para lograr la cobertura de requerimientos de ciudades y pueblos alrededor del mundo; a su vez disminuye costos y otorga beneficios para el riego de suelos agrícolas, disminuyendo el impacto sobre el medio ambiente.

No obstante, la presencia de aguas residuales crudas o diluidas en aguas superficiales y el poco tratamiento de aguas residuales tratadas, generan riesgos en la salud de la población.

Por consiguiente las aguas residuales constituyen cualquier tipo de agua cuya calidad está afectada negativamente por influencia antropogénica. En ese sentido las aguas residuales la componen las aguas utilizadas en labores domésticas, los residuos líquidos provenientes de industrias y las aguas que se mezclan con las anteriores (aguas pluviales o naturales). Su importancia es tal que requiere sistemas de canalización, tratamiento y desalojo (Contreras, 2002). Este tipo de aguas producen un nivel de contaminación que puede manifestar la presencia de sólidos, desechos orgánicos, detergentes, jabones y grasas, lo que obliga a realizar un proceso para su eliminación.

Frecuentemente son conocidas como aguas servidas o aguas negras y la importancia de un correcto tratamiento y descontaminación, comprende la posibilidad de retornar el recurso a las fuentes hídricas naturales, sin que estas sean un peligro para la población y seres vivos. Este hecho representa un método de aprovechamiento del agua, especialmente en regiones que presenten escasez del líquido, contribuyendo al mejoramiento del medio ambiente.

Según Espigares (2014) dentro de este concepto se incluyen las aguas residuales con diversos orígenes:

Aguas blancas: Proceden de la atmosfera (lluvia, nieve o hielo) o de actividades de riego y limpieza de zonas urbanas. En espacios con precipitaciones atmosféricas frecuentes, éstas pueden ser evacuadas por separado, con el fin de no saturar los sistemas de depuración.

Aguas residuales industriales: proviene de los diversos procesos efectuados en factorías y empresas del sector industrial. Estas presentan diversidad de aceites, detergentes, ácidos y grasas de origen mineral, químico, vegetal o animal. La composición de este tipo de aguas es altamente variable, dependiendo de las diferentes actividades industriales.

Aguas residuales agrícolas: Estas aguas provienen de las diferentes actividades del sector agrícola en campos y plantaciones. Las aguas residuales agrícolas representan su uso de forma similar a las aguas residuales urbanas o domesticas; el uso más frecuente es el empleado en el riego agrícola. Dentro de las principales características físicas que componen las aguas residuales se establecen en la tabla 1:

Tabla 1. Características físicas de las aguas residuales

Aspectos físicos	Características
Temperatura	La temperatura es mayor a la de aguas no contaminadas, debido a la energía liberada en las reacciones bioquímicas, que se presenta en la degradación de la materia. Las descargas calientes son otra causa de este aumento de temperatura.
Turbidez	La turbidez, medida de la propiedad de transmisión de la luz del agua, es otro ensayo utilizado para indicar la calidad de los vertidos de aguas residuales con respecto a la materia suspendida.
Color	El color es un indicativo del periodo de las aguas residuales. El agua residual reciente tiende a ser de color gris; sin embargo, a razón de la descomposición de los compuestos orgánicos por las bacterias, el oxígeno presente en el agua residual es reducido y cambia a un color negro. En esta fase, se reconoce al agua residual como séptica.
Olor	El olor es otra característica, predominante en las aguas residuales, debido a los gases que se producen en la fase de descomposición de la materia orgánica, especialmente cuando existe ácido sulfhídrico y sustancias volátiles. Cuando el agua

residual es reciente, presenta un olor tolerable en comparación al olor producido por el agua residual séptica.

Fuente: Evaluación del uso de microorganismos eficaces en el tratamiento de efluentes domésticos residuales. López, (2012).

Como se indicó anteriormente, los diversos tipos de aguas residuales reciben nombres descriptivos según su procedencia, siendo una de sus características típicas, la presencia de sustancias consumidoras de oxígeno. En ese sentido, la tabla 2 establece los contaminantes presentes en el agua residual, dispuesto por la Agencia estadounidense de protección ambiental (EPA) (2012).

Tabla 2. Contaminantes en el agua residual

Contaminante	Fuente	Efectos causados por la descarga del agua residual en aguas superficiales
Sustancias que consumen oxígeno (MO* biodegradable)	ARD* y ARI* (proteínas, carbohidratos, grasas, aceites)	Agotamiento del oxígeno, condiciones sépticas
Sólidos suspendidos	ARD y ARI; erosión del suelo	Depósito de lodo; desarrollo de condiciones anaeróbicas.
Nutrientes: - Nitrógeno - Fósforo	ARD, ARI y ARA* ARD y ARI; descarga natural	Crecimiento indeseable de algas y plantas acuáticas
Microorganismos	ARD	Contaminación en cosechas y plantaciones
Materia tóxica: - Metales pesados - Compuestos orgánicos tóxicos	ARI ARA y ARI	Deterioro del ecosistema; envenenamiento de los alimentos en caso de 17 acumulación
MO refractaria (Difícil de degradar biológicamente)	ARI (fenoles, surfactantes), ARD (surfactantes) y ARA (pesticidas, nutrientes); materia resultante del decaimiento de la MO	Resisten el tratamiento convencional, pero pueden afectar el ecosistema

Sólidos inorgánicos disueltos:	Abastecimiento de agua, uso de agua	Incremento del contenido de sal.
- Cloruros	Abastecimiento agua,	
- Sulfuros	uso agua, infiltración	
- pH	ARD y ARI	
Olores: H ₂ S	Descomposición de	Molestia pública
Aluminio	ARD	Causa toxicidad en suelos y precipitado del ión en suelos alcalinos
Níquel	ARD	Toxico para las plantas

*MO; Materia orgánica *ARD: Aguas residuales domésticas *ARI: Aguas residuales industriales;

*ARA: Aguas residuales agrícolas.

Fuente: EPA (2012). *Guidelines for Water Reuse*. Office of Wastewater Management, ed., Washington, D.C.

En cuanto al uso de las aguas residuales tratadas, es importantes establecer que estas se clasifican de acuerdo con el sector o infraestructura que recibe el beneficio, siendo los principales: el urbano o doméstico, el industrial, y el agrícola. La tabla 3 establece los principales usos destinados para las aguas residuales tratadas.

Tabla 3. Uso de las aguas residuales tratadas

Clasificación	Uso
Urbano - domestico	Irrigación de parques públicos, campos deportivos y áreas residenciales. Lavado de vehículos, sanitarios, garajes y patios. Agua para el baño (descarga y vaciado). Apagado de incendios. Limpieza de tanques Recarga de aires acondicionados. Llenado de piscinas Lagunas ornamentales y fuentes decorativas. Caminos de agua para uso recreacional en que se permite el contacto del público con el agua (excepto el lavado de manos).

Industrial	Sistemas de refrigeración. Enfriamiento industrial, excepto para la industria alimentaria. Recarga artificial de maquinaria. Alimentación de calderas. Control de la intrusión marina, control de subsidencias. Lavado de construcciones y edificaciones.
Agrícola	Métodos de Riego de cultivos. Protección forestal.

Fuente: Reusó de aguas residuales: una revisión. (Silva & Torres, 2014).

5.3 Aguas residuales domesticas

“Las aguas residuales domésticas provienen de las diferentes actividades realizadas en viviendas y edificios de carácter comercial o institucional; se determina que las aguas negras son aquellas que proceden de inodoros y orinales, y las aguas grises son las generadas por duchas, lavamanos, lavadoras y cocinas” (Klester, 2004, pág. 25).

Referente a las aguas grises, Duttle (2002) señala:

Se pueden reutilizar en el inodoro y si se aplica un tratamiento simple, pueden ser empleadas normalmente en usos como riego de zonas verdes o la limpieza de exteriores. Su nombre se debe a su aspecto turbio y por su condición de estar en un punto intermedio entre las aguas dulces y potables (p. 15).

“Las aguas grises en primera instancia podrían ser poco utilizables, sin embargo por medio de un correcto sistema de tratamiento, se puede obtener el ahorro de entre un 30% y un 45% de agua potable; este proceso contribuye a la protección de reservas de agua subterránea y a la reducción de cargar contaminantes provenientes de aguas residuales” (Martinez & Niño, 2013, pág. 32)

En consecuencia las aguas residuales domésticas son el resultado del uso del recurso líquido en las múltiples actividades de los hogares y las generadas por el metabolismo humano. Estas causan procesos de contaminación al agua, que se manifiestan con la presencia de sólidos, desechos orgánicos, detergentes y grasas. Esta clase de aguas son conocidas también como aguas servidas, fecales o cloacales. Se denominan servidas debido a que presentan residuos y no son aptas para el consumo; y denominadas cloacales porque se trasladan a través de cloacas y vertederos. Así en los sistemas de evacuación se combinan con las aguas de lluvia.

Teniendo en cuenta lo anterior las aguas residuales domesticas son las que mayor número de contaminantes presentan, el desarrollar un correcto tratamiento, anterior al vaciado en el medio ambiente, se ha convertido en uno de los aspectos determinantes en la prevención del deterioro de las fuentes hídricas naturales existentes.

Las aguas residuales domesticas se conducen por medio de sistemas de alcantarillado y tratadas en plantas especializadas para su purificación antes de ser vertidas, aunque no siempre se realiza de esta manera. “Las aguas residuales provenientes de zonas urbanas sin acceso a sistemas de alcantarillado centralizado, se tratan en el mismo lugar, generalmente en fosas sépticas, campos de drenaje séptico y con biofiltros” (Perez-Parra, 2000, pág. 34).

En cuanto a la composición, características fisicoquímicas y biológicas del agua residual. Los constituyentes más importantes de los residuos líquidos otorgan al agua residual doméstica propiedades físicas, químicas o biológicas únicas. Este hecho depende en gran parte a las costumbres y hábitos socio-económicos de la población.

Por ende aunque sólo la composición de las aguas residuales domésticas provengan de actividades domésticas, la composición puede presentar variaciones, ocasionado por factores como hábitos alimentarios, consumo de agua, cantidad de productos de limpieza en el hogar, etc. (Espigares, 2014). Teniendo en cuenta lo anterior se establece que la composición del agua residual está determinada por el caudal y fuente (población).

En ese aspecto las aguas residuales domésticas consisten básicamente en: agua, sólidos disueltos y sólidos en suspensión. Según Quintero (2007) los sólidos son la fracción más pequeña (representan menos del 0.1 % en peso), pero representan el mayor problema a nivel del tratamiento. El agua provee sólo el volumen y el transporte de los sólidos (Figura 3).

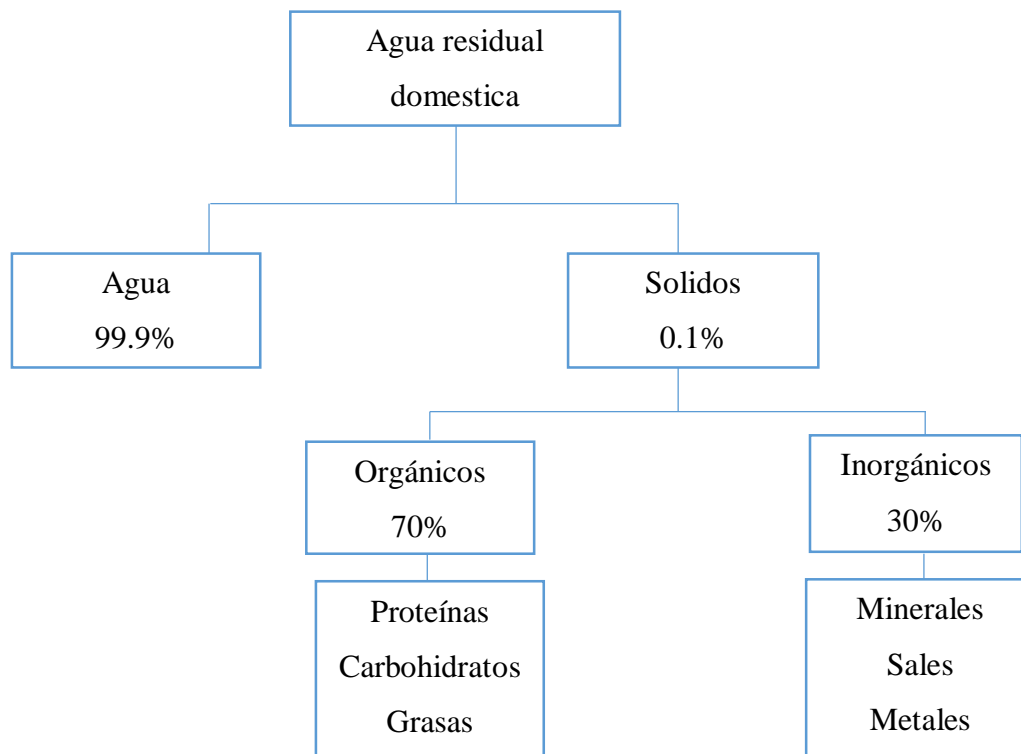


Figura 3. Componentes de las aguas residuales domesticas Ingeniería de aguas residuales, redes de alcantarillado y bombeo. Quintero, (2007).

