



SISTEMAS DE DRENAJE URBANOS SOSTENIBLES (SUDS) MÁS EFICIENTE EN LA REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA, NUTRIENTES Y COLIFORMES TOTALES, OPERADOS A ESCALA DE LABORATORIO CON AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA.

DRAINAGE SYSTEMS URBANOS SOSTENIBLES (SUDS) MOST EFFICIENT IN REMOVING ORGANIC MATTER, NUTRIENTS AND TOTAL COLIFORMS, OPERATED AT LABORATORY SCALE WITH DOMESTIC WASTE WATER.

Director: Diego Paredes Cuervo. Autor 1: Paula Andrea González Autor 2: Mary Luz Marín
Facultad de Tecnologías, Escuela de Química, Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia
Correo-e: paola.andrea@utp.edu.co; malumarin@utp.edu.co

Resumen— En esta investigación se evaluó la influencia que se tenía en los tres sistemas de drenaje sostenible (SUDs), presentados como Sistema de Jardín de Lluvia, Pavimento Poroso y Trincheras de Infiltración los cuales son empleados para la remoción de contaminantes presentes en el agua residual doméstica, basando su estructura y componentes las heliconias platanillo, arena, abono, pavimento y gravilla como medios filtrantes para el tratamiento de aguas residuales domésticas. Los resultados muestran que el principal sistema de remoción de Nitrógeno fue Jardín de Lluvia con un porcentaje 60%, por medio del análisis efectuado con el kit HASCH, en cuanto a la supresión de Fósforo se denota que el Sistema de Jardín de Lluvia y Pavimento Poroso tienen un nivel del 91% - 92%.

Ahora bien, en la remoción de coliformes totales ninguno de los tres sistemas presentaron un cambio significativo, por su parte se evidencia una reducción de carga hasta del 58% en DQO en los Sistemas de Jardín de Lluvia y Pavimento Poroso; en los análisis de Sólidos Suspendidos Totales es posible determinar que los sistemas de pavimento poroso fueron los que más removieron dando a conocer un rango entre 64% - 69%. En cuanto a los análisis de conductividad y p H los sistemas de trinchera de infiltración siempre manifiestan datos ineficientes en cuanto a la supresión debido a las características en sus componentes de arena y gravilla como medio filtrante.

Palabras clave— *Sistemas de drenaje sostenible, agua residual doméstica, heliconia, contaminantes*

Abstract— In this research, the influence of the three systems of sustainable drainage (SUDs), presented as Rain Garden System, Porous Pavement and Infiltration

Trenches which are used for the removal of contaminants present in domestic wastewater, was evaluated. , basing its structure and components of heliconias, sand, fertilizer, pavement and gravel as filter media for the treatment of domestic wastewater. The results show that the main nitrogen removal system was Rain Garden with a 60% percentage, by means of the analysis carried out with the HASCH kit, in terms of the suppression of phosphorus it is denoted that the Porous Rain and Pavement Garden System they have a level of 91% - 92%.

However, in the removal of total coliforms none of the three systems presented a significant change, meanwhile there is evidence of a load reduction of up to 58% in DQO in the Rain Garden and Porous Flooring Systems; in the analyzes of Total Suspended Solids it is possible to determine that the porous pavement systems were the ones that removed the most, giving a range between 64% - 69%. Concerning conductivity analysis and p H infiltration trench systems always show inefficient data regarding the suppression due to the characteristics in their sand and gravel components as a filtering medium.

Key Word — Sustainable drainage systems, domestic waste water, heliconia, pollutants

1. INTRODUCCIÓN

El agua es el recurso natural más valioso de la tierra, sin ella no existiría vida. Alrededor del 71% de la corteza terrestre está cubierta por agua. (Gómez A, Josepa M, Corbella S, Llebaria X, 2016). A pesar de ser tan abundante, sólo un reducido porcentaje es utilizable para el consumo humano. El agua es necesaria para cultivar y procesar alimentos, también brinda energía a la industria con el objeto de satisfacer a una población en constante crecimiento, el crecimiento de la población y la industria ha aumentado y de este modo a ocasionado un incremento en los recursos naturales como el agua y los residuos generados al medio ambiente, todos los residuos generados van a parar a fuentes receptoras como acuíferos, quebradas, ríos, mares, océanos. (Penalva M, Sabogal P, Lyda P, Luiz A. 2013). La disposición de aguas residuales sin tratamiento alguno y las aguas residuales tratadas inadecuadamente contaminan los cuerpos de agua natural. (Fisac y Romeu, 1980). A su vez, por infiltración en el subsuelo contaminan las aguas subterráneas, por lo que se convierten en focos infecciosos para la salud de las poblaciones, así como para la flora y fauna del lugar.

Las Aguas Residuales son aquellas cuyas características originales han sido modificadas por actividades humanas y que por su calidad requieren un tratamiento previo, antes de ser reusadas, vertidas a un cuerpo natural de agua o descargadas al sistema de alcantarillado. (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA), 2014). En la actualidad se puede observar ya que, por el amento en la población e industria hay una sobrecarga de aguas residuales en las plantas de tratamiento cuya infraestructura es insuficiente, lo cual origina que los efluentes tratados excedan los límites máximos permisibles, y no se cumplan con los estándares de calidad ambiental (ECA). Esto genera problemas ambientales como la contaminación de los cuerpos de agua y la generación de malos olores que causan conflictos con la población. A demás será necesario realizar un tratamiento para evitar enfermedades causadas por bacterias y virus en las personas que entran en contacto con esas aguas, y también para proteger la fauna y flora presentes en el cuerpo receptor natural. El reúso del agua tratada, riego de áreas verdes, riego de cultivos, uso Industrial y de servicios confirma que el tratamiento de las aguas residuales debe garantizar la inexistencia de efectos nocivos a la salud. Esto implica la evaluación de tratamientos utilizados en Colombia y el correcto aprovechamiento de los mismos en correlación con la normatividad vigente. (Lizarazo y Orjuela, 2013).

