



Ingeniería Ambiental

**REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA SOBRE TRATAMIENTO
DE LIXIVIADOS POR MEDIO DE HUMEDALES
CONSTRUIDOS EN COLOMBIA**

Andrea Martínez Palacio



**Universidad[®]
Católica
de Manizales**

VIGILADA MINEDUCACIÓN

*Obra de Iglesia
de la Congregación*



**Hermanas de la Caridad
Dominicas de La Presentación
de la Santísima Virgen**

**REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA SOBRE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS POR
MEDIO DE HUMEDALES CONSTRUIDOS EN COLOMBIA**

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de *Ingeniería
ambiental*

Modalidad de grado: Revisión de tema

Alejandro Rincón¹

Andrea Martínez Palacio

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE MANIZALES
FACULTAD DE
ARQUITECTURA E INGENIERIA AMBIENTAL
MANIZALES, CALDAS

2021

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA SOBRE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS POR MEDIO DE HUMEDALES CONSTRUIDOS EN COLOMBIA

Contenido	
RESUMEN	4
ABSTRACT	5
INTRODUCCIÓN	6
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	7
JUSTIFICACIÓN	9
ANTECEDENTES	11
Aguas Lixiviadas	11
Tratamiento De Los Lixiviados	12
Aplicación del Uso de Humedales Artificiales para el Tratamiento de Aguas Lixiviadas.	13
MARCO TEÓRICO, PALABRAS CLAVE Y CRITERIOS A EVALUAR	15
Marco teórico	15
Humedales Artificiales y su Potencial en el Tratamiento de Lixiviados	15
Palabras clave	17
Criterios a evaluar	17
OBJETIVO GENERAL	17
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
METODOLOGÍA	18
Revisión del estado del arte.	18
PRIMER OBJETIVO ESPECÍFICO: ESTABLECER LOS ARTÍCULOS MÁS DESTACADOS EN CASOS DE APLICACIÓN DE TRATAMIENTO DE AGUAS LIXIVIADAS USANDO HUMEDALES CONSTRUIDOS.	19
BIBLIOMETRÍA	19
Artículos Encontrados Clasificados Por Área De Estudio	19
Artículos Encontrados Clasificados Por Base De Datos	20
Metodologías Utilizadas En Los Artículos Encontrados	21
FICHAS BIBLIOGRÁFICAS	22
SEGUNDO OBJETIVO ESPECÍFICO: DETERMINAR LAS CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE LOS HUMEDALES CONSTRUIDOS: TIPO DE HUMEDAL, PROFUNDIDAD, CARGA HIDRÁULICA, Y PRINCIPALES PARÁMETROS DEL	

LIXIVIADO A TRATAR (PH, CONDUCTIVIDAD, DQO, CONCENTRACIÓN DE METALES, SÓLIDOS, ENTRE OTROS).	23
TERCER OBJETIVO ESPECÍFICO: IDENTIFICAR LOS NIVELES DE REMOCIÓN OBTENIDO DE LOS PRINCIPALES PARÁMETROS (METALES, SÓLIDOS, DQO, CONDUCTIVIDAD).	27
RESULTADOS	33
CONCLUSIONES	34
REFERENCIAS	35
ANEXOS	43
ANEXO I. FICHAS BIBLIOGRÁFICAS	43
ANEXO II. BASE DE DATOS	1

RESUMEN

Los humedales artificiales como sistemas de depuración de aguas residuales son áreas de construcción creadas por las personas de manera controlada mediante la cual se reproducen una serie de mecanismos que contribuyen a eliminar contaminantes que se encuentren presentes en aguas residuales. Para la presente investigación se realizará, basándonos en dicha importancia, en la procedencia de la implementación de humedales artificiales para el tratamiento de aguas especialmente lixiviadas.

El presente trabajo pretende dar cuenta del estado del arte que para la publicación del mismo se encuentra de manera tanto local como internacional. Se espera por tanto obtener como resultado las diferentes modalidades y mecanismos que permitan establecer un tratamiento de carácter natural de las aguas lixiviadas por medio de humedales artificiales. De igual manera se podrán establecer las diferencias entre los estudios realizados, las metodologías y demás situaciones particulares de cada uno de los artículos aquí referenciados. En este trabajo se realiza una diferenciación entre las diferencias incluso de carácter estructural de los humedales artificiales y los efectos que aquellos tienen para este tipo de tratamiento. Es de agregar que la tecnología de los humedales artificiales para el tratamiento constituye la solución a múltiples problemas generados por la contaminación de los cuerpos de aguas. Por lo anterior se entiende que por medio de este sistema de tratamiento se lograrán mitigar las consecuencias ambientalmente negativas y contribuir a la ampliación de experiencias compiladas bajo la revisión sistemática de bibliografía que existe al respecto.

La eficiencia que presentan los humedales artificiales, sea cualquiera de sus tipos y modalidades, dará cuenta de los beneficios que como consecuencia acarrea su implementación para el tratamiento de aguas lixiviadas. Finalmente, se establecen las posturas que en mayor sentido se encuentran discordantes al respecto para posteriormente

disponer de una serie de conclusiones que permiten tener un panorama más amplio de lo establecido por la bibliografía aquí referenciada.

ABSTRACT

Artificial wetlands as wastewater treatment systems are construction areas created by people in a controlled manner through which a series of mechanisms are reproduced that help eliminate pollutants that are present in wastewater. For this research, based on this importance, the origin of the implementation of artificial wetlands for the treatment of specially leached water will be carried out.

The present work tries to give an account of the state of the art that for its publication is found both locally and internationally. It is therefore expected to obtain as a result the different modalities and mechanisms that allow establishing a natural treatment of the leached waters by means of artificial wetlands. In the same way, the differences between the studies carried out, the methodologies and other particular situations of each of the articles referenced here can be established. In this work, a differentiation is made between the differences, even of a structural nature, of constructed wetlands and the effects that they have for this type of treatment. It should be added that the technology of artificial wetlands for treatment constitutes the solution to multiple problems generated by the contamination of water bodies. Therefore, it is understood that through this treatment system, it will be possible to mitigate negative environmental consequences and contribute to the expansion of experiences compiled under the systematic review of bibliography that exists in this regard.

The efficiency of artificial wetlands, whatever their types and modalities, will account for the benefits that their implementation entails for the treatment of leached water. Finally, the positions that are more discordant in this regard are established in order to later have a series

of conclusions that allow us to have a broader panorama than that established by the bibliography referenced here.

INTRODUCCIÓN

En el entendido de que los humedales artificiales son considerados sitios o zonas construidas e intervenidas por la voluntad humana en las que de manera regulada se producen mecanismos con la finalidad de eliminar contaminantes posibles que se encuentren inmersos en aguas residuales o lixiviados, por medio de procedimientos físicos, químicos o biológicos, habrá de tomarse en cuenta las características que presentan cada uno de los tipos de humedales artificiales.

Con respecto a lo anterior, podría decirse en un principio que los humedales artificiales se constituyen como un ecosistema realizado y desarrollado por las personas cuyos principales actores son:

- En una parte, el sustrato, el cual contribuye a servir de soporte de la vegetación, lo cual permite que esta se fije en la población microbiana que participa en la mayoría de procesos de eliminación de contaminantes.
- La vegetación, debido a que por medio de diferentes tipos de vegetación se ha logrado demostrar que consiste en el agente que oxigena al sustrato y la eliminación de nutrientes para proceder al desarrollo de la comunidad microbiana.
- El agua a tratar, la cual circula entre el sustrato y la vegetación.

Es de tomar en consideración que los mecanismos convencionales de tratamiento de lixiviados, los cuales son producto de las consecuencias negativas de deposición en rellenos

sanitarios debido al devenir normal de las sociedades, habrá ser objeto de tratamiento. Evidentemente el tratamiento que se espera realizar, tanto desde las esferas gubernamentales como privadas, va a girar en un tratamiento eficiente y con bajo costo en su instalación o implementación por lo que de aquí surge la necesidad de contar con un mecanismo que cumpla tales requisitos. Asimismo, se espera realizar una síntesis de los múltiples tipos de humedales artificiales existentes y la manera por medio de la cual podrán contribuir al tratamiento efectivo de lixiviados producto de la descomposición de los residuos existentes en los rellenos sanitarios, mayormente.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Son múltiples las consecuencias que para el medio ambiente resultan lesivas producto del devenir normal y los hábitos de consumo incluso de las sociedades actuales, no es de ocultar que las personas diariamente producen en mayor medida que otros seres vivos cualquier cantidad de residuos sólidos. Frente a la generación en gran escala de residuos sólidos atrae una serie de consecuencias en mayor medida negativas de salud pública y de carácter ambiental, para lo cual se requiere de toma de medidas necesarias ya sean del ámbito gubernamental e incluso en moderar los hábitos de la vida cotidiana de las sociedades. Los problemas sanitarios, el consumo excesivo de bienes y servicios tienen como consecuencia, entre otras, la generación de residuos, en gran medida sólidos; en otra medida y de manera incluso mayormente preocupante, hídricos como lo son las aguas lixiviadas. Es de tomar en consideración que los residuos sólidos al encontrarse en su etapa de disposición final generan una serie de consecuencias a su vez de que por la misma descomposición de los mismos se generan las ya mencionadas aguas lixiviadas. Lo anterior acarrea múltiples consecuencias

nocivas como enfermedades que podrían catalogarse como altamente peligrosas, de igual manera su propagación puede escalar niveles desmesurados.

El no tratamiento de aguas lixiviadas trae consigo una serie de afecciones ambientales e incluso a la salud pública. La categoría de un problema realmente alarmante surge debido a que tales lixiviados que se generan por la carga orgánica descompuesta de los residuos sólidos se encuentran en mayores volúmenes debido a la inclusión de factores climáticos como la precipitación y la temperatura. Es importante mencionar que tales lixiviados se encuentran en conjuntos de otras sustancias presentes en otros residuos sólidos lo cual ocasiona impactos en el recurso hídrico al tener contacto con él. Es por lo anterior que requiere un tratamiento previo a su vertimiento a los cuerpos hídricos.

La necesidad de establecer un control a tal problemática surge de la importancia que posee prestar con especial atención al proceso de descomposición de los residuos sólidos al encontrarse en los vertederos y rellenos sanitarios. Actualmente, los modelos de depuración y de tratamiento de dichas aguas lixiviadas resultan ser costosos e incluso complejos para eliminar metales pesados que aquellas contienen. Es misión de este trabajo dar cuenta de los datos encontrados para contribuir a otorgar alternativas que permitan un tratamiento que sea menos costoso e incluso mayormente eficiente para el tratamiento de dichas aguas lixiviadas. Frente al anterior problema que se desprende en múltiples inconvenientes cabe relacionarse la siguiente pregunta de investigación:

¿Qué tan efectivos podría ser la implementación de humedales artificiales para el tratamiento de aguas lixiviadas?

JUSTIFICACIÓN

Múltiples estudios han dado cuenta de que la gran cantidad de residuos sólidos que se generan en el mundo son evidentemente lesivos para el medio ambiente. Del crecimiento poblacional de las ciudades y zonas urbanas se evidencian las consecuencias que en temas de residuos se refiere. Lo anterior requiere urgentemente una toma de medidas y precisamente al hablar de residuos sólidos en su disposición final, no debe obviarse el hecho de que los mismos, en su proceso de descomposición generan aguas lixiviadas las cuales necesariamente deben pasar por un procedimiento especial de tratamiento para que sean posteriormente vertidas a los cuerpos hídricos. Es importante mencionar que las maneras de eliminar los agentes que son nocivos para el medio ambiente contenidos en tales aguas lixiviadas se eliminan conforme a diferentes métodos, en mayor medida costosos los cuales en muchos aspectos no resultan ser lo suficientemente eficientes en dicho tratamiento. Esto evidencia la búsqueda de nuevas alternativas que compensen la eficiencia del tratamiento de las aguas lixiviadas en conjunto con el factor económico que permita un buen desempeño.

La importancia de este trabajo radica en la relevancia que supone la creación de nuevas tecnologías para la mitigación de consecuencias ambientalmente negativas y de salud pública. Es abiertamente conocido que la acumulación y almacenamiento de residuos sólidos en los

rellenos sanitarios generan aguas lixiviadas las cuales acarrear consecuencias nocivas al momento de ser vertidas a los cuerpos hídricos debido a que las mismas se forman por la descomposición de elementos que se encuentran en disposición final. El riesgo que representa en la contaminación incluso de aguas subterráneas y el suelo que circunda el área de los rellenos sanitarios son unos de los múltiples temas que deben ser objeto de toma de medidas tendientes a contrarrestar estos efectos negativos. El contar con el conocimiento de estudios técnicos que plantean diversas metodologías alternas en el tratamiento de dichas aguas, como lo son los humedales artificiales, constituyen un conglomerado amplio de conocimientos para posteriormente dar aplicabilidad al mecanismo más idóneo. Siendo el método propiamente utilizado en Colombia el uso de rellenos sanitarios para la disposición final de los residuos sólidos se precisa encontrar las alternativas suficientes para aplicar el método más eficiente en el tratamiento de aguas lixiviadas. Es de aclarar que la justificación que en mayor medida motiva el presente trabajo se centra fundamentalmente en la compilación de alternativas de tratamiento de aguas lixiviadas por medio de humedales artificiales para dar cuenta de que este mecanismo es incluso más económico que los tradicionales utilizados en el país. Aquello contribuye a la eliminación de las macromoléculas para que al momento de que tales aguas sean vertidas a los cuerpos hídricos lo hagan en condiciones idóneas para evitar la contaminación de los mismos.

Bien sabido resulta que los humedales artificiales en gran medida han contribuido al tratamiento de aguas residuales debido a que en sus estructuras los mismos pueden resultar incluso más económicos que los mecanismos que normalmente se utilizan para tratar dichas aguas, como las lixiviadas. Es importante mencionar que, a partir de la economía, primeramente, se busca eficiencia.

ANTECEDENTES

El uso de los sistemas de humedales artificiales diseñados con vegetación propia de los humedales naturales comenzó aproximadamente a finales del siglo XX en Alemania, con el trabajo de la Doctora Seidel del Instituto Max-Planck.

En este estudio se observó que la arena común era capaz de reducir una gran cantidad de sustancias que se encontraban presentes en aguas residuales, además se identificó que diferentes patógenos desaparecían al pasar estas aguas y circular por medio de la plantación establecida en este estudio, finalmente se observó la eliminación de metales pesados e hidrocarburos.

Para la década de los 70 y los 80, En Europa se destacaron una serie de trabajos en donde se interesaban por la tecnología de los humedales artificiales para tratamiento de agua adelantados por él Doctor Kickuth, Sus estudios se encuentran encaminados en el

procedimiento de tratamiento de aguas residuales en la “zona del Carrizo común (*Phragmites australis*) y en el suelo en el que las plantas crecen”. (Tavarez, 2013).

Aguas Lixiviadas

El crecimiento poblacional ha contribuido al aumento de residuos sólidos lo cual genera una problemática de carácter ambiental altamente preocupante. a esto se debe sumar que la acumulación de basura o residuos sólidos que se encuentran en la disposición final de los rellenos sanitarios, al momento de descomponerse generan lo denominado como aguas lixiviadas, lo cual pone en riesgo la misma supervivencia de la población y demás especies que han desaparecido por tal motivo. lo anterior, debido al vertimiento de dichas aguas a cuerpos hídricos que no se encuentran contaminados, y que cuyos agentes patógenos, contaminantes y metales pesados introducen a los cuerpos de agua en un impacto ambiental en gran proporción. Es importante mencionar que la naturaleza de estas aguas lixiviadas resultado de colarse en la descomposición de residuos sólidos que se encuentran principalmente en los rellenos sanitarios se podría catalogar como un contaminante extremadamente nocivo para el medio ambiente. Estos lixiviados se conforman por la movilización de residuos orgánicos degradados por la acción del calor, el viento y la humedad; los cuales se mezclan con nitratos y fosfatos pulverizados que se encuentran presentes en el suelo. A este conjunto se le mezclan una serie de líquidos de cualquier índole tomando en consideración que la procedencia de los mismos corresponde hacer de residuos sólidos. Su descomposición puede variar en varios grados de toxicidad siendo inocuo o altamente tóxico dependiendo de los elementos por los cuales se encuentra conformado. Las aguas lixiviadas, por regla general tienen varias concentraciones de nitrógeno, hierro, cloruros, fenoles, entre otros. La anterior problemática requiere de una especial atención de

índole gubernamental para el tratamiento de dichas aguas las cuales, por regla general, son bastante costosas en su aplicación, además de que su eficiencia es bastante dudosa.

Tratamiento De Los Lixiviados

Al encontrar como necesidad el tratamiento de aguas lixiviadas, se establecen una serie de medidas tendientes a controvertir los efectos ambientalmente negativos con el vertimiento de dichas aguas lixiviadas a los cuerpos hídricos. En muchos países el tratamiento de los lixiviados se almacena en balsas las cuales se encuentran cubiertas de hormigón. Estas balsas, en mayor medida son impermeables, se encuentran fabricadas con polietileno en donde posteriormente pasan por una depuradora para finalmente depurarse en una balsa de decantación. Actualmente, la depuración se realiza por medio de un procedimiento biológico en el que se utilizan bacterias nitrificantes y desnitrificantes con el uso de reactores a presión. Estas aguas se someten a ultrafiltración para separar fangos biológicos que emanan del efluente. Al final del proceso de decantación dichas aguas pasan por diferentes sistemas de filtrado y se almacenan hasta ser vertidas a los cuerpos de agua.

El anterior, es uno de los múltiples tratamientos y metodologías utilizadas para el tratamiento de aguas lixiviadas. Sin embargo, existen más tratamientos complementarios que actualmente se utilizan sobre todo en muchos países de Europa como por ejemplo la utilización de reactores con carbón activo.

Aplicación del Uso de Humedales Artificiales para el Tratamiento de Aguas Lixiviadas.

Son múltiples los hallazgos que se han encontrado con respecto a la eficiencia de los humedales artificiales para tratar aguas lixiviadas. algunos de los ejemplos que podrían destacarse y que se han aplicado hasta ahora de manera satisfactoria versan en establecer que el diseño estructural de los humedales artificiales podría variar dependiendo del tipo de planta, cómo los materiales que se van a utilizar filtran el filtro. es importante mencionar, que se debe tener en cuenta el agua residual que se va a tratar y que para la investigación en concreto se va a tratar de aguas lixiviadas. de aquí, que en su mayoría el uso de materiales como grava y el carbón activo son componentes sumamente benéficos, los cuales para el 2016 se estableció la capacidad de absorción de carbón activado en lodos que se presentan como una central de sacrificio de aves. La metodología utilizada fue por medio de una caldera en donde se secaron dichos lodos para posteriormente llevar a cabo la carbonización, seguida de una pirólisis. La absorción que se obtuvo como resultado fue del 88.44%, mientras que el carbón convencional absorbe un aproximado de 86.43%. (Jaramillo-gallego, M., Agudelo-Cadavid, R., & Peñuela-Mesa, G., A. 2016, citado por M, Marín. 2019).

En el mismo año, en España se evidenció la necesidad del tratamiento de aguas para un cultivo de flores, en donde se buscaba optimizar el tratamiento por medio de la precipitación y oxidación química. La metodología aplicada fue de tipo experimental realizada a partir de 2 pasos. Por una parte, el acondicionamiento físico químico y biológico; mientras que por otra parte, “la remoción de varios contaminantes, la demanda química de oxígeno, demanda biológica de oxígeno, sólidos totales, sólidos suspendidos totales ph 30 y oxígeno disuelto” (Marín, 2019). Los resultados de este proyecto se establecen en que los sectores productivos consideran el agua como un recurso indispensable para su cadena de producción la cual necesariamente va a terminar siendo contaminada y Es por ello, Que se requiere de la implementación de medidas que contribuyan a mejorar la calidad del agua y a tratar todas las aguas residuales evitando la contaminación. , que la empresa Asocolflores implementó

humedales verticales cómo la tecnología para el tratamiento de sus aguas residuales debido al bajo costo y funcionamiento eficiente, así como el poco mantenimiento.

Un procedimiento implementado en la descontaminación del agua también puede ser por medio de fitorremediación, los cuales fueron utilizados en el sector porcícola, en Colombia, en el año 2010 implementando humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales. Es de aclarar, que la fitorremediación puede constituirse como una práctica de limpieza de carácter pasiva debido a que las plantas contribuyen a retener y descomponer contaminantes que se encuentran dentro de las aguas residuales lo cual también podría aplicar para la retención de metales pesados en aguas lixiviadas y posteriormente convertirlos en compuestos menos peligrosos.

MARCO TEÓRICO, PALABRAS CLAVE Y CRITERIOS A EVALUAR

Marco teórico

Humedales Artificiales y su Potencial en el Tratamiento de Lixiviados

Los humedales artificiales podrían considerarse como áreas construidas por el hombre, las cuales son controladas y destinadas para el tratamiento de lixiviados. Es importante mencionar, que en muchos estudios se ha demostrado la eficiencia en la eliminación de contaminantes que se encuentran presentes en aguas residuales, especialmente en aguas lixiviadas. Es de aclarar, que básicamente se trata de eliminación de agentes altamente contaminantes por medio de procesos físicos, biológicos y químicos. (Tavarez, 2013)

Su característica principal de naturaleza artificial surge a partir del confinamiento del humedal empleando sustratos diferentes del terreno original para enraizar plantas especialmente seleccionadas. Las cuales servirán al tratamiento de dichas aguas lixiviadas y Asimismo contribuir al vertimiento de las mismas en cuerpos hídricos generando un menor impacto ambiental negativo.

Previamente, se debe relacionar que la tecnología de los humedales artificiales que actualmente se utiliza en múltiples países cuenta con una serie de factores como el sustrato, el cual contribuye al soporte de la vegetación, fijandola con la población microbiana siendo un factor importante en la eliminación de contaminantes; Por otra parte, la vegetación ayuda a la oxigenación del sustrato; y finalmente, el agua a tratar la cual debe circular por medio del sustrato y la vegetación que aquel contiene. (Tavarez, 2013).

Los principales mecanismos que se requieren para la eliminación de contaminantes versan principalmente en aguas residuales urbanas, las cuales pueden tratarse mediante el empleo de tales humedales. Así mismo, los rellenos sanitarios son la fuente clave por medio de la cual las aguas lixiviadas tienen lugar, lo anterior, debido a que la descomposición de los residuos sólidos que se encuentran en su disposición final son los responsables de proporcionar estos agentes contaminantes. algunos de los organismos inmersos en la eliminación de dichos contaminantes por medio de humedales artificiales podrían ser: por una parte, la eliminación

de sólidos en suspensión mediante el proceso de sedimentación, floculación y filtración; Así mismo, contribuyen a la eliminación de materia Orgánica por medio de microorganismos que se encuentran presentes en el humedal, principalmente bacterias, las cuales utilizan esta materia Orgánica como sustrato; “a lo largo del humedal existen zonas con presencia o ausencia de oxígeno molecular, por lo que la acción de las bacterias sobre la materia orgánica tiene lugar tanto a través de procesos biológicos aerobios como anaerobios” (Tavarez, 2013); Es de agregar, que los humedales artificiales contribuyen a la eliminación de nutrientes como el nitrógeno y el fósforo por medio de nitrificación desnitrificación y precipitación; Así mismo, con la eliminación de patógenos por medio de absorción filtración o depredación; finalmente, la eliminación de metales pesados como cadmio, zinc, cobre, cromo, mercurio, selenio, plomo, entre otros.

En conjunto, cabe destacar que a manera de resultado dentro del marco que determinará el curso de este trabajo es de aclarar que la efectividad de los humedales podría variar, conforme a las particularidades y componentes que se usen en su construcción. Además, se podría considerar objeto de análisis verificar las circunstancias que hacen que en cuanto se tiene mejor eficacia en aplicación para el tratamiento de lixiviados, como es el caso del sistema francés, resultan siendo los menos utilizados. Los resultados que se obtienen en sentido más eficiente serán entonces los del sistema francés y los humedales de flujo vertical, siendo los menos comunes en aplicación, para la eliminación de componentes inmersos en los lixiviados.

Palabras clave

humedales construidos, lixiviados, carga hidráulica, metales, conductividad, Ph, DQO.

Criterios a evaluar

Tipo de humedal, carga hidráulica, profundidad, porcentajes o niveles de remoción (de sólidos, DQO, metales); características de los lixiviados en el flujo de entrada (conductividad, pH, sólidos, DQO, metales).

OBJETIVO GENERAL

Evaluar la bibliografía sobre tratamiento de lixiviados por medio de humedales construidos en Colombia.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Establecer los artículos más destacados en casos de aplicación de tratamiento de aguas lixiviadas usando humedales construidos.
2. Determinar las características básicas de los humedales construidos: tipo de humedal, profundidad, carga hidráulica, y principales parámetros del lixiviado a tratar (pH, conductividad, DQO, concentración de metales, sólidos, entre otros).
3. Identificar los niveles de remoción obtenidos de los principales parámetros (metales, sólidos, DQO, conductividad).

METODOLOGÍA

Revisión del estado del arte.

Fase inicial: Definición del problema, los objetivos del estudio de revisión y realización de un mapa conceptual, en el cual se muestre la taxonomía del tema. Determinación de las palabras clave y los criterios de selección del material a revisar.