Las aguas residuales domesticas presentan una composición uniforme, que permite ejecutar los procesos de tratamiento de manera más simple; se distinguen fácilmente de las aguas residuales industriales, debido a que estas en muchas ocasiones presentan composición indescriptibles, a raíz de sus componentes. “La composición, al igual que la cantidad de aguas residuales, presentan variaciones frente al tiempo. Esta desarrolla cambios durante el transcurso de las horas posteriores a su vertido, en función de los días de la semana y variaciones en el clima” (Espigares, 2014, pág. 23).

5.4 Recuperación y tratamiento de aguas residuales

De acuerdo con la definición de Asano (1996) se “denomina recuperación de aguas residuales al tratamiento o proceso que sufren, para poder ser reutilizadas, y a la reutilización directa del agua como el aprovechamiento de las aguas residuales tratadas con fines de reusó. La reutilización directa de las aguas residuales demanda la adaptación de tuberías o medios de conducción para la distribución del agua recuperada” (p.12).

En consecuencia la recuperación de aguas residuales por medio de procesos físicos, químicos y biológicos tienen como objetivo suprimir los contaminantes presentes en el agua que proviene del uso humano. Este proceso, además de ayudar a solucionar los problemas de escasez de agua en las zonas áridas y semiáridas, resuelve un problema medioambiental. “En ciertos casos el agua residual tratada es de mejor calidad que el agua de la zona, presentando una total adecuación para diferentes usos, como el riego y siembra de alimentos, diversas actividades del hogar y en procesos industriales” (Hernandez, 1989, pág. 15).

En el último tiempo, se ha incrementado el aprovechamiento de las aguas residuales que por medio de tratamientos avanzados de depuración. “El convencimiento de que estas aguas deben ser aprovechadas y no desperdiciadas, junto con la escasez creciente de agua y los problemas de protección medio-ambiental, han creado un contexto real, para considerar la reutilización de las aguas residuales como un proceso medioambiental fundamental” (Perez-Parra, 2000, pág. 6).

En ese sentido el aprovechamiento de las aguas residuales se convierte en un factor fundamental para el planeta, si se emplea un buen manejo, estas ayudan a proteger la salud y el

bienestar de la sociedad. “Así mismo el vertido de las aguas residuales a las fuentes hídricas naturales establece a la población como consumidores directos o indirectos. Por ende a mayor crecimiento poblacional, se eleva la necesidad de aplicar sistemas de tratamiento o renovación que permitan eliminar los riesgos para la salud de las personas y reducir el daño medioambiental” (Romero, 2010, pág. 7).

Como lo establece Perez-Parra (2000) “la recuperación de aguas residuales se establece como un recurso que debe ser tenido en cuenta, dentro del contexto de gestión del agua; junto con la métodos tradicionales como los trasvases desde cuencas excedentarias, la construcción de embalses para regular recursos superficiales y otras medidas más innovadoras y costosas como la desalación de agua de mar” (p.7).

En relación con los sistemas de tratamiento de aguas residuales, hoy en día se presentan tecnologías necesarias para garantizar la calidad óptima deseada, según las normatividades ambientales vigentes. Estos procesos aumentan la calidad del agua, que emerge de las plantas de tratamiento, hasta lograr las propiedades , en función del uso al que se va a destinar dicha agua, lo cual está directamente relacionado con la inversión y costos invertidos en los procesos de tratamiento.

La meta primordial del tratamiento de las aguas residuales consiste en suprimir las características perjudiciales del recurso, de manera que su reutilización pueda darse de acuerdo con las reglas y criterios definidos por las corporaciones autónomas. “Los tratamientos deben incluir la reducción de concentración de al menos uno de los componentes, más importantes del agua residual: Sólidos en suspensión, Material orgánico (biodegradable), Nutrientes

(principalmente nitrógeno y fósforo), Organismos patógenos y Metales pesados” (Quintero, 2007, pág. 34).

Para la selección de las tecnologías apropiadas, el diseño de las plantas de tratamiento de agua residuales debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Calidad y origen del efluente.
- Calidad de agua deseada luego de su tratamiento.
- Costos asociados.
- La normatividad ambiental.

Las tecnologías dependerán de múltiples factores, principalmente de la calidad de los vertimientos y de la calidad final que se pretenden obtener. Esta calidad final viene determinada por la reglamentación específica de la zona (Autoridades Ambientales Regionales), que exige unos requerimientos mínimos de calidad.

En ese sentido los diferentes sistemas usados en el tratamiento de las aguas residuales, se pueden clasificar según lo propuesto por Ulloa (1991) en:

Según el medio de eliminación de los contaminantes: Los contaminantes del agua residual se eliminan de forma física, química y biológica. Comúnmente un sistema de tratamiento (o fase del proceso) es una combinación de los mismos. A efectos de clasificación se considera el efecto predominante.

Según la fase de depuración: Los sistemas de tratamiento de aguas residuales se clasifican en función de los niveles de rendimiento logrados en la fase de saneamiento o según la fase de depuración en la que se sitúan. Esta clasificación es la más empleada, aunque no siempre es posible lograr un tratamiento dentro de una fase concreta, la fase de depuración se adopta por extensión para denominar el proceso completo.

Según el costo de la explotación: En esta sistematización no se tiene en cuenta el tipo de proceso unitario o las fases que comprenden el proceso de depuración. En este caso se aplica una organización de los diferentes sistemas, en dos grupos según las necesidades de explotación y mantenimiento requerido.

Por su parte Briceño y Torres (2016) establecen los diferentes tratamientos en los que se pueden emplear las aguas residuales, dependiendo del grado de depuración. Es normal hacer referencia al tratamiento primario, secundario, etc., aunque frecuentemente la separación entre estos no sea evidente. La tabla 4 distingue los siguientes niveles de tratamiento:

Tabla 4. Tratamientos de aguas residuales

Tratamientos	Características del tratamiento
Pretratamiento	Proceso en el que se utilizan rejillas y cribas que producen la separación de restos con volumen sólido como palos, telas y plásticos.
Tratamiento primario	Este tratamiento sedimenta los materiales suspendidos, por medio de procesos físicos o fisicoquímicos. En ciertos casos se deja por un tiempo determinado las aguas residuales en tanques o depósitos; en los casos de tratamientos primarios mejorados, se adiciona al agua contenida en estos depósitos, sustancias de origen químico, los cuales efectúan una aceleración de la sedimentación.
Tratamiento secundario	Por medio de este tratamiento se eliminan las partículas coloidales y similares. Esta actividad incluye procesos biológicos y químicos. El

	tratamiento secundario más realizado es el denominado biológico, el cual facilita que las bacterias aerobias absorban la materia orgánica que presentan las aguas residuales.
Tratamientos más avanzados	Los tratamientos más avanzados lo representan los procesos físicos y químicos especiales, con los que se limpia las aguas con presencia de contaminantes concretos como fósforo, nitrógeno, minerales, metales pesados, virus y compuestos orgánicos. Estos tratamientos representan mayor inversión que los otros y se suelen utilizar en casos especiales, como es la purificación de desechos industriales, sobre todo en países con más desarrollo.

Fuente: Tratamiento de aguas residuales de uso doméstico (Briceño & Torres, 2016).

En cuanto a los tratamientos en las estaciones depuradoras de agua (EDAR), se establecen en dos líneas según Briceño y Torres (2016) como:

- Línea de agua. Este tratamiento lo compone una serie de procesos clasificados que depuran el agua. Este proceso inicia con el agua que ingresa a la depuradora y finaliza con en el agua vertida en ríos y mares.
- Línea de fangos. Este tratamiento incorpora una serie de procesos en los que se incluyen fangos o lodos, producidos en la línea de agua. En este proceso el fango se degrada por medio de un digestor anaeróbico, posteriormente se incinera y se utiliza como abono, o se deposita en un vertedero.

Es importante señalar que en las EDAR además de lodo, residuos como arenas, grasas y diferentes objetos separados en el pretratamiento y en el tratamiento primario separados, que necesariamente deben eliminarse de forma correcta. “En ese proceso para lograr una depuración

eficiente de aguas residuales proveniente de regiones pequeñas, no es necesario adecuar las EDAR” (Briceño & Torres, 2016, pág. 11).

Las opciones empleadas en el tratamiento de aguas residuales elaboradas de forma artesanal o de menor inversión, la comprenden un número de tratamientos naturales. “En ese sentido los sistemas de desecho en lugares como tanques sépticos o pozos negros son una opción efectiva que permite deshacer los residuos de las aguas tratativas; estos al ser manejados de manera correcta logran una eficacia notoria y permiten ser más rentables” (Briceño & Torres, 2016, pág. 19). A continuación se establecen una serie de tratamientos naturales empleados en las aguas residuales:

- Fosa séptica. Cámara cerrada en la que los contaminantes sedimentan y fermentan.
- Lecho bacteriano (depósito lleno de árido), zanjas o pozos filtrantes o filtros de arena. Facilitan la formación de películas bacterianas sobre los cantos o partículas filtrantes que realizan la descontaminación.
- Lagunaje: Anaerobio elimina hasta el 50% el DBO5. Aerobio con posible proceso anaerobio después
- Filtro verde: plantación forestal en la que se riega con aguas residuales
- Contactores biológicos rotativos.- Sistemas mecánicos que facilitan la actuación de las bacterias descontaminantes

5.5 Manejo y reusó del agua residual domestica tratada en Colombia (urbano-rural)

Los beneficios que producen la reutilización y aprovechamiento de las aguas residuales domésticas tratadas, establecen aspectos como la protección de la salud humana, mejoramiento del recurso hídrico y la recuperación ambiental; sumado a los diferentes usos en los que se emplea el agua tratada. En Colombia los tratamientos de aguas residuales domésticas han permitido obtener beneficios ambientales tales como:

- Mejoramiento del recurso hídrico
- Preservación del medio ambiente
- Recuperación de cuencas y suelos
- Vertimiento directo a las fuentes hídricas

“En razón a ello los diferentes municipios y ciudades del territorio nacional han adoptado sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas, teniendo en cuenta aspectos topográficos y climáticos de la zona, características de los líquidos a tratar, costos, y costumbres de los habitantes” (Hidalgo & Mejia, 2012, pág. 12). En ese sentido el Ministerio de Ambiente, Vivienda, y Territorial (2015) destaca como tratamientos tradicionales empleados en el manejo de aguas residuales domesticas en sectores urbanos y rurales a las lagunas de estabilización, los sistemas de tanques sépticos, sistemas de filtración (filtros de arena), filtros anaerobios, pozos de absorción, zanjas de oxidación, humedales, lodos activados de aireación, y los reactores anaerobio de flujo ascendente (UASB) extendida entre otros.

Es importante destacar que Colombia no presenta una normatividad para el reúso de agua residual doméstica en espacios urbanos. No obstante el Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible (2014) por medio de la Resolución 1207 adopta disposiciones para usos agrícolas. En este contexto se reconoce la aplicación de sistemas de tratamientos de aguas residuales domésticas principalmente en zonas rurales colombianas, debido a las diversas aplicaciones del agua tratada.

Así en Colombia el agua residual doméstica tratada, presenta dos tipos de manejo: el rural y el urbano. Empleándose con mayor frecuencia en actividades rurales originadas por el sector agrícola como riego de cultivos y siembra de hortalizas. Destacándose los cultivos de arroz, caña de azúcar, sorgo, pastos, soya, algodón, maíz dentro del plan agrícola de reúso en departamentos como Valle, Cundinamarca, Antioquia, Santander, Manizales y Quindío entre otros (Silva & Torres, 2014). Así como el uso del agua tratada en el lavado de café y como componente de fertilizantes en procesos agrícolas.

En ese sentido es importante señalar que las actividades de origen agrícola demandan mayores cantidades de agua residual tratada, por necesitar un abastecimiento que ayude a mitigar la escasez del recurso. Colombia es un país que fundamenta gran parte de su producción en el sector agrícola, por ende la relevancia de la utilización del agua residual tratada en dichas actividades. (Ministerio de Agricultura Y Desarrollo Rural, 2016).

En los últimos años en Colombia se ha empleado el uso de aguas residuales domésticas tratadas en la piscicultura, una actividad que se ha ido incrementando con el transcurso de los años, debido a su importancia en el ahorro del líquido y su adaptación a nuevos sistemas productivos de orden agrícola. A su vez se han reconocido usos rurales en actividades de aprovechamiento forestal,

recuperación de suelos degradados y compostaje de biosólidos gracias a los lodos provenientes de los diversos tratamientos de las aguas residuales domesticas especialmente de lagunas, zanjas de oxidación y de Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente con Manto de Lodos (UASB), los cuales presentan nutrientes que los hacen una excelente remedio del suelo (Daguer, 2013).

