

# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Ambiental

“TENDENCIAS ACTUALES PARA EL  
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES  
DOMÉSTICAS: Una revisión de la literatura  
científica”

Trabajo de investigación para optar al grado de:

**Bachiller en Ingeniería Ambiental**

**Autores:**

Keyla Madaly Muñoz Tello  
Milagros Vasquez Perez

**Asesor:**

Mtr. Mblgo. Luis Felipe Valdez Núñez

Cajamarca - Perú

2018



UNIVERSIDAD  
PRIVADA  
DEL NORTE

## DEDICATORIA

La presente investigación teórica está dedicada en primer lugar a Dios por darnos la vida y la fuerza necesaria para obtener cada uno de nuestros logros.

A nuestros padres por todo su apoyo incondicional, por los consejos y valores que con su ejemplo nos inculcaron, y además de ello por todos los sacrificios que han hecho para poder hoy ser nosotros las personas que somos.

## **AGRADECIMIENTO**

En estas líneas agradecemos a todas las personas que hicieron posible esta investigación. Al Programa Nacional de Becas y Crédito por haber contribuido de manera constante en nuestra formación profesional a lo largo de estos años.

A nuestros docentes por todos los conocimientos brindados los cuales fueron una clave fundamental para realizar esta investigación.

**Tabla de contenido**

<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>2</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>3</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>5</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>6</b>
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>7</b>
<b>CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....</b>	<b>9</b>
<b>CAPÍTULO III. RESULTADOS.....</b>	<b>13</b>
<b>CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....</b>	<b>21</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>24</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

**TABLA 1 *Artículos incluidos en la revisión según las palabras clave utilizadas.....*** 11

## RESUMEN

Una de las prácticas más comunes de disposición final de las aguas residuales domésticas ha sido la disposición directa sin tratamiento en los cuerpos de agua superficiales y en el suelo; sin embargo, la calidad de estas aguas puede generar daños a la salud pública y al medio ambiente, por ello el presente artículo describe las tendencias que existen en el tratamiento de aguas residuales domésticas (filtros y biofiltros, humedales artificiales y combinación de tecnologías), los cuales se están evaluando e implementando en diferentes partes del mundo para evitar estos conflictos. El objetivo de ésta investigación fue determinar y analizar cuáles son las tendencias actuales para el tratamiento de aguas residuales domésticas a partir de la revisión de la literatura de los 10 últimos años, en idioma inglés y español, la revisión sistemática se realizó en base a diferentes buscadores PubMed, BiBlat, Google académico, etc. Según los resultados existe una amplia gama de procesos para el tratamiento de aguas residuales domésticas sin embargo de acuerdo a esta revisión realizada consideramos como tendencias actuales a los procesos de humedales artificiales construidos y a los biofiltros. Todos en general han demostrado eficiencia de eliminación de los diferentes parámetros analizados.

**PALABRAS CLAVES:** : Tratamiento de aguas residuales, aguas residuales domésticas, aguas residuales, sewage water, y Biofilters wastewater treatment.

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

A finales del siglo XIX y principios del XX se probaron varios procesos de tratamiento; alrededor de 1920, el tratamiento de las aguas residuales había evolucionado hasta llegar a los procesos que hoy se usan comúnmente. Sin embargo, el diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales se hizo empíricamente hasta mediados del siglo XX. A partir de 1960 se tuvieron avances importantes en el conocimiento del tratamiento de aguas residuales, y se formularon y cuantificaron los procesos originales. Pero la ciencia del tratamiento de aguas residuales no es estática; actualmente se desarrollan procesos avanzados con los cuales se puede producir agua potable a partir de las aguas residuales domésticas (Valdez & Vázquez, 2003).

En lo que compete a saneamiento y específicamente al tratamiento de aguas residuales, el agua recolectada de los pueblos y ciudades, debe devolverse al medio ambiente en condiciones tales que no la deteriore. Durante las últimas décadas de este siglo, el mundo ha venido observando con inquietud una serie de problemas relacionados con la disposición de desechos líquidos provenientes del uso doméstico, comercial e industrial. Muchas veces las masas receptoras de estos desechos líquidos son incapaces de absorber y neutralizar la carga contaminante. Por este motivo, las aguas residuales antes de su descarga a los cursos y cuerpos receptores, deben recibir algún tipo de tratamiento que modifique sus condiciones iniciales (Rojas, 2002).