Fase de abstracción: Se continuará con la consulta bibliográfica y se realizará la abstracción de la información de la fuente utilizando fichas bibliográficas (Anexo 1). Se considerarán los siguientes criterios:

- Realizar consultas en un mínimo de 40 fuentes bibliográficas técnico-científicas reconocidas de los últimos cinco años (2010-2015) o anteriores con el respectivo aval del tutor. Al menos 10 de las fuentes deben ser en una segunda lengua.
- Las bases de datos recomendadas son: Ambientalex.info, Proquest, E-brary, E-libro, Redalyc, Scielo. Además, se podrá utilizar el buscador Google Académico.
- Las fuentes podrán ser además los repositorios físicos y virtuales de las Universidades y otras instituciones, documentos oficiales de organizaciones gubernamentales y no gubernamentales, entre otros recomendados por el tutor y propuestos por el estudiante.

Fase de interpretación: Posteriormente se realizará la interpretación de los textos, donde se muestre la comprensión y apropiación conceptual de la temática por parte del estudiante, a través de un resumen que se plasmará en la ficha y en el documento final.

Fase de análisis y argumentación: Finalmente se realiza un análisis de los textos consultados, que incluye comparación de la información entre las fuentes, posiciones académicas y científicas de los autores, avances científicos y metodológicos, vacíos

conceptuales, oportunidades de investigación y resultados novedosos. Además, se debe plasmar las reflexiones y conclusiones desde una perspectiva crítica y propositiva, que evidencie el punto de vista profesional del estudiante desde la Ingeniería Ambiental.

PRIMER OBJETIVO ESPECÍFICO: ESTABLECER LOS ARTÍCULOS MÁS DESTACADOS EN CASOS DE APLICACIÓN DE TRATAMIENTO DE AGUAS LIXIVIADAS USANDO HUMEDALES CONSTRUIDOS.

PALABRAS CLAVE

Lixiviados, humedales construidos, aguas residuales.

CRITERIOS A EVALUAR

- Características básicas de los humedales para tratamiento de lixiviados: Tipo de humedal; carga hidráulica; profundidad del lecho filtrante;
- Características de lixiviados, en el flujo de entrada a humedales construidos: conductividad; pH; sólidos; DQO; DBO; concentración de metales;
- niveles de remoción obtenidos de los principales parámetros (metales, sólidos, DQO, conductividad).

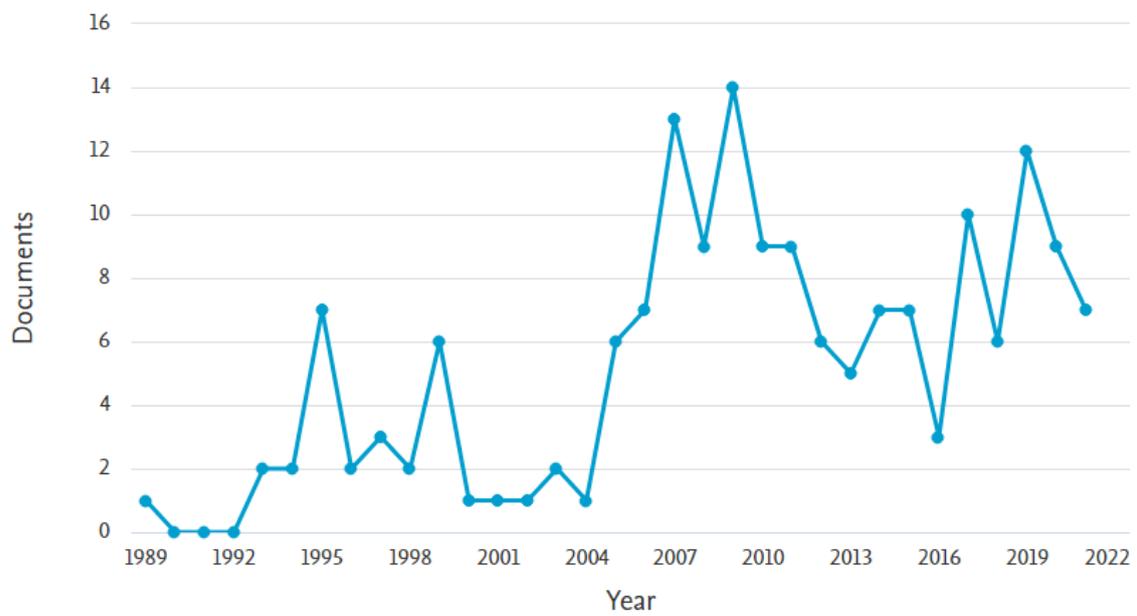
BIBLIOMETRÍA

Búsqueda bibliométrica en Scopus; usando el término 'landfill AND leachate AND treatment AND constructed AND wetlands'

Número de documentos: 170

Documentos por año:

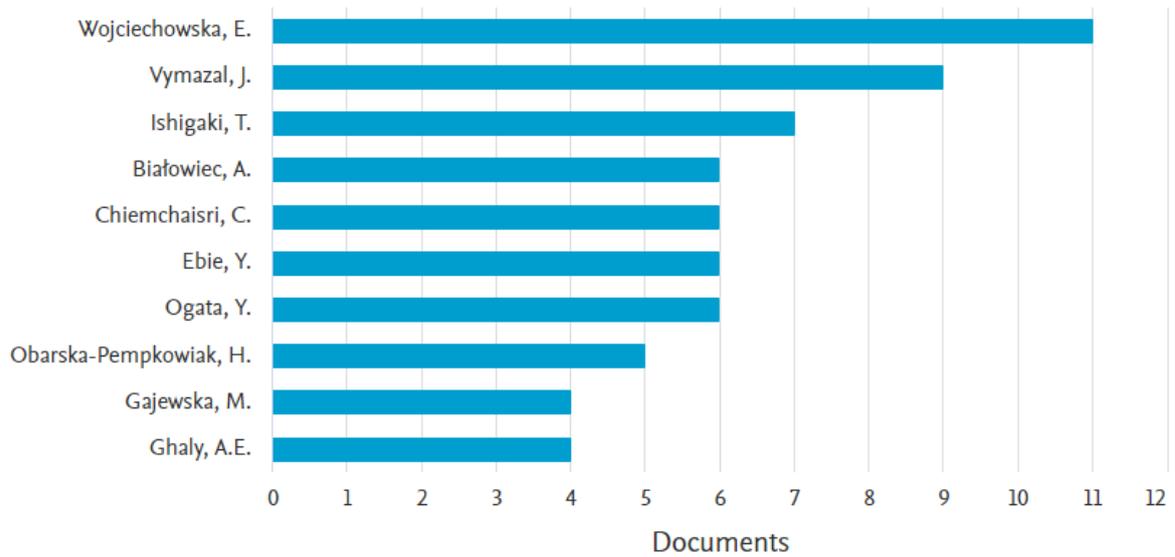
Documents by year



Documentos por autor

Documents by author

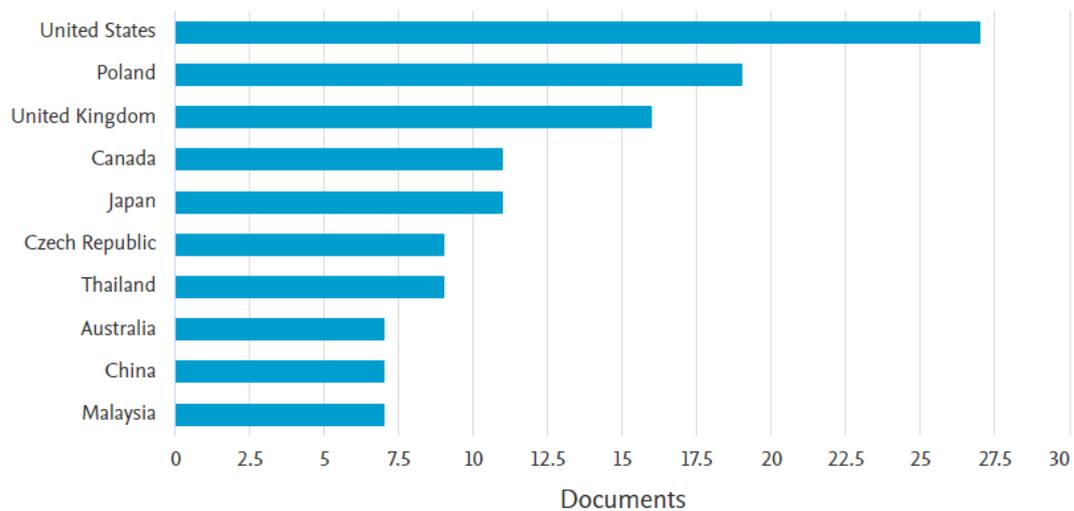
Compare the document counts for up to 15 authors.



Documentos por país:

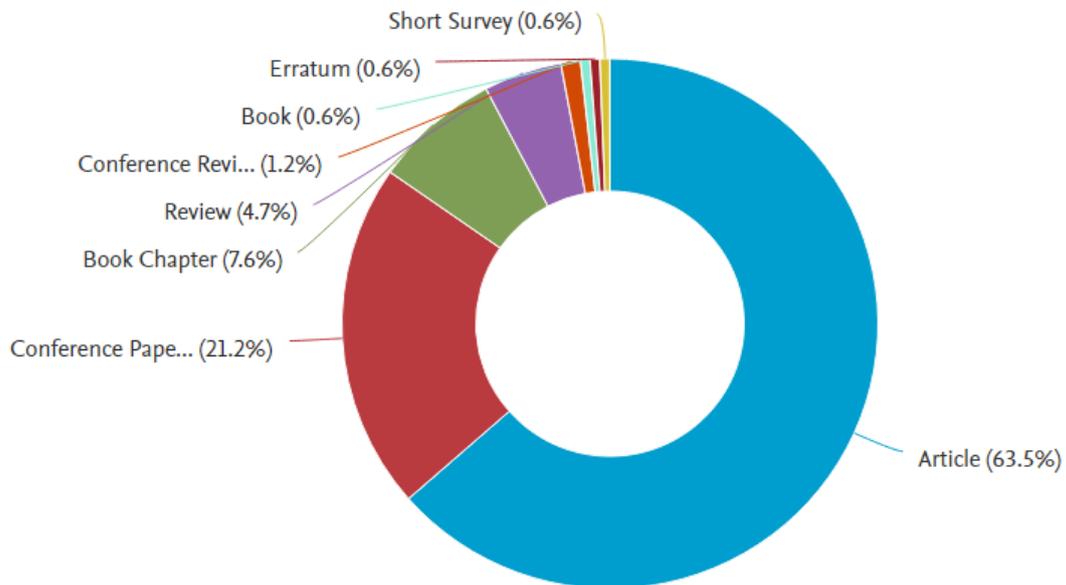
Documents by country or territory

Compare the document counts for up to 15 countries/territories.

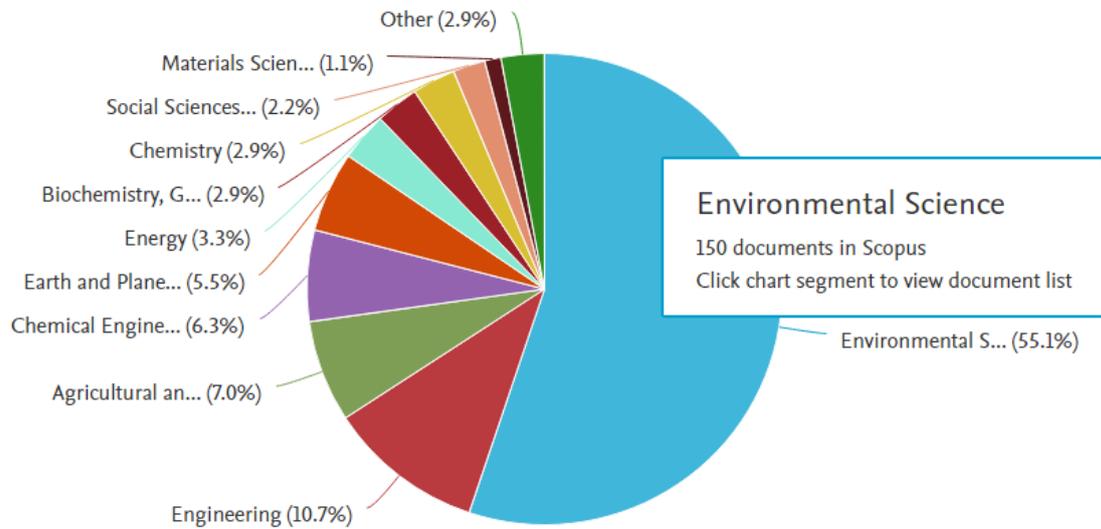


Documentos por tipo

Documents by type



Documentos por area:



Metodologías Utilizadas En Los Artículos Encontrados

Fichas bibliográficas

Ahora bien, para un desarrollo efectivo de los objetivos propuestos, habrá que revisar, por medio de la metodología planteada, al menos cuarenta referencias bibliográficas, las cuales fueron consultadas en diferentes bases de datos, las cuales contienen varios artículos de revistas científicas, en incluso en algunas oportunidades disertaciones como tesis y demás documentos que permitan evidenciar y clarificar la eficacia en la puesta en práctica de dichos humedales construidos, especialmente para el tratamiento de lixiviados. Para cumplirlo, se realizaron cuarenta fichas, veinte de ellas en una segunda lengua, las cuales tienen en su estructura los datos más relevantes para evidenciar a simple vista, el objeto, metodología, resultados, autor y demás que son objeto de interés. (Ver anexo 1).

MARCO TEÓRICO

La disposición final de los residuos sólidos en el mundo ha generado diferentes perspectivas que han despertado el interés de las comunidades a lo largo de los años. A partir de allí se evidencia como objetivo principal la necesidad de disponer de medidas tendientes a mitigar los efectos negativos que aquellos generan con esa disposición. En los rellenos sanitarios se encuentran una gran cantidad de desechos los cuales posterior a su descomposición de su multiplicidad de componentes generan lixiviados los cuales tienen propiedades altamente tóxicas y podrían causar efectos negativos al ecosistema dada su alta concentración de metales, materia orgánica y nutrientes. Estos lixiviados son susceptibles de tratamiento.

Ciertamente los tratamientos de lixiviados poseen particularidades especiales teniendo en cuenta variables en su efectividad, precisamente por ello, se requiere que de manera complementaria, estos lixiviados sean tratados por medio de humedales construidos o artificiales.

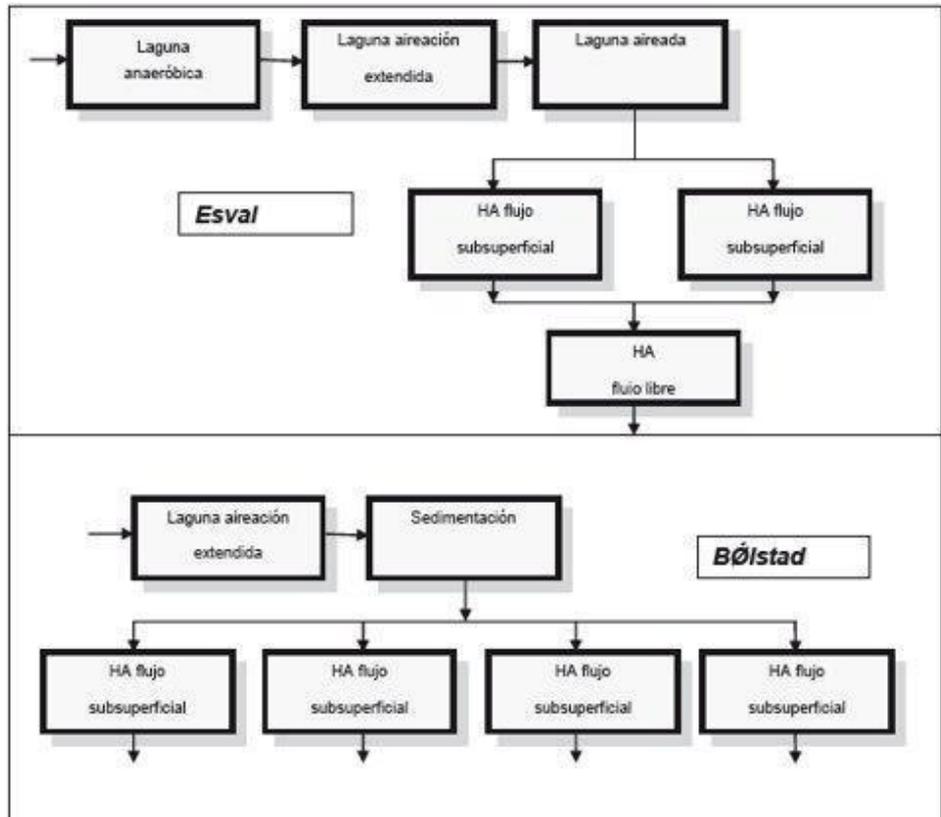


Figura 1. Trenes de tratamiento operados en los rellenos Esva y Bolstad. (Y. Mosquera & Lara, 2012).

Generalidades sobre los Lixiviados de Rellenos Sanitarios

El lixiviado de vertedero es considerado como un líquido residual de carácter complejo y principalmente contaminante lo cual es el resultante de filtración de agua lluvia por medio de residuos sólidos contenidos o enterrados. Lo anterior, sumado a una serie de procedimientos bioquímicos dentro del relleno sanitario y el agua proveniente de los desechos podría

considerarse como agua residual de alta resistencia (Madera, p.3). Es de alta resistencia dado su alta demanda química de oxígeno (DQO) y demanda bioquímica de oxígeno (DBO), incluyendo una considerable concentración de sales inorgánicas y demás componentes altamente tóxicos.

Es de aclarar que incluso una de las principales razones para estudiar este tipo de lixiviados, incluso para caracterizarlos como complejos es debido a su necesidad de almacenamiento, tratamiento y eliminación. Factores como la contaminación hídrica y de suelos constituyen un grave peligro para la salubridad por lo que se hace necesario una gestión adecuada y un tratamiento eficiente para controvertir este tipo de consecuencias. Aquello entonces, categoriza al lixiviado como un problema medioambiental global. (Madera, p.4).

En cuanto a la caracterización del lixiviado, objeto de tratamiento para el análisis de este trabajo, cabe abordar una serie de apreciaciones sobre su composición física y química al tratarse de aquellos lixiviados presentes en los vertederos. Es importante mencionar previamente que aquellos lixiviados en su composición varían dependiendo las condiciones climáticas, la edad del vertedero, hidrogeología del sitio, composición de residuos sólidos, entre otra multiplicidad de factores y situaciones que intervienen en su composición. Dicho lo anterior, se evidencia que en una mayor medida, su característica principal radica en el amplio rango de materia orgánica. A lo anterior se suma la presencia de concentraciones de amoníaco. Los valores de pH en los lixiviados de rellenos sanitarios informados oscilan entre 5,8 y 8,5.

Tomando en cuenta la depuración de lixiviados, constituye un reto teniendo en cuenta su variabilidad (Kumar, p103). Frente a lo anterior, es importante mencionar que los principales componentes de los lixiviados en los rellenos sanitarios son, entre otros: materia orgánica, inorgánica, entre las mismas se incluyen entre biodegradable y refractaria.

En cuanto a los metales pesados que se encuentran presentes en los lixiviados de vertederos, principalmente son mercurio (Hg), Zinc (Zn), Plomo (Pb), Níquel (Ni), Cobre (Cu), Cadmio (Cd). Los niveles de toxicidad que poseen los metales acumulados en el agua, suelo y aire podrían acarrear efectos nocivos a la salud y mutación de especies, entre otras situaciones.

Frente a lo anterior cabe destacar que en términos generales, los lixiviados poseen concentraciones de plomo de hasta 0 y 0,3 mg/L, de Níquel entre 0,5 y 1,2 mg/L, de Cromo entre 0,6 y 2,0 mg/L, de Cadmio entre 0,02 y 0,07 mg/L, de Bario entre 2,5 y 3,2 mg/L, de Mercurio entre 0,0006 y 0,0008 mg/L. (Robles Martinez et al., 2011). Por otra parte, en lo que corresponde a la conductividad hidráulica, habrá que determinar que varían entre $1,2 \times 10$ m/s y $115,7 \times 10$ m/s. (Madera, p. 133).

Sobre los lixiviados

La composición física y química de los lixiviados de relleno sanitario (Landfill leachate) depende de muchos parámetros, incluyendo composición del residuo sólido, clima, edad del relleno sanitario, e hidrogeología del sitio. Sin embargo, el lixiviado generalmente presenta altas concentraciones de materia orgánica, metales pesados, nitrógeno, fósforo y sales; con un pH en el rango neutral.

Los principales componentes de los lixiviados de relleno sanitario son: materia orgánica, materia inorgánica (incluyendo biodegradable y refractaria a degradación), compuestos de tipo húmico, especies de nitrógeno, metales pesados y sales (Madera17, p 125).

Los lixiviados de rellenos sanitarios presentan una alta demanda química de oxígeno (DQO) y demanda bioquímica de oxígeno (DBO), incluyendo una considerable concentración de sales inorgánicas y demás componentes altamente tóxicos.

La DQO varía de 65 a 84200 mg/L pero los valores más frecuentes se dan en el rango 500-2000 mg/L; la DBO varía de 15 a 64400 mg/L, pero los valores más frecuentes se dan en el rango 100-200. El valor DBO_5/DQO , que es comúnmente usado como indicador de biodegradabilidad de materia orgánica, generalmente está en el rango 0.03-0.76. Para rellenos de menos de 3-5 años pueden tener una razón DBO_5/DQO de hasta 0.7; mientras que rellenos más maduros (5-10 años) tiene valores más bajos de alrededor de 0.3-0.5 (BBackshoot20, p 2).

Generalidades sobre Los Humedales Construidos

Los humedales construidos (CW)s son clasificados como métodos biológicos que usan fitorremediación para la depuración de aguas residuales usando humedales construidos, para aguas residuales en general, se presentan varios procesos biológicos, físicos y químicos, que

dependen del tiempo de contacto del agua residual con el medio poroso, biopelícula y raíces (Jimenez 18).

Los CWs se definen como sistemas de la ingeniería que usan procesos naturales (vegetación, suelo y microorganismos) para remover contaminantes del agua residual, para lo cual genera un eficiente efecto sinérgico (MAdera17, p 133). Los CWs son una técnica de fitorremediación, que es viable y ventajosa para tratamiento de agua residual, por sus ventajas, tales como bajo consumo energético, bajos costos de implementación y operación, alta eficiencia de remoción de contaminantes (MAdera17, p 133).

Tipos de humedales: los tipos más comunes de CWs son: de superficie libre (FWS), se flujo subsuperficial vertical (VF) y de flujo subsuperficial horizontal (HF) y de vegetación flotante (Madera17, p 33, 134; Backshoot20, p 2).

Los CWs híbridos combinan varios tipos de humedales con el fin de mejorar el desempeño de depuración; los más comunes combinan HF y VHF en serie. Los CWs híbridos generalmente logran un mayor eficiencia de tratamiento que los no híbridos, especialmente para nitrógeno total, pero generalmente requieren más espacio y presentan un mayor costo de construcción (Backshoot20, p 2). La planta más comúnmente usada en CWs es la *Phragmites australis* (Madera17, p 137).

En los humedales construidos (CW)s, el agua residual es tratada por procesos físicos (eg sedimentación, filtración); químicos (eg precipitación, adsorción); y biológicos-químicos (eg degradación microbiana, absorción vegetal) (Backshot 20).

Las principales vías de remoción de materia orgánica son la sedimentación y la filtración de coloides orgánicos, y la descomposición biológica por microorganismos bajo condiciones aerobias, anaerobias y facultativas (Backshot 20, p 3).

Un parámetro importante es la conductividad hidráulica, a mayor conductividad hidráulica mayor eficiencia. La conductividad hidráulica es afectada por crecimiento de biopelícula; deposición de precipitados químicos; acumulación de lodos y biomasa de la planta bajo el suelo. Estos factores disminuyen la cantidad y tamaño de los espacios vacíos del medio filtrante (Jimenez 18).

A pesar de que los diferentes tipos de CWs para el tratamiento de lixiviados determinan eficiencias similares en sus resultados de depuración de lixiviados, cabe resaltar, que por una parte, los humedales construidos de carácter híbrido son más eficientes para la eliminación de agentes contaminantes.

Estos CW híbridos en remociones han demostrado resultados de hasta "72.2 ± 28% para DBO 5, 56.2 ± 23% para DQO, -6,4 ± 4% para TP, 61,0 ± 18% para PO 4, 64,9 ± 25% para TKN, 67,3 ± 28% para TN, 68,9 ± 27% para amoníaco-N y 51,8 ± 29%" (Backshot, p. 3). De

igual manera, la evidencia del tratamiento o remoción de metales pesados resulta ser incluso más eficiente que los demás tipos.

Tratamiento De Lixiviados Mediante Humedales

Se ha demostrado ampliamente la efectividad de los CWs para depuración de lixiviados de relleno sanitario (landfill leachates), se ha utilizado en varios países durante varios años; y se ha venido aumentando su implementación a escala real en diferentes regiones, dado su adaptabilidad y capacidad para tratar este tipo de agua residual. Los CWs se han utilizado para tratamiento de lixiviados en países de USA y en Europa (Noruega, Reino Unido, Eslovenia, Suecia).