Por su parte la utilización de aguas residuales domesticas para el reusó en ciudades (urbano) depende en gran medida del nivel socioeconómico, costumbres y clima de los municipios y ciudades. Ya que son limitadas las actividades dentro del hogar a las que se puede disponer las aguas residuales domesticas tratadas; su reusó a nivel urbano comprende los riegos de jardines y parques en áreas públicas, uso de sanitarios y lavado de pisos. Esto indica que en el escenario Colombiano, los diversos tratamientos empleados en las aguas residuales domesticas de carácter urbano se emplean con mayor frecuencia en el área del aseo. También se han reconocido proyectos que incluyen tecnología en tratamientos de aguas residuales domesticas en urbanizaciones y hoteles (Osorio M. , 2013).

Es importante señalar que la mayoría de los municipios de Colombia carecen de infraestructuras idóneas para el tratamiento de las aguas residuales, por ende a nivel urbano los tratamientos de aguas residuales domésticos se desarrollan con mayor frecuencia en ciudades principales; en este hecho se reconoce el trabajo que desarrollan las corporaciones autónomas regionales para gestionar proyectos que incluyan el fomento de la aplicación de sistemas de tratamientos en municipios pequeños y en cabeceras urbanas; ya que estos proyectos permitan dinamizar y modernizar el reusó del recurso en esas zonas, ya que muchos de los tratamientos empleados a nivel municipal son de carácter artesanal.

En ciudades principales se han adoptado sistemas de tratamientos de aguas residuales (pozos de absorción) en procesos más sistemáticos como el lavado de autos y usos en talleres automotrices. Actualmente Bogota y Medellin presentan edificios inteligentes que desarrollan tratamientos de agua residual domestica, generando grandes ahorros del recurso hídrico (Martinez & Niño, 2013, pág. 26).

6. Metodología

6.1 Tipo de estudio

La monografía establece la recopilación de datos, experiencias e información por medio de estudios e investigaciones relacionadas con los métodos aplicados y análisis desarrollados en el campo del tratamiento de las aguas residuales domésticas. Este proceso se orientó por medio del tipo de estudio analítico-descriptivo. La investigación descriptiva busca realizar el análisis de la información con la mayor precisión posible, comprendiendo la descripción, registro, análisis e interpretación de las condiciones actuales del momento.

Se describe el contexto dimensional del tema de estudio. Los estudios analíticos-descriptivos recolectan información que describe la situación tal y como se presenta.

6.2 Método

La presente monografía se realizó teniendo en cuenta el método cualitativo, en donde la técnica o método de investigación alude a las cualidades. Se hizo énfasis en este método, debido en que se sustenta, en la descripción de forma analítica la situación a investigar. Además anexa conceptos, experiencias y pensamientos por parte del investigador (Palencia, 2011).

6.3 Técnicas e instrumentos

Las técnicas e instrumentos para la recolección de la información tenidos en cuenta en la monografía fueron el análisis de documental y la observación.

La observación es una técnica de recolección de datos que tiene como propósito explorar y describir ambientes, implica el análisis en profundidad de situaciones y el comportamiento activo del investigador (Marín, 2008).

Por su parte el análisis documental presenta la información obtenida durante el proceso de investigación en un documento estructurado y completo, reduciendo los datos descriptivos y de contenido. La información registrada, es el soporte del objeto de estudio.

Encuesta: Esta técnica permite la recolección de información de relevancia por medio de un cuestionario de preguntas abiertas acerca del tema de estudio.

6.4 Recolección de la información

Epistemológica: Se realizó una recolección generalizada acerca de documentos, investigación y demás literatura especializada en los procesos e incidencias en el medio ambiente del tratamiento de las aguas residuales domésticas.

Teórico: Se obtuvo la información por medio de diferentes métodos de búsqueda como el internet en bases especializadas como Google académico, (Redalyc) Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal, Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Revista de Ingeniería agrícola y estudios regionales de la CVC.

A su vez se consultaron bibliotecas universitarias y entidades departamentales del medio ambiente. Allí se encontraron datos que explicaron la importancia y la pertinencia del tema de estudio.

6.5 Desarrollo de los objetivos

En cuanto al desarrollo de los objetivos específicos, se analizó en primera medida los efectos ambientales que producen el tratamiento de aguas residuales domésticas en Colombia; por medio de una revisión bibliográfica obtenida en bibliotecas universitarias (Universidad del Valle), entidades medioambientales (CVC, Aquavalle, Universidad del Valle) y sitios de interés en páginas web especializadas en el tema.

Para el desarrollo del segundo objetivo específico, el procesamiento de la información recolectada permitió plantear los beneficios de la reutilización de aguas residuales domesticas tratadas en Colombia. Para para dicho propósito se tiene en consideración la revisión documental y bibliográfica obtenida en bibliotecas universitarias, entidades medioambientales (CVC, Aquavalle, Universidad del Valle) y sitios de interés en páginas web especializadas en el tema. A

su vez se tiene en consideración la encuesta realizada a un ingeniero ambiental perteneciente a una entidad departamental (CVC) especializada en el tema. (Ver anexos)

Para el desarrollo del tercer objetivo específico, se establecen sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas empleados a nivel nacional. Los métodos reconocidos en este objetivo parte por lo dispuesto en:

- El Plan nacional de manejo de aguas residuales municipales en Colombia por el Ministerio de Ambiente, Vivienda, y Territorial.
- La CVC en sus estudios: A) Sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas empleados en el sector rural del Departamento del Valle, B) el potencial reusó de agua residual doméstica como estrategia para el control de la contaminación en el valle geográfico del río Cauca.
- Builes, S. (2010). Tratamiento y adecuada disposición de lodos domésticos e industriales.
- Madera, C. (2013) Las aguas residuales y su uso en la piscicultura: normas de Calidad y tecnologías de tratamiento.
- Briceño & Torres (2016) Tratamientos de aguas residuales de tipo doméstico a partir de coleopteros scarabeaíde.

Estos estudios reconocen a los Sistemas de tanques sépticos, Sistemas de filtración (filtros de arena), Pozo de absorción, Filtro anaerobio, Zanjas de oxidación, Lagunas de estabilización, Humedales, Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente con Manto de Lodos (UASB), Lodos

activados y el Tratamiento con escarabajos como métodos utilizados en Colombia para el tratamiento de aguas residuales domésticas.

6.6 Procedimientos

El desarrollo de la monografía se llevará a cabo en 3 momentos de la siguiente forma:

Momento 1: Se refiere a la recolección de la información obtenida en general (fuentes primarias y secundarias), además del análisis del proyecto como tal, conceptos claves, objetivos y metodología.

Momento 2: Se analiza la información recolectada y se procede a la consecución de los objetivos de la propuesta, mediante los capítulos se da origen a la explicación del tema de estudio.

Momento 3: Se reconocen los aspectos de importancia que serán tenidos en cuenta en la elaboración del trabajo, las conclusiones y recomendaciones de la monografía.

7. Análisis

7.1 Efectos ambientales que produce el tratamiento de aguas residuales domésticas en Colombia

Las aguas residuales domésticas (ARD), se establecen como las provenientes de las diversas actividades generadas por los hogares como el lavado de ropa, usos en baños y cocinas, preparación de alimentos, funciones de limpieza, etc. Normalmente el procedimiento final de este tipo de aguas domésticas es el vertimiento directo sin ningún tipo de tratamiento a las fuentes hídricas y suelos del país.

La calidad de las ARD puede generar específicamente dos tipos de problemas; el primero es relacionado con la salud pública, especialmente en países ubicados en el trópico como Colombia; debido a la elevada incidencia de enfermedades a través de agentes patógenos presentes en las aguas residuales domésticas, los cuales se dispersan en el medio ambiente.

Estas aguas residuales poseen altos niveles de contaminación que hacen posible que se proliferen plagas como por ejemplo zancudos y especies similares; altamente portadores de virus y enfermedades que puedan afectar a la población. La disminución y control de la propagación de plagas indirectamente se puede lograr mediante los correctos sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas.

El segundo problema es el atribuido al deterioro ambiental en general que produce el vertido directo de las ARD, afectando ríos, cuencas, lagunas y suelos a nivel nacional. “En Colombia se han implementado sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas, teniendo en cuenta

aspectos topográficos y climáticos de la zona, características de los líquidos a tratar, costos, y costumbres de los habitantes” (Hidalgo & Mejia, 2012, pág. 12).

Los beneficios que producen la reutilización y aprovechamiento de las aguas residuales domésticas tratadas, establecen aspectos como la protección de la salud humana, mejoramiento del recurso hídrico y la recuperación ambiental; sumado a los diferentes usos en los que se emplea el agua tratada. En el presente apartado se establecen los efectos ambientales que produce el tratamiento de las aguas residuales domésticas en Colombia.

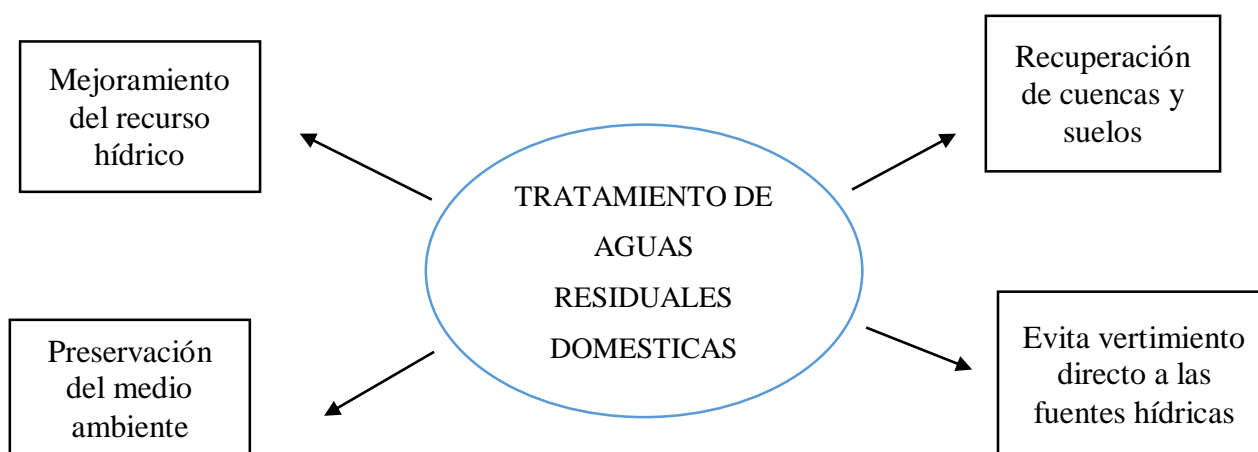


Figura 4. Efectos ambientales que producen el tratamiento de aguas residuales domésticas. Elaboración propia.

En ese sentido es importante señalar que los tratamientos tradicionales empleados en Colombia en el manejo de aguas residuales domésticas (área urbana- rural), son las lagunas de estabilización, los sistemas de tanques sépticos, sistemas de filtración (filtros de arena), filtros anaerobios, pozos de absorción, zanjas de oxidación, humedales, lodos activados de aireación, y

los reactores anaerobio de flujo ascendente (UASB) extendida entre otros (Ministerio de Ambiente, Vivienda, y Territorial, 2015).

La aplicación de esta serie de tratamientos aporta beneficios ambientales como el mejoramiento del recurso hídrico y la recuperación de cuencas y suelos del país. La preservación del medio ambiente se ha favorecido también, al evitar el vertimiento directo de las aguas residuales o al reducir los costos de su tratamiento, conservando la calidad del agua y la recarga de los acuíferos de aguas subterráneas.

En cuanto los nuevos tratamientos en Colombia, Briceño y Torres (2016) señalan la aplicación a partir del empleo de insectos como escarabajos, los cuales producen efectos positivos ambientales como la reducción de generación de olores, y disminución de la carga contaminante del agua a ríos ubicados en zonas rurales y urbanas del altiplano Cundiboyacense en los departamentos de Boyacá, Cundinamarca e Ibagué; mejorando las características fisicoquímicas y microbiológicas de las aguas residuales domésticas de esos territorios. Además esta práctica no ha generado impactos nocivos para el medio ambiente puesto que son macroinvertebrados que se encuentran presentes en el ecosistema.