La norma de vertimientos de aguas residuales en Colombia es regida por la Resolución 0631 de 2015 la cual se reglamenta en el artículo 28 del Decreto 1594 de 1984; respondiendo a la nueva realidad urbana, industrial y ambiental del país. Esta permite el control de las sustancias contaminantes que llegan a los cuerpos de agua vertidas. (Ministerio de Ambiente y

Desarrollo Sostenible 2018). Esta Resolución es de obligatorio cumplimiento para todas aquellas personas que desarrollen actividades industriales, comerciales o de servicios y que en el desarrollo de las mismas generen aguas residuales, que serán vertidas en un cuerpo de agua superficial o al alcantarillado público.

El vertido de aguas residuales urbanas sin depurar provoca sobre los cauces receptores una serie de efectos negativos como: fangos y flotantes, agotamiento del contenido en oxígeno presente en las aguas, aportes excesivos de nutrientes (nitrógeno y fósforo, sobre todo) y daños a la salud pública (fomentan la propagación patógenos y de enfermedades como el tífus). Por lo que es necesario su tratamiento para devolver dicha agua al medio o para su reutilización. (Instituto de Estudios Almerienses, 1998).

Para garantizar un tratamiento de agua residual doméstico en pro del cuidado del medio ambiente y en si de la sociedad en el presente artículo se busca profundizar sobre el conocimiento de sistemas de drenaje de tratamiento de agua residual doméstica que se fundamenta en el desarrollo sostenible con el fin de dar soluciones que genere un avance económico y permita una conservación medioambiental, pensando en el futuro a la hora de mejorar las condiciones actuales. (Bernal Martínez Lina A, Solís Morelos Carlos, Linares Hernández Ivonne, Barrera Díaz Carlos, Colín Cruz Arturo, 2011). Esto supone centrar las inversiones actuales en salud, calidad y medio ambiente con la intención de asegurar la obtención de beneficios a largo plazo. Los sistemas SUDS permitirán la sedimentación, la eliminación de contaminantes y el proceso de purificación. (Pabón Vidarte María Fernanda; Sarria Rumie Erika Johanna; Chavez Porras Álvaro. 2007).

Para evaluar la remoción de contaminantes en la estabilización de tres sistemas de drenaje urbano sostenible construidos en filtros verticales, constituidos por platanillos (heliconias bihai), arena, abono, gravilla y pavimento, es el resultado de una compleja interacción entre los procesos físicos, químicos y biológicos que ocurren dentro del sistema construidos en la Universidad Tecnológica de Pereira.

2. MARCO TEÓRICO

5.1 Agua Residual . Las aguas residuales pueden definirse como las aguas que provienen del sistema de abastecimiento de agua de una población, después de haber sido modificadas por diversos usos en actividades domésticas, industriales y comunitarias. (Rolim Mendonça Sergio, 1999)

5.2 Agua Residual Doméstica es aquella que fué utilizada con fines higiénicos (baños, cocinas, lavanderías, entre otras). Consisten básicamente en residuos humanos que llegan a las redes de alcantarillado por medio de descargas de instalaciones hidráulicas de la edificación también en residuos

originados en establecimientos comerciales, públicos y similares.

5.3 Aguas residuales industriales. Son líquidos generados en los procesos industriales. Poseen características específicas, dependiendo del tipo de industria.

5.4 Constituyentes del agua residual. Las aguas residuales están determinadas por componentes físicos, químicos y biológicos, cada uno de estos están conformados por una mezcla de materiales orgánicos e inorgánicos, suspendidos o disueltos en el agua.

5.4.1 Materia orgánica biodegradable: Compuesto principalmente de proteínas, carbohidratos y grasas, es medida comúnmente como DBO (Demanda bioquímica de Oxígeno) y DQO (Demanda Química de Oxígeno).

5.4.2 Materia inorgánica disuelta: compuestos como Calcio, Sodio, sulfatos, metales pesados.

5.4.3 Patógenos: Estos son principalmente coliformes fecales y enterobacterias, que generan enfermedades con su presencia en el agua, que son capaces de sobrevivir en aguas con alta contaminación orgánicos.

5.4.4 Sólidos Suspendidos: Estos surgen de los depósitos de materiales de desechos en aguas residuales, pueden generar depósitos de lodo y condiciones anóxicas si son descargadas en fuentes hídricas.

Tratamiento de las Aguas Residuales

El tratamiento de Aguas Residuales tiene básicamente tres tratamientos a realizar, estos se llevan a cabo en diferentes escalas y con diferentes sistemas según la cantidad de población a atender. El primero llamado primario se trata de la separación física de los sólidos grandes y pequeños que están en las aguas usadas, la separación se realiza mediante, desarenaderos y sedimentadores. Para eliminar metales disueltos se utilizan reacciones de precipitación El segundo tratamiento es el biológico, que es la separación y remoción de la materia biológica disuelta en el agua mediante ciertos tipos de bacterias, una vez realizado esta separación se efectúa un proceso de sedimentación secundaria. El tratamiento terciario es un proceso adicional que comprende desinfección, filtración, entre otros. A continuación se presentan las actividades principales de cada etapa:



Figura 1: Etapas de Tratamiento del Agua Residual doméstica.

Coliformes Totales: Los coliformes totales pertenecen a la familia Enterobacteria e incluye a los aerobios y anaerobios facultativos, gran negativos, no formadores de esporas y fermentación de lactosa con producción de gas a 35 °C en 48 (Santana Fernando G) hora y bacterias gram negativas, no esporoformadoras, oxidasa negativa, con capacidad de crecimiento aeróbico y facultativamente anaeróbico en presencia de sales biliares, que a temperatura especificada de 35°C +/- 2°C causan fermentación de lactosa con producción de gas. Poseen la enzima B-galactosidasa.

Sólidos Suspendidos Totales (SST): Las aguas residuales contienen una variedad de materiales sólidos incluyendo material coloidal. La mayoría de ellos son retenidos en el sustrato de los humedales, en este fenómeno físico la sedimentación se da debido a la baja velocidad de circulación del agua y el tamizado que se da entre los espacios intersticiales del medio de soporte. Típicamente un 60% de los sólidos suspendidos son sedimentables. Los sólidos totales (ST) son obtenidos por evaporación de una muestra de agua residual hasta sequedad, se utiliza filtración para la separación de sólidos suspendidos totales (SST) y sólidos disueltos totales. Por lo cual los SST son aquellos remanentes retenidos

en un filtro con un diámetro de poro específico, después de ser secado a 105 °C (Tchobanoglous Gorge; Burton L; Franklin. Burton; H. David Stensel (2003).