Una de las prácticas más comunes de disposición final de las aguas residuales domésticas ha sido la disposición directa sin tratamiento en los cuerpos de agua superficiales y en el suelo; sin embargo, la calidad de estas aguas puede generar dos tipos de problemas:

de salud pública, particularmente importantes en países tropicales por la alta incidencia de enfermedades infecciosas, cuyos agentes patógenos se dispersan en el ambiente de manera eficiente a través de las excretas o las aguas residuales crudas (Mara, 1996), y los problemas ambientales, por afectar la conservación o protección de los ecosistemas acuáticos y del suelo, lo que contribuye a la pérdida de valor económico del recurso y del medio ambiente y genera a su vez una disminución del bienestar para la comunidad ubicada aguas abajo de las descargas (Pierce & Turner, 1990).

Ante esta problemática las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) cumplen un papel muy importante porque son diseñadas para producir efluentes que garanticen el cumplimiento de estándares de calidad, de acuerdo con las reglamentaciones existentes y con el aprovechamiento potencial del efluente, minimizando los problemas de salud pública y del medio ambiente (Von Sperling, 1996).

Actualmente existe la tendencia de agrupar los métodos de tratamiento en dos grandes grupos e independientemente de la eficiencia remocional de la carga orgánica: operaciones unitarias y procesos unitarios. En el primer caso predomina la aplicación de principios físicos y en el segundo la actividad química o biológica. La selección del proceso de tratamiento depende del uso al cual se le destinará al efluente tratado, la naturaleza del agua residual, la compatibilidad de las distintas operaciones y procesos, los medios disponibles de evacuación de los contaminantes finales y la posibilidad económica de las distintas combinaciones (Rojas, 2002).



Basándose en el contexto actual es importante investigar las tendencias actuales para el tratamiento de aguas residuales domésticas y a partir de ello elaborar proyectos que puedan ser viables, y que se adapten a las condiciones económicas, sociales y ambientales de nuestro país, por lo antes mencionado es importante investigar cuáles son los procesos o sistemas para el tratamiento de aguas residuales domésticas, así el objetivo de ésta investigación es determinar y analizar cuáles son las tendencias actuales para el tratamiento de aguas residuales domésticas.

## CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

Se realizó una revisión sistemática de la literatura científica, las revisiones sistemáticas intentan reunir todo el conocimiento de un área específica, destacando lo que se conoce acerca de un tema en concreto, a través de los resultados obtenidos en diferentes estudios y ofrecer así recomendaciones para la práctica e investigación futura (Grant & Booth, 2009; Higgings & Green, 2011).

La pregunta de investigación establecida para conducir el proceso metodológico fue la siguiente: ¿Cuáles son las tendencias actuales para el tratamiento de aguas residuales domésticas?

### **Proceso de selección**

Para realizar una búsqueda específica, se determinaron las siguientes palabras claves: tratamiento de aguas residuales, aguas residuales domésticas, aguas residuales, sewage water, y Biofilters wastewater treatment artículos científicos los cuales fueron seleccionados

de las siguientes bases de datos: BIBLAT, E-LIBRO, ProQuest, Sciencedirect, PubMed y Google académico.

En este estudio se tuvieron en cuenta los siguientes criterios de inclusión: artículos originales publicados en bases de datos científicas, entre los años 2007 y 2017, en idioma inglés y español, que describen las diferentes tecnologías utilizadas para el tratamiento de aguas residuales domésticas., los mismos que fueron organizados y registrados bajo un protocolo que recogía información de los siguientes campos: autores, año de publicación, tipo de publicación, país donde se realizó el estudio y título del artículo (TABLA 1).

Como criterio de exclusión se definió todas las diferentes tecnologías aplicadas al tratamiento de aguas residuales no domésticas, por ejemplo aguas residuales industriales, aguas residuales agrícolas, aguas residuales de minería, etc.

### **Proceso de revisión**

Todos los artículos fueron analizados por los investigadores, quienes anteriormente realizaron lecturas de los mismos. Los datos sobre autor, año de publicación, tipo de documento, país y título se organizaron en una tabla (Tabla 1).

Para analizar la producción científica en relación a los procesos de tratamiento de aguas residuales domésticas se agruparon los artículos en tres campos: 1) Filtros y Biofiltros 2) Humedales Artificiales y 3) combinación de tecnologías.