Es importante señalar que la aplicación de este serie de tratamientos se realiza con más frecuencia en zonas rurales colombianas, debido a las diversas aplicaciones del agua tratada, sin embargo en las zonas urbanas según Martínez & Niño (2013) gradualmente los sistemas de aguas residuales domésticas se han ido aplicando, los cuales han otorgado beneficios en el impacto ambiental como la disminución del recurso hídrico en ciudades y municipios colombianos, el ahorro sustancial del consumo en los hogares y la disminución de contaminantes en el medio

ambiente; ya que el agua tratada se dispone a riegos en parques, jardines, casas, automoviles y diferentes actividades en el hogar.

“En la actualidad Colombia cuenta con diversos edificios inteligentes y verdes que desarrollan tratamientos de agua residual domestica, generando grandes ahorros del recurso hídrico, como es el caso del edificio Bancolombia en Medellín, situacion similar sucede en el edificio del centro deportivo de la Universidad de los Andes de Bogotá, el Colegio Rochester de Bogotá y el Colegio Carrasquilla industrial de Quibdó” (Martinez & Niño, 2013, pág. 26).

Por otra parte son muchas las fuentes hídricas que se han visto afectadas por la contaminación ocasionada por el vertido directo de aguas residuales domésticas a cuencas, ríos y lagunas; las cuales generan condiciones anóxicas en ríos de Bogotá y los departamentos de Antioquia, Valle , Boyacá, Santander entre otros. Este hecho también incrementa la problemática de eutrofización o colmatación de cuerpos de agua, como sucede en las fuentes hídricas del territorio Colombiano (Ministerio de Ambiente, Vivienda, y Territorial, 2015).

“En consecuencia la oferta del recurso, ha disminuido considerablemente, en cuanto a la calidad; este se debe en gran parte a la presencia de sustancias perjudicales, que imposibilitan el reusó del agua en las diversas actividades a la que se puede destinar el recurso; esto provoca el vertido de elementos patógenos y tóxicos a las fuentes hídricas del país” (Ministerio de Ambiente, Vivienda, y Territorial, 2015, pág. 9).

Teniendo en cuenta lo anterior las fuentes hídricas presentan graves problemas ambientales en contaminación y deterioro de fauna a nivel nacional, generados por el vertimiento de aguas

residuales domésticas. A su vez gran parte de los suelos especialmente los de uso agrícola se han visto perjudicados debido al vertimiento de aguas residuales domésticas de zonas rurales y urbanas de todo el país (Silva & Torres, 2014).

En este contexto, Colombia es un país que fundamenta gran parte de su producción en el sector agrícola. “En ese sentido la demanda de agua para uso agrícola, aportado por el agua residual tratada doméstica correspondió al 54% en el año 2105” (Ministerio de Agricultura Y Desarrollo Rural, 2016). Este hecho representa un aporte de impacto ambiental de importancia, debido a que se logra preservar el recurso para uso humano y se destina el agua tratada doméstica para actividades agrícolas, así como en los ríos se deposita menos cantidad de materia orgánica, se preservan los espacios naturales y se mantiene la reproducción ecológica del sistema.

“En este proceso las actividades de origen agrícola demandan agua residual tratada, por necesitar un abastecimiento que ayude a la escasez del recurso, el uso de aguas residuales domésticas con correctos sistemas de tratamiento beneficia el mejoramiento de la fertilidad de suelos agrícolas por el aporte de materia orgánica, macronutrientes y oligoelementos , reduciendo y en casos eliminando el uso de fertilizantes químicos; brindando beneficios no solo ambientales sino económicos al sector” (Silva & Torres, 2014, pág. 8). De acuerdo a lo anterior el aprovechamiento del recurso empleado en el campo agrícola, establece beneficios ambientales que aportan al mejoramiento del campo y sus cultivos, estableciendo un correcto sistema de tratamiento del agua residual doméstica permite soluciones en el mediano y largo plazo, en procesos que demandarían altos costos para los cultivadores, pudiéndose beneficiar con el agua tratada.

Un importante aporte ambiental del tratamiento de aguas residuales domésticas en Colombia, especialmente en la Costa Caribe del país, es el que mediante los procesos de reactor anaerobio de manto de lodos y flujo ascendente (UASB) y lodos activados de aireación extendida reducen los efectos sanitarios y eutróficos de esta fuente de contaminación y los lodos obtenidos en el proceso pueden ser empleados en actividades de reforestación (Vásquez, 2013, pág. 34).

A su vez estos lodos ofrecen alternativas de beneficio en la recuperación de suelos, tratamiento con residuos orgánicos y cobertura final en rellenos sanitarios y escombreras. Dependiendo de las características físico-químicas y bacteriológicas del lodo, así como de las condiciones edafológicas de los suelos, el lodo se aplica en los siguientes tipos de suelo:

- Terrenos de uso agrícola
- Terrenos forestales
- Terrenos preparados exclusivamente para la disposición de lodos

“Un importante tratamiento de agua residual doméstica empleado en Colombia que aporta beneficios de orden ambiental es el que por medio de lagunas de estabilización, se produce la remoción de materia orgánica que ocasiona la contaminación en la fuente receptora y elimina los microorganismos potencialmente patógenos que representan un grave peligro para el medio ambiente” (Correa, 2012, pág. 32).

En ese proceso las bacterias y las algas los dos componentes biológicos principales de las lagunas de estabilización y su interacción, constituyen el efecto ecológico más determinante sobre

el proceso de autopurificación del agua. La aplicación de este método se realiza en departamentos como Antioquia, Santander, Valle del Cauca e Ibagué.

Teniendo en cuenta lo anterior en el contexto colombiano la aplicación de tratamiento de aguas residuales domesticas ha permitido obtener un impacto positivo en el medio ambiente, disminuyendo el consumo del recurso, mejoramiento del impacto ambiental sobre los recursos naturales, incremento en el rendimiento de la agricultura y beneficios en comunidades que presentan poco abastecimiento del recurso. Así como la disminución de la carga orgánica lanzada a los ríos y suelos, la generación de entornos ecológicos y el mantenimiento de la capacidad de reproducción del ecosistema.

Además de eliminar diversos contaminantes que en muchos casos ha favorecido conservar el ecosistema tales como:

- Recuperar zonas áridas que estén en peligro de desertificación, mediante riegos y fertilización.
- Evitando el agotamiento del oxígeno que produce la contaminación en el agua.
- En zonas áridas o semiáridas en las que el agua es escasa, puede reutilizarse de nuevo para uso agropecuario.

No obstante es importante señalar que las aguas residuales domesticas sin un correcto tratamiento pueden llegar a contaminar el agua subterránea mediante contaminantes que no se alcanzan a remover en el sistema de tratamiento empleado. A su vez si se permite descargar las

aguas residuales que no han pasado por un tratamiento previo, la acumulación de bacterias y microorganismos fitotóxicos pueden llegar provocar una acumulación de los mismos en cultivos, suelos y fuentes hídricas.

La tabla 5 establece a nivel general los efectos negativos ambientales producidos por los tratamientos de aguas residuales domesticas

Tabla 5. Efectos negativos ambientales producidos por los tratamientos de aguas residuales domesticas

Contaminación	Agua subterránea originada por elementos contaminantes no removidos por el sistema de tratamiento, en caso que el acuífero sea vulnerable y no exista una impermeabilización adecuada en el caso de lagunas de estabilización.
Presencia	Elementos potencialmente fitotóxicos que pueden acumularse en cultivos, suelos y fuentes hídricas, si se permite la descarga de efluentes sin un tratamiento correcto.
Generación	Malos olores por diseño, operación y mantenimiento inadecuados en los sistemas de tratamiento.
Presencia	Enfermedades y virus, si no existe el control adecuado.
Deterioro	Suelo por el aumento de la tasa de salinización y saturación del agua, si no se lleva a cabo la correspondiente atención a las necesidades en los sistemas de filtración y drenaje.

Fuente: Impacto ambiental de los proyectos de uso de aguas residuales domésticas. León (s.f)
<http://www.bvsde.paho.org/bvsair/e/repindex/rep84/vleh/fulltext/acrobat/leon5.pdf>.

7.2 Beneficios de la reutilización de aguas residuales domesticas tratadas en Colombia

En el presente apartado se establecen los beneficios de la reutilización de aguas residuales domesticas en Colombia. En ese sentido es importante señalar que en Colombia no existe una normatividad para el reúso de agua residual doméstica en espacios urbanos, sin embargo la resolución vigente adopta disposiciones para usos agrícolas e industriales. Según el Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible (2014) existe la Resolución 1207 del 2014, adoptada el 25 de julio de 2014 en la que se adoptan disposiciones en el reúso de agua residual tratada para uso industrial y agrícola.

En el contexto colombiano la reutilización de las aguas residuales domesticas se emplea principalmente en actividades de uso agrícola, pecuario, conservación de flora y en ciertas actividades urbanas como el riego de espacios, lavado de casas, edificios y parques. En consecuencia la figura 5 indica que Colombia dispone aproximadamente el 70% del agua residual tratada en actividades agrícolas, seguidas por las de uso doméstico con el 20% y finalmente el 10% para las actividades industriales (Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible, 2016)

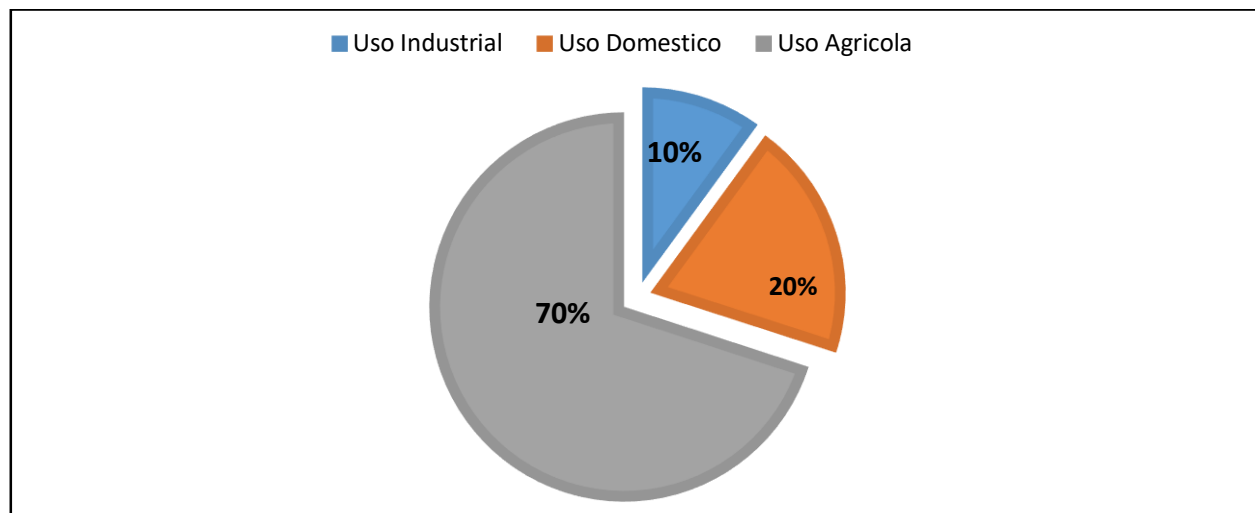


Figura 5. Porcentaje del uso del agua tratada en actividades de uso agrícola, doméstico e industrial. Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible. Dirección de Gestión integral del recurso hídrico (2016).

Es importante señalar que para el desarrollo del contexto del presente acápite se contó con el concepto del Ingeniero Sanitario-Ambiental Miguel Ángel Sánchez, de la Dirección Ambiental Regional Suroccidente Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca – CVC. En ese sentido es importante señalar que Colombia mayoritariamente se aplica sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas en actividades de uso agrícola. En el sector urbano los sistemas de tratamiento se ha ido adaptando poco a poco, pero no con la frecuencia que se quisiera, debido a que Colombia por medio de la resolución 1207 del 2014 no se han reglamentando la aplicación de las aguas residuales tratadas en actividades urbanas. Ya que la legislación ambiental es bastante exigente para el reúso y se deben contar con unos estándares mínimos. Sin embargo se han adoptado sistemas de tratamiento de aguas residuales en cascos semiurbanos, gracias a la intervención de las entidades autónomas departamentales tales como la CVC en Cali.

El ingeniero Sánchez señala que “La aplicación de tratamientos de aguas residuales domesticas en zonas rurales, benéfica a comunidades que destinan su reusó en actividades de riego y siembra. Así especialmente en centros poblados de cabeceras de corregimientos, se ha tenido un avance importante en cuanto la aplicación de sistemas de tratamiento. La mayoría de los sistemas se han construido con tratamiento secundario; en ese orden de ideas se ha tenido un avance importante, en cuanto la ampliación y grado de cobertura de sistemas de tratamiento, reconociendo por parte de la población la necesidad de adoptar tratamiento para el agua residual doméstica”.