En el tratamiento de lixiviados de relleno sanitario (landfill leachate), los CWs presentan bajo consumo energético, bajos costos y altas eficiencias de remoción. Sin embargo, el conocimiento sobre los procesos activos de transformación de contaminantes es limitado, lo cual se necesita para potenciar o mejorar su desempeño y adaptación a las características particulares del lixiviado (Madera 17, 136, 137). Además, **en el uso de fitorremediación para tratamiento de lixiviados, el crecimiento de las plantas puede ser afectado por la acumulación de compuestos tóxicos, tales como Na⁺ y Cl⁻. Por tanto, antes de implementar esta tecnología, se debe verificar la capacidad de resiliencia del sistema.**

Nota: la fitorremediación incluye CWs y riego de cultivos (Madera 17, p. 132).

En el uso de sistemas biológicos para tratamiento de lixiviados de relleno sanitario (landfill leachate), se ha encontrado que son muy efectivos para remover materia orgánica y materia nitrogenada (nitrogenous) de lixiviados de vertederos jóvenes cuando la razón DBO/DQO es mayor a 0.5 (que corresponde a mayor degradabilidad). Los lixiviados más antiguos con compuestos recalcitrantes (refractory compounds) pueden limitar la degradación biológica (Madera 17, p. 129).

En la aplicación de humedales para tratamiento de lixiviados el reto consiste en el dimensionamiento y configuración (tipología o combinación de tipologías) adecuada para la situación propia de cada lixiviado de relleno sanitario; además, se debe tener el terreno suficiente. (Beltran (2012, p 81).

Discusión de resultados - objetivo 1.

- La mayoría de estudios referenciados dan cuenta de que los humedales artificiales de tipo horizontal y flujo subsuperficial son los más utilizados en Colombia y América Latina.
- Podría afirmarse que los artículos más destacados giran en torno al tratamiento de lixiviados, especialmente conforme a sus características de construcción, su profundidad y demás factores como la composición de vegetación, los cuales resultan importantes en los porcentajes de remoción de sólidos, metales, DQO y DBO presente en los lixiviados.

SEGUNDO OBJETIVO ESPECÍFICO: DETERMINAR LAS CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE LOS HUMEDALES CONSTRUIDOS: TIPO DE HUMEDAL, PROFUNDIDAD, CARGA HIDRÁULICA, Y PRINCIPALES PARÁMETROS DEL LIXIVIADO A TRATAR (PH, CONDUCTIVIDAD, DQO, CONCENTRACIÓN DE METALES, SÓLIDOS, ENTRE OTROS).

Tabla 1. Características de lixiviados, en el flujo de entrada a humedales construidos.						
Referencia	conductividad	pH	sólidos	DQO	DBO	metales
Jiménez Cerón, Y. F., et. Al. (2018)	No se mencionan datos	8.64	No se mencionan datos	1494mg/L	1128mg/L	No se mencionan datos
Mosquera, Y. N. (2012).	15280µS/cm	7.7	1082mg/L	239mg/L	88mg/L	3,4mg/L

Montero, L. J., & Salazar, K. J. (2018).	13.74mS/cm	8.9	141500mg/L	195000mg/L	99000mg/L	43mg/L
Fonseca, C. M. (2010).	8900 μ S/cm	8.03	180000mg/L	1508mg/L	193mg/L	6.1mg/L
V. Arteaga et. Al. (2019)	8.5mS/cm	8.2	804mg/L	2435mg/L	100mg/L	No se mencionan datos
Ramirez, H. F., Luna, V. M., & Arredondo, J. L. (2009).	4515 μ S/cm	8.35	6062mg/L	3365mg/L	712mg/L	198.10mg/L
Rango global →	4.515 - 15.28 mS/cm	7.7-9.0	804 - 141500 mg/L	239 - 195000 mg/L	88 - 99000 mg/L	3,4 - 198.10 mg/L

Es importante mencionar que los tomados como referencia en la tabla previamente expuesta (Tabla 1.)

1. Se obtuvieron resultados variables en lo que respecta a las características de los flujos de ingreso de lixiviados a los humedales construidos en comparación con los resultados que se obtuvieron de los efluentes que en adelante se muestran.
2. Por una primera parte, a pesar de que no se muestran en todos los casos sobre los niveles de conductividad, se puede decir que varía entre 4,515 y 15,28 mS/cm, siendo variable de igual manera el pH entre 7,7 y 9,0 entre neutro y poco alcalino.
3. Posteriormente se toma como referencia que los sólidos presentes en el afluente varían entre 804 y 141500 mg/L; que los datos obtenidos de DQO serían entre 239 y 19500 mg/L; en cuanto al DBO entre 88 y 99000 mg/L.
4. Finalmente se muestra la variabilidad en los metales presentes entre 3,4 y 198,10 mg/L.

Sobre características de los CWs para depuración de lixiviados

En el uso de CWs para depuración de lixiviados a nivel real en vertederos, se han usado diferentes tipos de humedales (con flujo superficial, subsuperficial; varias etapas de tratamiento con diferentes condiciones de flujo); y también se han usado diferentes especies de plantas (Madera 17, p 137). En particular, los CWs plantados con carrizo (reed) o sauce (willow) son efectivos, y son efectivos para remover altos niveles de nitrógeno (Madera 17, p 133).

Ahora bien, en cuanto al tratamiento de lixiviados por medio de humedales construidos, se deberán realizar una serie de recomendaciones pertinentes:

1. usar tratamientos previos, con el fin de tener condiciones menos agresivas (nocivas) a la vegetación y a los organismos vivos; y también para disminuir el área superficial del humedal;
2. oxidar y sedimentar el lixiviado antes de ser ingresado al CW;
3. usar filtros de arena junto con los humedales de flujo vertical y realizar descarga en humedales de flujo libre, con el fin de favorecer la eliminación de amoníaco y biodegradación de hidrocarburos pesados (Beltran, 2012; Jiménez 18).

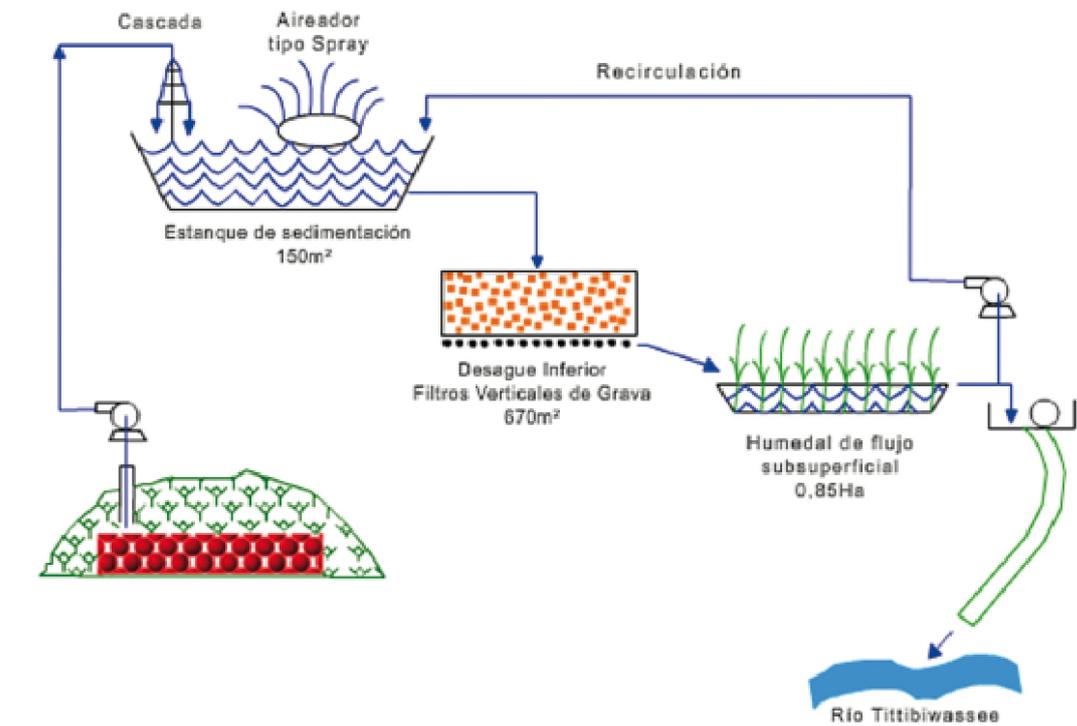


Figura 1. Sistema de tratamiento Saginaw Township (Estados Unidos)

Fuente: Modificado de Kadlec y Zmarthie (2010)

Figura tomada de Beltran (2012, p 89)

Tabla 2. Características básicas de los humedales construidos para tratamiento de lixiviados.

Referencia	Tipo de humedal	Carga hidráulica	profundidad
Jiménez Cerón, Y. F., et. Al. (2018)	Horizontal de flujo subsuperficial	0.012 m/día.	0.20m
Mosquera, Y. N. (2012).	Subsuperficial de flujo vertical.	0.83cm/día	0.6m
Montero, L. J., & Salazar, K. J. (2018).	Subsuperficial de flujo horizontal	No se mencionan datos	0.6m
Fonseca, C. M. (2010).	Subsuperficial de flujo horizontal	0.75cm/día	0.76m
V. Arteaga et. Al. (2019)	Humedal artificial de flujo libre	No se mencionan datos	0.5m
Ramírez, H. F., Luna, V. M., & Arredondo, J. L. (2009).	Flujo subsuperficial vertical	No se mencionan datos	0.5m
Rango global: →		0,012cm/día a	0.2 a

		0,75cm/día	0.76m
--	--	------------	-------

Frente a los resultados que se encuentran consolidados en la tabla previamente expuesta (Tabla 2).

1. Habrá que determinar que efectivamente en su mayoría, pero no en todos, los estudios relacionados se utilizaron humedales construidos artificialmente de tipo subsuperficiales, algunos de manera vertical e incluso otros de manera horizontal. Además, es de agregar que en poca medida se utilizó el humedal de flujo libre o de vegetación flotante.
2. Resulta importante resaltar que son pocos los estudios que demuestran unidades de carga hidráulica a pesar de que en su contenido en pocas oportunidades nombran este aspecto que varía entre 0,012 cm/día y 0,75 cm/día.
3. Los rangos en cuanto a la profundidad en los estudios aplicados variaron entre 0.2 a 0.76m.

Discusión de resultados - objetivo 2

- En la mayoría de los estudios relacionados, si bien es cierto que se obtienen resultados significativos en los porcentajes de remoción de metales, sólidos, DQO y DBO en lixiviados, por medio de humedales construidos, habrá que dar cuenta de que en muchos estudios no se relaciona la carga hidráulica que aplica en su construcción, por lo que no se permite una clarificación completa de los factores que inciden en tal tratamiento.

TERCER OBJETIVO ESPECÍFICO: IDENTIFICAR LOS NIVELES DE REMOCIÓN OBTENIDO DE LOS PRINCIPALES PARÁMETROS (METALES, SÓLIDOS, DQO, CONDUCTIVIDAD)

En el tratamiento de lixiviados por fitorremediación (que no solo abarca CWs), se logra remoción de contaminantes biodegradables y no biodegradables (Madera 17, p 132). En caso de CWs, se han obtenido altas eficiencias de remoción de DBO, DQO, metales, SST, N amoniacal (Backshot 20, p 3, 4). Se ha encontrado que los CWs tienen un gran potencial para remover y transformar varios tipos de contaminantes, incluso componentes tóxicos.

En la aplicación de humedales para tratamiento de lixiviados, la degradación de contaminantes de los lixiviados generalmente depende de la cantidad y naturaleza de componentes orgánicos, toxicidad, y los parámetros del sistema de tratamiento. De hecho, hay una variación muy amplia de remoción de contaminantes al comparar distintos estudios (Kumar 18, p 104). El nivel de remoción de contaminantes tiene una dependencia fuerte con respecto a tipo de planta, condiciones de flujo (eg vertical, horizontal, subsuperficial o superficial, etc), y características del material filtrante (se puede usar por ejemplo zeolitas). De hecho, el material filtrante puede promover la adsorción y el crecimiento de los microorganismos (Madera 17, p 140).

Varios estudios han mostrado que las especies vegetales tienen un rol importante en el tratamiento de lixiviados mediante CWs. Al comparar humedales (que son plantados) con filtro común (que son no plantados), se ha observado una menor concentración de nitrógeno y COD en los humedales; y las condiciones anóxicas/aerobias/anaerobias dentro del humedal varía de acuerdo con el tipo de planta y el comportamiento del nitrógeno durante la degradación microbiana (Madera 17, p. 139).

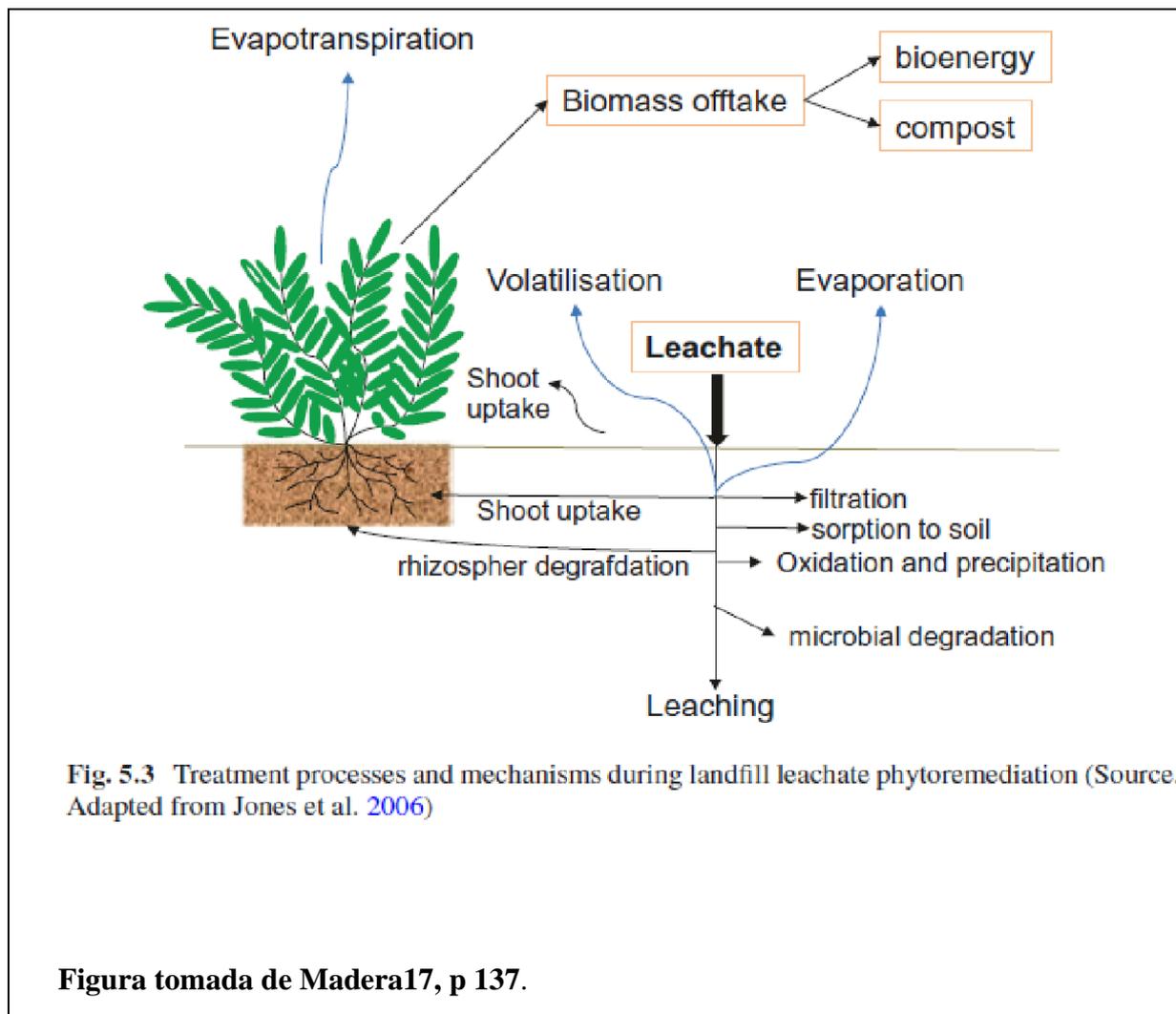
Según la literatura sobre tratamiento de lixiviados mediante humedales construidos (CWs), con respecto a eficiencia de remoción:

- Se han encontrado remociones en los rangos 26.7-98% (DBO); 11.1-94% (DQO); 17.3-88% (SST). (Jimenez 18).
- Se ha obtenido remociones de 91.5-99.2% de Fe, y 94.7-99.8% de Mn. (Madera 17, p 140).
- Se ha encontrado que aunque todos los tipos de CWs presentan eficiencias de depuración similares, los CWs híbridos son más eficientes para remoción de contaminantes (Backshot 20, p 3);

- Los FWs han mostrado ser la tipología menos eficiente, para remoción de parámetros en general (Backshoot20, p 3)
- Los VFs han mostrado mayores eficiencias de remoción de metales (Backshoot20, p 3)
- El orden de tipo de humedal, en orden de mayor a menor remoción de N amoniacal es: híbrido, VF, HF, FWs (Backshoot, p 4).
- Con respecto a remoción de NO_3 , las tipologías híbrido, VF, HF presentan eficiencias de remoción negativas, pues presentan mayor concentración de NO_3 en el efluente que en el influente, lo cual indica conversión de nitrógeno amoniacal a nitrato, lo cual es parte de la desnitrificación, en la cual el nitrógeno amoniacal es oxidado a NO_3 (Backshot 20, p 4)

Mecanismos de transformación

En la figura ,...se muestran los principales procesos de transformación de contaminantes en tratamiento de lixiviados mediante CWs.



La remoción de contaminantes se puede realizar por diferentes rutas de degradación y transformación. Por ejemplo, las componentes orgánicas se pueden volatilizar o degradar; el nitrógeno amoniacal puede sufrir nitrificación o desnitrificación; los metales pueden ya sea acumularse como parte de la biomasa vegetal, precipitarse en el material filtrante, o sufrir procesos de intercambio iónico en los sedimentos del fondo. El metabolismo de la planta puede ser afectado por la alta salinidad del lixiviado, aunque los estudios de la literatura indican que la *Phragmites australis* puede soportar concentraciones altas de cloruro (chloride) (Madera 17, p 137).

Tabla 3. Niveles de remoción obtenidos para la depuración de lixiviados usando humedales construidos.

Referencia	% remoción de sólidos	% remoción de DQO	% remoción de metales
Jiménez Cerón, Y. F., et. Al. (2018)	88%	64%	No se mencionan datos
Mosquera, Y. N. (2012).	33%	50%	21%
Montero, L. J., & Salazar, K. J. (2018).	80%	91%	62%
Fonseca, C. M. (2010).	94%	No se mencionan datos	No se mencionan datos
V. Arteaga et. Al. (2019).	60%	81.6%	49%
Ramirez, H. F., Luna, V. M., & Arredondo, J. L. (2009).	81.01%	96%	88.2%
Jiménez Cerón et al., 2018	67.3%	91.1%	70%

Rango global →	33 - 94%	50 – 96%	21 – 88,2%
----------------	----------	----------	------------

Ahora bien, a manera de concluir sobre los niveles y porcentajes de remoción se muestran variables en algunos aspectos y en otros incluso más cercanos. Cabe aclarar que los métodos y cantidades susceptibles de tratamiento eran variables y en varios estudios no se tomaron en cuenta algunos componentes que aquí son objeto de análisis. No obstante, lo anterior, se muestra por una primera parte que los porcentajes de remoción de sólidos serían entre un 33 y 94% obteniendo un margen bastante amplio de remoción dependiendo los diferentes métodos utilizados. En cuanto a los porcentajes de remoción de DQO se encuentra una variación con menos amplitud entre 50 y 96%. En lo que corresponde a la remoción de metales varía ampliamente entre 21 y 88,2%.

Ahora bien, en función de realizar un análisis más profundo sobre los resultados obtenidos en los estudios referenciados, lo cual debe coincidir en mayor o menor proporción con la literatura previamente expuesta, se procederá a revisar los valores en los que se podrán reconocer los rangos y porcentajes de remoción de sólidos de metales y DQO en el tratamiento de lixiviados por medio de humedales artificiales. Frente a los datos expuestos, podría decirse que existe la posibilidad de lograr altos porcentajes de remoción de sólidos, DQO y metales pesados de hasta el 85%, lo cual queda concordante con los rangos establecidos por medio de la literatura.

Se puede ver que hay una variación grande de los niveles de remoción de contaminantes al comparar distintos estudios, lo cual se debe al efecto de la cantidad y naturaleza de componentes orgánicos, toxicidad, y también se debe a los parámetros de diseño del CW.

Algunos valores usados de tiempo de retención hidráulico son : 4 días (calculado teniendo en cuenta porosidad, (Jimenez, 2018)

Es objeto de estudio, en función de un adecuado desarrollo de los objetivos previamente expuestos, revisar los artículos que ciertamente podrían contribuir de manera directa a tener un panorama de carácter más amplio en lo relacionado con la aplicación de humedales artificiales para el tratamiento de lixiviados.

En este sentido, tendrá que verificarse que, en principio, los rellenos sanitarios ciertamente son los mecanismos de eliminación o disposición final de los residuos sólidos más común en las sociedades actuales. Precisamente por lo anterior ocurren consecuencias que se evidencian altamente nocivas en el desarrollo de ese proceso: son los lixiviados. Aquello es un problema abiertamente reconocido debido a las consecuencias nocivas que aquello representa, sobre todo a la salud. En un primer momento, se toma como referencia uno de los estudios que se consideraron más significativos en el desarrollo del presente trabajo. Esto corresponde a considerar previamente los contenidos de materia orgánica, amoníaco, nitrógeno y metales pesados que posiblemente se encuentren inmersos en los lixiviados. (Madera-Parra & Ríos, 2017).

Lo anterior responde a una problemática que será objeto de mitigación debido a las tecnologías más innovadoras en temática ambiental para el tratamiento de lixiviados. Esto necesariamente requiere de la inclusión de métodos y procedimientos biológicos, ya sean aeróbicos, anaeróbicos o anóxicos; fisicoquímicos, de oxidación, precipitación, coagulación, floculación, ozonización, adsorción de carbón activado, oxidación electroquímica, entre otros.

Con todo, se toma de referencia especialmente los humedales artificiales que se clasifican como los métodos biológicos que, por medio de la fitorremediación, van a realizar lo que constituye un tratamiento de líquidos contaminados. Son, por tanto, procedimientos de ingeniería de manera natural para la eliminación, degradación o transformación de contaminantes de lixiviados por medio de la creación de una sinergia eficiente por medio de la vegetación, suelos y microorganismos que por medio de los procedimientos mencionados contribuyen a eliminar, en cierto porcentaje (dependiendo el tipo del proceso y las cantidades) los agentes contaminantes contenidos en el lixiviado. (Madera-Parra & Ríos, 2017).

Por otra parte, se toma en cuenta que los humedales construidos, como un conjunto de sistemas de tratamiento de aguas residuales y lixiviados, los cuales se rigen por medio de procedimientos biológicos, químicos y físicos. Deberá afirmarse que aquellos contribuyen a la regulación de eliminación de contaminantes orgánicos de dichas aguas. Frente a esto, se afirma que

“Tanto los microorganismos acuáticos como los macrófitos acuáticos pueden transformar y absorber contaminantes de las aguas residuales y lograr una mayor eficiencia de eliminación”. (Caselles-Osorio et al., 2017).

Lo anterior hace dar cuenta evidentemente que los componentes de los humedales juegan un papel preponderante en la efectividad del mismo en la eliminación de agentes contaminantes. Por ello, en este segundo estudio relacionado, se podrá evaluar el efecto del *Cyperus articulatus*, siendo esta vegetación una macrófita acuática que es nativa de la región caribe y de América Latina, precisamente en Colombia. Es de destacar que la remoción de materia orgánica disuelta, en conjunto con compuestos nitrogenados han sido eficientemente eliminados y retenidos por parte de este tipo de vegetación, la cual evidentemente es eficiente en mayor medida. Es de reconocer, que la construcción del humedal en cuestión, específicamente fue del tipo de flujo subterráneo y horizontal. A pesar de que se realizó un modelo escala tipo piloto, se deberá destacar que sus resultados fueron satisfactorios. En este sentido se instalaron una serie de unidades de tratamiento configuradas de diferente manera. Las unidades se encontraban con diferentes tipos de vegetación. El sistema se conectó de manera hidráulica a un tanque séptico en el que existía un módulo de tratamiento primario que alimentaba las unidades mencionadas.

“Cada unidad de humedal se llenó con grava de granito (8 mm de diámetro promedio y aproximadamente 40% de porosidad) hasta una profundidad de 0,5 m. Durante un período de cuatro meses, cada unidad de tratamiento contó con 29 L día⁻¹ de aguas residuales domésticas clarificadas, lo que aseguró un Tiempo de Retención Hidráulica de tres (3) días”. (Caselles-Osorio et al., 2017).

Se destaca este estudio en tanto que las muestras de agua residual recolectadas de afluentes y efluentes se demostró que la biomasa vegetal logró recoger y secar muestras de nitrógeno amónico y nitrógeno nitrato. Siendo igual un estudio preliminar de corta duración, durante sólo cuatro meses. Los resultados obtenidos muestran al menos 91% de efectividad en la remoción de materia orgánica por medio de las diferentes vegetaciones aplicadas.

Por otra parte, Zhang y otros, en 2015 establecen una revisión en la que comienzan a analizar la eliminación de demanda bioquímica de oxígeno y el sólido suspendido total, dado la eficiencia de los tipos de humedales en el tratamiento de aguas residuales y lixiviados. Frente a ello, se toma en cuenta especialmente los sistemas híbridos. Lo anterior es de especial atención para este trabajo, toda vez que se consideraron incluso los más eficientes en la demanda química de oxígeno y eliminación de sólidos suspendidos totales. De allí que la eliminación de nitrógeno alcanzó al menos un 80% de efectividad, de igual manera ocurrió con el amonio y demás compuestos.