**TABLA 1**

*Artículos incluidos en la revisión según las palabras clave utilizadas.*

<b>Fuente</b>	<b>Tipo de documento</b>	<b>País</b>	<b>Título</b>
Higuera, 2017	Artículo científico	Colombia	Biofiltro con cascarilla de arroz y pasto vetiver para el tratamiento de aguas residuales domésticas.
Charris y Caselles, 2016	Artículo científico	Colombia	Eficiencia de eliminación de contaminantes del agua residual doméstica con humedales construidos experimentales plantados con <i>Cyperus ligularis</i> (Cyperaceae) y <i>Echinochloa colonum</i> (Poaceae).
Bedoya, Ardila y Reyes, 2014	Artículo científico	Colombia	Evaluación de un humedal artificial de flujo subsuperficial en el tratamiento de las aguas residuales generadas en la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Colombia.
Rojas, Vera y Vidal, 2013	Artículo científico	Colombia	Influencia de la estación y de las especies <i>Phragmites australis</i> y <i>Schoenoplectus californicus</i> en la eliminación de materia orgánica y nutrientes contenidos en aguas servidas durante la operación de puesta en marcha de humedales construidos de flujo horizontal subsuperficial.
Minchola y Gonzales, 2013	Artículo científico	Perú	Humedales artificiales en el tratamiento de las aguas residuales domésticas de la mina Barrick.
Rodríguez, Molina, Jácome y Suárez, 2013	Artículo científico	México	Humedal de flujo vertical para tratamiento terciario del efluente físico-químico de una estación depuradora de aguas residuales domésticas.
Viguera, Villanueva, Garzón, De Jesús, Chaires	Artículo científico	México	Performance of a biofilter sistema with agave fiber filter media for municipal wastewater treatment.

Fuente	Tipo de documento	País	Título
y Hernández, 2013.			
Ramos, Prieto, Cárdenas y Bernal, 2016	Artículo científico	Colombia	Implementación de un sistema de fitorremediación en zona aledaña a reserva forestal protectora El Malmo, Boyacá, Colombia.
Sosa, Viguera y Garzón, 2016	Artículo científico	México	Mezquitew ood chips ( <i>Prosopis</i> ) as filter media in a biofilter sistema for municipal wastewater treatment.
Vicente, 2016	Artículo científico	Ecuador	Determinación de la eficiencia del aserrín y la fibra de coco utilizados como empaques para la remoción de contaminantes en Biofiltros para el tratamiento de aguas residuales.
Bendida, Tidjani, Badri, Kendouci y Nabou, 2013.	Artículo científico	Argelia	Treatment of domestic wastewater from the town of Bechar by a sand filter (sand of Beni Abbes Bechar Algeria).
Casierra, Casalins, Vargas y Caselles, 2016	Artículo científico	México	Desinfección de agua residual doméstica mediante un sistema de tratamiento acoplado con fines de reúso.
Viteri y Velastegui, 2014	Artículo científico	Ecuador	Combinación biológica de dos especies en humedales vegetales sucesivos como biofiltros para la descontaminación de aguas residuales en la planta de tratamiento “El Peral” EP-EMAPA AMBATO.

Fuente: Elaboración propia.

### CAPÍTULO III. RESULTADOS

Se analizaron 13 artículos científicos los mismos que cumplían con los criterios de inclusión que los autores consideraron, de estos, 2 fueron recuperados de PubMed, 2 de Google académico, 1 de ProQuest, 7 de Biblat y 1 de ScienceDirect.

Entre los cinco primeros años del periodo de tiempo seleccionado se halló solamente 1 estudio, el cual es del 2009. En los años 2013 y 2017 se identificaron 12 publicaciones las mismas que representan el 92% de los artículos incluidos en esta investigación. De acuerdo al idioma, en inglés se ubicaron 3 artículos y en español 10 los cuales evidentemente representan la gran mayoría.

Los resultados procedentes de la revisión se describen a continuación según los campos de agrupación como se indica en la metodología, para un mayor entendimiento y claridad de la investigación.

#### **Filtros y biofiltros para el tratamiento de aguas residuales domésticas**

Se encontraron 4 artículos en los cuales para el proceso de tratamiento de aguas residuales utilizan filtros y biofiltros, en ellos detallan todos los procesos metodológicos que se llevan a cabo con dichos materiales. El artículo de Sosa, Viguera & Garzón (2016) abordó el tema de biofiltro para el tratamiento de aguas residuales domésticas. Éste estudio evaluó el rendimiento de un sistema de biofiltración sobre el lecho orgánico que emplea virutas de madera de mezquite (*Prosopis*) como material de filtro orgánico. También evaluó el efecto de las tasas de carga hidráulica para lograr los parámetros operativos necesarios para eliminar la materia orgánica, el material suspendido y los patógenos, cumpliendo con las regulaciones Mexicanas y Estadounidenses para la reutilización en el riego. Los investigadores instalaron dos biofiltros conectados en serie; el primero aireado y el segundo

sin aire, la fuente de aguas residuales municipales fue una planta de tratamiento ubicada en Durango, México. Como resultados obtenidos verificaron la eficiencia de eliminación de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) 92 %, demanda química de oxígeno (DQO) 78%, sólidos suspendidos totales (SST) 95% y cuatro unidades logarítmicas de coliformes fecales. La conductividad eléctrica en el efluente asegura que no causaría la salinidad del suelo. Concluyendo finalmente que las virutas de madera de mezquite se pueden considerar un material innovador adecuado como material de filtro orgánico para biofiltros que tratan aguas residuales domésticas.