“En el resto de zonas rurales, las aguas residuales se tratan de manera individual, es decir, que cada predio soluciona dentro de su misma propiedad y se disponen principalmente a través de pozos sépticos, humedales, zanjas y pozos de absorción”. En muchos casos, la forma tradicional es simplemente un pozo de absorción, es decir, que no se trata, solo se dispone.

Es importante señalar que mediante la aplicación de sistemas de tratamiento de aguas residuales domesticas se está reduciendo la carga contaminante que llega principalmente a fuentes hídricas afectando otros usos como los de abastecimiento y recreación. Así que es sumamente importante adecuar este tipo de tratamientos, puesto que en la medida que una fuente sea más contaminada, mayores son los costos de tratamiento para abastecimiento.

7.2.1 Beneficios de la reutilización de aguas residuales domesticas en Agricultura.

El reúso de agua en el sector agrícola ha sido ampliamente desarrollado de forma exitosa, apoyado por instituciones como la Organización Mundial de la Salud (OMS) y las Naciones Unidas. La agricultura representa aproximadamente el 50% del uso de agua en Colombia.

Teniendo en cuenta la resolución 1207 del 2014, se establecen las disposiciones en el reúso de agua residual tratada para riego agrícola en Colombia, específicamente las siguientes actividades (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014, pág. 4):

- Cultivos de pastos y forrajes para consumo animal.
- Cultivos no alimenticios para humanos o animales.
- Cultivos en fibras celulósicas y derivados.
- Cultivos para la obtención de biocombustibles (biodiesel y alcohol carburante) incluidos carburantes.
- Cultivos forestales de madera, fibras y otros no comestibles.
- Cultivos alimenticios que no son de consumo directo para humanos o animales y que han sido sometidos físicos o químicos.

En ese sentido las actividades en riego, cultivos y siembra de alimentos constituyen el uso del agua residual domestica tratada por medio de sistemas de tratamiento como lagunas de estabilización, sistemas de filtración y humedales. Estas aguas residuales tratadas de origen domestico provienen de fincas y casas ubicadas en zonas rurales en municipios. “Colombia tiene

una superficie irrigada con aguas residuales de 1.230.193 hectáreas; de las cuales solo el 27% de las hectáreas son tratadas y el 73% de las hectáreas no es tratado” (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2011, pág. 6).

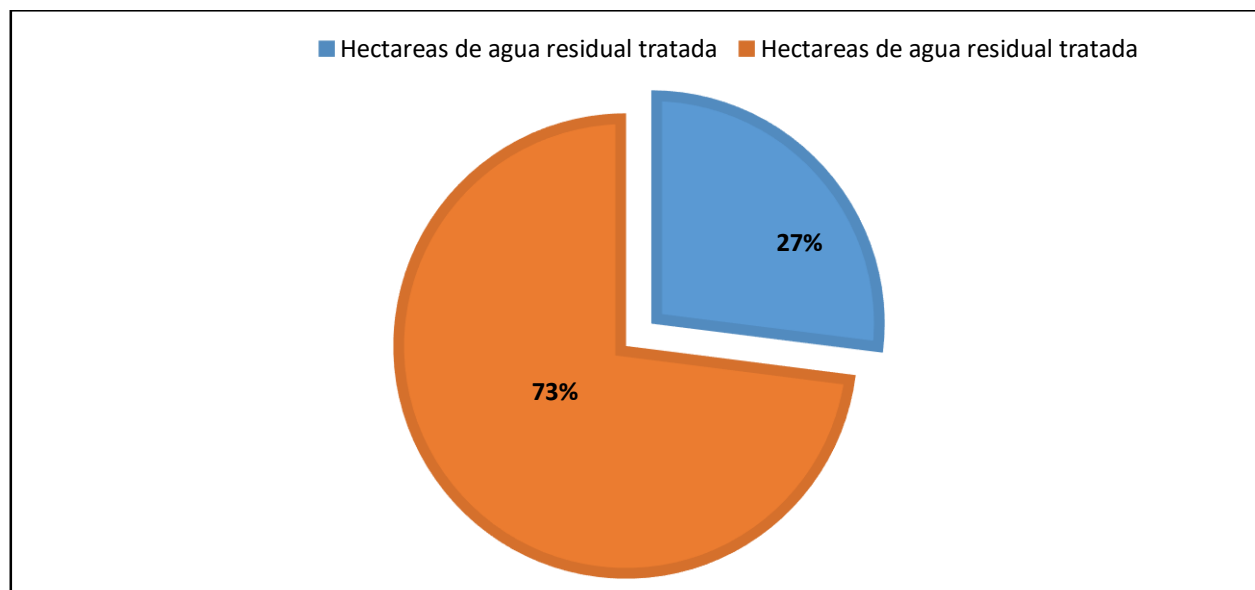


Figura 6. Hectáreas de Agua residual tratada en Colombia. Ministerio de Agricultura. Proyecto: Desarrollo de Capacidades en el Uso Seguro de Aguas Residuales para Agricultura. 2011.

Beneficios en Riego y siembra.

En Colombia se utilizan aguas residuales crudas o parcialmente tratadas de origen doméstico para el riego de cultivos. En Bogotá y en zonas del departamento de Cundinamarca desde los años 90 se ha iniciado el riego y drenaje de cultivos de hortalizas, flores y pastos con un caudal que pasa a través de humedales naturales como forma de tratamiento de aguas residuales domésticas.

Según Sandoval (2015)

La productividad de hortaliza es equiparable entre las aguas de pozo o proveniente de un tratamiento secundario con o sin desinfección. El agua residual domesticas tratada sustituye el agua de pozo; disminuyendo la demanda de agua sin afectar su productividad. Para el caso de la lechuga y la cebolla son seguros bacteriológicamente, ya que no existe presencia de E. coli, aun en cultivos regados con agua residual cruda o tratada sin desinfección (p.7).

En este campo se reconocen en el país actividades con riego de efluentes provenientes de lagunas facultativas en cultivos de zanahoria y lechuga. En el departamento del Tolima el uso productivo de aguas residuales de origen domestico se ha empleado en cultivos de arroz, sorgo, pastos, soya, y algodón dentro del plan agrícola de reusó. Los tratamientos empelados para dicha actividad fueron las lagunas facultativas con tratamiento preliminar y primario (Silva & Torres, 2014).

A su vez en el país los tratamientos de ARD en lagunas facultativas se emplean en cultivos de sorgo, maíz y girasol, aplicando riego por gravedad y por goteo. En este aspecto es importante señalar que el rendimiento de los cultivos regados con estos efluentes es muy similar a los obtenidos al regar sólo con agua potable y al utilizar fertilizantes comerciales.

Para el caso del Valle del Cauca es uno de los departamentos donde más se emplea el uso de agua residual domestica tratada. La aplicación de los tratamientos afirma la viabilidad del uso de las aguas residuales domésticas tratadas para riego en actividades agrícolas, en factores de disponibilidad y control de impacto por las actividades productivas. En ese sentido el principal

cultivo que se destina el riego de las ARD tratada es de la caña de azúcar siendo este uno de los principales productos del sector agropecuario en el departamento (Echeverry, 2011). La CVC indica que los sistemas de tratamiento más empleados para tal fin son el filtro anaerobio, los humedales, el pozo de absorción y el sistema de tanque séptico (Osorio M. , 2014).

“En ese sentido, la siembra del cultivo de caña de azúcar adopta tres formas de riego: agua residual tratada por TPA (Tratamiento primario), agua residual tratada por TPC (Tratamiento primario) y agua de pozo; los resultados en el riego no presentaron restricciones para la reutilización de acuerdo a los lineamientos de la EPA 2004.15” (Echeverry, 2011, pág. 5).

Los sistemas de tratamiento permiten que el recurso se emplee, según las normas de calidad de agua y el punto de vista de calidad agronómica, establecidos internacionalmente por la Organización de agricultura y alimentos (FAO) y el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), calificándose sin riesgo de salinidad y cierto riesgo de sodicidad de suelos. El método de riego utilizado para la aplicación de agua a los lotes de cultivo fue el riego por gravedad (surcos) y distribución en tubería de ventanas (PVC de baja densidad). El crecimiento y productividad del cultivo, las propiedades físicas del suelo y la conductividad eléctrica muestran efectividad para la reutilización del recurso.

“A su vez en el departamento del Valle del Cauca, especialmente en el Municipio de Ginebra se utilizan lagunas facultativas para el riego y siembre de cultivos de rábano. La calidad identificada después del tratamiento se considera similar a la del pozo de agua y significativamente inferior a la del Rio Cauca” (Valencia, 2012, pág. 2).

Otro producto asociado con el uso de las aguas residuales domesticas tratadas en el Valle del Cauca es de la palma de aceite. Mediante el riego en los cultivos se obtiene más productividad y se disminuye el consumo de fertilizantes químicos. De igual manera el sistema de riego empleado (aspersión) tolera una mayor cantidad de elementos presentes en un afluente en comparación con otros sistemas de riego, como el riego localizado, lo cual se torna de alta viabilidad para el reusó (Delgado & Roperó, 2013).

Dentro de las actividades de carácter agrícola realizadas con aguas residuales domesticas tratadas, merece una mención especial la realizada en el lavado de café, por medio de filtros anaeróbicos, empacados de anillos de bambú y reactor anaerobio de manto de lodos y flujo ascendente (UASB) en fincas y haciendas cafeteras de los Departamentos del Quindío, Risaralda, Antioquia y Valle del Cauca (Zambrano & Isaza, s.f). El acondicionamiento de estos tratamientos ha representado un importante aporte en disminución de costos y aprovechamiento del recurso hídrico y más si se tiene en cuenta que el Café es el principal producto del cerco agrícola a nivel nacional.

Beneficios del uso del lodo proveniente de los tratamientos de aguas residuales domesticas en el campo agrícola y urbano.

Los lodos provenientes de los diversos tratamientos de las aguas residuales domesticas especialmente de lagunas, zanjas de oxidación y de Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente con Manto de Lodos (UASB), presentan nutrientes que los hacen una excelente remedio del suelo. Por ende su uso como fertilizante en la agricultura colombiana ha sido ampliamente considerado. Estos lodos constituyen una fuente de materia orgánica alternativa a otros insumos orgánicos utilizados tradicionalmente como abonos en cultivos y rellenos sanitarios (Builes, 2010).

De igual manera el aprovechamiento de los lodos mejora las propiedades físicas y químicas del suelo agrícola, en cuanto que incrementa los niveles de materia orgánica, disminución de la densidad aparente, mayor formación y estabilidad de agregado. Aportando cantidades significativas de nitrógeno y fósforo que contribuyen a disminuir el consumo de fertilizantes químicos. A su vez en Colombia han sido utilizados en silvicultura para incrementar la productividad forestal, y estabilizar áreas deforestadas o perturbadas por la minería.

A nivel urbano en Colombia, Daguer (2013) indica que en ciudades como Medellín, Cali, Bogotá y Bucaramanga, se ha empleado el lodo proveniente del tratamiento de las aguas residuales domesticas en los siguientes campos:

Tabla 6. Aprovechamiento del lodo proveniente del tratamiento de las aguas residuales domesticas en ciudades colombianas

Ciudad	Uso
Bogotá	<ul style="list-style-type: none"> - Aprovechamiento como cobertura final en rellenos sanitarios - Compostaje de biosólidos - Biorremediación de suelos contaminados - Aprovechamiento forestal - Recuperación de suelos degradados - Indicadores de contaminación fecal de lodos y biosólidos - Aprovechamiento agrícola de biosólidos
Medellín	<ul style="list-style-type: none"> - Recuperación suelos degradados - Compostaje de biosólidos - Revegetación de taludes - Aprovechamiento agricultura

	<ul style="list-style-type: none"> - Biorremediación de suelos - Lombricultura de biosólidos
Cali	<ul style="list-style-type: none"> - Aprovechamiento como cobertura final de botaderos - Aprovechamiento agrícola - Compostaje de biosólidos - Lombricultura de biosólidos
Bucaramanga	<ul style="list-style-type: none"> - Compostaje de biosólidos - Aprovechamiento forestal en viveros de la Corporación de la Defensa de la Meseta de Bucaramanga

Fuente: (Daguer, 2013). *Gestión de biosólidos en Colombia.*

Beneficios en Piscicultura.

En este grupo se destacan los siguientes sistemas: Lagunas de estabilización (Anaerobia, Facultativa y Maduración) humedales y zanjas de oxidación; El uso de aguas residuales para la piscicultura es una actividad que se ha ido incrementando con el correr de los años, debido a su importancia en el ahorro del líquido y su adaptación a nuevos sistemas productivos de orden agrícola.

Según Madera (2013):

Desde aproximadamente 4 años la piscicultura en Colombia ha desarrollado operaciones de tratamiento de aguas residuales domesticas que intervienen en producción de tilapia en los departamentos de Huila, Tolima, Valle del Cauca, los Llanos orientales y la Costa Atlántica. Estas zonas representan el 90% de la producción de pescado de agua dulce, con

aproximadamente 28.265 toneladas métricas por año, de acuerdo a los datos recientes del INPA (Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura) (p.4).