Al realizar una comparación precisa con los demás tipos de humedales, se logra evidenciar una amplia diferencia. Sin embargo, habrá de destacar el humedal artificial horizontal de flujo subsuperficial. De igual manera, no se dejará de lado la eliminación de fósforo de manera total por parte de los humedales de tratamiento flotante los cuales mostraron varias eficiencias. (Zhang et al., 2015).

Ahora bien, es importante resaltar que otro artículo muestra la especial eficiencia que los humedales artificiales poseen en el tratamiento de lixiviados en América Latina y el Caribe.

En este contexto, se habla de que se torna un panorama amplio sobre la información que para la fecha existía. De esto se resuelve que, por bastante, los humedales artificiales de flujo subterráneo horizontal son los que más se han reportado en la región mencionada (62%), en segundo lugar se encuentran los de agua libre superficial, en un 17%, seguidos de los sistemas de flujo vertical, los cuales no poseen mayor inclusión, con un 9% de aplicación; posteriormente los humedales artificiales intensificados, con un 8% de aplicación, para finalmente los sistemas franceses (4%).

En el artículo relacionado previamente se logra analizar que paradójicamente los desempeños que se obtuvieron en la efectividad de los mismos, corresponden a ser los menos usados en tanto mejor eficacia tiene su aplicación para el tratamiento de lixiviados. Quedando en primer lugar el sistema francés, seguido de los de flujo vertical, los cuales no son muy comunes en su aplicación, pero que han tenido resultados formidables en la eliminación de componentes contaminantes contenidos en los lixiviados. (Rodríguez-Domínguez et al., 2020).

“Los resultados sugieren un rendimiento generalmente bueno para la eliminación de DQO y TN, pero un rendimiento bajo para la eliminación de TP. Con respecto a las especies de plantas utilizadas para AQ, se reportaron 114 especies de plantas diferentes, siendo hasta ahora el informe más extenso sobre especies de plantas utilizadas en AQ en la región de ALC” (Rodríguez-Domínguez et al., 2020).

Discusión de resultados - objetivo 3

- Los resultados que se obtienen de eficiencia en la eliminación de contaminantes que se encuentran inmersos en los lixiviados varía entre el 60% y el 97%, incluyendo entre DQO, DBO, metales y sólidos; en la mayoría de los casos dependiendo de la vegetación, factores de adaptabilidad, cauces y carga hidráulica.

CONCLUSIONES

- Objetivo 1

- La eficiencia de los humedales artificiales en el tratamiento de lixiviados provenientes de rellenos sanitarios ha sido demostrada en la mayoría de los artículos que aquí se han referenciado. Su implementación en mayor o menor escala ha demostrado resultados.
- Las regiones responden a las condiciones de adaptabilidad y capacidad para un adecuado y eficiente tratamiento de lixiviados que provienen de rellenos sanitarios. (Madera-Parra & Ríos, 2017).

- Objetivo 2

- Las características comunes que son objeto de tratamiento por parte de los humedales construidos artificialmente y que se encuentran presentes en los lixiviados vendrán a ser, por regla general, DQO, concentración de metales, sólidos.

- Objetivo 3

- Claramente, las remociones de metales pesados constituyen un importante mecanismo para el tratamiento de lixiviados en cuanto a la implementación de humedales construidos, siendo depuradores con porcentajes de remoción de contaminantes importantes.

REFERENCIAS

- Arce, P. A. (2018). *HUMEDALES ARTIFICIALES: UNA ALTERNATIVA PARA TRATAMIENTO DE AGUAS DE PRODUCCIÓN*. Fundación Universitaria de América.
- Arias, M. E., & Brown, M. T. (2009). Feasibility of using constructed treatment wetlands for municipal wastewater treatment in the Bogotá Savannah, Colombia. *Ecological Engineering*, 35(7), 1070–1078. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2009.03.017>
- Arias, S. A., Betancur, F. M., Gómez, G., Salazar, J. P., & Hernández, M. L. (2010). Fitorremediación con humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales porcinas. *Informador Técnico*. Published. <http://www.ciap.org.ar/Sitio/Archivos/Fitorremediacion%20con%20humedales%20artificiales%20para%20el%20tratamiento%20de%20aguas%20residuales%20porcinas.pdf>
- Arteaga-Cortez, V. M., Quevedo-Nolasco, A., del Valle-Paniagua, D. H., Castro-Popoca, M., Bravo-Vinaja, N., & Ramírez-Zierold, J. A. (2019). Estado del arte: una revisión actual a los mecanismos que realizan los

- humedales artificiales para la remoción de nitrógeno y fósforo. *Tecnología y ciencias del agua*, 10(5), 319–342. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2019-05-12>
- Bakhshoodeh, R., Alavi, N., Oldham, C., Santos, R. M., Babaei, A. A., Vymazal, J., & Paydary, P. (2020). Constructed wetlands for landfill leachate treatment: A review. *Ecological Engineering*, 146, 105725. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2020.105725>
 - Bastia, J., Mishra, B. K., & Kumar, P. (2021). Integrative Assessment of Stormwater Infiltration Practices in Rapidly Urbanizing Cities: A Case of Lucknow City, India. *Hydrology*, 8(2), 93. <https://doi.org/10.3390/hydrology8020093>
 - Cahoon, D. R., Lynch, J. C., Roman, C. T., Schmit, J. P., & Skidds, D. E. (2018). Evaluating the Relationship Among Wetland Vertical Development, Elevation Capital, Sea-Level Rise, and Tidal Marsh Sustainability. *Estuaries and Coasts*, 42(1), 1–15. <https://doi.org/10.1007/s12237-018-0448-x>
 - Caselles-Osorio, A., Vega, H., Lancheros, J. C., Casierra-Martínez, H. A., & Mosquera, J. E. (2017). Horizontal subsurface-flow constructed wetland removal efficiency using *Cyperus articulatus* L. *Ecological Engineering*, 99, 479–485. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.11.062>
 - Caselles-Osorio, A., Villafañe, P., Caballero, V., & Manzano, Y. (2011). Efficiency of Mesocosm-Scale Constructed Wetland Systems for Treatment of Sanitary Wastewater Under Tropical Conditions. *Water, Air, & Soil Pollution*, 220(1–4), 161–171. <https://doi.org/10.1007/s11270-011-0743-7>
 - Casierra-Martínez, H. A., Charris-Olmos, J. C., Caselles-Osorio, A., & Parody-Muñoz, A. E. (2017). Organic Matter and Nutrients Removal in Tropical Constructed Wetlands Using *Cyperus ligularis* (Cyperaceae) and

Echinochloa colona (Poaceae). *Water, Air, & Soil Pollution*, 228(9).
<https://doi.org/10.1007/s11270-017-3531-1>

- Cervantes, T. P., Londoño, Y. A., Gutiérrez, F. R., & Peñuela, G. A. (2017). Evaluación de humedales artificiales de flujo subsuperficial en la remoción de diferentes concentraciones de ibuprofeno empleando *Cyperus papyrus*. *Tecnología y ciencias del agua*, 08(5), 105–116. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2017-05-07>
- Corena, M. J. (2008). *SISTEMAS DE TRATAMIENTOS PARA LIXIVIADOS GENERADOS EN RELLENOS SANITARIOS*. Universidad de Sucre.
- Dong, H., Qiang, Z., Li, T., Jin, H., & Chen, W. (2012). Effect of artificial aeration on the performance of vertical-flow constructed wetland treating heavily polluted river water. *Journal of Environmental Sciences*, 24(4), 596–601. [https://doi.org/10.1016/s1001-0742\(11\)60804-8](https://doi.org/10.1016/s1001-0742(11)60804-8)
- Foladori, P., Ruaben, J., & Ortigara, A. R. (2013). Recirculation or artificial aeration in vertical flow constructed wetlands: A comparative study for treating high load wastewater. *Bioresource Technology*, 149, 398–405. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.09.099>
- Fonseca, C. M. (2010). *Diseño de Humedal Construido para el tratar los lixiviados del Proyecto de Relleno Sanitario de Pococí*. Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Jaramillo-Gallego, M. L., Agudelo-Cadavid, R. M., & Peñuela-Mesa, G. A. (2015). Optimización del tratamiento de aguas residuales de cultivos de flores usando humedales construidos de flujo subsuperficial horizontal. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, 34(1). <https://doi.org/10.17533/udea.rfnsp.v34n1a03>

- Jiménez Cerón, Y. F., Delgado Calvache, L. I., Fernández Tulande, C., Pino Alegría, H. M., Casas Zapata, J. C., Madera Parra, C. A., Lara Borrero, J. A., Morató Farreras, J., & Rengifo Canizales, E. (2018). Tratamiento de lixiviados utilizando humedales construidos y determinación de conductividades hidráulicas en clima tropical. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 21(2), 543–552. <https://doi.org/10.31910/rudca.v21.n2.2018.979>
- Lahora, A. (2015). Depuración de aguas residuales mediante humedales artificiales: la EDAR de Los Gallardos (ALMERÍA). *ResearchGate*.
Published.
https://www.researchgate.net/publication/28152115_Depuracion_de_aguas_residuales_mediante_humedales_artificiales_la_EDAR_de_Los_Gallardos_ALMERIA
- Madera, C. A., Silva, J. P., & Peña, M. R. (2005). Sistemas combinados para el tratamiento de aguas residuales basados en tanque séptico - filtro anaerobio y humedales subsuperficiales. *Ingeniería y Competitividad*, 7(2), 5–10. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=291323478001>
- Madera P., C. A. (2016). Tratamiento de lixiviados de relleno sanitario por medio de humedales construidos sembrados con policultivos de plantas nativas. *Ingeniería y Competitividad*, 18(2), 183. <https://doi.org/10.25100/iyc.v18i2.2166>
- Madera-Parra, C. A., Peña, M. R., Peña, E. J., & Lens, P. N. L. (2014). Cr(VI) and COD removal from landfill leachate by polyculture constructed wetland at a pilot scale. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(17), 12804–12815. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3623-z>

- Madera-Parra, C. A., Peña-Salamanca, E. J., Peña, M. R., Rousseau, D. P. L., & Lens, P. N. L. (2014). Phytoremediation of Landfill Leachate with *Colocasia esculenta*, *Gynerum sagittatum* and *Heliconia psittacorum* in Constructed Wetlands. *International Journal of Phytoremediation*, 17(1), 16–24. <https://doi.org/10.1080/15226514.2013.828014>
- Madera-Parra, C. A., & Ríos, D. A. (2017). Constructed Wetlands for Landfill Leachate Treatment. *Sustainable Heavy Metal Remediation*, 121–163. https://doi.org/10.1007/978-3-319-58622-9_5
- Martínez, J. J., & Rojas, C. A. (2018). DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE UN HUMEDAL A ESCALA DE LABORATORIO PARA TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS DEL RELLENO SANITARIO LA ESMERALDA. *Repositorio Universidad Católica de Manizales*. Published.
- Montero, L. J., & Salazar, K. J. (2018). *Estudio de Humedales Artificiales para la Eliminación de Nitrógeno en Lixiviados Provenientes de la Disposición Final de Residuos Sólidos Municipales*. Universidad Autónoma de Occidente.
- Morales, K. P. (2018). *DISEÑO DE HUMEDALES ARTIFICIALES PARA EL TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS EN VILLAVICENCIO*. Universidad Militar Nueva Granada.
- Mosquera, Y. N. (2012). Tratamiento de lixiviados mediante humedales artificiales: revisión del estado del arte. *Tumbaga*, 1(7), 73–99. <http://revistas.ut.edu.co/index.php/tumbaga/article/view/377>
- Pantoja, H. A., & Tarapues, G. (2017). *REMOCIÓN CARGA CONTAMINANTE CON HUMEDALES ARTIFICIALES DE TIPO PILOTO*

SUB-SUPERFICIAL HORIZONTAL (HAFSSh), GRANJA BOTANA, NARIÑO.

Universidad de Nariño.

- Peña, G. M. (2007). *Comparación del Tratamiento de Lixiviados por medio de Humedales Artificiales con otros Sistemas Convencionales de Tratamiento.* Universidad de los Andes.
- Pidre, J. R. (2010). Influencia del tipo y granulometría del sustrato en la depuración de las aguas residuales por el sistema de humedales artificiales de flujo vertical y horizontal. *ResearchGate.* Published. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4562.0640>
- Ramirez, H. F., Luna, V. M., & Arredondo, J. L. (2009). Evaluación de un humedal artificial de flujo vertical intermitente, para obtener agua de buena calidad para la acuicultura. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 8(1). http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1665-27382009000100009&script=sci_arttext&tlng=en
- Rodríguez Chaparro, T., & Ospina, I. M. (2005). Humedales artificiales de flujo vertical para mejorar la calidad del agua del río Bogotá. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 15, 74–84. <https://doi.org/10.18359/rcin.1256>
- Rodriguez-Dominguez, M. A., Konnerup, D., Brix, H., & Arias, C. A. (2020). Constructed Wetlands in Latin America and the Caribbean: A Review of Experiences during the Last Decade. *Water*, 12(6), 1744. <https://doi.org/10.3390/w12061744>
- Romero, M., Sanchez, E., & Ortiz, L. (2009). Wastewater treatment by an artificial wetlands pilot system: evaluation of the organic charge removal. *ResearchGate*, 25(3), 157–167. https://www.researchgate.net/publication/297566567_Wastewater_treatment_

by_an_artificial_wetlands_pilot_system_evaluation_of_the_organic_charge_removal

- Tavarez, R. (2013, 16 mayo). *Humedales artificiales como sistemas naturales de depuración de aguas residuales. Conceptos e historia.* / *El Agua*. Madrid Blogs.
<https://www.madrimasd.org/blogs/remtavares/2013/05/16/131891#:~:text=Los%20humedales%20artificiales%20son%20zonas,procesos%20f%C3%ADsicos%2C%20biol%C3%B3gicos%20y%20qu%C3%ADmicos>
- Toro-Vélez, A., Madera-Parra, C., Peña-Varón, M., Lee, W., Bezares- Cruz, J., Walker, W., Cárdenas-Henao, H., Quesada-Calderón, S., García-Hernández, H., & Lens, P. (2016). BPA and NP removal from municipal wastewater by tropical horizontal subsurface constructed wetlands. *Science of The Total Environment*, 542, 93–101.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.09.154>
- Torres Gil, L. K., Saba, M., & Eljaiek-Urzola, M. (2020). Horizontal Subsurface-Flow-Constructed Wetlands with Tropical Vegetation for the Treatment of Landfill Leachate: Case Study in Cartagena, Colombia. *Journal of Environmental Engineering*, 146(10), 04020115.
[https://doi.org/10.1061/\(asce\)ee.1943-7870.0001798](https://doi.org/10.1061/(asce)ee.1943-7870.0001798)
- Úsuga, F. A., Patiño, A. F., Rodríguez, D. C., & Peñuela, G. A. (2018). Kinetic study and removal of contaminants in the leachate treatment using subsurface wetlands at pilot scale. *Revista ION*, 30(2), 55–63.
<https://doi.org/10.18273/revion.v30n2-2017005>

- von Sperling, M. (2014). Comparison of simple, small, full-scale sewage treatment systems in Brazil: UASB–maturation ponds–coarse filter; UASB–horizontal subsurface-flow wetland; vertical-flow wetland (first stage of French system). *Water Science and Technology*, 71(3), 329–337. <https://doi.org/10.2166/wst.2014.496>
- Vymazal, J., & Březinová, T. (2015). The use of constructed wetlands for removal of pesticides from agricultural runoff and drainage: A review. *Environment International*, 75, 11–20. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2014.10.026>
- Works, E. (2015). *Humedales artificiales como sistemas naturales de depuración de aguas residuales. Conceptos e historia*. Aguas Residuales. <https://www.aguasresiduales.info/revista/blog/humedales-artificiales-como-sistemas-naturales-de-depuracion-de-aguas-residuales-conceptos-e-historia#:~:text=Los%20humedales%20artificiales%20son%20zonas,procesos%20f%C3%ADsicos%2C%20biol%C3%B3gicos%20y%20qu%C3%ADmicos.>
- Zhang, D. Q., Jinadasa, K. B. S. N., Gersberg, R. M., Liu, Y., Tan, S. K., & Jern, W. (2015). Application of constructed wetlands for wastewater treatment in tropical and subtropical regions (2000–2013). *Science Direct*. Published. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2014.10.013>

ANEXOS

ANEXO I. FICHAS BIBLIOGRÁFICAS

Fecha de lectura: 28/05/2021	Consecutivo: 1
Título: TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS UTILIZANDO HUMEDALES CONSTRUIDOS Y DETERMINACIÓN DE CONDUCTIVIDADES HIDRÁULICAS EN CLIMA TROPICAL.	
Autores: Jiménez Cerón, Y. F., Delgado Calvache, L. I., Fernández Tulande, C., Pino Alegría, H. M., Casas Zapata, J. C., Madera Parra, C. A., Lara Borrero, J. A., Morató Farreras, J., & Rengifo Canizales, E.	
Referencia Bibliográfica: Jiménez Cerón, Y. F., Delgado Calvache, L. I., Fernández Tulande, C., Pino Alegría, H. M., Casas Zapata, J. C., Madera Parra, C. A., Lara Borrero, J. A., Morató Farreras, J., & Rengifo Canizales, E. (2018). Tratamiento de lixiviados utilizando humedales construidos y determinación de conductividades hidráulicas en clima tropical. <i>Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica</i> , 21(2), 543–552. https://doi.org/10.31910/rudca.v21.n2.2018.979	
Conceptos, contextos y aspectos metodológicos que propone el texto: Se realiza tratamiento de aguas lixiviadas, por medio de humedales artificiales en clima tropical. Se aplicó en la ciudad de Popayán, Colombia, en un relleno sanitario en donde se depositaban al menos 210t de residuos sólidos diariamente, lo cual generaba entre 0,001 y	

0,003 m³/s de lixiviados.

De allí que lo que se pretende es determinar la eficiencia de seis sistemas de HC *Heliconia psittacorum* y *Cyperus haspan* en términos de DQO, N-NO₃ P-PO₄, Pb⁺², para posteriormente evaluar la incidencia del tiempo de operación sobre la conductividad hidráulica para el tratamiento de lixiviados.

Para ello, se vio la necesidad de emplear *“6 HCFSSH a escala piloto, en fibra de vidrio, de dimensiones 0,6m de ancho, 1m de largo, 0,6m de altura, con tubería de entrada y salida en cada sistema, operados en flujo continuo y una pendiente del 1%”*.

Posteriormente se instalaron piezómetros por humedal, en tubería PVC y flauta de distribución del flijo de salida. Se usó grava lavada. Para el afluente y efluentes se presentó un pH alcalino, asimismo se demostró que la grava aporta alcalinidad en forma de iones carbonato y bicarbonato. Asimismo, la edad del relleno es un factor a tomar en cuenta.

Palabras clave: Humedales, lixiviados, tecnologías de depuración, proceso anaerobio, membranas, hidráulico, materia orgánica, nutrientes, plomo, *heliconia psittacorum*, *Cyperus haspan*. CAH Thesaurus.

Pregunta de Investigación: ¿Qué tan eficiente son los sistemas HCFSSH a escala piloto plantados con *H. psittacorum* y *C. haspan*, en términos de DQO, N-NO₃, P-PO₄, Pb⁺²?

¿Qué incidencia del tiempo de operación sobre la conductividad hidráulica, tratando lixiviados del relleno sanitario “el ojito” de Popayán?

Análisis interpretativo del revisor: Importante mencionar que el tratamiento en cuestión trae consigo interacción de múltiples procedimientos biológicos, químicos y

físicos que también dependen del tiempo y de factores de diferentes índoles para demostrar sus resultados. A partir de allí, se entiende que los humedales construidos podría ser de conductividad hidráulica como se mostró en el artículo referenciado, teniendo en cuenta la afectación por el crecimiento de biopelícula, deposición de precipitados químicos y acumulación de lodos y biomasa lo cual contribuye a la disminución de calidad y tamaño de espacios vacíos en el filtro, lo cual lo constituye como un método medianamente eficiente.

Referencias de interés que cita el autor:

- SPIELES, D.J.; MITSCH, W.J. 1999. The effects of season and hydrologic and chemical loading on nitrate retention in constructed wetlands: a comparison of low- and high-nutrient riverine systems. *Ecological Engineering*. 14(1/2):77-91.
- LIU, H.; HU, Z.; ZHANG, J.; NGO, H.; GUO, W.; LIANG, S.; FAN, J.; LU, S.; WU, H. 2016. Optimizations on supply and distribution of dissolved oxygen in constructed wetlands: A review. *Ecological Engineering*. 214:797-805.
- NIVALA, A.; KNOWLES, P.; DOTRO, G.; GARCÍA, J.; WALLACE, S. 2012. Clogging in subsurface-flow treatment wetlands: measurement, modeling and management. *Water Research*.46(6):1625-1640.
- BOWMER, K. 1987. Nutrient removal from effluents by artificial wetland: Influence of rhizosphere aeration and preferential flow studied using bromide and dye tracers. *Water Research*. (USA). 21(5):591-599.

Fecha de lectura: 28/05/2021	Consecutivo: 2
Título: Tratamiento de lixiviados mediante humedales artificiales: revisión del estado del arte.	
Autores: Yesica Natalia Mosquera	
Referencia Bibliográfica: Mosquera, Y. N. (2012). Tratamiento de lixiviados mediante humedales artificiales: revisión del estado del arte. <i>Tumbaga</i> , 1(7), 73–99. http://revistas.ut.edu.co/index.php/tumbaga/article/view/377	
Conceptos, contextos y aspectos metodológicos que propone el texto: Se muestra la manera mediante la cual las aguas lixiviadas se tratan por medio de la aplicación de humedales artificiales. Aquellos sistemas de tipo natural se consideran eficientes por los procedimientos físicos, químicos y biológicos que mejoran la calidad de las aguas residuales que fluyen por medio de los mismos. Se evidencia la disminución en costos para el mantenimiento de los mismos frente a los de tecnologías convencionales de tratamiento, que en principio son similares en su construcción. Se recopilan diferentes estudios al respecto de la implementación de sistemas de humedales construidos para el tratamiento de lixiviados de vertederos sanitarios.	
Palabras clave: humedales artificiales, lixiviados, vertederos, tratamiento natural, flujo subsuperficial, flujo libre.	
Pregunta de Investigación: ¿Qué tan eficientes es la implementación de sistemas de humedales construidos para el tratamiento de lixiviados de vertederos sanitarios?	

Análisis interpretativo del revisor: El tratamiento se califica como eficiente entendiendo que por medio de la aplicación de los humedales artificiales para el tratamiento de lixiviados en vertederos de residuos sólidos se ha visto que la remoción es satisfactoria, especialmente en lo que corresponde a sólidos suspendidos DBO y amonio. Han sido varias las experiencias de aplicación de humedales artificiales, de igual manera son una alternativa viable para el tratamiento de los mismos y aplicable a diferentes niveles de tratamiento.

Referencias de interés que cita el autor:

- Sawaittayothin, V. y Polprasert, C. (2007). Nitrogen mass balance and microbial analysis of constructed wetlands treating municipal landfill leachate. *Bioresource Technology*, 98, 565-570
- Mannarino, C. F. et al.(2006). Wetlands para tratamiento de lixiviados de aterros sanitarios: experiências no aterro sanitário de Pirai e no aterro metropolitano de Gramacho (RJ). *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 11, 108-112.
- Hooper, F. K. (1999). Iron Accumulation in leachate treatment wetlands: toxicity to benthic invertebrates. En Mulamootil, G.; McBean, E. A. y Rovers, F. *Constructed Wetlands for the Treatment of Landfill Leachates* (pp. 251-259). Annapolis: Lewis Publisher.
- Aslam, M. M. et al. (2007). Treatment performances of compost-based and gravel-based vertical flow wetlands operated identically for refinery wastewater treatment in Pakistan. *Ecological engineering*, 30, 34-42.

Fecha de lectura: 28/05/2021

Consecutivo: 3

Título: DISEÑO DE HUMEDALES ARTIFICIALES PARA EL TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS EN VILLAVICENCIO

Autores: KATHERINNE PAOLA MORALES RODRÍGUEZ

Referencia Bibliográfica: Morales, K. P. (2018). DISEÑO DE HUMEDALES ARTIFICIALES PARA EL TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS EN VILLAVICENCIO. Universidad Militar Nueva Granada.

Conceptos, contextos y aspectos metodológicos que propone el texto: El artículo se refiere a “Propuesta de diseño de Humedales Artificiales para el tratamiento de lixiviados generados por la recolección de basuras en la ciudad de Villavicencio.” Se toma como referencia el estudio realizado por BIOADRÍCOLA DEL LLANO S.A. E.S.P. debido a la aplicación de humedales artificiales, en el tratamiento de lixiviados, lo cual consistió en una digestión anaerobia de flujo a pistón. El artículo implementó dos tipos de investigación. Por una parte, exploratoria entendiendo un primer acercamiento al tema, por otra parte descriptiva, consistente en el planteamiento de lo más relevante. Al final se realizó una propuesta como solución a una problemática ambiental en Villavicencio.

Palabras clave: Humedales artificiales, Lixiviados, Relleno sanitario, Tratamiento, Villavicencio.