Nitrógeno : Es un elemento biogénico que encontramos incorporado en moléculas orgánicas que desempeñan funciones vitales para toda célula. Este elemento es un constituyente básico de aminoácidos, ácidos nucleicos, azúcares aminadas y los polímeros que estas moléculas forman. El nitrógeno existe en la naturaleza en varias formas químicas que presentan diferentes estados de oxidación

Fósforo: El fósforo es un elemento esencial para la vida biológica, tanto para los organismos inferiores como para los de estructuras más complejas. Además, el papel del fósforo en la vida es de gran complejidad, ya que interviene en la formación de múltiples constituyentes de las células.

Demanda Química de Oxígeno (DQO): La Demanda Química de Oxígeno (DQO) determina la cantidad de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica en una muestra de agua, bajo condiciones específicas de agente oxidante, temperatura y tiempo.

p H: Es una medida de la acidez o de la alcalinidad de una sustancia.

Conductividad : Es una medida de la capacidad de una solución acuosa para transmitir una corriente eléctrica y es igual al recíproco de la resistividad de la solución.

Platanillos Heliconia Bihai: Es una especie de plátano sembrado. Sus frutos son de 3 pulgadas y 8 cm de largo, rosados y difusos. Se llevan en tallos erectos de flores con una inflorescencia rosa. (Landeró Ivonne; García Martínez Miguel.A; Galindo Tovar María Elena, Leiva; Ovalle Otto Raúl; Lee Espinosa Hilda Eulalia ; Murguía González Joaquín; Negrín Ruíz Jaime 2014) Las Heliconias son útiles como protectoras de cuerpos de agua, reforestación de suelos debido a que, su crecimiento rizomatoso contrarresta los movimientos de tierra en las laderas erosionadas de suelos, alberga un gran número de organismos, insectos (escarabajos, orugas, hormigas, entre otros.) (Santos et al, 2009; Seifert, 1982).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

1. MATERIALES

- 1.1. Material de vidrio volumétrico y graduado, como beakers, buretas, matraces, tubos de ensayo y pipetas.

- 1.2. Material para la recolección de las aguas residuales (baldes, recipientes, mangueras, cronómetros entre otros).

- 1.3. Espectrofotómetro HACH

- 1.4. Digestor Termoreactor Velp Científica Eco 25 utilizado para análisis de DQO.

- 1.5. Conductímetro Mettler Toledo

- 1.6. p H- metro portátil AD 110.

- 1.7. Equipo de HACH.



Imagen 1. Equipo de espectrofotómetro Hach, utilizado para los análisis de los kit Hach.



Imagen 2. Equipo Digestor termoreactor Velp Científica Eco 25, utilizado para análisis de DQO.



Imagen 3. Conductímetro Mettler Toledo utilizado para medir conductividad.

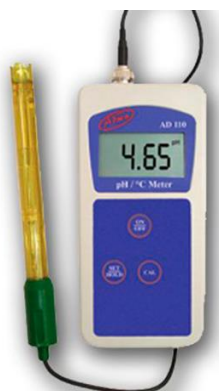


Imagen 4. pH-metro portátil AD110.

2. METODOLOGÍA

Muestras

Se empleará aguas residuales domésticas recolectadas en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) edificio de Facultad de Bellas Artes, de la universidad Tecnológica de Pereira, en la ciudad de Pereira capital de Risaralda, Colombia. Las muestras serán trasladadas al laboratorio de procesos biológicos de la Facultad de Ciencias Ambientales de la universidad, en frascos de vidrio totalmente herméticos.

Pretratamiento de las Aguas Residuales Domésticas

Las aguas residuales serán recolectadas en contenedores que se encuentran a temperatura ambiente (23° C aproximadamente), con el fin de tratarlas una vez sean obtenidas. Estos contenedores poseen en su área superficial unas capas, las cuales ayudan a la purificación de aguas residuales, estas están diseñadas por medio de tres sistemas de drenaje identificados de la siguiente manera : Un sistema de Concreto Poroso, un sistema de Jardín de lluvias y un sistema de Trinchera de Infiltración, estos son utilizados con el objetivo de retirar el exceso de suciedad y presencia de ciertos compuestos orgánicos. Una vez el agua residual doméstica pase por los sistemas de drenaje se tomarán las muestras del efluente y se procederá a analizarlas en el laboratorio de procesos biológicos de la Facultad de Ciencias Ambientales de la universidad.

Las aguas residuales serán sometidas a análisis por métodos de caracterización de presencia de (NT) Nitrógeno Total, (FT) Fósforo Total , (CT), Coliformes Totales .

Constituyentes del agua residual

Las aguas residuales están determinadas por componentes físicos, químicos y biológicos, cada uno de estos están conformados por una mezcla de materiales orgánicos e inorgánicos, suspendidos o disueltos en el agua.

Materia orgánica biodegradable: Compuesto principalmente de proteínas, carbohidratos y grasas, es medida comúnmente como DBO (demanda bioquímica de oxígeno) y DQO (demanda química de oxígeno).

Materia inorgánica disuelta: compuestos como Calcio, Sodio, sulfatos, metales pesados.

Patógenos: Estos son principalmente coliformes fecales y enterobacterias, que generan enfermedades con su presencia en el agua, que son capaces de sobrevivir en aguas con alta contaminación orgánicos.

Sólidos suspendidos: Estos surgen de los depósitos de materiales de desechos en aguas residuales, pueden generar depósitos de lodo y condiciones anóxicas si son descargadas en fuentes hídricas.

2.1 MÉTODOS DE ANÁLISIS

La alimentación de los sistemas se realizará una vez por semana durante 4 meses:

- Se aplicará agua residual a un caudal controlado para cada unidad de tratamiento para verificar el comportamiento de la concentración y la eficiencia de los mismos mediante la toma de muestras cada semana. Para la medición de pH se llevará a cabo el empleo de un pH-metro y para la Conductividad Eléctrica el empleo de un conductímetro.
- Para la medición de Nitrógeno Total, Fósforo Total se emplearán los kit Hach TNT Plus de análisis de agua, mientras que la cuantificación de los Coliformes Totales se realizará mediante el método de filtración por membrana en el Laboratorio de Aguas y Alimentos de La Escuela de Química.
- Para la medición de Demanda Química de Oxígeno (DQO), se seguirá el procedimiento establecido por el Manual de Prácticas de Laboratorio de Química Ambiental de la UTP.