“La tilapia roja cultivada en jaulas de lagunas facultativas en plantas experimentales de tratamiento de aguas residuales domésticas; produce efectos en la densidad de siembra (cantidad de peces en cada jaula de igual tamaño) y la inclusión de la biomasa de lenteja de agua (Lemna minor, planta flotante componente del tratamiento biológico del agua residual) en la dieta de los peces. En este tratamiento se emplearon jaulas construidas en bambú forradas con mallas plásticas de 1m3 con 1m2 de área superficial cada una, para hacer el cultivo de los peces” (Madera, 2013, pág. 7). Estos abastecimientos han dado como resultado muy buena calidad para el consumo y han tenido aceptación por parte del consumidor.

Las aguas residuales domésticas, más que un problema, genera múltiples oportunidades. Su composición permite generar valores agregados a través de su reusó. Tal como el que se emplea en Colombia por medio de cultivos de peces en lagos. La piscicultura alimentada por aguas residuales domésticas es un tratamiento considerado por las diferentes pesqueras, dado que se diferencia de los métodos convencionales de tratamiento biológicos, en que estos centran principalmente en procesos de degradación de materia orgánica, mientras que en los tratamientos de piscicultura el agua residual se reutiliza en lugar de ser desperdiciada.

7.2.2 Beneficios de la Reutilización de aguas residuales domesticas en actividades urbanas.

Como se mencionó anteriormente la Ley 1207 del 2014, no contempla una normatividad para el reúso de agua residual en espacios urbanos. Sin embargo indica usos aplicados a las actividades domésticas como:

- Descarga de aparatos sanitarios.
- Limpieza de calles.
- Riego de parques y avenidas.

En el sector urbano la utilización de aguas residuales domesticas para el reusó depende en gran medida del nivel socioeconómico, costumbres y clima de la región. Ya que son limitadas las actividades dentro del hogar a las que se puede disponer las aguas residuales domesticas tratadas; como son los riegos de jardines y parques en áreas públicas, lavado de vehículos, uso de sanitarios y lavado de pisos. En ese propósito se ha empleado sistemas de tratamiento como tanques sépticos, pozos de absorción, filtro anaerobio y y Sistemas de filtración (filtros de arena).

“A nivel nacional, las Corporaciones autónomas regionales de Antioquia y Valle del Cauca, han financiado la construcción de sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas. Para el caso de la CVC en el Valle del Cauca en las zonas urbanas se han construido más de 1200 sistemas unifamiliares conformados por trampa de grasas, tanque séptico y filtro anaerobio, también se ha trabajado en escuelas, veredas, corregimientos y cabeceras municipales” (Osorio M. , 2014, pág. 3).

También se han adecuado proyectos que incluyen tecnología en tratamientos de aguas residuales domésticas en urbanizaciones y hoteles. Sin embargo la mayoría de los municipios de Colombia carecen de infraestructuras idóneas para el tratamiento de las aguas residuales, debido, a la falta de conciencia ambiental de los habitantes y a los altos costos de operación y mantenimiento (Osorio, 2014).

En el escenario Colombiano, los diversos tratamientos empleados en las aguas residuales domésticas de carácter urbano se emplean en el aseo. De este uso se desprenden los usos asociados como el riego de jardines, lavado de pisos, descarga del sanitario, hasta el almacenamiento de estas para su posterior uso.

“En el país se han contemplado proyectos para el tratamiento y reutilización de aguas residuales domésticas en zonas de vivienda de interés social, por medio de humedales artificiales de flujo sub superficial para el tratamiento de las aguas grises producidas en unidades residenciales de 100 viviendas. El agua tratada se empleó en diversas actividades domésticas como lavado de baños y duchas” (Martínez & Niño, 2013, pág. 43).

A su vez en Universidades de la Capital colombiana como la Universidad de los Andes se ha adoptado tratamientos de aguas residuales domésticas que han permitido suplir en su totalidad el agua potable usada para riego (Martínez & Niño, 2013). En ciudades como Bogotá, Medellín y Cali se han adoptado sistemas de tratamientos de aguas residuales (pozos de absorción) en procesos más sistemáticos como el lavado de autos y usos en talleres automotrices, los cuales se adoptan

como alternativas de solución ante el mal gasto de agua y exceso innecesario de pago en el servicio de acueducto y alcantarillado.

7.2.3 Beneficios en el Sector recreativo.

Un sector a nivel nacional que se ha visto beneficiado, con el tratamiento de aguas residuales domesticas es el recreativo; debido al creciente auge de actividades de ecoturismo. En ese sentido se han adoptado sistemas de tratamiento (lagunas de estabilización) en campos de esparcimiento como lagos de pesca, lagos deportivos y parques. Teniendo en cuenta lo anterior existe una clasificación del agua residual según el contacto que tengan con la población y de esta clasificación depende el rigor del tratamiento que se efectuó; para ello se denominan los contactos primarios y secundarios (Delgado & Roperó, 2013).

El primario se establece como el contacto que tengan los seres humanos con el agua residual, como en el caso de los deportes acuáticos en el esquí, buceo o natación; donde el nivel de tratamiento que se le da a estas aguas depende de la utilización. En el caso de un contacto esporádico de las personas con el agua residual como en el caso de la navegación con remos, la pesca entre otro, se denomina como esporádico.

De esta manera la legislación nacional establece en el Decreto 1594 de 1984, el Artículo 42 y 43, los parámetros que debe tener el agua para el uso en el sector de la recreación.

Tabla 7. Parámetros del agua para la destinación del recurso en la recreación mediante contacto primario y secundario

Parámetro	Unidades	Valor límite contacto primario	Valor límite contacto secundario
Coliformes totales	NMP/100 ml	1000	5000
Coliformes totales	NMP/100 ml	200	-----
Oxígeno disuelto	mg/l	70% OD saturación	70% OD saturación
Tensoactivos	mg/l	0.5	0.5
Ph	Unidades	5.0-9.0	5.0-9.0

Fuente: (Delgado & Roper, 2013). Reusó de aguas residuales.

7.3 Sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas utilizados a nivel nacional

A continuación se establecen sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas empleados a nivel nacional de acuerdo a lo planteado por el Plan nacional de manejo de aguas residuales municipales en Colombia por el Ministerio de Ambiente, Vivienda, y Territorial, los estudios de la CVC en cuanto sistemas de tratamientos de aguas residuales domésticas y el estudio de Briceño & Torres (2016) Tratamientos de aguas residuales de tipo domestico a partir de coleopteros scarabeaide. Estos informes reconocen los siguientes métodos aplicados en Colombia:

- Sistemas de tanques sépticos
- Sistemas de filtración (filtros de arena)
- Pozo de absorción
- Filtro anaerobio
- Zanjas de oxidación,
- Lagunas de estabilización

- Humedales
- Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente con Manto de Lodos (UASB)
- Lodos activados
- Tratamiento con escarabajos

7.3.1 Sistemas de tanques sépticos.

“Es un sistema individual para el tratamiento de aguas residuales domesticas utilizado en zonas poco pobladas. Normalmente este tanque es construido con material plástico y generalmente es rectangular” (Escalante, 2009, pág. 5).

El tanque séptico tiene una cámara rectangular con separaciones o no; éstas se ubican por debajo de la superficie del suelo buscando que las aguas residuales fluyan por gravedad. “El período de retención lo comprenden entre uno y tres días; en este lapso de tiempo, los sólidos se sedimentan en el fondo del tanque. Este proceso da lugar a una digestión anaerobia, la cual se beneficia por una gruesa capa de espuma que se forma en la superficie del agua” (Suarez, 2011, pág. 23).

Este sistema utiliza la capacidad que tiene el suelo para absorber. Por ende, su buen funcionamiento está determinado por la calidad del tanque sedimentador y de que este cumpla adecuadamente la retención de los sólidos más pesados y de las grasas; otro aspecto fundamental es que el terreno donde se instalara este tratamiento tenga la capacidad de permitir que se infiltre el agua.



Figura 7. Sistema de tanque séptico. Tomado de Tanque séptico: tipos, sistemas, ventajas y desventajas<https://www.lasthomedecor.com/tanque-septico-tipos-sistemas-ventajas-y-desventajas>.

7.3.2 Sistemas de filtración (filtros de arena).

El sistema de filtración de aguas residuales domésticas a través de arena, comprende la formación de una capa biológica, desarrollándose un proceso de degradación química y biológica que reducen la materia retenida a una forma más simple. Este tratamiento presenta facultades que benefician la calidad física, química y bacteriológica del recurso sin la necesidad de utilizar químicos; mediante un tratamiento sencillo y productivo.

Este proceso de filtración biológica se consigue al hacer circular el agua cruda a través de un manto poroso de arena. Durante esta actividad los elementos contaminantes entran en contacto con la superficie de las partículas del medio filtrante y son retenidas.

“La remoción por medio de los filtros de arena permite la formación superficial de una capa biológica en donde habitan bacterias, algas y nemátodos; que generan una relación de simbiosis, en este proceso las algas suministran el oxígeno para la supervivencia de los demás microorganismos, mientras que estos aportan el bióxido de carbono que las algas consumen” (Blacio & Palacios, 2011, pág. 16). En este tratamiento es importante señalar que la radiación solar es primordial en el crecimiento microbiano, en especial para el crecimiento de las algas.

El tratamiento por filtro de arena lo comprende una estructura que tiene los siguientes aspectos:

- Capa sobrenadante de agua cruda
- Lecho de arena filtrante
- Sistema de drenaje.
- Estructura de entrada y salida
- Dispositivos reguladores y de control

7.3.3 Pozo de absorción.

El pozo de absorción es utilizado para la evacuación de las aguas residuales provenientes de actividades domésticas como lavaderos, duchas y cocina. Es importante señalar que este sistema no permite utilizarse en aguas residuales provenientes de inodoros o letrinas; puesto que se contaminarían con la capa freática (acumulación de agua subterránea). Este sistema se considera de fácil elaboración y considerablemente económico.

Este sistema de tratamiento se ejecuta por medio de la construcción de un hoyo que conduce el agua hasta una capa del suelo donde puede infiltrarse más fácilmente que en la superficie. “Esta excavación de revestimiento de juntas abiertas, presenta una profundidad que generalmente varía de 4 a 10 metros, a través del cual se infiltra el agua del pozo en el suelo poroso que lo rodea” (Hidalgo & Mejia, 2012, pág. 32). El pozo debe tener una estructura cilíndrica fabricada con ladrillos y grava entre las paredes del hoyo, la cual constituye el soporte y sirve para una mejor distribución del recurso en la tierra.

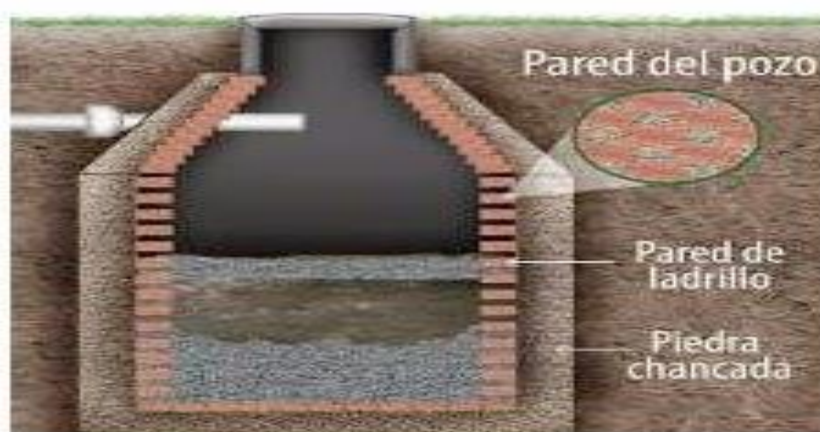


Figura 8. Pozo de absorción Tomado de Tratamiento de aguas residuales <https://civilgeeks.com/2018/06/21/pozo-de-adsorcion-o-zanja-de-infiltracion-para-biodigestor-%F0%9F%A4%94/>.

7.3.4 Filtro anaerobio.

Osorio (2014) “indica que el filtro anaerobio es un tanque de concreto, ladrillo o material plástico compuesto por piedras u otro material inerte como el polipropileno, el cual sirve de soporte

a los microorganismos; constituyendo un lecho con elevado grado de vacíos” (p.164). En este tratamiento el agua contaminada es alimentada al filtro construido, de forma que permita distribuir el flujo en forma uniforme en toda la sección.