Pregunta de Investigación: ¿Es eficiente la implementación de humedales artificiales para el tratamiento de aguas lixiviadas?

Análisis interpretativo del revisor: Se logra evidenciar la importancia que posee el uso de humedales artificiales en la depuración de aguas. Se ha demostrado que a lo largo de los años, se ha promocionado aún más este mecanismo como una alternativa de tratamiento de aguas residuales. Su efectividad es evidente entendiendo que la transformación de nutrientes retiene y eliminan sustancias tóxicas.

Además, debe entenderse que la composición del lixiviado constituye graves repercusiones a la salud, la aplicación de estos tratamientos efectivamente se encuentra conforme a la normatividad colombiana para el tratamiento de aguas lixiviadas. partiendo de lo anterior se corrobora la viabilidad del uso de humedales artificiales en el tratamiento de lixiviados.

Referencias de interés que cita el autor:

- P. Torres-Lozada, «Impacto de la incorporación de lixiviados en el arranque de reactores anaerobios al tratar aguas residuales domésticas,» Ingeniería y Universidad, vol. 14, nº 2, pp. 313 - 326, 2010.
- D. T. Naturalea, «Naturalea,» Naturalea Conservación, S.L., 15 Mayo 2017. [En línea]. Available: <https://www.naturalea.eu/es/inicio/>. [Último acceso: 13 septiembre 2018].
- Sociedad Quebequense de Tratamiento de Aguas Residuales Canadá, Estudios técnicos de sustitución aplicables al saneamiento de aguas servidas de pequeñas comunidades: sistema de tratamiento de aguas servidas por medio de Humedales Artificiales, Bogotá: Organización Panamericana de la Salud, 1999.
- Ó. Delgadillo, A. Camacho, L. F. Pérez y M. Andrade, Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales, Cochabamba: Centro Andino para la

Gestión y Uso del Agua, 2010.

Fecha de lectura: 28/05/2021	Consecutivo: 4
Título: Comparación del Tratamiento de Lixiviados por medio de Humedales Artificiales con otros Sistemas Convencionales de Tratamiento.	
Autores: Gina Marcela Peña Marinez	
Referencia Bibliográfica: Peña, G. M. (2007). <i>Comparación del Tratamiento de Lixiviados por medio de Humedales Artificiales con otros Sistemas Convencionales de Tratamiento</i> . Universidad de los Andes.	
Conceptos, contextos y aspectos metodológicos que propone el texto: En el artículo se comparan tratamientos convencionales como las lagunas aerobias y anaerobias, y la aplicación de humedales artificiales para el tratamiento de aguas lixiviadas en Colombia. A partir de allí se comienzan a evidenciar las características de los lixiviados en general en Colombia, como de los tratamientos que se usan en el país hasta la actualidad. Posteriormente se determina la posibilidad de implementar en Colombia el tratamiento por medio de la implementación de humedales artificiales en donde se dan cuenta de las ventajas y desventajas.	
Palabras clave: Lixiviado, tratamiento, humedales artificiales, laguna anaerobia, laguna aerobia, vertimientos, desechos, rellenos sanitarios.	

Pregunta de Investigación: ¿Cuál es el método más eficiente para el tratamiento de aguas lixiviadas en Colombia?

Análisis interpretativo del revisor: El empleo de humedales artificiales podría ser catalogado como beneficioso, no sólo para las aguas residuales domésticas, sino también las industriales. Caso contrario ocurre con el tratamiento de lixiviados debido a que no es un tema muy común. Al respecto, en comparación con las tecnologías convencionales, se puede dar cuenta que los tratamientos de lixiviados más opcionales son los humedales artificiales de flujo subsuperficial y las lagunas anaerobias. Siendo estos últimos los que mejores ventajas presentan al respecto, además de la disminución de costos, por lo que presentan menos tratamientos de lixiviados.

Referencias de interés que cita el autor:

- *Recuperación Ambiental de la Cuenca del Lago de Patzcuaro.* (s.f.) Humedales para el tratamiento de aguas residuales y la producción de materia prima con fines artesanales en la cuenca de lago de Pátzcuaro. Recuperado el 17 de Mayo de 2007.
- Ritmann, B. & McCarty, P. (2001). Balsas Aireadas. En A. García (Ed.) *Bioteología del Medio Ambiente.* (F. Garralda, Trad.) (pp. 385 - 421). Aravaca, Madrid, España: McGraw - Hill, Inc.
- Rodríguez M. S. (2005). *Tratamientos no convencionales. Humedales.* Bogotá D.C, Colombia: Universidad de los Andes.

Fecha de lectura: 28/05/2021

Consecutivo: 5

Título: Tratamiento de lixiviados de relleno sanitario por medio de humedales construidos sembrados con policultivos de plantas nativas

Autores: Carlos A. Madera P.

Referencia Bibliográfica: Madera P., C. A. (2016). Tratamiento de lixiviados de relleno sanitario por medio de humedales construidos sembrados con policultivos de plantas nativas. *Ingeniería y Competitividad*, 18(2), 183. <https://doi.org/10.25100/iyc.v18i2.2166>

Conceptos, contextos y aspectos metodológicos que propone el texto: En el trabajo se presentan resultados a escala piloto de la eficiencia de humedales artificiales construidos con sembrados de policultivos de especies tropicales de diferente índole para el tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios.

“Los CW fueron operados durante 7 meses a gravedad y flujo continuo ($Q=0.5 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$). Tres CW fueron divididos en tres secciones y en cada sección (5.98 m^2) se sembraron 36 plántulas de una especie. La otra unidad se plantó aleatoriamente. La distribución final de plantas fue: : CW-I (He-Ce-Gs), CW-II (aleatorio), CW-III (Ce-Gs-He) and CW-IV (Gs-He-Ce)”. (Madera P., 2016).

Palabras clave: Lixiviados, relleno sanitario, policultivos, plantas nativas, drenaje, distribución, flujo continuo, plántulas.

Pregunta de Investigación: ¿Las plantas nativas podrían catalogarse como un mecanismo eficiente para el tratamiento de aguas residuales?

Análisis interpretativo del revisor: Los humedales artificiales construidos por

policultivos de especies nativas constituyen importantes características en el tratamiento de aguas lixiviadas. Su capacidad de fitorremediación de lixiviación de rellenos sanitarios podría ser catalogadas como acumuladoras de metales pesados.

Referencias de interés que cita el autor:

- Madera-Parra C.A., Peña-Varón M.R., Peña-Salamanca E.J. & Lens N.L.P. (2015) Cr (VI) and COD Removal From Landfill Leachate by Polyculture Constructed Wetlands At a Pilot Scale. Journal Environmental Science and Pollution Research 22 (17), 12804-12815.
- Bindu, T., Sylas, V.P., Mahesh, M., Rakesh, P.S. & Ramasamy, E.V. (2008). Pollutant removal from domestic wastewater with Taro (*Colocasia esculenta*) planted in a subsurface flow system. Ecological Engineering 33 (1), 68-82.
- Soda, S., Hamada, T., Yamoaka, Y., Ike, M., Nakazato, H., Saeki, Y., Kasamatsu, T. & Sakurai, Y. (2012). Constructed wetlands for advanced treatment of wastewater with a complex matrix from a metal-processing plant: Bioconcentration and translocation factors of various metals in *Acorus gramineus* and *Cyperus alternifolius*. Ecological Engineering 39, 63-70.

Fecha de lectura: 02/06/2021	Consecutivo: 6
Título: Estudio de Humedales Artificiales para la Eliminación de Nitrógeno en Lixiviados Provenientes de la Disposición Final de Residuos Sólidos Municipales.	
Autores: Laura Julieth Montero Zapata, Karen Julieth Salazar Zapata	

Referencia Bibliográfica: Montero, L. J., & Salazar, K. J. (2018). *Estudio de Humedales Artificiales para la Eliminación de Nitrógeno en Lixiviados Provenientes de la Disposición Final de Residuos Sólidos Municipales*. Universidad Autónoma de Occidente.

Conceptos, contextos y aspectos metodológicos que propone el texto: La investigación se realizó en la Planta de Tratamiento de Agua Residual de la Universidad Autónoma de Occidente, en Cali. Allí se operaron cuatro humedales artificiales de flujo subsuperficial a escala piloto. El objetivo del trabajo consistió en la evaluación de los humedales artificiales para la eliminación del nitrógeno contenido en lixiviados que provienen de la disposición final de residuos sólidos del municipio. Se determinó que la reducción de las variables de respuesta del sistema para cada línea de tratamiento fue de al menos el 47.8% en DQO y al menos 65.9% DBOs, también 67.0% en alcalinidad.

Palabras clave: Lixiviado, nitrógeno, subsuperficial, humedales artificiales, residuos sólidos, amoniaco.

Pregunta de Investigación: ¿Qué tan eficiente podría ser la aplicación de humedales artificiales para el tratamiento de aguas lixiviadas en la retención de nitrógeno?

Análisis interpretativo del revisor: Se puede interpretar que a pesar de que los resultados obtenidos en este estudio, se logra tomar que las diferencias entre una configuración de los humedales y otra no es muy diferente, sin embargo en uno de los experimentos se logró determinar que presentó mejor desempeño en la eliminación de nitrógeno del lixiviado teniendo en cuenta que la calidad del efluente era mejor y reducida en nitrógeno.

Referencias de interés que cita el autor:

- Velásquez, Rojas V. Monge y Londoño (s.f.). Alternativa de tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios en plantas de aguas residuales urbanas. Recuperado de <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/mexico2005/orta.pdf>

Fecha de lectura: 02/06/2021	Consecutivo: 7
Título: Diseño de Humedal Construido para tratar los lixiviados del Proyecto de Relleno Sanitario de Pococí.	
Autores: CARLOS MANUEL FONSECA CASTRO.	
Referencia Bibliográfica: Fonseca, C. M. (2010). <i>Diseño de Humedal Construido para el tratar los lixiviados del Proyecto de Relleno Sanitario de Pococí</i> . Instituto Tecnológico de Costa Rica.	
Conceptos, contextos y aspectos metodológicos que propone el texto: Se intentó establecer la construcción de una planta natural de tratamiento de lixiviados, por medio de humedales artificiales de flujo subsuperficial. En el mismo se constató la eliminación y remoción de contaminantes presentes en los lixiviados. Aquello constituye un posible ahorro en gastos operacionales de tratamiento. La proposición del sistema de humedales incluye una serie de planos constructivos, identificando el presupuesto para su desarrollo, también la ubicación acertada para garantizar la efectividad de la operación.	

Palabras clave: Palabras claves: Relleno Sanitario, Planta de

Tratamiento, Humedal Construido, Lixiviados.

Pregunta de Investigación: ¿Contribuye a la disminución de costos, la creación de humedales artificiales para el tratamiento de lixiviados?

Análisis interpretativo del revisor: En lo correspondiente a los resultados obtenidos fueron las dimensiones y áreas con las que se debió contar. Para la selección de detalles se analizaron principios de la hidráulica y mecánica de suelos. Es importante mencionar que, si bien es cierto que este tipo de proyectos son relativamente novedosos, no es algo muy aplicable en la actualidad. ahora bien, la aplicación de la misma en diferentes zonas podría destinarse a una variedad de aguas residuales independientes de las lixiviadas.

Referencias de interés que cita el autor:

- García, J. 2008. DEPURACIÓN CON HUMEDALES CONSTRUIDOS. GUÍA PRÁCTICA DE DISEÑO, CONSTRUCCION Y EXPLOTACIÓN DE SISTEMAS DE HUMEDALES DE FLUJO SUB SUPERFICIAL. Catalunya. Departamento de Ingeniería Hidráulica, Marítima y Ambiental de la Universidad Politécnica de Catalunya.
- Llagas, W; 2006. Diseño de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en la UNMSM. REVISTA DEL INSTITUTO DE INVESTIGACIONES FIGMMG. Volumen 15, No17, 85-96.
- Jaime Lara. 1999, DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES CON HUMEDALES ARTIFICIALES. Proyecto Final. Instituto Catalán de

Tecnología. Barcelona España. No 29:94

- Cepis. 2007. DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE RELLENOS SANITARIOS. Washington D.C. Estados Unidos.

Fecha de lectura: 02/06/2021	Consecutivo: 8
Título: REMOCIÓN CARGA CONTAMINANTE CON HUMEDALES ARTIFICIALES DE TIPO PILOTO SUB-SUPERFICIAL HORIZONTAL (HAFSSh), GRANJA BOTANA, NARIÑO	
Autores: HERLANDI ANDRÉS PANTOJA ESTRADA, GINNA TARAPUES PAZOS	
Referencia Bibliográfica: Pantoja, H. A., & Tarapues, G. (2017). <i>REMOCIÓN CARGA CONTAMINANTE CON HUMEDALES ARTIFICIALES DE TIPO PILOTO SUB-SUPERFICIAL HORIZONTAL (HAFSSh), GRANJA BOTANA, NARIÑO</i> . Universidad de Nariño.	
Conceptos, contextos y aspectos metodológicos que propone el texto: En el estudio se analiza la posibilidad de remover la carga contaminante de agua por medio de humedales artificiales de tipo piloto subsuperficial horizontal en una granja del departamento de Nariño. En este sentido se determina que las aguas residuales que provienen de la crianza de porcinos tienen carga contaminante muy alta por lo que los sistemas convencionales posiblemente no sean lo suficientemente efectivos. Se diseñó un sistema que se compuso	

mediante cuatro humedales artificiales con variaciones de especies vegetales. Los resultados arrojados básicamente fueron una remoción de carga contaminante de un 12%, por una parte y de 22% por DQO, posiblemente por la mayor adaptabilidad a medios saturados y morfología.

Palabras clave: Canna Sp; DBO5, DQO, Schoenoplectus californicus C.A. Mey., SST, Tratamiento de aguas residuales, Zantedeschia aethiopica L.

Pregunta de Investigación: ¿Es posible aplicar los humedales artificiales de tipo subsuperficial horizontal para el tratamiento de aguas residuales?

Análisis interpretativo del revisor: Es importante establecer que, para la realización de este tipo de mecanismos en el tratamiento de aguas residuales, habrá que cuenta con área superficial suficiente para su aplicación. Se evidencia verificar también si otras variables como fósforo e hidrógeno son susceptibles de remoción del agua por parte de los humedales.

Referencias de interés que cita el autor:

- 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. Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia, (69): 285-299.
- STEFANAKIS, A.; AKRATOS, C.; TSIHRINTZIS, V. 2014. Constructed Wetlands Classification. Vertical Flow Constructed Wetlands, pp. 17–25. En:

Centro Helmholtz para la Investigación Ambiental – UFZ, Primera edición. Elsevier Inc. Reino Unido. 369p. doi:10.1016/b978-0-12-404612-2.00002-7.

- PIDRE, J.; SLAS, J.; SANCHEZ, L. 2007. Manual de tecnologías no convencionales para la depuración de aguas residuales. Primera edición. Editorial Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua (CENTA). España.753p.

Fecha de lectura: 02/06/2021	Consecutivo: 9
Título: SISTEMAS DE TRATAMIENTOS PARA LIXIVIADOS GENERADOS EN RELLENOS SANITARIOS.	
Autores: Marionel de Jesús Corena Luna	
Referencia Bibliográfica: Corena, M. J. (2008). SISTEMAS DE TRATAMIENTOS PARA LIXIVIADOS GENERADOS EN RELLENOS SANITARIOS. Universidad de Sucre.	
Conceptos, contextos y aspectos metodológicos que propone el texto: En el artículo se conoce de diferentes métodos para el tratamiento de lixiviados en general. Se realiza análisis de, entre otros, los tratamientos físico químicos como precipitación química, oxidación química, ósmosis inversa, adsorción con carbono activo. Asimismo, se evidencian las alternativas como sistemas naturales y los métodos de diseño y recolección de lixiviados, como los sistemas para los mismos.	
Palabras clave: Osmosis, oxidación química, precipitación química, adsorción,	

lixiviados, recirculación.

Pregunta de Investigación: ¿Cuál es el mecanismo o metodología de depuración de lixiviados entre los procedimientos químicos y los naturales?

Análisis interpretativo del revisor: Es importante relacionar los diferentes mecanismos existentes en la recolección, además el tratamiento de los lixiviados, con el objeto de verificar el método más idóneo y menos costoso para tal situación. Asimismo, se prevé la necesidad de evitar filtraciones en las zonas de almacenamiento de los residuos.

Referencias de interés que cita el autor:

- Gobernación de Antioquia, Guía Para El Diseño, Construcción Y Operación De Un Relleno Sanitario Manual. Medellín-Colombia. abril de 1998.
- Organización Panamericana de la Salud - Organización Mundial de la Salud, Repidisca, “RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES”, 1994.
- Collazos P. Héctor, “RESIDUOS SÓLIDOS”, Universidad Nacional de Colombia, 1998.
- MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE, Guía ambiental para rellenos sanitarios. Tomo I, II. 2002.
- PINEDA, Samuel. Manejo y disposición de residuos sólidos urbanos. Panamericana formas e impresos. 1998.

Fecha de lectura: 02/06/2021

Consecutivo: 10

Título: HUMEDALES ARTIFICIALES: UNA ALTERNATIVA PARA TRATAMIENTO DE AGUAS DE PRODUCCIÓN

Autores: Paul Andréé Arce Cardona

Referencia Bibliográfica: Arce, P. A. (2018). *HUMEDALES ARTIFICIALES: UNA ALTERNATIVA PARA TRATAMIENTO DE AGUAS DE PRODUCCIÓN*. Fundación Universitaria de América.

Conceptos, contextos y aspectos metodológicos que propone el texto: En un primer momento se da cuenta de la importancia del tratamiento que poseen las aguas de producción. Así, se requiere de elementos que se consideren positivamente benefactores en costos y efectividad como lo son los humedales artificiales. De lo anterior se desprende que el diseño y construcción recomendadas son un elemento importante en la evaluación y verificación de los parámetros que se consideran importantes en el tratamiento de aguas residuales. Se presentan pasos para el diseño y construcción y la aplicación o implementación en diferentes partes del país.

Palabras clave: Humedales Artificiales; Aguas de Producción; Fitorremediación; Fitodepuración

Pregunta de Investigación: ¿Cuál es el tipo de humedal artificial más eficiente para el tratamiento de aguas residuales de producción?

Análisis interpretativo del revisor: Se revisó, por medio de una monografía el conocimiento de humedales artificiales a manera de alternativa de posible tratamiento

eficiente y económico para las aguas de producción de la industria petrolera, particularmente. De allí se toma como referencia la fitorremediación como técnica amigable con el medio ambiente.

Referencias de interés que cita el autor:

- Shutes RBE, Ellis JB, Revitt DM, Shang T. The use of *Typha latifolia* for heavy metal pollution control in urban wetlands. In: Moshiri GA, editor. Constructed wetlands for water quality management. USA: Lewis, 1993. pp. 407.
- OTÁLORA RODRIGUEZ, Alejandra Patricia. Evaluación del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas mediante humedales artificiales de alta tasa en la locación petrolera de Caño Gandul. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Química. p 1-163. Bogotá. 2011
- MARÍN MONTOYA, Jhoan Pablo. CORREA RAMÍREZ, Juan Carlos. Evaluación de la remoción de contaminantes en aguas residuales en humedales artificiales utilizando la *Guadua angustifolia* Kunth. Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Tecnología. Escuela de Tecnología Química. p 1-100. Pereira. 2010.

Fecha de lectura: 07/06/2021

Consecutivo: 11

Título: Tratamiento de lixiviados utilizando humedales construidos y determinación de conductividades hidráulicas en clima tropical.

Autores: Viviana M. Arteaga Cortez, Abel Quevedo Nolasco, David Hl del Valle Paniagua, Martiniano Castro Popoca, Ángel Bravo Vinaja, Jorge A. Ramirez Zlerold

Referencia Bibliográfica: Arteaga-Cortez, V. M., Quevedo-Nolasco, A., del Valle-Paniagua, D. H., Castro-Popoca, M., Bravo-Vinaja, N., & Ramírez-Zierold, J. A. (2019). Estado del arte: una revisión actual de los mecanismos que realizan los humedales artificiales para la remoción de nitrógeno y fósforo. *Tecnología y ciencias del agua*, 10(5), 319–342. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2019-05-12>

Conceptos, contextos y aspectos metodológicos que propone el texto: Se realizó un análisis sobre los estudios relacionados con el tratamiento de aguas residuales por medio de la utilización de humedales verticales. Asimismo se comienza a comparar los humedales naturales y artificiales. Posteriormente se muestra todo lo relacionado con los humedales de flujo libre, subsuperficial horizontal, subsuperficial vertical, humedales combinados o híbridos.

Palabras clave: Tratamiento de aguas residuales; humedales construidos; remoción; nitrógeno; fósforo.

Pregunta de Investigación: ¿Qué tipo de humedal es el más recomendado para el tratamiento de lixiviados?

Análisis interpretativo del revisor: Evidentemente existen múltiples estudios al respecto de los humedales artificiales. Por lo mismo, deberá entonces afirmarse que los humedales artificiales son la práctica más idónea en la gestión y mitigación de contaminantes en la mayoría de los países. Ciertamente faltan algunos estudios investigativos en el tema, los cuales permiten dar cuenta de la eficiencia depurativa que provee la aplicación de los mismos.

Referencias de interés que cita el autor:

- Vymazal, J. (2009). The use constructed wetlands with horizontal sub-surface flow for various types of wastewater. *Ecological Engineering* , 35(1), 1-17, <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2008.08.016>.
- Llagas, Ch., Wilmer A., & Gómez, A. (2006). Diseño de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en la UNMSM. *Revista del instituto de investigaciones FIGMMG*, 15(17), 85-96.
- Cloter, A., Mazari, H., & De Anda, S. (2006). Atlas de la cuenca Lerma Chapala construyendo una visión conjunta. México, DF, México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Zhao, Z., Li, Q., & Chen, L. (2018). Effect of rhizosphere dispersal and impulsive input on the growth of wetland plant. *Mathematics and Computers in Simulation*, 152, 69-80.

Fecha de lectura: 07/06/2021	Consecutivo: 12
Título: DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE UN HUMEDAL A ESCALA DE LABORATORIO PARA TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS DEL RELLENO SANITARIO LA ESMERALDA.	
Autores: J, J, Martinez; C, A, Rojas	
Referencia Bibliográfica: Martinez, J. J., & Rojas, C. A. (2018). DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE UN HUMEDAL A ESCALA DE	

LABORATORIO PARA TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS DEL RELLENO

SANITARIO LA ESMERALDA. *Repositorio Universidad Católica de Manizales.*

Published.

Conceptos, contextos y aspectos metodológicos que propone el texto: En el artículo se revisa el funcionamiento de un humedal artificial, de conformidad con sus características particulares como componentes, físicos, químicos y demás. De allí se demuestra que su ubicación pertenece a la ciudad de Manizales. La metodología propuesta se compuso por una revisión bibliográfica en su diseño y construcción para proceder a la construcción de un humedal artificial de flujo vertical.

Palabras clave: Lixiviados, relleno, remoción, construcción, humedal artificial, flujo vertical.

Pregunta de Investigación: ¿Qué tan eficiente es el humedal artificial de flujo vertical para el tratamiento de lixiviados?

Análisis interpretativo del revisor: De conformidad con las evidencias y con los resultados obtenidos se logra mirar que el tratamiento de aguas por medio del humedal artificial es un mecanismo adecuado para el tratamiento de lixiviados debido a la importancia de la vegetación utilizada. Además, un aspecto clave es la generación de la retención hidráulica por lo que el caudal tiene mayor retención y obteniendo un resultado aproximado a los 85% de efectividad en el tratamiento.

Referencias de interés que cita el autor:

- Acero Carlos Ariel Cdiaza, D., & Magíster en Ingeniería Civil, U. (2014). Tratamiento de agua residual a través de humedales. Congreso Internacional de Ingeniería Civil, Universidad Santo Tomás Seccional Tunja Tratamiento, 30. Retrieved from <http://www.ustatunja.edu.co/cong-civil/images/Articulos/-TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL A TRAVES DE HUMEDALES.pdf>
- RAMSAR, C. (2012). Los humedales artificiales. Componentes y tipos. Pamplona, España.

Fecha de lectura: 07/06/2021	Consecutivo: 13
Título: Optimización del tratamiento de aguas residuales de cultivos de flores usando humedales construidos de flujo subsuperficial horizontal.	
Autores: Jaramillo-Gallego, M. L., Agudelo-Cadavid, R. M., & Peñuela-Mesa, G. A.	
Referencia Bibliográfica: Jaramillo-Gallego, M. L., Agudelo-Cadavid, R. M., & Peñuela-Mesa, G. A. (2015). Optimización del tratamiento de aguas residuales de cultivos de flores usando humedales construidos de flujo subsuperficial horizontal. <i>Revista Facultad Nacional de Salud Pública</i> , 34(1). https://doi.org/10.17533/udea.rfnsp.v34n1a03	
Conceptos, contextos y aspectos metodológicos que propone el texto: En el estudio se realizó un trabajo experimental que consistió en dos etapas que básicamente se trataron de aspectos biológicos, físicos y químicos del sistema de tratamiento, mientras que la otra se llevó a cabo por medio de remoción de contaminantes durante nueve meses. Se logró evidenciar una eficiencia en el tratamiento alcanzando niveles de hasta el 56.9% en sólidos	

y 117% en sólidos suspendidos.

Palabras clave: tratamiento de aguas residuales industriales, humedales construidos, remoción de materia orgánica e inorgánica, *Typha domingensis*.