Kit Hach TNT plus :

Los Kit Hach TNT Plus son utilizados para la determinación de las concentraciones de los contaminantes en las muestras.

- **Kit Hach para Fósforo Total TNT 844**

Los iones fosfato reaccionan en solución ácida con iones Molibdato y Antimonio formando un complejo Antimoniofosfomolibdato que, mediante ácido Ascórbico, se reduce a azul de Fosfomolibdeno.

- **Kit Hach para Nitrógeno Total TNT 826**

Nitrógeno ligado inorgánica y orgánicamente se oxida a nitrato mediante digestión con Peroxisulfato. Los iones nitrato reaccionan en una solución de Ácido Sulfúrico y Fosfórico con 2,6-dimetilfenol formando un Nitrofenol.

- **Demanda Química de Oxígeno (DQO). Método Micro**

La Demanda Química de Oxígeno (DQO) determina la cantidad de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica en una muestra de agua, bajo condiciones específicas de agente oxidante, temperatura y tiempo.

ESQUEMAS DE LOS SISTEMAS DE DRENAJE UTILIZADOS

A continuación, se presentan los tres sistemas de SUDS para el tratamiento de ARD. Cada uno de los tres sistemas tiene dos unidades, ya que para cada uno se contempla una réplica, los cuales se evaluarán de igual modo. Los sistemas están contruidos en canecas plásticas de 55 galones, las cuales poseen un área superficial de 0,16 m², cada uno con un volumen de 0,14 m³. Volumen de agua en cada unidad es de 40,6 L Caudal de alimentación (Q): 0,112 L/min (6 h).

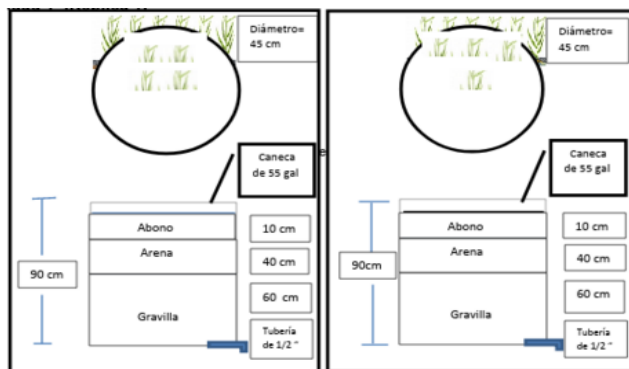


Figura 2: Esquema Sistema de Jardín Lluvia.

El sistema de Jardín de Lluvia está compuesto por dos unidades idénticas. Cada uno de los sistemas estos contruidos por una caneca de 55 galones, la cual posee

un área superficial de 0,16 m², y un volumen de 0,14 m³. En la parte superior de la caneca están sembradas 3 plantas de heliconias, el propósito de la vegetación es proveer oxígeno a la zona radicular y aumentar el área superficial para el crecimiento biológico en la zona de las raíces, luego en la parte inferior de las plantas se encuentra contenido 10 cm de abono, bajo este una capa de 60cm de arena y por último se encuentra una capa de 40 cm de grava, en la parte del fondo de la caneca se tendrá una llave, la cual permitirá tomar las muestras para realizar los respectivos análisis. Las diferentes capas conforman el filtro por medio del cual el agua residual doméstica deberá pasar para realizar sus diferentes análisis de calidad.

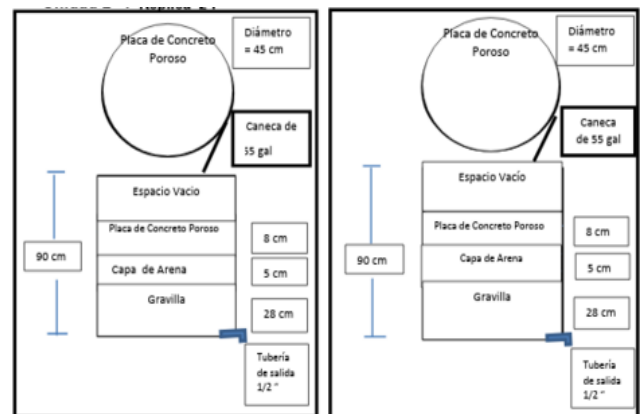


Figura 3: Esquema Sistema de Pavimento Poroso.

El sistema de Concreto Poroso está diseñado con dos unidades iguales, estas están implementadas en dos canecas con las siguientes características: las canecas son de 55 galones, con un área superficial de 0,16m² y un volumen de 0,14 m³. Al interior se puede visualizar en la parte superficial una capa de concreto poroso determinada por 8 cm, bajo esta se encuentra una capa de 5 cm de arena y en la parte inferior se encuentra una capa de 28 cm de grava, en el fondo de la caneca es posible observar una llave por medio de la cual se tomara la muestra filtrante.

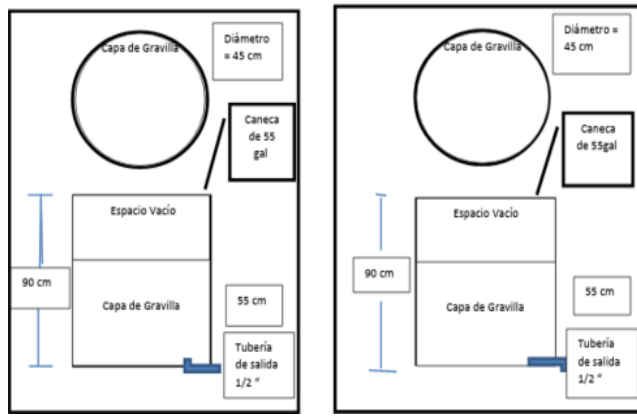


Figura 4: Esquema Sistema de Trinchera de Infiltración.

El sistema de Trinchera de Infiltración está compuesto por una unidad y su réplica, las cuales están constituidas por una caneca de 55 galones representada con un área superficial de 0,16 m² y un volumen de 0,14 m³. Al interior de esta caneca es posible observar una fase de 55 cm de grava, y en la parte del fondo se encuentra una llave por medio de la cual se hará la recolección de la muestra filtrante.