A raíz que el flujo del agua es ascendente, el líquido proveniente del tanque entra por el fondo a través de un fondo perforado, fluyendo a través del material de soporte, donde crece una capa biológica que degrada de forma anaerobia la materia orgánica; la cual es recogida en la parte superior mediante una tubería perforada en una canaleta. La profundidad del lecho debe estar entre 0.8 y 1.5m de profundidad y del falso fondo no debe ser inferior a 0.3m de altura. (Osorio M. , 2014).

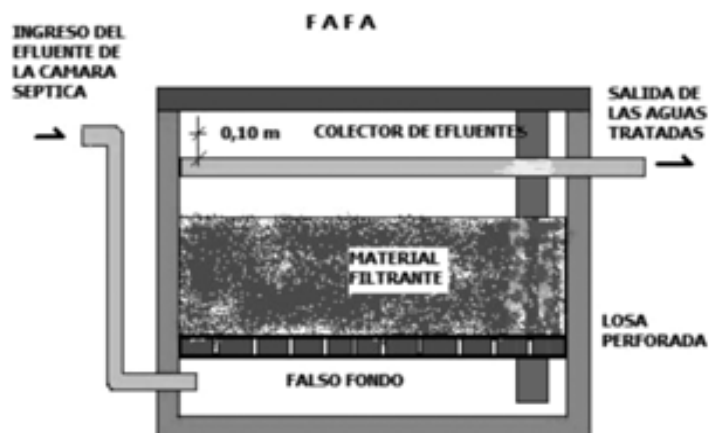


Figura 9. Filtro anaerobio .Tomado de Ríos (2009). Disminución de la carga contaminante orgánica del efluente de las cámaras sépticas utilizadas en el tratamiento de aguas residuales domésticas.

7.3.5 Zanjas de oxidación.

La consecución de este tratamiento consistía en proporcionar un sistema de fácil operación y rentable en términos de costos, el cual se pudiera desempeñar con los estándares requeridos para el manejo de vertidos. “En ese sentido las zanjas de oxidación son una aplicación de la variante de aireación extendida de un sistema de lodos activados con mezcla completa, el cual utiliza un tanque de aireación con una configuración oval de circulación continua” (Rojas, 2012, pág. 18).

Este sistema comprende la instalación de rotores o cepillos que proporcionan aireación y recirculación. El agua residual se comunica a través del canal a una velocidad de 0.3 a 0.6 m/s; las zanjas pueden ser diseñadas para operación intermitente o continua. Esta característica convierte a las zanjas de oxidación en un sistema de fácil adecuación a las fluctuaciones de carga orgánica y de flujo, debido a las variaciones temporales de las descargas.

En la actualidad se han desarrollado cambios en la estructura del sistema para lograr una completa remoción de nutrientes entre las zonas anóxica y anaerobia. Esto permite que en una sola zanja de oxidación se ejecuten ambos procesos, logrando la remoción de demanda Biológica de oxígeno, nitrificación y desnitrificación en un solo sistema (Rojas, 2012). El tratamiento por medio de zanjas de oxidación es una tecnología de eficiencia demostrada para el tratamiento de aguas residuales domésticas, adaptable a cualquier contexto en donde se requiera el sistema de lodos activados.

7.3.6 Lagunas de estabilización.

Uno de los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas más empleados a nivel rural lo constituye las lagunas de estabilización. Especialmente en países con vía de desarrollado ubicados en zonas tropicales. Este sistema se realiza mediante excavaciones poco profundas cercadas por taludes de tierra. Generalmente con forma rectangular o cuadrada (Rolim, 2000).

Estos estanques se conforman perimetralmente por diques de tierra, con profundidades menores a 5 metros y con períodos de permanencia hidráulica de 1 a 30 días aproximadamente, divididos en compartimientos que tienen distintos fines. Dentro de las principales funciones de las lagunas de estabilización están la de reducir e inactivar organismos patógenos presentes en líquidos residuales, la disminución la DBO o DQO del agua y permitir el reusó del agua en actividades agrícolas principalmente.

En ese sentido las lagunas de estabilización llegan reducir los agentes contaminantes de líquido considerablemente. En lagunas con grandes períodos de retención hidráulicos, generalmente se eliminan huevos y quistes de parásitos intestinales, lo que no ocurre con tratamientos convencionales, aún con desinfección.

La clasificación de las lagunas de estabilización se realiza según Briceño (2009) de la siguiente manera:

- **Aeróbicas:** Soportan cargas orgánicas bajas y presentan oxígeno disuelto en todo instante y en todo volumen del líquido.

- Anaeróbicas: Se proyectan para altas cargas orgánicas y no contienen oxígeno disuelto. El proceso es semejante al de un digestor anaeróbico sin mezcla.
- Facultativas: Operan con una carga orgánica media. En las capas superiores hay un proceso aeróbico. En las capas inferiores se tiene un proceso anaeróbico, donde se produce simultáneamente fermentación ácida y metánica.



Figura 10. Lagunas de estabilización. Tomado de Ortiz (2014). Fundamento de tratamiento por lagunas.

7.3.7 Humedales.

Según Díaz & Alvarado (2012) “el humedal artificial es un sistema de tratamiento de agua residual que presentan un fondo o base impermeable en la que se adhiere un fondo de grava o suelo para el desarrollo de las plantas, que constituyen el principal agente depurador del humedal” (p.11). En este sistema se trata el agua residual doméstica, por medio de la sedimentación, absorción y metabolismo bacterial. Aportando una interacción con la atmósfera.

Constituye uno de los tratamientos naturales y ecológicos que aportan más al medio ambiente, ya que su desarrollo presenta similitudes con los procesos biológicos que se dan en la naturaleza y en los filtros por goteo utilizados en las plantas de tratamiento convencionales. Así en los humedales los procesos de depuración del agua se llevan a cabo por medio de vegetales y microorganismos; quienes purifican el recurso, eliminando grandes cantidades de materia orgánica y demás elementos contaminantes.

Los sistemas de tratamiento del agua residual por medio de humedales presentan dos tipos de construcción, dependiendo de la situación del nivel de agua (Díaz & Alvarado, 2012):

- De flujo superficial: el agua está en contacto con la atmósfera y constituye la fuente de oxígeno para aireación.
- De flujo subsuperficial: la superficie del agua está al nivel de la superficie del lecho permeable o por debajo de la misma.

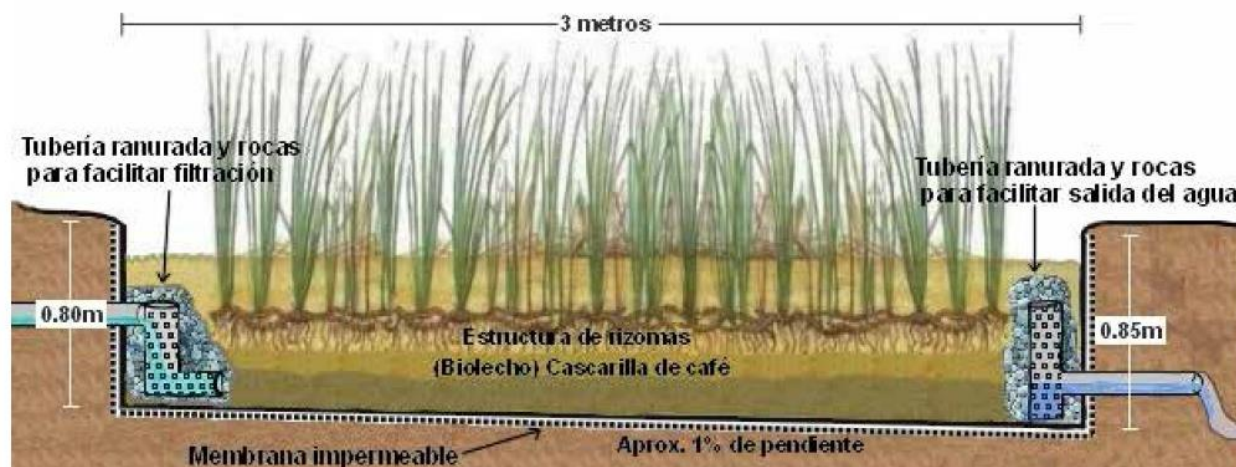


Figura 11. Humedales. Tomado de Palta y Morales (2014). Fitodepuración de aguas residuales domésticas con poaceas en el municipio de Popayán, Cauca.

7.3.8 Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente con Manto de Lodos (UASB).

“El reactor UASB es considerado el sistema más usado de tratamiento de aguas residuales municipales y domésticas, especialmente en regiones tropicales y subtropicales. Su tratamiento comprende el ingreso del agua residual por el fondo del reactor, siguiendo por una trayectoria ascendente en la zona de digestión y atravesando una abertura existente en el separador GSL; para posteriormente entrar a la zona de sedimentación” (Quintero, 2007, pág. 28).

La Materia Orgánica se mezcla con el lodo anaerobio presente en la zona de digestión, produciendo la digestión anaerobia, que resulta en la producción de gas y el crecimiento de lodo. Esta capa de lodo suspendida filtra las aguas residuales, tratándolas al ir atravesándolas.

Si bien el reactor UASB no es empleado comúnmente, en comunidades pertenecientes a zonas rurales sin fuentes constantes de agua o electricidad. En la actualidad la tecnología de diseño y su fácil construcción, es ampliamente considerada en actividades de tratamiento de aguas residuales domésticas a nivel mundial.

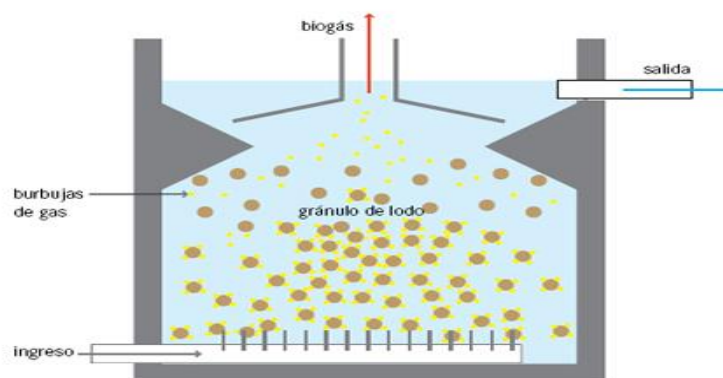


Figura 12. Proceso del Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente con Manto de Lodos (UASB). Tomado de Compendio de Sistemas y Tecnologías de Saneamiento. <http://alianzaporelagua.org/Compendio/tecnologias/t/t9.html>.

7.3.9 Lodos activados.

“El tratamiento biológico de aguas residuales por lodos activados es un sistema eficaz en la depuración del agua, especialmente por la eliminación de las contaminaciones del nitrógeno y del fósforo. Muy utilizado para el tratamiento de las aguas residuales domésticas” (Charpentier, 2014, pág. 3). Este método de tratamiento se categoriza como biológico aerobio en suspensión, su nombre proviene de la producción de una masa activada de microorganismos contenidos en un reactor capaces de metabolizar y consumir la materia orgánica presente en el agua residual en un medio aerobio.

Este tratamiento radica en la producción de un cultivo bacteriano esparcido en forma de floculo en un depósito agitado, aireado y alimentado con el agua residual, que es capaz de metabolizar como nutrientes los contaminantes biológicos presentes en el líquido contaminado.

Este proceso se considera de autodepuración acelerado, reforzado y controlado artificialmente. Los procesos que se presentan son similares a los presentados en ríos y lagos, pero en las balsas de aireación los organismos se agrupan en un espacio reducido y en gran número.

Así el tratamiento por lodos activados es un sistema de mezcla completa; aeróbicamente se establece mediante el uso de aireadores mecánicos que pueden estar ubicados en el lecho ó superficie del mismo. “Después de unas horas, la mezcla de las nuevas células con las antiguas es conducida hasta un tanque de sedimentación, para ser separados por decantación del agua residual tratada. Una parte de las células sedimentadas se recirculan para mantener en el reactor la concentración de células, mientras que la otra parte se purga del sistema” (Varila & Díaz, 2008, pág. 6).

7.3.10 Tratamiento con escarabajos.

Uno de los métodos novedosos como tratamiento de aguas residuales es el empleo de escarabajos estercoleros de la familia “Coleóptera Scarabaeidae”, los cuales durante el tratamiento descomponen y asimilan la materia orgánica presente en el agua residual domestica; contribuyendo al proceso de tratamiento al consumir los elementos contaminantes del recurso. “Este método permite depurar las aguas residuales domesticas mediante un sistema económico, pero no menos

eficaz que los sistemas tradicionales. A su vez consume menos cantidades de energía en relación a sistemas modernos” (Briceño & Torres, 2016, pág. 17).

Los Escarabajos son una alternativa de tratamiento eficaz en la remoción de sólidos suspendidos de las aguas residuales domésticas. Removiendo alrededor del 72,15 % la carga contaminante presente en el agua residual, demostrando una posibilidad eficiente a la aplicación de este sistema, especialmente en zonas rurales.