Pregunta de Investigación: ¿Se podría optimizar el tratamiento de aguas residuales de cultivos de flores por medio de humedales artificiales de flujo subsuperficial-horizontal?

Análisis interpretativo del revisor: El artículo referenciado da cuenta de que la concentración de DQO disminuyó considerablemente con el tratamiento de precipitación y oxidación química favoreciendo el sistema secundario por medio de los cuales los humedales actuaron de manera benefactora en el tratamiento.

Referencias de interés que cita el autor:

- American Public Health Association, American Water Works Association, & Water Environment Federation. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22 th ed. Washington DC: APHA; 2012.
- Superintendencia de Sociedades. Delegatura de Asuntos Económicos y Contables. Grupo de Estudios Económicos y Financieros Desempeño del Sector Floricultor 2008 - 2012. Bogotá D.C: La Superintendencia; 2013.
- Agudelo R, Machado C, Aguirre N, Morató J, Peñuela G. Optimal conditions for chlorpyrifos and dissolved organic carbon removal in subsurface flow constructed wetlands. Int J Environ An Ch. 2011, 91 (7-8): 668-679

Fecha de lectura: 07/06/2021	Consecutivo: 14
Título: Evaluación de humedales artificiales de flujo subsuperficial en la remoción de diferentes concentraciones de ibuprofeno empleando <i>Cyperus papyrus</i> .	
Autores: Cervantes, T. P., Londoño, Y. A., Gutiérrez, F. R., & Peñuela, G. A.	
Referencia Bibliográfica: Cervantes, T. P., Londoño, Y. A., Gutiérrez, F. R., & Peñuela, G. A. (2017). Evaluación de humedales artificiales de flujo subsuperficial en la remoción de diferentes concentraciones de ibuprofeno empleando <i>Cyperus papyrus</i> . <i>Tecnología y ciencias del agua</i> , 08(5), 105–116. https://doi.org/10.24850/j-tyca-2017-05-07	
Conceptos, contextos y aspectos metodológicos que propone el texto: En el artículo de la referencia se comienza a analizar la eficiencia presentada en los humedales artificiales, especialmente con la utilización de <i>Cyperus papyrus</i> como vegetación única en el proceso que tenía como finalidad eliminar partículas del medicamento ibuprofeno del agua. Para ello se dio un periodo de adaptación y se establecieron concentraciones distintas del medicamento mencionado para verificar su viabilidad. Se logró probar que dichos humedales presentaban un porcentaje de al menos 84% lo cual da cuenta de una buena capacidad de absorción en sus plantas.	
Palabras clave: biodegradación, ibuprofeno, humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal, contaminantes emergentes, remoción.	
Pregunta de Investigación: ¿Qué tan eficiente es el <i>Cyperus papyrus</i> en la remoción de	

ibuprofeno en el agua por medio del uso de humedales artificiales?

Análisis interpretativo del revisor: De manera evidente se muestra que los humedales remueven los agentes contaminantes cuando la concentración es menor. De allí que se demostró que en un experimento los resultados obtenidos fueron más benéficos que en otros. Lo anterior de igual manera da cuenta de que los humedales artificiales tienen esta capacidad de contener fármacos de igual manera.

Referencias de interés que cita el autor:

- Londoño, Y. A., & Peñuela, G. A. (2015b). Anaerobic biological treatment of methylparaben in an expanded granular sludge bed (EGSB). *Water Science & Technology*, 71(11), 1604

Fecha de lectura: 07/06/2021

Consecutivo: 15

Título: *Humedales artificiales como sistemas naturales de depuración de aguas residuales.*

Autores: Works, E.

Referencia Bibliográfica: Works, E. (2015). *Humedales artificiales como sistemas naturales de depuración de aguas residuales. Conceptos e historia.* Aguas Residuales. <https://www.aguasresiduales.info/revista/blog/humedales-artificiales-como-sistemas-naturales-de-depuracion-de-aguas-residuales-conceptos-e-historia#:~:text=Los%20humedales%20artificiales%20son%20zonas,procesos%20f%C>

3%ADsicos%2C%20biol%C3%B3gicos%20y%20qu%C3%ADmicos.

Conceptos, contextos y aspectos metodológicos que propone el texto: En el texto se comienza a relacionar la manera mediante la cual funcionan los humedales en el contexto mediante el cual da cuenta de los beneficios y diferentes tipos de humedales, como los componentes del mismo, lo que en su esencia busca o en principio requiere remover y demás.

Palabras clave: Depuración, humedal artificial, aguas residuales, plantas, sustrato, materia orgánica.

Pregunta de Investigación: ¿Qué son y para qué sirven los humedales artificiales?

Análisis interpretativo del revisor: Muestra un panorama amplio sobre la posibilidad de implementar este tipo de construcciones o humedales artificiales de cualquier tipo, lo cual constituye una herramienta importante en el tratamiento de aguas residuales y lixiviados, como que también contribuye activamente con los beneficios de costos que aquello requiere.

Referencias de interés que cita el autor:

- Performance of a constructed wetland in treating brackish wastewater from commercial recirculating and super-intensive shrimp growout Systems. Yonghai Shi, Genyu Zhang, Jianzhong Liu, Yazhu Zhu, Jiabo Xu

Fecha de lectura: 07/06/2021	Consecutivo: 16
Título: Fitorremediación con humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales porcinas	
Autores: Arias, S. A., Betancur, F. M., Gómez, G., Salazar, J. P., & Hernández, M. L.	
Referencia Bibliográfica: Arias, S. A., Betancur, F. M., Gómez, G., Salazar, J. P., & Hernández, M. L. (2010). Fitorremediación con humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales porcinas. <i>Informador Técnico</i> . Published. http://www.ciap.org.ar/Sitio/Archivos/Fitorremediacion%20con%20humedales%20artificiales%20para%20el%20tratamiento%20de%20aguas%20residuales%20porcinas.pdf	
Conceptos, contextos y aspectos metodológicos que propone el texto: En el texto se presenta una búsqueda de posibles soluciones a problemáticas de índole ambiental por medio de tecnologías sostenibles. Se implementaron humedales artificiales para tratar aguas residuales de la unidad productiva de cerdos. Aquello se realizó mediante fitorremediación en donde se evaluaba la efectividad de las construcciones y reducción de carga contaminante.	
Palabras clave: Fitorremediación, humedales artificiales, tratamiento de aguas residuales, sector pecuario, tecnologías de tratamiento alternativo; ambiental; tecnologías limpias.	
Pregunta de Investigación: ¿Que tanta efectividad tienen los humedales artificiales en	

el tratamiento de aguas residuales?

Análisis interpretativo del revisor: En el texto se logra apreciar que efectivamente se logra remover la materia orgánica en tiempo corto por lo que los sistemas de tratamiento de fitorremediación por el uso de humedales artificiales efectivamente es un sistema eficiente en el tratamiento de este tipo de aguas residuales.

Referencias de interés que cita el autor:

- CERÓN VIVAS, A. Y ROJAS SÁNCHEZ, P. Uso de macrófitas en depuración de aguas residuales. Santiago de Cali, Colombia, 1995, 114 p. Trabajo de grado (Ingeniero Sanitario). Universidad del Valle. Facultad de Ingeniería. Programa académico de ingeniería sanitaria.
- LARA BORRERO, J. A. Depuración de aguas residuales Municipales con humedales artificiales. Barcelona, España, 2009, 122 p. Trabajo final (Titulo Máster en Ingeniería y Gestión Ambiental). Universidad Politecnica de Cataluña. Instituto Catalan de Tecnologia. Disponible en:
<http://sites.google.com/site/humedalesartificiales/7-diseno-hidraulico>

Fecha de lectura: 07/06/2021

Consecutivo: 17

Título: Sistemas combinados para el tratamiento de aguas residuales basados en tanque séptico - filtro anaerobio y humedales subsuperficiales.

Autores: Carlos A. Madera, Juan P. Silva, Miguel R. Peña.

Referencia Bibliográfica: Madera, C. A., Silva, J. P., & Peña, M. R. (2005). Sistemas combinados para el tratamiento de aguas residuales basados en tanque séptico - filtro anaerobio y humedales subsuperficiales. *Ingeniería y Competitividad*, 7(2), 5–10.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=291323478001>

Conceptos, contextos y aspectos metodológicos que propone el texto: Se realiza un análisis sobre los vertimientos de los centros urbanos a las fuentes hídricas. Posteriormente se realiza un sistema de tanque séptico en el cual se coloca un filtro anaerobio de flujo ascendente para establecer un humedal artificial de flujo subsuperficial. En el humedal a escala de laboratorio y otro en escala real se desarrollaron efectivamente en la remoción de contaminantes.

Palabras clave: Aguas Residuales Domésticas, eficiencia de remoción, filtro anaerobio, humedal, sistema integrado, tanque séptico.

Pregunta de Investigación: ¿De qué forma podrían los humedales artificiales generar un aporte a la población que vierte el agua a los recursos hídricos?

Análisis interpretativo del revisor: Es importante mencionar que en el texto se realizaron dos tipos de tecnologías lo cual constituyó un avance significativo en el tratamiento de agua. Se logró demostrar una verdadera suspensión de sólidos además de considerar la variante del caudal sin que su eficiencia se viera afectada lo cual constituye este tipo de humedales como el elemento económico más eficiente a la actualidad.

Referencias de interés que cita el autor:

- Haberl, R.; Grego, S.; Langergraber, G.; Kadlec, R.; Cicalini, A.; Martins Dias, S.; Novais, J.; Aubert, S.; Gerth, A.; Thomas, H. y Hebner, A. (2003). Constructed Wetlands for the Treatment of Organic Pollutants. *Journal of Soils & Sediments* 3(2), 109- 124.
- Ministerio de Salud. (1984). Decreto 1594. Reglamentación de los vertimientos de los desechos líquidos. Santa fé de Bogotá. Colombia
- Moscoso, J; y Leon, G. (1994). Uso de Aguas Residuales. Hoja de Divulgación Tecnica. OPSCEPIS (59), Lima, Perú.

Fecha de lectura: 07/06/2021	Consecutivo: 18
Título: Evaluación de un humedal artificial de flujo vertical intermitente, para obtener agua de buena calidad para la acuicultura.	
Autores: Ramirez, H. F., Luna, V. M., & Arredondo, J. L.	
Referencia Bibliográfica: Ramirez, H. F., Luna, V. M., & Arredondo, J. L. (2009). Evaluación de un humedal artificial de flujo vertical intermitente, para obtener agua de buena calidad para la acuicultura. <i>Revista Mexicana de Ingeniería Química</i> , 8(1). http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1665-27382009000100009&script=sci_arttext&tlng=en	
Conceptos, contextos y aspectos metodológicos que propone el texto: Debido a la baja calidad de agua en los cuerpos hídricos se evidencia que los riesgos son de tipo endémico. De allí que se diseñó un humedal artificial que se alimenta con flujo vertical	

intermitente y que posee una carga hidráulica superficial. Se demuestra que la finalidad del humedal es realmente eficiente en la remoción de materia orgánica, nitrógeno y demás componentes contaminantes y peligrosos alcanzando una reducción de hasta el 92%.

Palabras clave: humedales artificiales, nitrógeno, ortofosfatos solubles, protección de vida silvestre.

Pregunta de Investigación: ¿Qué funciones podría cumplir el humedal vertical en la obtención de buena calidad de agua?

Análisis interpretativo del revisor: Se podría evidenciar el cumplimiento efectivo del objetivo que principalmente se perseguía con la aplicación de este método por lo que efectivamente la reducción de materiales y de componentes contaminantes fue realmente significativa en comparación con otros sistemas que permitan el tratamiento de aguas residuales.

Referencias de interés que cita el autor:

- Langergraber, G., Leroch, K., Pressl, A., Rohrhofer, R., y Haberl, R. (2008). A two-stage subsurface vertical flow constructed wetland for high-rate nitrogen removal. *Water Science and Technology* 57(12), 1881–1887.
- Kusch, P., Wiebner, U., Weibbrodt, F., Kastner, M. y Stottmeister, U. (2003). Annual cycle of nitrogen flow in a constructed wetland under moderate climate. *Water Research* 37, 4236–4242.
- Arias, C.A. y Brix, H. (2005). Phosphorus removal in constructed wetlands: can suitable alternative media be identified? *Water Science and Technology* 51(9), 267–

273.

Fecha de lectura: 07/06/2021	Consecutivo: 19
Título: Depuración de aguas residuales mediante humedales artificiales: la EDAR de Los Gallardos	
Autores: Lahora, A.	
Referencia Bibliográfica: Lahora, A. (2015). Depuración de aguas residuales mediante humedales artificiales: la EDAR de Los Gallardos (ALMERÍA). <i>ResearchGate</i> . Published. https://www.researchgate.net/publication/28152115_Depuracion_de_aguas_residuales_mediante_humedales_artificiales_la_EDAR_de_Los_Gallardos_ALMERIA	
Conceptos, contextos y aspectos metodológicos que propone el texto: En el texto se demuestra un diseño de humedal de flujo subsuperficial en donde se midieron inicialmente los parámetros y dimensiones del mismo. Se afirma la vegetación de manera óptima y se da un tiempo de un poco más de un año. Se logra verificar los resultados benéficos del mismo en la remoción de materia orgánica y demás componentes además la conductividad eléctrica en relación con la retención hidráulica.	
Palabras clave: Depuración, humedales, vertimientos, conductividad, hidráulica, flujo subsuperficial.	
Pregunta de Investigación: ¿Qué efectividad posee un humedal artificial en la	

conservación de los humedales naturales?

Análisis interpretativo del revisor: Es importante resaltar que el ejercicio académico e investigativo realizado permitió verificar la posibilidad de implementar efectivamente una laguna de maduración como oxigenación del afluente. Para ello deberá contarse con la vegetación adecuada para la implementación de humedal artificial y de esta manera verificar un efecto positivo en el tratamiento de aguas de cualquier índole.

Referencias de interés que cita el autor:

- Crites, R. y Tchobanoglous, G. (2000). Sistemas de manejo para aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados. Mc Graw Hill Interamericana, S.A. Santafé de Bogotá.
- U.S. Environmental Protection Agency (200^a). Manual: Constructed Wetlands Treatment of Municipal Wastewaters. EPA/625/R-99/010. US EPA Office of research and Development Cincinnati.

Fecha de lectura: 07/06/2021

Consecutivo: 20

Título: Influencia del tipo y granulometría del sustrato en la depuración de las aguas residuales por el sistema de humedales artificiales de flujo vertical y horizontal.

Autores: Pidre, J. R.

Referencia Bibliográfica: Pidre, J. R. (2010). Influencia del tipo y granulometría del sustrato en la depuración de las aguas residuales por el sistema de humedales artificiales de

flujo vertical y horizontal. *ResearchGate*. Published.

<https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4562.0640>

Conceptos, contextos y aspectos metodológicos que propone el texto: En el artículo se analiza el oxígeno que se encuentra presente en el agua, el mismo se debe entender que se consume por parte de las bacterias que las aguas residuales contienen sin un previo tratamiento, sin contar la materia orgánica. Se realiza la construcción de humedales que buscan descontaminar agua en una pequeña población de España. Se trata de dos tipos de humedales, uno vertical y otro horizontal.

Palabras clave: Descontaminar, humedales, agua, oxígeno.

Pregunta de Investigación: ¿Qué tanto oxígeno podrían consumir las bacterias presentes en las aguas residuales que se vierten a los cuerpos hídricos?

Análisis interpretativo del revisor: Se logra determinar por una parte la integración de ambos humedales, diferentes tipos que permiten dar cuenta de las posibles variables en el tratamiento de aguas residuales y de los resultados que se obtengan al respecto. Además debe entenderse las especies vegetales que juegan un papel importante en este tratamiento.

Referencias de interés que cita el autor:

- Coppola A., Santini A., Botti P., Vacca S., Comegna V., Severino G. (2004).
Methodological approach for evaluating the response of soil hydrological behavior to irrigation with treated municipal wastewater. *J. Hydrol.* 292, 114-134.
- Faulwetter J.L., Gagnon V., Sundberg C., Chazarenc F., Burr M.D., Brisson J.,

Camper A.K., Stein O.R. (2009). Microbial processes influencing performance of treatment wetlands: A review. *Ecological Engineering* 35 (6), 987-1004.

Fecha de lectura: 10/06/2021	Consecutivo: 21
Título: Horizontal Subsurface-Flow-Constructed Wetlands with Tropical Vegetation for the Treatment of Landfill Leachate: Case Study in Cartagena, Colombia	
Autores: Leydy K. Torres Gil; Manuel Saba, Ph.D.; and Monica Eljaiek-Urzola	
Referencia Bibliográfica: Torres Gil, L. K., Saba, M., & Eljaiek-Urzola, M. (2020). Horizontal Subsurface-Flow-Constructed Wetlands with Tropical Vegetation for the Treatment of Landfill Leachate: Case Study in Cartagena, Colombia. <i>Journal of Environmental Engineering</i> , 146(10), 04020115. https://doi.org/10.1061/(asce)ee.1943-7870.0001798	
Conceptos, contextos y aspectos metodológicos que propone el texto: La investigación se centra en la posible implementación de humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal para el tratamiento de lixiviados crudos y lixiviados pretratados con foto-fenton del relleno sanitario de la ciudad de Cartagena, Colombia. Para lograrlo, se implementaron tres humedales, uno con rhizophora mangle, otro con typha latifolia y otro sin vegetación en donde se aplicaron ensayos con lixiviado crudo y pretratado.	
Palabras clave: Lixiviados, vertederos, tratamiento, flujo subsuperficial, humedales,	

rypha latifolia.

Pregunta de Investigación: ¿Cuál es el método más eficiente para el tratamiento de lixiviados por medio de humedales artificiales subsuperficiales?

Análisis interpretativo del revisor: En las pruebas se logra demostrar que en todos los ensayos, los humedales tuvieron mayor eficiencia con lixiviados pretratados, cumpliendo con la normativa vigente, además con la remoción de contaminantes ligeramente superiores a las de humedales sembrados con manglares.

Referencias de interés que cita el autor:

- Tratamiento de aguas residuales de humedales construidos de flujo subterráneo
Avances en el tratamiento de aguas y aguas residuales
diciembre 2013
- Potencial de los humedales construidos con flujo subterráneo horizontal para el pulido de aguas residuales tratadas
Revista de Ingeniería Ambiental
Febrero de 2016
- Evaluación del desempeño de humedales construidos con flujo subterráneo horizontal para el tratamiento de aguas residuales domésticas en los trópicos
Revista de Ingeniería Ambiental
Agosto 2012

Fecha de lectura: 10/06/2021	Consecutivo: 22
Título: Phytoremediation of Landfill Leachate with <i>Colocasia esculenta</i> , <i>Gynerum sagittatum</i> and <i>Heliconia psittacorum</i> in Constructed Wetlands.	
Autores: Madera-Parra, C. A., Peña-Salamanca, E. J., Peña, M. R., Rousseau, D. P. L., & Lens, P. N. L.	
Referencia Bibliográfica: Madera-Parra, C. A., Peña-Salamanca, E. J., Peña, M. R., Rousseau, D. P. L., & Lens, P. N. L. (2014). Phytoremediation of Landfill Leachate with <i>Colocasia esculenta</i> , <i>Gynerum sagittatum</i> and <i>Heliconia psittacorum</i> in Constructed Wetlands. <i>International Journal of Phytoremediation</i> , 17(1), 16–24. https://doi.org/10.1080/15226514.2013.828014	
Conceptos, contextos y aspectos metodológicos que propone el texto: Se toma, como objeto de estudio, la acumulación de “Cd (II), Hg (II), Cr (VI) y Pb (II) en <i>Gynerium sagittatum</i> (Gs), <i>Colocasia esculenta</i> (Ce) y <i>Heliconia psittacorum</i> (He) plantadas en humedales artificiales para el tratamiento de vertederos sintéticos”. Básicamente se pusieron en funcionamiento 16 biorreactores con bloques experimentales. Se analizaron raíces, tallos, ramas y demás. Las remociones fueron de 92 a 98% en metales pesados.	
Palabras clave: Bioconcentración, humedales construidos, metales pesados, translocación.	
Pregunta de Investigación: ¿Cuánta efectividad tiene la implementación de humedales artificiales en el tratamiento de vertederos sintéticos?	

Análisis interpretativo del revisor: Se logró demostrar un alto contenido de metales pesados en los brotes, toda vez que las concentraciones eran de al menos 98% en remoción. “Los factores de translocación (TF) fueron menores, siendo He la planta que presentó TFs > 1 para Pb (II), Cr (T) y Hg (II) y 0,4-0,9 para Cd (II) y Cr (VI). Las plantas evaluadas demuestran su idoneidad para la fitorremediación de lixiviados de vertedero y todas se pueden catalogar como acumuladores de metales”.

Referencias de interés que cita el autor:

- Anning AK, Korsah PE, Addo-Fordjour P. 2013. Phytoremediation of wastewater with *Limnocharis flava*, *Thalia geniculata* and *Typha latifolia* in constructed wetlands. *Int J Phytorem* 15:452–464.
- Baker A, McGrath S, Reeves RD, Smith J. 2000. Metal hyperaccumulator plants: a review of the ecology and physiology of a biological resource for phytoremediation of metal-polluted soils. *Phytorem Contam Soil Water* 85–107
- Giri A, Patel R. 2011. Toxicity and bioaccumulation potential of Cr (VI) and Hg (II) on differential concentration by *Eichhornia crassipes* in hydroponic culture. *Water Sci Technol* 63:899–907.

Fecha de lectura: 10/06/2021	Consecutivo: 23
Título: Cr(VI) and COD removal from landfill leachate by polyculture constructed wetland at a pilot scale.	
Autores: C. A. Madera-Parra, M. R. Peña, E. J. Peña & P. N. L. Lens	

Referencia Bibliográfica: Madera-Parra, C. A., Peña, M. R., Peña, E. J., & Lens, P. N. L. (2014). Cr(VI) and COD removal from landfill leachate by polyculture constructed wetland at a pilot scale. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(17), 12804–12815. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3623-z>

Conceptos, contextos y aspectos metodológicos que propone el texto: Durante al menos 7 meses se revisaron 4 humedales de flujo horizontal subsuperficiales que se plantaron con un policultivo de plantas *Gynerium sagittatum* (Gs), *Colocasia esculenta* (Ce) y *Heliconia psittacorum* (He). con la finalidad de tratar los lixiviados provenientes del relleno sanitario. Se logró probar que las distribuciones finales de plantas fueron CW I (He-Ce-Gs), CW II (aleatoriamente), CW III (Ce-Gs-He) y CW IV (Gs-He-Ce).

Palabras clave: Lixiviados, flujo horizontal, subsuperficial, oxígeno, relleno sanitario, humedales artificiales.

Pregunta de Investigación: ¿Que humedal artificial de flujo horizontal con policultivo tiene mayor efectividad para el tratamiento de aguas lixiviadas?

Análisis interpretativo del revisor: Por una parte, las plantas que fueron objeto de evaluación lograron demostrar su efectividad de fitorremediación de los lixiviados de los vertederos. Asimismo se logró demostrar que se podría operar de bajo costo como sistema secundario para el tratamiento de lixiviados de vertederos intermedios.

Referencias de interés que cita el autor:

- Anning AK, Korsah PE, Addo-Fordjour P (2013) Fitorremediación de aguas

residuales con *Limnocharis flava*, *Thalia geniculata* y *Typha latifolia* en humedales artificiales. *Int J Phytorem* 15 (5): 452–464

- Dong Z, Sun T (2007) A potential new process for improving nitrogen removal in constructed wetlands—promoting co-existence of partial nitrification and ANAMMOX. *Ecol Eng* 31:69–78
- Kivaisi A (2001) The potential for constructed wetlands for wastewater treatment and reuse in developing countries: a review. *Ecol Eng* 16:545–560

Fecha de lectura: 10/06/2021	Consecutivo: 24
Título: Organic Matter and Nutrients Removal in Tropical Constructed Wetlands Using <i>Cyperus ligularis</i> (Cyperaceae) and <i>Echinochloa colona</i> (Poaceae)	
Autores: Casierra-Martínez, H. A., Charris-Olmos, J. C., Caselles-Osorio, A., & Parody-Muñoz, A. E.	
Referencia Bibliográfica: Casierra-Martínez, H. A., Charris-Olmos, J. C., Caselles-Osorio, A., & Parody-Muñoz, A. E. (2017). Organic Matter and Nutrients Removal in Tropical Constructed Wetlands Using <i>Cyperus ligularis</i> (Cyperaceae) and <i>Echinochloa colona</i> (Poaceae). <i>Water, Air, & Soil Pollution</i> , 228(9). https://doi.org/10.1007/s11270-017-3531-1	
Conceptos, contextos y aspectos metodológicos que propone el texto: Se toma en cuenta que en los países tropicales existe una gran variedad de plantas acuáticas que no se han investigado. Aquellas tienen la capacidad de detectar procesos de fitodepuración. En la	

investigación referenciada se evalúan los efectos de *Cyperus ligularis* y *Echinochloa colona*. Las cuales con plantas nativas de Colombia. Aquello para las aguas residuales domésticas. Se realizaron humedales contruidos de flujo subterráneo horizontal a escala piloto. Los resultados obtenidos fueron de remociones que no son significativas entre unos y otros tratamientos. Sin embargo, se demostró que la planta colona es mayor que la *ligularis*, lo cual establece que la misma puede asimilar cantidades mayores en la fitodepuración.