El trabajo de Viguera, Villanueva, Garzón, de Jesús, Chaires y Hernández (2013) probó la fibra de agave como medio de filtro y como material portador de biopelículas para eliminar los contaminantes de las aguas residuales municipales para ello utilizaron tres reactores de biofiltración a escala de laboratorio en dos ensayos con cinco tasas de carga hidráulica diferentes, y para evitar compactación, la disminución de la presión y la obstrucción de los medios de filtro se realizaron una serie utilizando aireación mecánica. Después de 17 meses de operación continua las eficiencias de eliminación de los biofiltros aireados fueron 92.0% de demanda de oxígeno bioquímico, 79.7% de demanda química de oxígeno, 98. 0% huevos de helmintos, 99.9% de coliformes fecales y 91.9% de sólidos suspendidos totales. La calidad del efluente obtenida en estas condiciones cumplió con las normas de la EPA de México y los EE.UU. para riego agrícola y espacios verdes, excepto los coliformes totales, por lo que los efluentes deben desinfectarse. Dicho esto, los autores consideran que la fibra de agave es una opción favorable para su uso como material de empaque en procesos de biofiltración.

La investigación de Vicente (2016) estudió la eficiencia del aserrín y la fibra de coco para el tratamiento de aguas residuales, el trabajo de campo lo llevó a cabo con biofiltros

experimentales en los cuales, para obtener mejores condiciones hizo variantes en la estructura del material inerte. Realizó dos biofiltros pilotos, uno con empaque de aserrín y otro con empaque de coco en los cuales se hizo el tratamiento de aguas residuales domésticas, luego tomó muestras del efluente en cada reactor y lo sometió a pruebas de laboratorio. El análisis e interpretación de resultados arrojaron que la eficiencia en la remoción de contaminantes del biofiltro con aserrín es del 53.53 % el cual está fuera de la norma y de la fibra de coco es de 82.37% y está dentro de la norma de calidad Ambiental y descarga de efluentes de Ecuador, finalizando así que éste es más efectivo.

Bendida, Tidjani, Badri, Kendouci & Nabou (2013) probaron la efectividad de un sistema de filtro de arena para purificar las aguas residuales domésticas de la Ciudad de Bechar. Su dispositivo experimental consistió en una lata de plástico de 45 cm de largo, 35 cm de ancho y 30 cm de altura (5 Grava cm 8/15, y 5 cm de grava 3/8) y arena (10 cm). El estudio hidráulico del lecho mostró un flujo promedio de infiltración de las aguas residuales domésticas que fue de  $56.01 \pm 5.11 \text{ ml / s}$ , la obstrucción física del filtro es imposible porque la concentración de los sólidos en suspensión son bajos. En conclusión determinaron como válido el sistema de filtro de arena para el tratamiento de aguas residuales domésticas de la localidad de Bechar.

### **Humedales Artificiales para el tratamiento de aguas residuales domésticas.**

De los 13 artículos encontrados, 6 se concentraron en los humedales artificiales como procesos innovadores para el tratamiento de aguas residuales domésticas.

La publicación de Charres & Caselles (2016) evaluó la eficiencia de eliminación de materia orgánica (DQO), nitrógeno ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ) ortofosfatos, coliformes totales y coliformes fecales en cuatro humedales construidos de flujo subsuperficial horizontal a

escala piloto usando dos especies de plantas locales. Se construyeron 4 unidades de tratamiento de humedales y cada una tuvo una dimensión de 1.0 l x 0.6 A x 0.6 m de profundidad y fueron rellenos con grava granítica de diámetro entre 8 y 10 mm hasta una altura de 0.5 m; el agua residual alcanzó los 0.4 m de profundidad. Dos unidades fueron plantados con *Cyperus ligularis* y dos con *Echinochloa colonum*. Se sembró un total de 25 plántulas en cada humedal. La eficiencia de eliminación de bacterias coliformes, materia orgánica, amonio, nitrato y ortofosfatos estuvo entre 99.9, 93, 65, 71 y 32% para *E. ligularis*, y entre 99.99, 85, 54, 67 y 57% para *E. colonum*, respectivamente. *E. colonum* presentó las mayores eliminaciones de ortofosfatos, mientras que *C. ligularis* fue más eficiente en la eliminación de DQO, amonio y nitrato. Estos resultados permitieron a los investigadores a inferir que *C. ligularis* podría ser una especie de macrófita acuática recomendable en un sistema de humedales construidos a gran escala para el Caribe colombiano, dadas las altas eficiencias de eliminación de estos sistemas y la factibilidad de operación en zonas rurales donde no existen sistemas de tratamiento de agua residual.