Figura 6. Diagrama de flujo pre tratamiento para análisis de Agua Residual Doméstica



4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

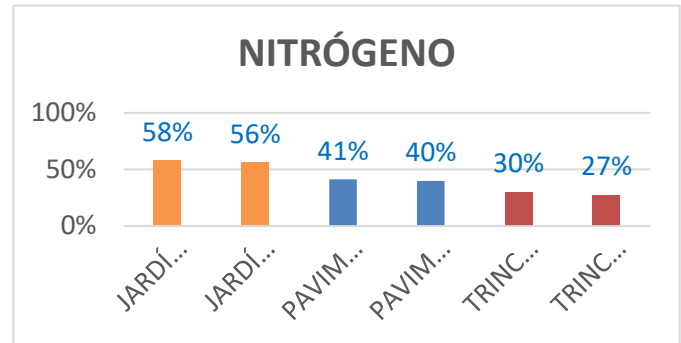


Gráfico 1: Resultados para análisis de Nitrógeno

Evaluando el mecanismo de eliminación de nitrógeno(N) en este caso, fué la desnitrificación, la cual eliminó los 58 % de la carga de N del afluente en Jardín de lluvia plantados. El aporte de platanillo (*Heliconia Bihai*) promovió la eliminación de N, por tanto se puede sugerir su uso en este tipo de sistemas de tratamiento (Langergraber, G., Lerach, K, Pressl, A., Rohrhofer, R., Haberl, R. (2008). Las eliminaciones de nitrógeno fueron altas, lo cual puede estar asociado a que las raíces de esta planta al ser extensas y abundantes ofrecen una mayor área para transferencia de oxígeno y formación de comunidades de microorganismos. Por otro lado, la inestabilidad presentada en algunos muestreos, pudo ocurrir por la cantidad de interacciones que se generan en la rizósfera, que dan lugar a fenómenos y eventos como nitrificación-desnitrificación (Yang et al., 2001, Meuleman et al., 2003; Peña-Salamanca et al. 2011), fijación simbiótica de Nitrógeno, asimilación biológica, muerte vegetal, adsorción del medio, la variación en la saturación de los sistemas pudo ocasionar la oscilación en la eliminación de Nitrógeno, al afectar los procesos de adsorción y desorción de este contaminante en el medio (Lasing y Martin,2008).

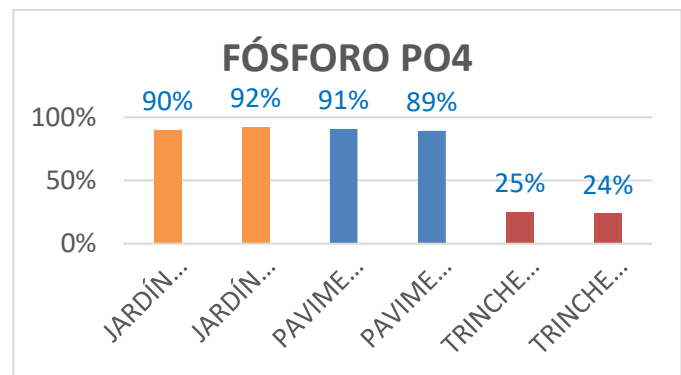


Gráfico 2: Resultados para análisis de Fósforo

Como se puede observar en el gráfico 2, es posible evidenciar que tanto el pavimento poroso como los jardines de lluvia tuvieron una remoción superior al 90%. Esto se debe a los

procesos fisico-químicos de remoción de fósforo. El fósforo que está en forma de partículas (sólidos) puede depositarse por sedimentación en el fondo del sistema de filtración, o bien quedar atrapado entre las raíces que forman las plantas emergentes y adherirse en la superficie que forman las biopelículas. Los fosfatos pueden formar precipitados insolubles de hierro, calcio y aluminio, o ser adsorbidos por la arena, el abono, la gravilla, la materia orgánica y algunos compuestos inorgánicos. La remoción significativa del fósforo se debe principalmente a la deposición e inmovilización de los fosfatos en los sedimentos; la vegetación de platanilla (*Heliconia Bihai*) en Jardines de Lluvia, contribuye con las extracciones de fósforo por medio de sus raíces.

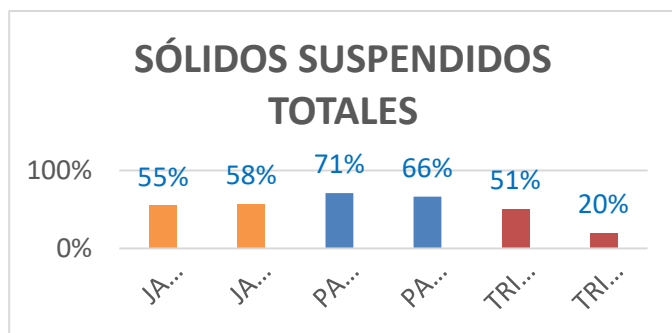


Gráfico 3: Resultados de análisis para Sólidos Suspendedos Totales (SST).

Los resultados del estudio mostraron que en el gráfico 3 se evidencia que los Pavimentos presentan mayor remoción de sólidos Totales con un 16% más alto que en los Jardines de Lluvia que es lo que se esperaba ya que, los Pavimentos en el interior del filtro forman biopelículas que retienen partículas disueltas en el agua dándose por los microorganismos que se unen a las superficies y desarrollan biopelículas. (Rodney M. Donlan, 2002). Las células asociadas a la biopelícula se pueden diferenciar de sus contrapartes suspendidas mediante la generación de una matriz de sustancia polimérica extracelular (EPS), los jardines de lluvia mantuvieron una remoción considerada mediana por que las plantas de Heliconias utilizan para su nutrición bastante de los microorganismos hallados en el agua residual y forman biofilm que se desarrolla en el medio de soporte, adherida en mayor proporción en las raíces de las plantas, es una matriz que contiene gran cantidad de microorganismos que facilitan los procesos de remoción de contaminantes en aguas residuales (Saeed T, Sun G 2012), y el resto lo deja infiltrar por todo el sistema. También las trincheras evidencia un claro y menor porcentaje de retención de los SST porque estos no permiten el flujo directo del agua residual y tiene que pasar mucho tiempo para que estos empiecen a formar las biofilm para la acumulación de sólidos suspendidos.