8. Conclusiones

En Colombia la implementación de sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas, ha permitido beneficios en la reutilización y aprovechamiento del recurso. Este hecho genera impactos medio ambientales fundamentales que favorecen la descontaminación en las fuentes hídricas de todo el país, la disminución de la carga orgánica lanzada a los ríos y suelos, conservando la calidad del agua y la recarga de los acuíferos de aguas subterráneas.

A su vez este proceso ha permitido la generación de entornos ecológicos y el mantenimiento de la capacidad de reproducción del ecosistema. Así como la disminución del consumo del agua, el incremento en el rendimiento de la agricultura en zonas rurales y beneficios en comunidades que presentan poco abastecimiento del recurso.

En Colombia no existe una normatividad para el reúso de agua residual doméstica en espacios urbanos, sin embargo la resolución vigente adopta disposiciones para usos agrícolas e industriales. Los beneficios de la reutilización de las aguas residuales domésticas tratadas han consistido principalmente en el empleo del recurso en actividades de uso agrícola; el riego de cultivos de sorgo, maíz, café, girasol y siembra de la caña de azúcar y hortalizas alrededor del país, constituyen el principal uso del recurso doméstico tratado. A su vez se han reconocido beneficios en actividades como la piscicultura, silvicultura, estabilizar áreas deforestadas o perturbadas por la minería.

En actividades urbanas los beneficios encontrados contemplan el riego de espacios, lavado de casas, edificios, parques y automotores. Así como el sector recreativo se ha visto beneficiado debido al creciente auge de actividades de ecoturismo. Por ende se han adoptado sistemas de tratamientos en campos de esparcimiento como lagos de pesca, lagos deportivos y parques.

La reutilización del agua residual domestica por medio de los sistemas de tratamiento empleados en Colombia, ha permitido el uso del recurso en diferentes actividades productivas, que han contribuido al desarrollo sostenible del país en materia ambiental y económica. Los sistemas de tratamientos de aguas residuales domesticas más empleados en Colombia, para tales fines lo constituyen los humedales, tanques sépticos, filtro anaerobio, pozos de absorción, las lagunas de estabilización, zanjas de oxidación, Tratamiento con escarabajos, Lodos activados y Sistemas de filtración (filtros de arena) y Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente con Manto de Lodos (UASB).

9. Recomendaciones

Por parte del Ministerio del Medio Ambiente considerar una normatividad para el reúso de agua residuales domesticas en espacios urbanos. Puesto que actualmente la Ley1207 del 2014 no permite el uso de aguas residuales en esos espacios, solo contempla una reglamentación para el uso del recurso tratado en actividades agrícolas. Este hecho incrementara los sistemas de tratamiento en urbano, puesto que las actividades de reusó en las ciudades contaran con una reglamentación que las ampara.

Se sugiere a nivel departamental e institucional establecer políticas y planes que permitan dinamizar e incentivar a la población a la creación de nuevos sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas, teniendo en cuenta todos los beneficios de orden ambiental y económico que aporta esta práctica. A su vez se recomienda mantener un seguimiento a los sistemas de tratamiento ya establecidos en Colombia, los cuales permitan optimizar los resultados especialmente en las diversas actividades del sector agrícola

Es perentorio continuar a nivel académico con procesos de investigación que permitan diagnosticar y evaluar los diferentes sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas a nivel nacional; es necesario ampliar el conocimiento acerca de todas las facultades que entrega el adoptar método de reusó tanto a nivel urbano como rural.

10. Referencias bibliográficas

- Almudena, R. (2014). El tratamiento de las aguas residuales en Colombia. Una iniciativa de Endesa por la eficiencia y la sostenibilidad, 3, 5-6.
- Arango, O., & Sanchez, L. (12 de Mayo de 2015). Tratamiento de las aguas residuales en la industria lactea. Revista de ciencias agropecuarias, 1, 11-12.
- Asano, T. (1996). La recuperación de las aguas residuales municipales como nuevo recurso hídrico. Murcia: Actas Jornadas Internas.
- Barrera, M. (4 de Noviembre de 2014). Aprovechamiento de aguas residuales domesticas. Universidad Autonoma de Mexico, Mexico.
- Blacio, D., & Palacios, J. (2011). Filtros biológicos para la potabilizacion del agua, posibilidades de uso de fla (filtros lentos de arena) con agua superficial de nuestra región.
- Briceño, J. (2009). Las Lagunas de Estabilizacion, clasificacion, características, ventajas y desventajas. Revista digital lagunas de estabilizacion, 2. Obtenido de https://issuu.com/joseluisbriceno6/docs/revista_digital_lagunas_de_estabili_cf213482111d3a
- Briceño, Y., & Torres, J. (2016). Tratamientos de aguas residuales de tipo domestico a partir de coleopteros scarabeaide. Unad, Programa de ingenieria ambiental, Caragoa.
- Builes, S. (2010). Tratamiento y adecuada disposicion de lodos domesticos e industriales. Recuperado el 2018, de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/1835/62839B932.pdf;sequence=1>

Castillo, C. (2015). Tratamiento de agua para abastecimiento. Universidad de Manizales, Bogota.

Charpentier, J. (2014). Tratamiento de aguas residuales con lodos. Buenos Aires.

Contreras, C. (2002). Tipos de aguas residuales. Ciudad de Mexico: Estudios ecologicos.

Correa, G. (2012). Evaluacion y monitoreo del sistema de lagunas de estabilizacion del municipio de Santafe de Antioquia, Colombia. Universidad de Antioquia, Medellin.

Daguer, G. (2013). Gestion biosolidos. Universidad Santo Tomás, Bogota.

Delgadillo, M., & Condori, L. (2009). Planta de tratamiento para aguas residuales con macrofitas para comunidades cercanas al lago titicaca. Revista sudamericana para el medio ambiente, 5, 5-6.

Delgado, E., & Roperó, R. (2013). Reusó de aguas residuales. Universidad de Manizales, Manizales.

Díaz , E., & Alavarado, A. (2012). El tratamiento de agua residual doméstica para el desarrollo local sostenible: el caso de la técnica del sistema unitario de tratamiento de aguas, nutrientes y energía (SUTRANE) en San Miguel Almaya. Quivera, 5-6. Obtenido de <http://www.redalyc.org/pdf/401/40123894005.pdf>

Duttle, M. (2002). El uso seguro de las aguas grises. Agricultural Mechanics and Engineering Publications, 12.

Echeverry, A. (2011). Reuso para riego del efluente de la PTAR-C: Evaluacion del potencial impacto en las propiedades fisicas del suelo y la productividad de la caña de azucar. Universidad de Valle, Santiago de Cali.

EPA. (2012). Guidelines for Water Reuse. Office of Wastewater Management ed. Washington, D.C.

Escalante, E. (2009). Tanques sépticos. Conceptos teóricos. Tecnología en Marcha., 18, 3-4.

Espigares, M. (2014). Las aguas residuales y su composición. Revista ambiental y desarrollo, 2, 22-23.

Fondo la educación ambiental. (2013). ¿ Que es el Agua? Mexico.

García, J. (10 de Junio de 2010). El agua: propiedades químicas. Recuperado el 2018, de <https://biologia.laguia2000.com/bioquimica/el-agua-propiedades-quimicas>

Hernández, A. (1989). Una aportación a la depuración de las aguas residuales y su posibilidad de reutilización. Escuela Técnica Superior de Madrid, Madrid.

Hidalgo, M., & Mejía, E. (2012). Diagnóstico de la contaminación por aguas residuales domésticas, cuenca baja de la quebrada la Macana. Universidad de Antioquia, Medellín.

Klester, P. (2004). Uso, rehuso y reciclaje del agua residual en una vivienda. Universidad Rafael Landívar, Guatemala.

Lizarazo, J., & Orejuela, M. (2013). Sistemas de planta de tratamiento de aguas residuales en Colombia. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. Obtenido de <http://www.bdigital.unal.edu.co/11112/1/marthaisabelorjuela2013.pdf>

Madera, C. (2013). Las aguas residuales y su uso en la piscicultura: normas de Calidad y tecnologías de tratamiento. Santiago de Cali.

Martínez, N., & Niño, E. (2013). Estudio de las aguas grises domésticas en tres niveles socioeconómicos. Universidad Javeriana, Bogotá.

- Marín, A. (11 de Mayo de 2008). Metodología de la investigación. Revista EAN, 4, 5-8.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2011). Recuperado el 12 de Agosto de 2018, de http://www.ais.unwater.org/ais/pluginfile.php/356/mod_page/content/128/Colombia_Informe%20Nacional.pdf
- Ministerio de Agricultura Y Desarrollo Rural. (2016). Desarrollo de capacidades en el uso seguro de aguas residuales para agricultura. Gobierno Nacional, Bogota.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (13 de Agosto de 2014). RESOLUCIÓN NÚMERO 1207 DE 2014. Recuperado el 3 de Septiembre de 2018, de http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/normativa/Res_1207_2014.pdf
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible. (2016). Dirección de Gestión integral del recurso hídrico: Resolución 1207 de 2014. Bogota.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda, y Territorial. (2015). Plan nacional de manejo de aguas residuales municipales en Colombia. Bogota.
- Osorio, M. (2014). Sistemas de tratamiento de aguas residuales domesticas empleados por la CVC en el sector rural del Departamento del Valle del Cauca. Corporacion Autonoma del Valle del Cauca, Santiago de Cali.
- Ospina, G. (14 de Mayo de 2018). Agua potable crece a nivel urbano, pero existe déficit rural. Recuperado el 22 de Julio de 2018, de <http://www.elcolombiano.com/antioquia/agua-potable-crece-a-nivel-urbano-pero-existe-deficit-rural-HI8695889>
- Palencia, M. (21 de Enero de 2011). Metodologia de la investigacion. Universidad Nacional y Abierta y a Distancia, Bogota.

- Perez-Parra, J. (22 de Mayo de 2000). Depuración y utilización de aguas residuales para riego. *Revista institucional del medio ambiente*, 34-37.
- Quintero, A. (2007). Evaluación preliminar de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de la Tebaida (Quindío). Universidad Nacional de Colombia, Tebaida.
- Rojas, H. (2012). El Sistema de Zanjas de Oxidación como una Alternativa de Tratamiento Biológico en México. Mexico.
- Rolim, S. (2000). Sistemas de lagunas de estabilización. Colombia: Mc Graw Hill.
- Romero, J. (2010). Tratamiento de aguas residuales; teoría y principios de diseño. Bogotá, Colombia: Escuela colombiana de ingeniería.
- Sandoval, L. (2015). Cultivo de hortalizas con aguas residuales tratadas
- Silva, J., & Torres, P. (2014). Reuso de aguas residuales domésticas en agricultura. Una revisión. *Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal*, 5, 3-12.
- Suarez, C. (2011). Tratamiento de aguas residuales municipales en el valle del Cauca. Universidad del Valle, Santiago de Cali.
- Trejos, R. (2007). Aproximación a la problemática del manejo y tratamiento de las aguas residuales del corregimiento de Arauca. Universidad Nacional de Colombia, Arauca.
- U.S. Geological Survey (USGS). (2013). El ciclo del agua. Recuperado el 11 de Junio de 2018, de <https://water.usgs.gov/edu/watercyclespanish.html>
- Ulloa, J. (1991). El agua residual. Parámetros caracterizadores. . Madrid: Curso sobre tratamiento de aguas residuales, basura y escombros en el ámbito rural.

Valencia, E. (2012). Uso de riego de aguas residuales domesticas tratadas en lagunas de estabilizacion. Revista de ingenieria agricola, 5. Obtenido de <https://www.journalusco.edu.co/index.php/iregion/article/view/869/1675>

Vásquez, G. (2013). Panorama del tratamiento de aguas residuales con tecnología anaerobia en la Costa Atlántica Colombiana. Universidad Nacional de Colombia, Bogota.

Zambrano, D., & Isaza, J. (s.f). Tratamiento de aguas residuales en el lavado de cafe. Revista Federacion Nacional de Cafeteros, 5.

Anexos

Encuesta

A) ¿Cuáles son los principales beneficios aportados por los tratamientos de aguas residuales domesticas en el contexto Colombiano (social, económico, ambiental)?

B) ¿Cómo ha evolucionado la aplicación de estos tratamientos en zonas urbanas y rurales, o si por el contrario todavía se siguen aplicando los sistemas tradicionales de reusó?

C) ¿En qué actividades económicas y medioambientales se utiliza el agua residual domestica tratada?

D) ¿Cuál es la situación actual de la aplicación tratamientos de aguas residuales domesticas en Colombia?

E) ¿Cuáles son las regiones del país que más emplean los tratamientos de aguas residuales domesticas? ¿Por qué?

F) ¿Por qué es conveniente la adaptación de los tratamientos de aguas residuales domesticas en Colombia?