Bedoya, Ardila & Reyes (2014) implementaron dos sistemas de humedales artificiales de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas residuales generadas por la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia (IUCMA) para lo cual utilizaron las especies *Typha latifolia* y *Cyperus papyrus*, por ser macrófitas propias de la región que se encuentran adaptadas a las condiciones climáticas del lugar. Para el proceso de tratamiento del agua residual, los dos humedales se alimentaron simultáneamente con el mismo afluente, al cual dividieron en dos corrientes. Después de realizar los análisis correspondientes determinaron que los mayores niveles de remoción de DQO (70.4 %), DBO<sub>5</sub> (96.7 %) y Sólidos Suspendidos Totales (81.4 %) presentes en el agua residual de la IUCMA, se llevó a cabo en el humedal que contenía la especie *T. latifolia*. Y en definitiva manifestaron que



los resultados obtenidos en su trabajo demostraron que es posible implementar la tecnología de humedales artificiales subsuperficiales para el tratamiento de aguas residuales domésticas en municipios de Medellín, de forma económica y ambientalmente responsable.

Por otro lado Rojas, Vera & Vidal ( 2013) centraron su investigación en los humedales de flujo subsuperficial (HSS) y cómo estos son influenciados por las diferentes estaciones y de las especies *Phragmites australis* y *Schoenoplectus californicus*, en la eficiencia de depuración en materia orgánica, por lo tanto implementaron dos unidades de HSS para cada especie bajo condiciones climáticas mediterráneas australes y después de 193 días de operación, mostraron que las eficiencias de eliminación fueron similares en todas las unidades. Estacionalmente, se pudo evidenciar una diferencia de eliminación para DQO (invierno: 18 a 30%, primavera: 45 a 55%) y Nitrógeno total (invierno: 25 a 65%, primavera: 25 a 35%).

Minchola & Gonzáles (2013) analizaron el potencial y la viabilidad de uso de un humedal artificial en el tratamiento de las aguas residuales domésticas en el afán de mitigar el impacto en la minera “Barrick,” siendo así sembraron los rizomas de “tifa“ *Typha angustifolia* debido a que es una especie tolerantes y a su fácil adaptación a una gran variedad de condiciones ambientales.

Los resultados permitieron estimar la eficiencia de remoción del DBO (73,00%), Sólidos Suspendidos Totales (84.00%), Coliformes fecales (93.00%), Coliformes totales (86.00%), y la tasa de incremento de oxígeno disuelto fue del 18.73%; en suma los autores concluyeron que los humedales artificiales son eficientes en la remoción de contaminantes e incremento de oxígeno disuelto y que éste tipo de tratamiento de aguas residuales es una forma segura, confiable, estética y económica ya que no requieren de suministro de

energía adicional, su funcionamiento se basa en la actividad combinada de plantas, microorganismos y sustrato, que en conjunto propician una depuración eficiente.

El artículo de Rodríguez, Molina, Jácome & Suárez (2013) se centró en la comparación de 2 humedales de flujo vertical, uno sembrado con la especie *Iris pseudacorus* y el otro sin ningún tipo de vegetación. La composición del lecho fue (en cm): 20 de arena, 10 de turba, 40 de gravilla y 10 de grava. Se realizaron 3 fases experimentales ensayándose las siguientes cargas hidráulicas: 4.2; 8.3; y 16.6 cm/d (orden cronológico). La evaluación la realizaron durante el estado estacionario del proceso. Luego de la exploración los investigadores concluyeron que para los contaminantes evaluados se obtienen mejores resultados en el humedal con plantas, que en el humedal sin plantas y que en el primero se obtiene una mejora de al menos 10 puntos porcentuales en eliminación de materia orgánica medida como DQO y amonio.