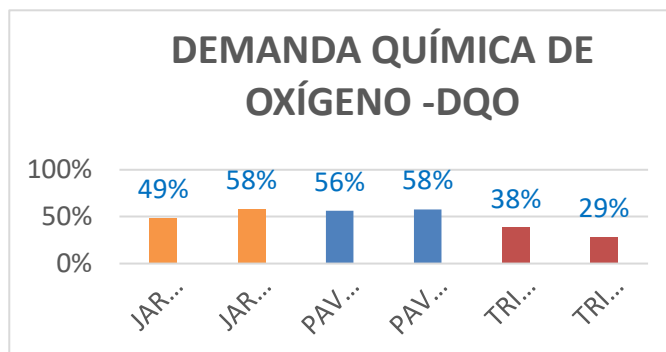


Gráfico 4: Resultados de análisis de Demanda Química de Oxígeno (DQO).

La diferencia entre los tratamientos de cada uno de los sistemas de filtración evaluados, se generó al efecto mineralizador de los microorganismos que transforman la materia orgánica utilizando el oxígeno disuelto para procesos de oxidación y liberando dióxido de carbono, (González, F.D 2007) por lo que se puede inferir una mayor actividad microbiológica en los sistemas de filtración de Jardín de Lluvia y los Pavimentos Porosos, dado a la simbiosis entre la rizosfera y los efectos de degradación de la materia orgánica. (Abou Elela y Hellal, 2012). La figura 4, demuestra el efecto de las raíces de el Platanillo heliconia Bihai en la remoción de cargas orgánicas; dado a que presenta estructuras adaptativas como el desarrollo de raíces adventicias y tejidos parenquimáticos que permiten el intercambio de gases entre la parte aérea de la planta y la raíz, el crecimiento de la raíz para sostenimiento de microorganismo y el aporte de oxígeno. (Peña E.J, Peña M, Gutierrez C, 2007). Tal condición incrementa la intervención de bacterias facultativas y anaeróbicas adheridas a las raíces y rizomas de las plantas. Y la retención en Pavimentos Porosos es debida a la formación de Biopelículas que al formar una capa protectora lo que hace es que en este proceso los microorganismos producidos por la oxidación de la materia orgánica se vayan adhiriendo inicialmente a las paredes del sistema de filtración, posteriormente se forman varias capas biológicas sobrepuestas. (Dong H; Qiang Z; Li T, Jim H y Chen W, 2012) Esto ocasiona que los microorganismos de la última capa (la exterior) tengan mayor contacto con el alimento y con el oxígeno del aire; en cambio, la capa adherida a la superficie del pavimento (la interior) cada vez tiene menos contacto con el sustrato y el oxígeno, por lo que en esta zona se dificulta la alimentación y respiración; hasta que muere y se desprende del filtro. (Brix H, Arias, C.A, 2003) En este caso de sistemas de filtración el agua residual que escurre por gravedad arrastra la biopelícula parcialmente muerta.

Se aprecia que en los sistemas donde se utiliza arena y gravilla el porcentaje de remoción es superior al 50% aún cuando se varían las alturas de los mismos. La arena en combinación con la grava y el cemento mostró el mejor comportamiento, sus porcentajes de remoción oscilaron entre un 50% y un 58%. Esto puede deberse principalmente a la

granulometría del sustrato ya que, este material presentaba el menor tamaño de partícula.

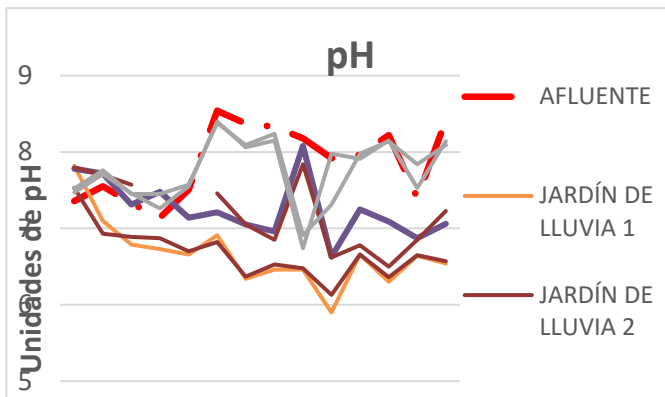


Gráfico 5: Resultados para el análisis de pH

Como se observa en la gráfica 5. El pH se mantiene en un rango 6.0 y 8.5 lo que indica que no hubo disminución de bacterias ya que, a un pH inferior a 4,5 y superiores a 10 tendremos un descenso de la colonia de bacterias en el sistema biológico y se ve que los resultados están acorde con los esperados para vertimientos urbanos que los rangos de pH están comprendidos entre 6,5 y 8,5. Se pueden dar otras variaciones de estos intervalos por vertimientos incontrolados de origen industrial y pueden aumentar; los valores extremos de pH. Un efluente con pH adverso puede alterar la composición y modificar la vida biológica de las aguas naturales. También es más difícil de tratar por métodos biológicos, que sólo pueden realizarse entre valores de pH de 6,5 a 8,5

(M. Espigares García y J. A. Pérez López) pueden originar la muerte de peces, drásticas alteraciones en la flora y fauna, reacciones secundarias dañinas (por ejemplo, cambios en la solubilidad de los nutrientes, formación de precipitados). (Johnson, W. W. (1980))

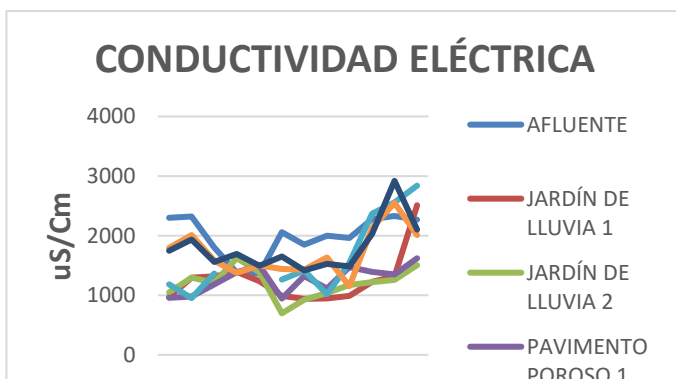


Gráfico 6: Resultados para análisis de Conductividad eléctrica.