Palabras clave: Fitodepuración, colona, *ligularis*, humedal, artificial, aguas residuales, flujo subterráneo.

Pregunta de Investigación: ¿Entre los sembrados *Cyperus ligularis* y *Echinochloa colona*, cual es la más efectiva en el tratamiento de aguas residuales?

Análisis interpretativo del revisor: En el texto se demuestra una superioridad pequeña entre una planta y otra las cuales no son investigadas a fondo y que son materia investigativa en el trabajo por lo que, en el tratamiento de aguas residuales, las plantas acuáticas del trópico, especialmente en Colombia, son bastante importantes y valiosas para garantizar la efectividad del tratamiento.

Referencias de interés que cita el autor:

- Kyambadde, J., Kansiime, F., Gumaelius, L., & Dalhammar, G. (2004). A comparative study of *Cyperus papyrus* and *Miscanthidium violaceum*-based constructed wetlands for wastewater treatment in a tropical climate. *Water Research*, 38(2), 475–485. doi:10.1016/j.watres.2003.10.008.

- Leto, C., Tuttolomondo, T., La Bella, S., Leone, R., & Licata, M. (2013). Effects of plant species in a horizontal subsurface flow constructed wetland – phytoremediation of treated urban wastewater with *Cyperus alternifolius* L. and *Typha latifolia* L. in the West of Sicily (Italy). *Ecological Engineering*, 61, 282–291. doi:10.1016/j.ecoleng.2013.09.014.
- Reddy, K. R., Kadlec, R. H., Flaig, E., & Gale, P. M. (1999). Phosphorus retention in streams and wetlands: a review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 29(1), 83–146.

Fecha de lectura: 10/06/2021	Consecutivo: 25
Título: Estudio cinético e remoção de contaminantes no tratamento de lixiviados usando zonas húmidas subsuperfície no nível piloto.	
Autores: Fabián A. Úsuga; Andrés F. Patiño; Diana C. Rodríguez; Gustavo A. Peñuela	
Referencia Bibliográfica: Úsuga, F. A., Patiño, A. F., Rodríguez, D. C., & Peñuela, G. A. (2018). Kinetic study and removal of contaminants in the leachate treatment using subsurface wetlands at pilot scale. <i>Revista ION</i> , 30(2), 55–63. https://doi.org/10.18273/revion.v30n2-2017005	
Conceptos, contextos y aspectos metodológicos que propone el texto: Se desarrolló una evaluación de tratamiento de lixiviados en relleno sanitario en Colombia. Se usaron humedales subsuperficiales de flujo horizontal a nivel piloto. El ensayo se realizó en dos etapas con cargas hidráulicas. Lo cual tuvo remociones entre el 71% y el 75% mostrando	

una buena efectividad.

Palabras clave: cinética, humedal, lixiviado, metales, remoción.

Pregunta de Investigación: ¿Qué nivel de efectividad tienen los humedales horizontales de tipo subsuperficial en la remoción de contaminantes de lixiviados?

Análisis interpretativo del revisor: Se toma en cuenta que incluso las plantas acuáticas usadas en el tratamiento influyen de una manera especial en los resultados de efectividad. En este sentido, se podría determinar que dependiendo también de la carga hidráulica aplicada, la acumulación de metales pesados quedan en las hojas, tallos y raíces como lo son mercurio, plomo y arsénico.

Referencias de interés que cita el autor:

- Crites RW, Middlebrooks J, Reed S.C. Natural Wastewater Treatment Systems. Slovakia: Taylor & Francis Group; 2014.
- Agudelo RM, Peñuela G, Aguirre NJ, Morató J, Jaramillo ML. Simultaneous removal of chlorpyrifos and dissolved organic carbon using horizontal sub-surface flow pilot wetlands. Ecol. Eng. 2010;36:1401-8.
- Vymazal J, Švehla J, Kröpfelová L, Chrástný V. Trace metals in Phragmites australis and Phalaris arundinacea growing in constructed and natural wetlands. Science of the Total Environment. 2007;380:154-62.

Fecha de lectura: 10/06/2021

Consecutivo: 26

<p>Título: Constructed Wetlands for Landfill Leachate Treatment</p>
<p>Autores: Carlos Arturo Madera-Parra, Daniel Ascúntar Ríos</p>
<p>Referencia Bibliográfica: Madera-Parra, C. A., & Ríos, D. A. (2017). Constructed Wetlands for Landfill Leachate Treatment. <i>Sustainable Heavy Metal Remediation</i>, 121–163. https://doi.org/10.1007/978-3-319-58622-9_5</p>
<p>Conceptos, contextos y aspectos metodológicos que propone el texto: Se toman como referencia los rellenos sanitarios en todo el mundo como los elementos de eliminación de residuos sólidos. Ciertamente existen vertederos en donde se encuentran presente lixiviados como un problema crítico en la operación. Los humedales se clasifican entre los métodos biológicos que usan fitorremediación para tratar líquidos contaminados. Por lo anterior se establece la eficacia de los mismos para el tratamiento de lixiviados.</p>
<p>Palabras clave: Humedales construidos, lixiviados de vertedero, macrófitos, fitorremediación.</p>
<p>Pregunta de Investigación: ¿Cuál es el método más eficiente de eliminación de amoníaco, nitrógeno y metales pesados presentes en los lixiviados?</p>
<p>Análisis interpretativo del revisor: Es importante relacionar los cimientos que constituyen y dan pie de partida a la eficacia de los humedales artificiales, entendiendo que el objeto investigativo es el tratamiento de lixiviados, especialmente al tratarse de rellenos sanitarios.</p>

Referencias de interés que cita el autor:

- Yalcuk A, Ugurlu A (2009) Comparison of horizontal and vertical constructed wetland systems for landfill leachate treatment. *Bioresour Technol* 100:2521–2526. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.11.029>
- Voijant-Tangahu B, Rozaimah Sheikh S, Abdullah S, Basri H, Idris M, Anuar N, Mukhlisin M (2013) Phytoremediation of wastewater containing lead (Pb) in pilot reed bed using *Scirpus grossus*. *Int J Phytoremediation* 15:663–676. doi: 10.1080/15226514.2012.723069
- Tanner C, Champion P, Kloosterman V (2006) New Zealand constructed wetland planting guidelines. Association with the New Zealand Water & Wastes Association, National Institute of Water and Atmospheric Research, New Zealand

Fecha de lectura: 10/06/2021	Consecutivo: 27
Título: Constructed wetlands for landfill leachate treatment: A review	
Autores: Reza Bkhshoodeh, Nadali Alavi, Carolyn Oldham, Rafael M. Santos, Ali Akbar Babaei, Jan Vymazal, Pooya Paydary	
Referencia Bibliográfica: Bakhshoodeh, R., Alavi, N., Oldham, C., Santos, R. M., Babaei, A. A., Vymazal, J., & Paydary, P. (2020). Constructed wetlands for landfill leachate treatment: A review. <i>Ecological Engineering</i> , 146, 105725. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2020.105725	

Conceptos, contextos y aspectos metodológicos que propone el texto: Se realiza un análisis de la literatura existente sobre el uso de Humedales Artificiales en el tratamiento de corrientes de desechos, especialmente lixiviados. Allí se describe de manera crítica el tratamiento convencional de los vertederos. Así también presenta una descripción de las aplicaciones e investigaciones sobre los humedales artificiales para la eliminación de contaminantes.

Palabras clave: Humedales construidos, Lixiviados de vertedero, Tratamiento de nutrientes, Movilidad de metales pesados, Bio-degradación orgánica

Pregunta de Investigación: ¿Cuáles son los procedimientos alternativos para el tratamiento de aguas lixiviadas que existen?

Análisis interpretativo del revisor: El artículo permite un panorama más amplio sobre los diferentes tipos de humedales y de tratamientos de lixiviados. De allí que se toman 85 artículos de 20 países diferentes en donde se toman en cuenta diferentes enfoques, como flujo superficial, subterráneo, horizontales y verticales.

Referencias de interés que cita el autor:

- Katak S., Chatterjee S., Vairale M.G., Dwivedi S.K., Gupta D.K. Constructed wetland, an eco-technology for wastewater treatment: A review on types of wastewater treated and components of the technology (macrophyte, biofilm and substrate) Journal of Environmental Management, Volume 283, 2021.
- Li Q., Long Z., Wang H., Zhang G. Functions of constructed wetland animals in water environment protection – A critical review Science of the Total Environment,

Volume 760, 2021.

- Chen W., Gu Z., Ran G., Li Q. Application of membrane separation technology in the treatment of leachate in China: A review Waste Management, Volume 121, 2021.

Fecha de lectura: 10/06/2021

Consecutivo: 28

Título: Feasibility of using constructed treatment wetlands for municipal wastewater treatment in the Bogotá Savannah, Colombia.

Autores: Mauricio E. Arias, Mark T. Brown

Referencia Bibliográfica: Arias, M. E., & Brown, M. T. (2009). Feasibility of using constructed treatment wetlands for municipal wastewater treatment in the Bogotá Savannah, Colombia. *Ecological Engineering*, 35(7), 1070–1078.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2009.03.017>

Conceptos, contextos y aspectos metodológicos que propone el texto: Se verifica la posibilidad de la implementación de tratamiento de aguas residuales de la sabana de bogotá por medio de humedales construidos. Se toma como referencia los altos niveles de contaminación que presenta la sabana de bogotá debido a la mala gestión de aguas residuales. En el estudio se buscó cuantificar el rendimiento de humedales de tratamiento de aguas residuales. En este sentido se comparan estanques de estabilización de desechos y un reactor discontinuo de secuenciación. Posteriormente se comenzaron a realizar estudios

sobre los costos y proporciones del rendimiento del tratamiento.

Palabras clave: Aguas residuales municipales, Energía, Países en desarrollo, Tecnología apropiada.

Pregunta de Investigación: ¿Es viable utilizar humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en la sabana de Bogotá?

Análisis interpretativo del revisor: Al ser Colombia, un país en vías de desarrollo, habrá que entender la importancia de implementar, de la mejor manera un tratamiento que sea lo suficientemente eficaz y que aquello esté de conformidad con las prerrogativas económicas establecidas debido a incentivar la disminución del mismo.

Referencias de interés que cita el autor:

- Miao S., Jin C., Liu R., Bai Y., Lan H., Liu H., Hu C., Qu J. Carbon harvesting from organic liquid wastes for heterotrophic denitrification: Feasibility evaluation and cost and energy optimization Resources, Conservation and Recycling, Volume 160, 2020
- Varma M., Gupta A.K., Ghosal P.S., Majumder A. A review on performance of constructed wetlands in tropical and cold climate: Insights of mechanism, role of influencing factors, and system modification in low temperature Science of the Total Environment, Volume 755, 2021

Fecha de lectura: 10/06/2021

Consecutivo: 29

Título: Efficiency of Mesocosm-Scale Constructed Wetland Systems for Treatment of Sanitary Wastewater Under Tropical Conditions.

Autores: Aracelly Caselles-Osorio, Patricia Villafañe, Vanessa Caballero & Yelena Manzano

Referencia Bibliográfica: Caselles-Osorio, A., Villafañe, P., Caballero, V., & Manzano, Y. (2011). Efficiency of Mesocosm-Scale Constructed Wetland Systems for Treatment of Sanitary Wastewater Under Tropical Conditions. *Water, Air, & Soil Pollution*, 220(1–4), 161–171. <https://doi.org/10.1007/s11270-011-0743-7>

Conceptos, contextos y aspectos metodológicos que propone el texto: Trata sobre la tecnología aplicada a los humedales artificiales de flujo subterráneo. Lo cual en todo el mundo ha contribuido de manera significativa para el tratamiento de aguas residuales sanitarias. A partir de lo anterior se realizó un estudio en la Universidad del Atlántico en Colombia, desde 2009. “*El sistema de tratamiento consistió en un tanque séptico de 760 L seguido de tres humedales construidos de flujo subterráneo a escala mesocosm en disposición paralela. El agua residual clarificada se cargó por lotes en cada unidad a una tasa de 53 L / m² / día para afectar un tiempo de retención hidráulica de aproximadamente 3 días. Una de las unidades de tratamiento sirvió como control no plantado (solo grava), mientras que las otras dos unidades de tratamiento se plantaron con *Eriochloa aristata* o *Eleocharis mutata*. ”. (Caselles-Osorio et al., 2011).*

Palabras clave: Humedales construidos, Nitrificación, Potencial redox, Macrófitos tropicales.

Pregunta de Investigación: ¿Cuál es la eficacia comparativa de las unidades de tratamiento, con respecto a su capacidad de aumentar el tratamiento de efluentes de fosas sépticas?

Análisis interpretativo del revisor: En la evaluación de la eficiencia de unidades de tratamiento de humedales artificiales con respecto al tratamiento de aguas residuales se logró demostrar una eficiencia de al menos entre el 70 y el 85% dependiendo de las condiciones particulares que se logran ver en el documento. A partir de allí se logra evidenciar que es un mecanismo idóneo en el tratamiento de lixiviados, por lo que de igual manera sería un mecanismo ampliamente aplicable al tema en cuestión.

Referencias de interés que cita el autor:

- Nagles, N., Morato, J. and Peñuela, G. (2009). Evaluation of a pilot-scale subsurface constructed wetland system for leachate treatment from the Morro de Moravia in Medellin, Colombia. 3er Wetlands Pollutant Dynamic and Control. WETPOL. Books of abstracts. 20-24 October/09. Barcelona (Spain)
- USEPA (United State Environmental Pollution Agency). (2000). Constructed Wetland Treatment for Municipal Wastewater. EPA/625/R-99/010 (p. 166). Cincinnati: Office of Research and Development.
- Velasquez, J. (1994). Plantas acuaticas vasculares de Venezuela (p. 992). Caracas: Universidad Central de Venezuela, Consejo de Desarrollo Cientifico y Humanístico.

Fecha de lectura: 10/06/2021	Consecutivo: 30
Título: Horizontal subsurface-flow constructed wetland removal efficiency using <i>Cyperus articulatus</i> L.	
Autores: Caselles-Osorio, A., Vega, H., Lancheros, J. C., Casierra-Martínez, H. A., & Mosquera, J. E.	
Referencia Bibliográfica: Caselles-Osorio, A., Vega, H., Lancheros, J. C., Casierra-Martínez, H. A., & Mosquera, J. E. (2017). Horizontal subsurface-flow constructed wetland removal efficiency using <i>Cyperus articulatus</i> L. <i>Ecological Engineering</i> , 99, 479–485. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.11.062	
Conceptos, contextos y aspectos metodológicos que propone el texto: Los humedales artificiales, como sistemas de tratamiento de aguas residuales se rigen mediante procedimientos biológicos, químicos y físicos. En ese sentido debe entenderse que los microorganismos acuáticos como macrófitos acuáticos tienen la capacidad de cambiar y absorber contaminantes como por ejemplo las de las aguas lixiviadas. Se evalúa especialmente el efecto de una planta en específico llamada <i>Cyperus articulatus</i> y su efectividad de remoción de materia orgánica disuelta o compuestos nitrogenados presentes en aguas residuales.	
Palabras clave: Amonio, Nitrificación, Biomasa, Potencial redox, Humedal construido	
Pregunta de Investigación: ¿Cuanto porcentaje es capaz de eliminar el <i>Cyperus articulatus</i> de $\text{NH}_4^+ - \text{N}$?	

Análisis interpretativo del revisor: Es importante mencionar que sus resultados fueron satisfactorios entendiéndose una efectividad de eliminación de al menos 91%. Lo anterior es relativamente elevado con respecto a los mecanismos convencionales para la eliminación de nitrógeno amónico o nitrógeno nitrato. Es por lo anterior, que puede concluirse que la *Cyperus articulatus* es la planta más idónea en la aplicación de humedales artificiales.

Referencias de interés que cita el autor:

- Ali A., Shaikh I.A., Abbasi N.A., Firdous N., Ashraf M.N. Enhancing water efficiency and wastewater treatment using sustainable technologies: A laboratory and pilot study for adhesive and leather chemicals production *Journal of Water Process Engineering*, Volume 36, 2020
- Nuamah L.A., Li Y., Pu Y., Nwankwegu A.S., Haikuo Z., Norgbey E., Banahene P., Bofah-Buoh R. Constructed wetlands, status, progress, and challenges. The need for critical operational reassessment for a cleaner productive ecosystem *Journal of Cleaner Production*, Volume 269, 2020
- Su X., Yuan J., Dong W., Sun F., Wang M., Dong Z., Li W., Du C.
- Organic and nitrogenous pollutants removal paths in vegetation activated sludge process (V-ASP) for decentralized wastewater treatment by using stable isotope technique *Bioresource Technology*, Volume 330, 2021

Fecha de lectura: 12/06/2021

Consecutivo: 31

Título: Application of constructed wetlands for wastewater treatment in tropical and

subtropical regions (2000–2013)

Autores: Zhang, D. Q., Jinadasa, K. B. S. N., Gersberg, R. M., Liu, Y., Tan, S. K., & Jern, W.

Referencia Bibliográfica: Zhang, D. Q., Jinadasa, K. B. S. N., Gersberg, R. M., Liu, Y., Tan, S. K., & Jern, W. (2015). Application of constructed wetlands for wastewater treatment in tropical and subtropical regions (2000–2013). *Science Direct*. Published. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2014.10.013>

Conceptos, contextos y aspectos metodológicos que propone el texto: En este estudio se promueve los sistemas de ingeniería sostenible con la finalidad de que se utilicen sistemas naturales en el tratamiento de aguas residuales. En este sentido, debe tomarse en cuenta que la aplicación de humedales artificiales en el tratamiento de lixiviados podría ser una alternativa adecuada para el mismo. Se realiza una revisión en donde se da cuenta de que la eliminación de bioquímica de oxígeno, en conjunto con el sólido suspendido es eficiente y consistente en todos los tipos de humedales. En cuanto a los humedales de tipo subsuperficial horizontal se demuestra que su efectividad alcanzó un 69.8% siendo mejor que el fósforo y el flujo subterráneo.

Palabras clave: Humedales construidos, Tratamiento, Nutritivo, Eliminación, Tropical

Pregunta de Investigación: De los humedales artificiales ¿Cuál es el tipo de humedal más eficiente en el tratamiento de aguas residuales?

Análisis interpretativo del revisor: Se debe anotar que el mecanismo que mejores

resultados ha aportado será el de flujo subsuperficial sobre el de flujo subterráneo incluso vertical debido a su mayor capacidad de retención y mejora en el tratamiento de aguas residuales.

Referencias de interés que cita el autor:

- Vega De Lille M.I., Hernández Cardona M.A., Tzakum Xicum Y.A., Giácoman-Vallejos G., Quintal-Franco C.A. Hybrid constructed wetlands system for domestic wastewater treatment under tropical climate: Effect of recirculation strategies on nitrogen removal Ecological Engineering, Volume 166.
- Kurade M.B., Ha Y.-H., Xiong J.-Q., Govindwar S.P., Jang M., Jeon B.-H. Phytoremediation as a green biotechnology tool for emerging environmental pollution: A step forward towards sustainable rehabilitation of the environment Chemical Engineering Journal, Volume 415.
- Ghumra D.P., Agarkoti C., Gogate P.R. Improvements in effluent treatment technologies in Common Effluent Treatment Plants (CETPs): Review and recent advances. Process Safety and Environmental Protection, Volume 147.

Fecha de lectura: 12/06/2021

Consecutivo: 32

Título: The use of constructed wetlands for removal of pesticides from agricultural runoff and drainage: A review.

Autores: Vymazal, J., & Březinová, T.

Referencia Bibliográfica: Vymazal, J., & Březinová, T. (2015). The use of constructed wetlands for removal of pesticides from agricultural runoff and drainage: A review. *Environment International*, 75, 11–20. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2014.10.026>

Conceptos, contextos y aspectos metodológicos que propone el texto: Se realiza una revisión sobre el rendimiento de los cultivos y la utilización de pesticidas. Aquello amenaza directamente el ecosistema acuático. Por lo anterior se evidencia la necesidad de mitigar tales efectos negativos al ambiente. Se entiende que las técnicas de mitigación convencionales vendrán a ser franjas de amortiguamiento ribereñas, borde de campo, zanjas con vegetación y humedales artificiales. En este artículo se aplicó una encuesta en donde se estableció que los humedales con superficie de agua libre son los más utilizados, lo anterior debido a su efectividad.

Palabras clave: Plaguicidas, Humedales construidos, Suelos, Drenaje, Escapada, Plantas.

Pregunta de Investigación: ¿En qué forma la presencia de plantas mejora la retención de plaguicidas en humedales artificiales?

Análisis interpretativo del revisor: En el artículo se logra apreciar que los humedales artificiales se han usado de manera extensiva, a lo largo de los años en pro de la mitigación de plaguicidas. Asimismo, debe destacarse que los humedales más usados habrán sido los humedales artificiales de superficie de agua libre. Se aplicó una encuesta en donde se eliminaron 87 plaguicidas en más de 40 estudios. Por otra parte, dicha eliminación es variable dependiendo diferentes condiciones y que la mejora de plantas contribuye a la

retención de plaguicidas en humedales artificiales.

Referencias de interés que cita el autor:

- Le Cor F., Slaby S., Dufour V., Iuretig A., Feidt C., Dauchy X., Banas D.
Occurrence of pesticides and their transformation products in headwater streams: Contamination status and effect of ponds on contaminant concentrations Science of the Total Environment, Volume 788, 2021
- Solis M., Cappelletti N., Bonetto C., Franco M., Fanelli S., Amalvy J., Mugni H.
Attenuation of insecticide impact by a small wetland in a stream draining a horticultural basin in Argentina. Science of the Total Environment, Volume 785, 2021.
- López-Chávez M.Y., Alvarez-Legorreta T., Infante-Mata D., Dunn M.F., Guillén-Navarro K. Glyphosate-remediation potential of selected plant species in artificial wetlands. Science of the Total Environment, Volume 781, 2021.

Fecha de lectura: 12/06/2021	Consecutivo: 33
Título: BPA and NP removal from municipal wastewater by tropical horizontal subsurface constructed wetlands. <i>Science of The Total Environment</i>	
Autores: Toro-Vélez, A., Madera-Parra, C., Peña-Varón, M., Lee, W., Bezares- Cruz, J., Walker, W., Cárdenas-Henao, H., Quesada-Calderón, S., García-Hernández, H., & Lens, P.	
Referencia Bibliográfica: Toro-Vélez, A., Madera-Parra, C., Peña-Varón, M., Lee, W.,	

Bezares- Cruz, J., Walker, W., Cárdenas-Henao, H., Quesada-Calderón, S., García-Hernández, H., & Lens, P. (2016). BPA and NP removal from municipal wastewater by tropical horizontal subsurface constructed wetlands. *Science of The Total Environment*, 542, 93–101. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.09.154>

Conceptos, contextos y aspectos metodológicos que propone el texto: En este artículo se analizan los compuestos como el bisfenol y nonilfenoles que se encuentran presentes en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, con un alto potencial en las alteraciones del cuerpo de agua. En este estudio se cuantifica la eliminación de los componentes sintéticos por medio de la aplicación de humedales artificiales, con la finalidad de aislar cepas de hongos y probar la producción de lacasa. Finalmente se realizaron ensayos de alteración endocrina utilizando la mosca de la fruta.

Palabras clave: Humedales construidos, Nonil-fenol, El bisfenol A, Fitorremediación, Compuestos disruptores endocrinos.

Pregunta de Investigación: ¿Los humedales artificiales contribuyen en la eliminación de los componentes sintéticos?

Análisis interpretativo del revisor: En el artículo hay que destacar que los humedales artificiales mostraron beneficiosos resultados en el aislamiento de las cepas fúngicas aisladas en cuanto a la producción de la casa. Asimismo, contribuyen activamente en la remoción de sintéticos y riesgo ambiental.

Referencias de interés que cita el autor:

- Cristina Ávila, Víctor Matamoros, Carolina Reyes-Contreras, Benjamí Piña, Marta Casado, Luigi Mita, Claudia Rivetti, Carlos Barata, Joan García, Josep Maria Bayona. Attenuation of emerging organic contaminants in a hybrid constructed wetland system under different hydraulic loading rates and their associated toxicological effects in wastewater. *Science of The Total Environment*, Volumes 470–471, 2014, pp. 1272-1280
- Dan A, Daiki Fujii, Satoshi Soda, Takashi Machimura, Michihiko Ike. Removal of phenol, bisphenol A, and 4-tert-butylphenol from synthetic landfill leachate by vertical flow constructed wetlands. *Science of The Total Environment*, Volume 578, 2017, pp. 566-576.
- V. Burgos, F. Araya, C. Reyes-Contreras, I. Vera, G. Vidal. Performance of ornamental plants in mesocosm subsurface constructed wetlands under different organic sewage loading. *Ecological Engineering*, Volume 99, 2017, pp. 246-255

Fecha de lectura: 12/06/2021	Consecutivo: 34
Título: Constructed Wetlands in Latin America and the Caribbean: A Review of Experiences during the Last Decade. <i>Water</i>	
Autores: Rodriguez-Dominguez, M. A., Konnerup, D., Brix, H., & Arias, C. A.	
Referencia Bibliográfica: Rodriguez-Dominguez, M. A., Konnerup, D., Brix, H., & Arias, C. A. (2020). Constructed Wetlands in Latin America and the Caribbean: A Review of Experiences during the Last Decade. <i>Water</i> , 12(6), 1744.	