El trabajo de Ramos, Prieto, Cárdenas & Bernal, (2016) se centró en evaluar la eficacia de la fitorremediación de un humedal artificial de flujo subsuperficial en condiciones de uso real con el uso de *Cyperus papyrus* y *Schoenoplectus californicus* para el tratamiento de aguas residuales domésticas con un sistema piloto. Estas dos especies fueron seleccionadas de acuerdo a las recomendaciones hechas por Weisner (2013) siendo su combinación la más efectiva en la remoción de materia orgánica y nutriente; por otro lado, su morfología es ideal en sistemas subsuperficiales. El tamaño final del humedal es de 4m de largo, 3m de ancho y 1,5m de profundidad, con un volumen de 10 m<sup>3</sup>, y con la capacidad de depurar un caudal de 0.004375 L/hab-día. Después de realizar los análisis correspondientes los autores verificaron que con esta alternativa se logra una reducción de coliformes totales y fecales de 98.5% y 88% respectivamente. Así mismo, el DBO<sub>5</sub> y DQO tuvieron remociones de 27.4% y 25.2%, además de ello la percepción de los habitantes de la

zona fue positiva incluso se consideran capacitados para replicar el método mejorando las características propias del diseño.

### **Combinación de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales domésticas.**

Se encontraron 3 artículos que están relacionados con este contenido, todos ellos describen combinaciones diferentes de tecnologías que hoy en día pueden ser utilizados para el tratamiento de aguas residuales domésticas las cuales son un problema latente y por ende se debe seleccionar tecnologías sostenibles y eficientes.

Higuera, (2017) en su investigación evaluó un biofiltro a escala laboratorio para el tratamiento del efluente de la PTAR del Inpec de Yopal, Casanare, cuya finalidad era lograr un efluente de calidad óptima para reúso del agua en riego agrícola. Ésta combinación consiste en un biofiltro, un humedal artificial y un sistema de desinfección con cloro para eso se usó cascarilla de arroz intercalada con grava sobre el cual se sembró pasto vetiver. Al finalizar el estudio y teniendo en cuenta los resultados obtenidos y analizando la eficiencia del humedal a escala piloto de este sistema de tratamiento la autora resalto en un 99% la eficiencia de remoción de coliformes fecales y *Escherichia Coli* y por ende también indicó que ésta agua puede ser reutilizada en el riego de pastos o en cultivos agrícolas y que cumple los requisitos ambientales.

Afirmó además que el uso de la cascarilla de arroz como sustrato orgánico en el humedal, fue de gran importancia ya que ésta presenta óxidos metálicos que hacen que se aumente la alcalinidad y disminuye la acidez del agua, por ende, se disminuyen las grasas dentro del tratamiento.

Casierra, Casalins, Vargas & Caselles, (2016) ajustaron su investigación en la combinación de sistemas biológicos con tecnologías avanzadas de oxidación (TAO) para el

tratamiento de aguas residuales, abordando así la desinfección de agua residual doméstica con fines de reutilización, evaluando el potencial de combinación de un proceso fotocatalítico solar que utiliza peróxido de hidrógeno (UV solar/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) con un sistema de humedales construidos de flujo subsuperficial horizontal, primero se verificó el funcionamiento de las tecnologías por separado y luego se procedió a evaluar su eficiencia de forma acoplada. Una vez terminada la investigación los autores destacaron la eliminación de coliformes totales y fecales fue en un 99.999%, mostrando un efecto sinérgico del acoplamiento de ambos sistemas. Al mismo tiempo la mayoría de los parámetros medidos cumplió con lo exigido por organismos internacionales, como la Organización Mundial de la Salud , Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, así como la normativa colombiana plasmada en el decreto 1594 de 1984 y la resolución 1207 de 2014. Tal y como los investigadores señalaron el efecto sumatorio del tratamiento del agua residual con el sistema biológico y las TAO permitió evidenciar una mejor calidad del agua para efectos de reutilización en actividades como el riego de zonas verdes por lo tanto este sistema acoplado es una tecnología prometedora, pues presenta costo de operación y mantenimiento relativamente bajo comparado con otras tecnologías convencionales, por la energía solar y la capacidad fitodepuradora de los humedales.

Y para finalizar Viteri & Velástegui (2014) Para el tratamiento de aguas residuales en su investigación proponen como alternativa al manejo de aguas residuales a través de plantas remediadoras en humedales artificiales como un sistema biológico, un primer humedal que contiene plantas de lechuguín y un segundo humedal que contiene plantas de carrizo. El agua es sometida a un tratamiento primario convencional y posteriormente a los dos humedales señalados. La descontaminación del agua se lleva a cabo por la acción de

bacterias y otros microorganismos presentes en las raíces de las plantas y rizomas. Luego de la investigación realizada los autores concluyeron que el sistema de humedales puede ser utilizado como un complemento en la descontaminación de aguas residuales de tipo doméstico, luego de que éstas sean tratadas por métodos convencionales.