Los valores normales de conductividad en aguas residuales urbanas oscilan en el rango de 500 a 1.500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Esta

medida indica la facilidad con la que la corriente eléctrica pasa a través del agua residual. Puesto que el agua pura es muy mala conductora de la corriente eléctrica, las conductividades elevadas indican la presencia de impurezas, y más concretamente de sales disueltas. Como resultado del uso doméstico del agua la conductividad aumenta, y se sitúa normalmente en el intervalo 1.000-2.500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. (Arango Ruíz Alvaro / Garcés Luis Fernando 2009). La medida de la conductividad resultó muy útil para detectar descargas de contaminantes químicos procedentes de la universidad tecnológica de Pereira. Es de gran utilidad saber que valores elevados de conductividad $>3.000 \mu\text{S}/\text{cm}$, afectan al proceso biológico de depuración.

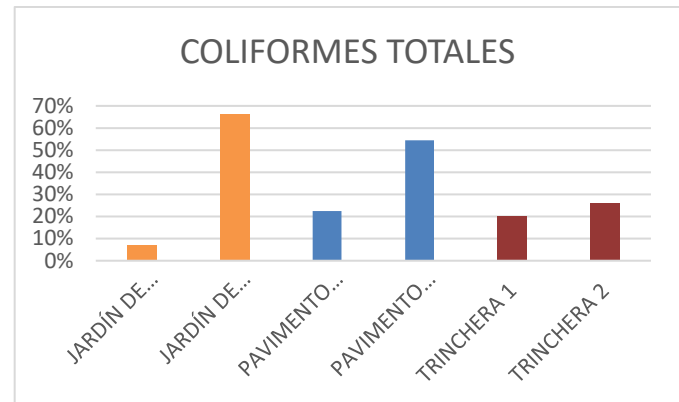


Gráfico 7: Resultados de Análisis de Coliformes Totales.

Como se puede evidenciar en el gráfico 7 en el sistema de Jardín de lluvia se observa una remoción de 60% y en Pavimento Poroso de un 50% contrario a el sistema de Trincheras de Infiltración donde la remoción representa un 20%. Esta remoción no es estable debido a que, los sistemas de drenaje sostenible no están condicionados para la eliminación de microorganismos sino que estos se encuentran fundamentados en la remoción de sólidos suspendidos y materia orgánica, estos sistemas no contienen un agente antimicrobiano que prevenga la proliferación bacteriana o la elimine completamente del agua residual doméstica. (Rendón Carlos L, Barrera Guadalupe 2013). La concentración que se obtuvo de Coliformes fue en su mayoría de $10^6/100 \text{ mL}$, lo que corresponde a un agua de muy mala calidad desde el punto de vista microbiológico. (Suematsu León Guillermo, 1992).

En el análisis de coliformes totales no se evidencia remoción notable por causa de la acumulación de materia orgánica, sólidos y de más compuestos en las biopelículas formadas en cada uno de los sistemas de filtración esto se puede dar debido a que, existe un acondicionamiento de la superficie de los sistemas por adsorción de materia orgánica en las paredes de los sistemas de filtración, ayudado por el transporte de células microbianas desde la masa de agua circulante. Parte de las células que llegan a la superficie de la gravilla, la arena o el pavimento se adhieren irreversiblemente y otras vuelven al

flujo de agua residual. Las células que han conseguido mantenerse adheridas a la superficie crecen a expensas del sustrato contenido en el agua, aumentando así el número de microorganismos integrantes de la biopelícula. Además, estas células excretan sustancias poliméricas (SPE) que pasan a formar parte de la película biológica, aumentando su tamaño. Posteriormente y una vez formada una capa base debiopelícula, ésta se convierte en un lecho viscoso que permite el atrapamiento de células y nutrientes, formando en ocasiones una superposición de microcolonias entre las cuales puede circular agua. Por último, la biopelícula experimenta un desprendimiento parcial de sumasa por efecto del movimiento del fluido y de la acción mecánica de otras partículas que chocan contra ella, pudiendo llegar a producirse desprendimientos masivos de capas por pérdida de cohesión o adherencia (Knobelsdorf Juliana, Mujeriego Rafael, 1997).

La razón por la cual algunos sistemas de Filtración los coliformes Totales si se retuvieron es debido a que, las sustancias húmicas, comunes en agua residual absorben luz solar, pasan esta energía al oxígeno y originan formas tóxicas de oxígeno (radicales de oxígeno libre, Peróxido de Hidrógeno y probablemente superóxido y radicales hidroxilo, estas formas de oxígeno dañan y destruyen algunas bacterias presentes en el agua residual, el daño ocasionado por la luz a los coliformes fecales y totales, proceso de fotooxidación es completamente dependiente del oxígeno, este mecanismo se encuentra directamente relacionado con el pH elevado y la concentración de oxígeno disuelto, ya que, las formas tóxicas dañan la membrana interna de los coliformes totales. (Suematsu León Guillermo, 1992).

5. CONCLUSIONES

- Una vez realizados cada uno de los análisis es posible comprobar que el principal Sistema de Filtración es el Jardín de Lluvia representándose su remoción de materia orgánica en un 60 %. El Jardín de lluvia tiene plantado la Heliconia Platanillo Bihai, una de las características más destacadas de ésta plata es su capacidad de eliminación de DQO, materia Orgánica y Sólidos Suspendidos.
- Es de vital importancia tener presente que los Sistemas de Filtración estudiados son tecnologías de bajo costo, de fácil adaptación que pueden ser una solución a las diferentes problemáticas de contaminación de ríos, acuíferos, lagunas y océanos, gracias a la gran remoción de contaminantes que ejercen sobre el agua residual tratada.