#### **CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES**

El objetivo de ésta investigación fue determinar cuáles son las tendencias actuales para el tratamiento de aguas residuales domésticas. A continuación se destacan los aspectos relevantes y se comparan con otras investigaciones realizadas.

De los 13 artículos encontrados que respetaban los criterios de inclusión, se observó que la mayoría de publicaciones datan de los años 2013 en adelante de los cuales los procesos de tratamiento de aguas residuales que mayor presencia tienen son los humedales artificiales, comparando esta información Piló (2013) afirma : “Las tendencias actuales en el ámbito internacional sobre investigación y desarrollo de tecnologías de tratamiento de aguas, introducirán las mejoras que serán implantadas en los próximos años para la solución de las diferentes problemáticas” (p.50). En las que este autor también considera a los humedales.

El uso de humedales artificiales construidos para el tratamiento de aguas residuales ha aumentado por lo que es necesario estudiar a fondo el funcionamiento de éstos sistemas y la importancia de los mecanismos biológicos e hidrodinámicos que tienen lugar en la reducción de la carga orgánica (como cita Renato, 2013). Estos forman parte del sistema de depuración proyectado y suelen tener un fondo o base impermeable sobre la que se deposita

un lecho de gravas, suelo u otro medio para el desarrollo de las plantas, que constituyen el principal agente depurador (como cita Angélica, 2013).

Noyola y Leonor (2013) afirman que: “Las mayores ventajas sobre otros procesos son su bajo costo de operación, su fácil instalación y mantenimiento, además de producir un efluente de buena calidad ( $DBO_5$  promedio de 25 mg /l), también pueden llegar a ser altamente eficientes en la eliminación de bacterias y microorganismos patógenos. Este método de tratamiento biológico ofrece también un aspecto agradable a la vista y, en caso de sistemas más grandes, puede constituir asimismo una reserva para la vida silvestre”. (p. 34-35).

Por el contrario la otra inclinación para el tratamiento de aguas residuales domésticas fue mediante biofiltros. Al respecto Noyola y Leonor (2013) indican que: “El principal componente del biofiltro es el medio biológico filtrante, en donde los compuestos indeseables en el aire, en primera instancia, son absorbidos y adsorbidos para que puedan ser degradados posteriormente por los microorganismos. El material de empaque del medio biológico filtrante es una mezcla de materiales naturales con un área específica y espacios vacíos grandes”. (p.35). Sin embargo los artículos encontrados aún no han sido puestos a prueba a escala real debido a ello es recomendable investigar más en estos campos sin embargo eso no quiere decir que no se sean efectivos todo lo inverso se ha demostrado que son muy eficientes.

Y para terminar tenemos los sistemas en donde se han combinado diferentes procesos para el tratamiento de aguas residuales, según todo lo revisado éstos se complementan

adecuadamente y son capaces de funcionar con mayor eficacia. Aunque en esta área se encuentran pocos estudios hasta la fecha.

En conclusión existe una amplia gama de procesos para el tratamiento de aguas residuales domésticas sin embargo de acuerdo a esta revisión realizada consideramos como tendencias actuales a los procesos de humedales artificiales construidos y a los biofiltros. Todos en general han demostrado eficiencia de eliminación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Suspendidos Totales, Nitrógeno, coliformes fecales, coliformes totales, y entre otros de acuerdo a los parámetros en los cuales se centró cada investigación. Además se puede recalcar que de los humedales artificiales han sido puestos a prueba a escala real y las poblaciones en donde se aplicaron quedaron muy satisfechas con este sistema, por lo que planteamos orientar esfuerzos para potenciarlos y que puedan ser aplicados en beneficio de nuestras comunidades sobre todo en las zonas rurales.(Higuera Infante & Infante, 2017).

## REFERENCIAS

- Alvaluz, A., Naranjo, J., Nieto, D., & Sierra, M. (2016). Implementación de un sistema de fitorremediación en zona aledaña a reserva forestal protectora El Malmo, Boyacá, Colombia. *Proquest*, (7). Recuperado de <https://search.proquest.com/docview/1954855599/fulltextPDF/9561D6CF74714922PQ/5?accountid=36937>
- Bendida, A., Tidjani, A., Badri, A., Kendouci, A., & Nabou, M. (2013). *Treatment of domestic wastewater from the town of Bechar by a sand filter (sand of Beni Abbes Bechar Algeria)*. Lecture, Laboratory of Hydrology and management of Water resources (HYDRE), ENERGARID laboratory, University of Bechar.
- Bedoya, J., Ardila, A., & Reyes, J. (2014). Evaluación de un humedal artificial de flujo subsuperficial en el tratamiento de las aguas residuales generadas en la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Colombia. *Biblat*, (1). Recuperado de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-49992014000300004&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992014000300004&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- Charris, J., & Caselles, A. (2016). Eficiencia de eliminación de contaminantes del agua residual doméstica con humedales construidos experimentales plantados con *Cyperus ligularis* (Cyperaceae) y *Echinochloa colonum* (Poaceae). *Biblat*, (1). Recuperado de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-24222016000600093&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222016000600093&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- Del Carmen Piló A., (2013). Diseño de la investigación de las condiciones actuales de operación de las plantas de tratamiento de aguas residuales del área metropolitana de Guatemala: el caso de la planta de ciudad Peronia. Título. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.