- Es posible determinar tras los análisis efectuados que el Sistema de Filtración menos aconsejable para la remoción de materia orgánica y sólidos suspendidos es el de trincheras de Filtración esto se debió principalmente a tamaño de partícula que posee la gravilla como medio filtrante. Por el contrario en los Sistemas de Filtración donde se utilizó arena se evidencia disminución en el contenido contaminante del afluente debido a su tamaño de partícula tan pequeño donde es posible la formación de una biopelícula.
- Los sistemas de Filtración son procedimientos pasivos los cuales gracias a la acción de depuración permiten la descomposición de los diferentes componentes presentes en el agua residual doméstica por medio de mecanismos físicos, químicos y biológicos.
- En los estudios ejecutados se evidencia que los Sistemas de Jardín de Lluvia son impulsores de diversos procesos entre ellos la retención y sedimentación de la materia en suspensión, la disminución y degradación de la materia orgánica, la absorción de los diferentes nutrientes debido a que, en sus raíces es posible el crecimiento de microorganismos quienes son los responsables de los procesos de nitrificación y desnitrificación.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Abou-Elela, S.I, y Hellal M.S. 2012. Municipal wastewater treatment using vertical flow constructed wetlands planted with Canna, Phragmites and Cyprus. Ecological Engineering.
- Álvaro Arango Ruíz, Garcés Giraldo Luis Fernando. Influence of electric conductivity in the electro coagulation of waste water from dairy industries.2009.
- Arango Ruíz Alvaro, Garcés Luis Fernando, Alvaro Arango Ruíz1 /Luis Fernando Garcés Giraldo2 Influence of electric conductivity in the electro coagulation of waste water from dairy industries.2009.
- Becerra Lizarazo, Orjuela Jeny Milena, Gutierrez Martha Isabel. Sistemas de plantas de tratamiento de aguas residuales en Colombia. 2013.
- Bernal Martínez Lina A, Solís Morelos Carlos, Linares Hernández Ivonne, Barrera Díaz Carlos, Colín Cruz Arturo. Tratamiento de Agua Residual Municipal por un Sistema

- Fisicoquímico y Oxidación Química en Flujo Continuo- , Avances en Ciencias e Ingeniería. Executive Business School La Serena, Chile. 2011.
- Brix H, Arias, C.A. Humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales. Ciencia e Ingeniería Neogranadina.2003.
- Dong H, Qiang Z, Li T, Jim H, y Chen W. Effect of artificial aeration on the performance of vertical-flow constructed wetland treating heavily polluted river water. Journal of Environmental Sciences.2012.
- Espigares García, M. y Pérez López, JA. Aspectos sanitarios del estudio de las aguas. Universidad de Granada. Servicio de Publicaciones. Granada. 1985.
- Fisac Herrero Juan , Rumeu Soldevilla José .Eliminación Total de Sólidos Flotantes en el Vertido al Mar de Aguas Residuales .1980, Pages 393–402.
- Gomez Gutierrez Anna, Josepa Miralles María Corbella Irene, Garcia Soledad Llebaria. La calidad Sanitaria del Agua de Consumo.2016, Pages 63-68.
- González, F.D. Diseño de una planta de tratamiento piloto de aguas residuales domésticas para el conjunto residencial Matisse utilizando un humedal artificial Quito (Ecuador): Universidad San Francisco de Quito, Colegio de Ciencias e Ingenierías , 2007.
- Johnson, W.(1980). Handbook of acute toxicity of chemicals to fish and aquatic invertebrates. Fish and Wildlife, Service. Resource Publication 137. United States Department of the Interior, Washington D.C.
- Knobelsdorf Juliana , Mujeriego Rafael. Crecimiento Bacteriano en las Redes de Distribución de Agua Potable, 1997
- Landero Ivonne,García Martínez Miguel.A,Galindo Tovar María Elena,Leiva Ovalle Otto Raúl,Lee Espinosal Hilda Eulalia ,Murguía González Joaquín, Negrín Ruíz Jaime. An Ornamental Heliconias Crop as a Reservoir of the Native Myrmecofauna: A case of Tropical Horticulture in Central Veracruz, México,2014).
- Lahora, A. (1998). Humedales controlados como tratamiento terciario de aguas residuales urbanas. En, Rivera, J. (ed.): Conclusiones del Encuentro Medioambiental Almeriense, Instituto de Estudios Almerienses (Diputación Provincial de Almería), Universidad de Almería, Grupo Ecologista Mediterráneo. Almería.1998
- Langergraber G, Leroch K, Pressl A, Rohrhofer R, Haberl R. (2008). A twostage subsurface vertical flow constructed wetland for high-rate Nitrogen removal.Water Sci. Technol. 1881–1887.
- Lansing S, Martin, J. Use of an ecological treatment system (ETS) for removal of nutrients from dairy wastewater. Ecological Engineering, 235–245.(2006).
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA),2014)
- Pabón Vidarte María Fernanda ; Sarria Rumie Erika Johanna; Chavez Porras Álvaro. Plan de mejoramiento del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales de laboratorios Coaspharma, Bogotá 2007)
- Penalva Reali Marco Antonio, Sabogal Paz Lyda Patricia,Luiz Antonio Daniel. Tratamiento de agua para consumo humano. 2013.
- Peña, E.J, Peña M, Gutierrez C. The role of Heliconia Psittacorum in the removal of nutrients at a constructed wetland for domestic wastewater treatment. Science of the total environment , 2007.
- Peña Salamanca Enrique J . Madera Parra Carlos A . Sánchez, Jesús M. Medina-Vásquez Javier. Bioprospección de Plantas Nativas para su uso en los procesos de Biorremediación: Caso Heliconia Psittacorum (heliconiaceae).
- Rendon Carlos I, Barrera Guadalupe. Comparison of Techniques for coliform bacteria extraction for sediment of Xochimilco Lake,México,2013.
- Rodney M. Donlan, Laboratorio Biofilm. Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades, Atlanta, Georgia, EE. UU.2002
- Rolim Mendonça Sergio.Tratamiento de Aguas Residuales a través de Humedales Naturales Artificiales y Lagunas de Estabilización,1999.
- Saeed T1, Sun G. A review on nitrogen and organics removal mechanisms in subsurface flow constructed wetlands: dependency on environmental parameters, operating conditions and supporting media.2012.
- Santos et al, 2009; Seifert, 1982). https://www.researchgate.net/profile/Maria_Galindo9/publication/262725305. An Ornamental Heliconias Crop as a Reservoir of the Native Myrmecofauna

[A_case_of_Tropical_Horticulture_in_Central_Veracruz_Mexico/links/5470c8360cf2d67fc034317f.pdf](https://www.researchgate.net/publication/328111111/A_case_of_Tropical_Horticulture_in_Central_Veracruz_Mexico/links/5470c8360cf2d67fc034317f.pdf).

Suematsu Guillermo León. Tratamiento de Aguas Residuales, objetivos y Selección e Tecnologías en función al tipo de Reuso, 1992).

Tchobanoglous Gorge, Burton L. Franklin. Burton, H. David Stensel Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización, 2003.