- Grant, M. & Booth, A. (2009). A typology of reviews: An analysis of 14 review types and associated methodologies. *Health Information and Libraries Journal*, 26(2), 91-108.
- Higgins, J. & Green, S. (Eds.). (2011). *Cochrane handbook for systematic reviews of interventions. Version 5.1.0. The Cochrane Collaboration*. Consultado el 19 de noviembre, 2012 en <http://www.cochrane.org/handbook>
- Higuera, S. (2017). Biofiltro con cascarilla de arroz y pasto vetiver (C. Zizanioides) para el tratamiento del efluente de la PTAR del INPEC – Yopal, Casanare, Colombia. *Biblat*, (1). Recuperado de <http://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/1842/2061>
- Higuera, S. (2017). Biofiltro con cascarilla de arroz y pasto vetiver (C. Zizanioides) para el tratamiento del efluente de la PTAR del INPEC – Yopal, Casanare, Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 8(1). Recuperado de <https://doi.org/10.22490/21456453.1842>
- Minchola, J., & Gonzáles, F. (2013). Humedales artificiales en el tratamiento de las aguas residuales domésticas de la mina Barrick. *DOCPLAYER*. Recuperado de <https://docplayer.es/18817923-Humedales-artificiales-en-el-tratamiento-de-las-aguas-residuales-domesticas-de-la-mina-barrick.html>
- Noyola A., Morgán J. y Guereca L., (2013). Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales domésticas. Instituto de ingeniería UNAM. México. Recuperado de [http://www.pronatura-sur.org/web/docs/Tecnologia\\_Aguas\\_Residuales.pdf](http://www.pronatura-sur.org/web/docs/Tecnologia_Aguas_Residuales.pdf)

Rodríguez, M., Molina, J., Jácome, A., & Suárez, J. (2012). Humedal de flujo vertical para tratamiento terciario del efluente físico-químico de una estación depuradora de aguas residuales domésticas. *Biblat*, (1). Recuperado de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-77432013000200007&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-77432013000200007&lng=es&nrm=iso&tlng=es)

Rojas, K., Vera, I., & Vidal, G. (2013). Influencia de la estación y de las especies *Phragmites australis* y *Schoenoplectus californicus* en la eliminación de materia orgánica y nutrientes contenidos en aguas servidas durante la operación de puesta en marcha de humedales construidos de flujo horizontal subsuperficial. *Biblat*, (1). Recuperado de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-62302013000400023&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-62302013000400023&lng=es&nrm=iso&tlng=es)

Sosa, D., Viguera, J., & Garzón, M. (2016). Virutas de madera de mezquite ( *Prosopis* ) como medio filtrante en un sistema de biofiltro para el tratamiento de aguas residuales municipales. *Pubmed*, (1). Recuperado de <https://iwaponline.com/wst/article-abstract/73/6/1454/19293/Mesquite-wood-chips-Prosopis-as-filter-media-in-a?redirectedFrom=fulltext>

Suarez C., (2011). Tratamiento de aguas residuales municipales en el valle del Cauca. Maestría en Ingeniería área de énfasis en ingeniería. Universidad del valle. Santiago de Cali.

Vicente, J. (2016). Vista de Determinación de la eficiencia del aserrín y la fibra de coco utilizados como empaques para la remoción de contaminantes en Biofiltros para el tratamiento de aguas residuales. Recuperado de <http://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/index.php/revista/article/view/104/110>

Vigueras, J., Villanueva, I., Garzón, M., de Jesús Návar, J., Chaires, I., & Hernández, C.

(2013). Rendimiento de un sistema de biofiltro con medios de filtro de fibra de agave para el tratamiento de aguas residuales municipales. *Pubmed*, (1). Recuperado de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23925188>

Viteri, M., & Velateguá, R. (2014). Combinación biológica de dos especies en humedales vegetales sucesivos como biofiltros para la descontaminación de aguas residuales en la planta de tratamiento “el peral” Ep-Emapa Ambato (Maestría). Universidad Técnica de Ambato.