<https://doi.org/10.3390/w12061744>

Conceptos, contextos y aspectos metodológicos que propone el texto: En el artículo se realiza una revisión profunda con la finalidad de informar sobre los humedales artificiales en la última década. Por lo anterior se verificaron más de 500 experiencias sobre varios artículos de diferentes países. De allí que los humedales de flujo subterráneo horizontal son más consistentes en las regiones de América Latina y el Caribe, en segundo lugar, se encuentran los de agua libre superficial, posteriormente los de flujo vertical, seguido de los intensificados para finalmente pasar a los sistemas denominados franceses. De lo anterior surgen los resultados que dan cuenta de que las mejoras se encuentran en los sistemas franceses y los humedales artificiales de agua libre superficial por su eliminación de fósforo de al menos el 83%.

Palabras clave: humedales artificiales; América Latina y el Caribe; soluciones basadas en la naturaleza; tratamiento de aguas residuales.

Pregunta de Investigación: ¿Cuál es el humedal más utilizado para el tratamiento de aguas residuales en América Latina y el Caribe?

Análisis interpretativo del revisor: Se puede dar cuenta de que los humedales de agua libre superficial se encuentran entre los menos utilizados, sin embargo, son los que en la eliminación de fósforo son los que mejores resultados poseen al respecto, en conjunto con los sistemas franceses que ciertamente son los menos usados de todos en la región.

Referencias de interés que cita el autor:

- Herrera-Cárdenas, J.; Frómeta, A.E.N.; Torres, E. Effects of porous media, macrophyte type and hydraulic retention time on the removal of organic load and micropollutants in constructed wetlands. *J. Environ. Sci. Health Part A* 2016, 51, 380–388.
- Jiménez-López, E.; Ocaña, G.L.; Bautista-Margulis, R.G.; Estrada, M.C.; Guerrero-Peña, A.; Hernández-Barajas, J.; Torres-Balcázar, C.; De La Cruz-Luna, E.; Romellón-Cerino, M.; Solís-Sílván, R.; et al. Wastewater treatment by constructed wetlands with *thalia geniculata* and *paspalum paniculatum* in a tropical system of mexico. *Int. J. Sustain. Dev. Plan.* 2017, 12, 42–50.
- Colina-Marquez, J.; Machuca-Martinez, F.; Salas, W. Enhancement of the potential biodegradability and the mineralization of a pesticides mixture after being treated by a coupled process of TiO₂-based solar photocatalysis with constructed wetlands. *Ing. Compet.* 2013, 15, 181.

Fecha de lectura: 14/06/2021	Consecutivo: 35
Título: Wastewater treatment by a pilot system of artificial wetlands: evaluation of the removal of the organic load.	
Autores: : Mariana Romero Aguilar, Arturo Colín Cruz, Enrique Sánchez Salinas y Laura Ortiz Hernández.	
Referencia Bibliográfica: Romero, M., Sanchez, E., & Ortiz, L. (2009). Wastewater treatment by an artificial wetlands pilot system: evaluation of the organic charge removal.	

ResearchGate, 25(3), 157–167.

https://www.researchgate.net/publication/297566567_Wastewater_treatment_by_an_artificial_wetlands_pilot_system_evaluation_of_the_organic_charge_removal

Conceptos, contextos y aspectos metodológicos que propone el texto: Es de aclarar que existen múltiples inconvenientes internacionales sobre las aguas residuales, por lo que el artículo se centra en la aplicación de humedales artificiales de manera vertical con la composición de filtro. Por una primera parte se integran las especies de plantas y luego se realizan de manera secuencial las pruebas, lo cual dio resultados altamente benefactores como la retención de fósforo y nitrógeno.

Palabras clave: aguas residuales, humedal artificial, contaminantes.

Pregunta de Investigación: ¿Por medio de las secuencias de módulos podría determinarse la eficiencia de los humedales artificiales?

Análisis interpretativo del revisor: Es de tomar en cuenta que, conforme a las especies usadas, las mismas son efectivas de manera alterna, por lo que en alguno de los módulos en donde concurren tendrían un tiempo de retención considerablemente menor.

Referencias de interés que cita el autor:

- Kao C., Wang Y., Lee H. y Wen K. (2001). Application of a constructed wetland for non-point source pollution control. *Water Sci. Technol.* 44, 585-590
- Quipuzco E. (2002). Evaluación del comportamiento de dos pantanos artificiales instalados en serie con *Phragmites australis* para el tratamiento de aguas residuales

domésticas. Rev. Inst. Investig. Fac. Minas Metal. Cienc. Geogr. 5, 52-57

- Esponda A. (2001). Arranque de un sistema experimental de fujo vertical a escala piloto de tipo humedal artificial para el tratamiento de aguas residuales. Tesis de Licenciatura. Facultad de Química. Universidad Nacional Autónoma de México, México

Fecha de lectura: 14/06/2021	Consecutivo: 36
Título: Evaluating the Relationship Among Wetland Vertical Development, Elevation Capital, Sea-Level Rise, and Tidal Marsh Sustainability.	
Autores: Donald R. Cahoon, James C. Lynch, Charles T. Roman, John Paul Schmit & Dennis E. Skidds.	
Referencia Bibliográfica: Cahoon, D. R., Lynch, J. C., Roman, C. T., Schmit, J. P., & Skidds, D. E. (2018). Evaluating the Relationship Among Wetland Vertical Development, Elevation Capital, Sea-Level Rise, and Tidal Marsh Sustainability. <i>Estuaries and Coasts</i> , 42(1), 1–15. https://doi.org/10.1007/s12237-018-0448-x	
Conceptos, contextos y aspectos metodológicos que propone el texto: En el trabajo se realizaron experimentos sobre islas de Jamaica y Estados Unidos en donde se toman en cuenta sus similitudes y condiciones similares. Allí se presentan humedales de diferente índole en donde se logra verificar el aumento del nivel del mar lo cual constituye una diferencia significativa en la elevación.	

Palabras clave: Salina, Cambio de elevación, Acreción vertical, Hundimiento superficial, Spartina alterniflora

Pregunta de Investigación: ¿La eficiencia de los humedales podría variar conforme al nivel del mar?

Análisis interpretativo del revisor: Se ha logrado determinar que ciertamente el nivel del mar podría variar dependiendo el nivel del mar, por lo que se presentan niveles distintos de materia orgánica en el tratamiento de aguas residuales. Evidentemente podrían deteriorar las zonas costeras con alto nivel del mar debido a que no posibilitan el funcionamiento corriente de los humedales artificiales en el tratamiento de aguas residuales.

Referencias de interés que cita el autor:

- Peric, J., & Grdic, Z. S. (2015). ECONOMIC IMPACTS OF SEA LEVEL RISE CAUSED BY CLIMATE CHANGE. *Tourism in South East Europe ...*, 3, 285-294. Retrieved from <https://search.proquest.com/docview/1702272891?accountid=362>

Fecha de lectura: 14/06/2021

Consecutivo: 37

Título: Effect of artificial aeration on the performance of vertical-flow constructed wetland treating heavily polluted river water.

Autores: Dong, H., Qiang, Z., Li, T., Jin, H., & Chen, W.

Referencia Bibliográfica: Dong, H., Qiang, Z., Li, T., Jin, H., & Chen, W. (2012).

Effect of artificial aeration on the performance of vertical-flow constructed wetland treating heavily polluted river water. *Journal of Environmental Sciences*, 24(4), 596–601.

[https://doi.org/10.1016/s1001-0742\(11\)60804-8](https://doi.org/10.1016/s1001-0742(11)60804-8)

Conceptos, contextos y aspectos metodológicos que propone el texto: El artículo trató tres humedales de tipo vertical a escala piloto, en los cuales se implementó aireación de manera artificial usando diferentes cargas hidráulicas. De lo anterior se entendió la eficacia de los mismos. Aquello logró dar cuenta de que la aireación, artificial, se realizaba continuamente y podría variar en el ejercicio o la operatividad del tratamiento del humedal artificial.

Palabras clave: Aireación, Fluctuación, Cargas, Humedales, tratamiento.

Pregunta de Investigación: ¿Afecta la eficiencia de los humedales verticales la aireación en su operación?

Análisis interpretativo del revisor: En el artículo se presenta la posibilidad de comparar en donde se puede identificar que las cargas hidráulicas y la aireación presentan una mayor eficiencia, lo cual contribuye a lo beneficioso de la eliminación de materia orgánica.

Referencias de interés que cita el autor:

- Tietz A., Kirschner A., Langergraber G., Sleytr K., Haberl R. Characterization of Microbial Biocenosis in Vertical Subsurface Flow Constructed Wetlands. *Science of the Total Environment*, volumen 380, 2007: 163-172.

Fecha de lectura: 14/06/2021	Consecutivo: 38
Título: Recirculation or artificial aeration in vertical flow constructed wetlands: A comparative study for treating high load wastewater.	
Autores: Foladori, P., Ruaben, J., & Ortigara, A. R.	
Referencia Bibliográfica: Foladori, P., Ruaben, J., & Ortigara, A. R. (2013). Recirculation or artificial aeration in vertical flow constructed wetlands: A comparative study for treating high load wastewater. <i>Bioresource Technology</i> , 149, 398–405. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.09.099	
Conceptos, contextos y aspectos metodológicos que propone el texto: En el artículo se trata una serie de experimentos en donde se construyeron humedales artificiales de manera vertical en donde se configuran de maneras distintas. De lo anterior se desprende por una parte la recirculación, por otra en donde era intermitente aireación que se suministraba, mientras que el tercero era un conjunto de ambas condiciones.	
Palabras clave: Humedales construidos, Humedales artificiales de flujo subterráneo vertical, Aireación intermitente, Recirculación, Nitrificación-desnitrificación simultánea	
Pregunta de Investigación: ¿Afecta la recirculación al ejercicio eficiente de los humedales artificiales a la calidad del agua?	
Análisis interpretativo del revisor: Hay que destacar que en las tres referencias de humedales se presentan situaciones distintas debido a sus configuraciones. En aspectos más	

técnicos se evidencia una mayor diferencia en la nitrificación que genera una mayor eliminación de nitrógeno. Ahora bien, independientemente de sus configuraciones, las tres son igualmente eficientes entendiéndose una eficiencia de hasta el 90%.

Referencias de interés que cita el autor:

- Salas J.J. Experiencia práctica: Planta experimental de Carrión de los Céspedes (Sevilla), Jornada de nuevas tendencias y retos tecnológicos en la depuración de aguas residuales, Valladolid, 15 de diciembre, 2010

Fecha de lectura: 14/06/2021	Consecutivo: 39
Título: Humedales artificiales de flujo vertical para mejorar la calidad del agua del río Bogotá.	
Autores: Rodríguez Chaparro, T., & Ospina, I. M.	
Referencia Bibliográfica: Rodríguez Chaparro, T., & Ospina, I. M. (2005). Humedales artificiales de flujo vertical para mejorar la calidad del agua del río Bogotá. <i>Ciencia e Ingeniería Neogranadina</i> , 15, 74–84. https://doi.org/10.18359/rcin.1256	
Conceptos, contextos y aspectos metodológicos que propone el texto: En el artículo investigativo se construye, a manera experimental, un humedal artificial de tipo vertical, escala piloto. Aquel humedal experimental era alimentado por parte del agua del río Bogotá con el objeto de revisar la efectividad del mismo dependiendo la cantidad de vegetación y	

el tipo para el tratamiento del caudal.

Palabras clave: Alimentación, residuales, acrílico, caudal, humedales, vegetación

Pregunta de Investigación: ¿Hay que establecer un caudal específico para garantizar la efectividad del humedal artificial?

Análisis interpretativo del revisor: Ciertamente se logra demostrar que la vegetación es un elemento imprescindible en el momento de la eliminación y tratamiento de agua, al hablarse, por ejemplo, de agua residual. Lo anterior especialmente por la composición química del sustrato y la influencia en el proceso de adsorción.

Referencias de interés que cita el autor:

- ARIAS, C, BRIX, H .,” Phosphorus removal in constructed wetlands: Can suitable alternative media be identified?”. En: Proceedings of the 9th International Conference on Wetland system for water pollution control. Avignon, France. 2004
- ARIAS, C, BRIX, H, “Humedales Artificiales para el tratamiento de aguas residuales”. En: Ciencia e Ingeniería Neogranadina. Bogotá, Julio 2003.

Fecha de lectura: 14/06/2021

Consecutivo: 40

Título: Comparison of simple, small, full-scale sewage treatment systems in Brazil: UASB–maturation ponds–coarse filter; UASB–horizontal subsurface-flow wetland; vertical-flow wetland (first stage of French system).

Autores: von Sperling, M.

Referencia Bibliográfica: von Sperling, M. (2014). Comparison of simple, small, full-scale sewage treatment systems in Brazil: UASB–maturation ponds–coarse filter; UASB–horizontal subsurface-flow wetland; vertical-flow wetland (first stage of French system). *Water Science and Technology*, 71(3), 329–337. <https://doi.org/10.2166/wst.2014.496>

Conceptos, contextos y aspectos metodológicos que propone el texto: En el artículo se realiza una comparación entre tres tipos de tratamiento. Una por un reactor de manto de lodo anaeróbico de flujo ascendente, tres estanques de maduración filtro roca gruesa y un humedal artificial de flujo subterráneo horizontal. En ellos se estuvieron varios años de estudios evidenciando las afluentes del mismo. De allí se logró demostrar que cada sistema tenía su configuración y que todas las líneas eran eficientes en el tratamiento.

Palabras clave: Filtros de roca gruesa , aguas residuales domésticas , humedales de flujo subterráneo horizontal , estanques de maduración , reactor UASB , humedales de flujo vertical

Pregunta de Investigación: ¿Qué diferencias podrían contraer la diferencia configurativa de los humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales?

Análisis interpretativo del revisor: Conforme a la metodología tratada se logra identificar que todos los modelos son eficientes en su aplicación, por lo que evidentemente se trata de mecanismos que independientemente de su configuración, prestan mérito importante en el tratamiento de aguas residuales.

Referencias de interés que cita el autor:

- USEPA - United States Environmental Protection Agency 2011 Principles of Design and Operations of Wastewater Treatment Pond Systems for Plant Operators, Engineers and Managers. Cincinnati, Ohio.

ANEXO II. BASE DE DATOS

Base de datos Sistematización de la Información Recolectada						
#	Título	Autor(es)	Año	País	Metodología	Parámetro Analizado
1	TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS UTILIZANDO HUMEDALES CONSTRUIDOS Y DETERMINACIÓN DE CONDUCTIVIDADES HIDRÁULICAS EN CLIMA TROPICAL.	Jiménez Cerón, Y. F., Delgado Calvache, L. I., Fernández Tulande, C., Pino Alegría, H. M., Casas Zapata, J. C., Madera Parra, C. A., Lara Borrero, J. A., Morató Farreras, J., & Rengifo Canizales, E.	2018	Colombia	Determinación de conductividad hidráulica	Se realiza tratamiento de aguas lixiviadas, por medio de humedales artificiales en clima tropical. Se aplicó en la ciudad de Popayán, Colombia, en un relleno sanitario en donde se depositaban al menos 2 metros de residuos sólidos diariamente, lo cual generaba entre 0,001 y 0,003 m ³ /s de lixiviados.

2	<p>Tratamiento de lixiviados mediante humedales artificiales: revisión del estado del arte.</p>	<p>Yesica Natalia Mosquera</p>	<p>2012</p>	<p>Colombia</p>	<p>Revisión del Estado del arte</p>	<p>La finalidad del presente artículo es realizar una recopilación de algunos estudios de expertos sobre sistemas de humedales construidos para el tratamiento de lixiviados de vertederos o rellenos sanitarios, para de esta manera recapitular sus contribuciones, realizar un compilado de las eficiencias de remoción que se pueden esperar principalmente de la degradación de materia orgánica, metales pesados y nutrientes. Además, destacar el papel de la vegetación en el proceso de depuración así como sus ventajas, desventajas y problemas asociados a este tipo de ecotecnología.</p>
3	<p>DISEÑO DE HUMEDALES ARTIFICIALES PARA EL TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS EN VILLAVICENCIO</p>	<p>KATHERINE PAOLA MORALES RODRÍGUEZ</p>	<p>2018</p>	<p>Colombia</p>	<p>Revisión del Estado del arte</p>	<p>. Este artículo se enfocó en la investigación de Estudio de Caso; en la metodología se realiza una búsqueda bibliográfica que permite determinar la necesidad de un tratamiento adecuado de lixiviados en el relleno sanitario en mención y proponen las especies vegetales viables para el tratamiento.</p>

						de estos residuos líquidos
4	Comparación del Tratamiento de Lixiviados por medio de Humedales Artificiales con otros Sistemas Convencionales de Tratamiento.	Gina Marcela Peña Marinez	2007	Colombia	Comparación de metodologías aplicadas para el tratamiento	En el artículo comparan tratamientos convencionales como lagunas aerobias anaerobias, y la aplicación de humedales artificiales para el tratamiento de aguas lixiviadas en Colombia.
5	Tratamiento de lixiviados de relleno sanitario por medio de humedales construidos sembrados con policultivos de plantas nativas	Carlos A. Madera-Parra	2016	Colombia	Sembrados con policultivos de plantas nativas.	En el trabajo se presentan resultados a escala piloto sobre la eficiencia de humedales artificiales construidos con sembrados de policultivos de especies tropicales de diferente índole para el tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios.

6	Estudio de Humedales Artificiales para la Eliminación de Nitrógeno en Lixiviados Provenientes de la Disposición Final de Residuos Sólidos Municipales.	Laura Julieth Montero Zapata, Karen Julieth Salazar Zapata	20 18	colomb ia	Humedales artificiales horizontales de flujo subsuperficial	La investigación realizó en la Planta Tratamiento de Aguas Residual de la Universidad Autónoma de Occidente, Cali. Allí se operaron cuatro humedales artificiales flujo subsuperficial a escala piloto.
7	Diseño de Humedal Construido para tratar los lixiviados del Proyecto de Relleno Sanitario de Pococí	Carlos Manuel Fonseca Castro	20 10	Costa Rica	Humedales artificiales horizontales de flujo subsuperficial	Para la elaboración de este trabajo fue desarrollada la propuesta de una planta natural de tratamiento de lixiviados mediante un sistema de humedales construidos flujo sub superficial. En este sistema las plantas son encargadas de remover los contaminantes presentes en los lixiviados, lo que significa un ahorro en la operación
8	REMOCIÓN CARGA CONTAMINANTE CON HUMEDALES ARTIFICIALES DE TIPO PILOTO SUB-SUPERFICIAL HORIZONTAL (HAFSSh), GRANJA BOTANA, NARIÑO	HERLAN DI ANDRÉS PANTOJA ESTRADA, GINNA TARAPUES PAZOS	20 17	Colomb ia	Humedales artificiales horizontales de flujo subsuperficial	En el estudio se analizó la posibilidad de remover la carga contaminante de aguas por medio de humedales artificiales de tipo piloto sub-superficial horizontal en una granja del departamento de Nariño.

9	SISTEMAS DE TRATAMIENTOS PARA LIXIVIADOS GENERADOS EN RELLENOS SANITARIOS.	Marionel de Jesús Corena Luna	2008	Colombia	Revisión del Estado del arte	En el artículo se conocen de diferentes métodos para el tratamiento de lixiviados en general. Se realizó un análisis de, entre otros, tratamientos físico químicos como los naturales
10	HUMEDALES ARTIFICIALES: UNA ALTERNATIVA PARA TRATAMIENTO DE AGUAS DE PRODUCCIÓN	Paul André Arce Cardona	2018	Colombia	Revisión del Estado del arte	Se revisó, por medio de una monografía el conocimiento de humedales artificiales a manera de una alternativa de posibilidad de un tratamiento eficiente y económico para las aguas de producción de la industria petrolera, particularmente
11	Estado del arte: una revisión actual a los mecanismos que realizan los humedales artificiales para la remoción de nitrógeno y fósforo	Viviana M. Arteaga Cortez, Abel Quevedo Nolasco, David Hl del Valle Paniagua, Martiniano Castro Popoca, Ángel Bravo Vinaja, Jorge A. Ramirez Zlerold	2019	México	Revisión del Estado del arte	Se muestra todo lo relacionado con los humedales de flujo libre subsuperficial horizontal y subsuperficial vertical y humedales combinados híbridos.

1 2	DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE UN HUMEDAL A ESCALA DE LABORATORIO PARA TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS DEL RELLENO SANITARIO LA ESMERALDA.	J, J, Martinez; C, A, Rojas	20 18	Colomb ia	Humedales artificiales verticales de flujo superficial	En el artículo se revisa el funcionamiento de un humedal artificial, conformidad con sus características particulares como componentes, físicos, químicos y demás.
1 3	Optimización del tratamiento de aguas residuales de cultivos de flores usando humedales construidos de flujo subsuperficial horizontal.	Jaramillo- Gallego, M. L., Agudelo- Cadavid, R. M., & Peñuela-Mesa, G. A.	20 15	Colomb ia	Humedales artificiales horizontales de flujo subsuperficial	En el estudio se realizó un trabajo experimental que consistió en dos etapas que básicamente se trataron en aspectos biológicos, físicos y químicos del sistema de tratamiento, mientras que en otra se llevó a cabo por medio de remoción de contaminantes durante nueve meses.
1 4	Evaluación de humedales artificiales de flujo subsuperficial en la remoción de diferentes concentraciones de ibuprofeno empleando Cyperus papyrus.	Cervantes, T. P., Londoño, Y. A., Gutiérrez, F. R., & Peñuela, G. A.	20 17	Colomb ia	Humedales artificiales horizontales de flujo subsuperficial	En el artículo de referencia se comienza a analizar la eficiencia presentada en los humedales artificiales, especialmente con la utilización de Cyperus papyrus con vegetación única.

15	Humedales artificiales como sistemas naturales de depuración de aguas residuales.	Works, E.	2015	Colombia	Revisión del Estado del arte	En el texto se comienza a relacionar la mano de obra mediante la cual funcionan los humedales en el contexto mediante el cual se cuenta de los beneficios de diferentes tipos de humedales, como los componentes del mismo, que en su esencia busca o principio requiere remove demás.
16	Fitorremediación con humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales porcinas	Arias, S. A., Betancur, F. M., Gómez, G., Salazar, J. P., & Hernández, M. L.	2010	Colombia	Fitorremediación de lixiviados	En el texto se presenta una búsqueda de posibles soluciones a problemáticas de índole ambiental por medio de tecnologías sostenibles. Se implementaron humedales artificiales para tratar aguas residuales de la unidad productiva de cerdos.
17	Sistemas combinados para el tratamiento de aguas residuales basados en tanque séptico - filtro anaerobio y humedales subsuperficiales.	Carlos A. Madera, Juan P. Silva, Miguel R. Peña.	2005	Colombia	Humedales artificiales horizontales de flujo subsuperficial	Se realiza un análisis sobre los vertimientos de los centros urbanos a las fuentes hídricas. Posteriormente se realiza un sistema de tanque séptico en el cual se coloca un filtro anaerobio de flujo ascendente para establecer un humedal artificial de flujo subsuperficial.

18	Evaluación de un humedal artificial de flujo vertical intermitente, para obtener agua de buena calidad para la acuicultura.	Ramirez, H. F., Luna, V. M., & Arredondo, J. L.	2009	México	Humedales artificiales verticales de flujo superficial	se diseñó un humedal artificial que se alimenta con flujo vertical intermitente y que posee una carga hidráulica superficial
19	Depuración de aguas residuales mediante humedales artificiales: la EDAR de Los Gallardos	Lahora, A.	2015	España	Humedales artificiales horizontales de flujo subsuperficial	En el texto se demuestra un diseño de humedal de flujo subsuperficial donde se midieron inicialmente los parámetros y dimensiones del mismo.
20	Influencia del tipo y granulometría del sustrato en la depuración de las aguas residuales por el sistema de humedales artificiales de flujo vertical y horizontal.	Pidre, J. R.	2010	España	Humedales artificiales verticales y horizontales de flujo superficial y subsuperficial	Se realiza la construcción de humedales que buscan descontaminar agua en una pequeña población de España. Se trata de dos tipos de humedales, uno vertical y otro horizontal.
21	Horizontal Subsurface-Flow-Constructed Wetlands with Tropical Vegetation for the Treatment of Landfill Leachate: Case Study in Cartagena, Colombia	Leydy K. Torres Gil; Manuel Saba, Ph.D.; and Monica Eljaiek-Urzola	2020	Colombia	Humedales artificiales horizontales de flujo subsuperficial	La investigación se centra en la posibilidad de implementación de humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal para el tratamiento de lixiviados crudos y lixiviados pretratados con foto-fenton del relleno sanitario de la ciudad de Cartagena, Colombia.

2 2	Phytoremediation of Landfill Leachate with <i>Colocasia esculenta</i> , <i>Gynerium sagittatum</i> and <i>Heliconia psittacorum</i> in Constructed Wetlands.	Madera-Parra, C. A., Peña-Salamanca, E. J., Peña, M. R., Rousseau, D. P. L., & Lens, P. N. L.	20 14	Colombia	Fitorremediación de lixiviados	Se toma, como objeto de estudio, la acumulación de “Cd (II), Hg (II), Cr (VI), Pb (II) en <i>Gynerium sagittatum</i> (Gs), <i>Colocasia esculenta</i> (Ce) y <i>Heliconia psittacorum</i> (He) plantadas en humedales artificiales para el tratamiento de vertederos sintéticos”.
2 3	Cr(VI) and COD removal from landfill leachate by polyculture constructed wetland at a pilot scale.	C. A. Madera-Parra, M. R. Peña, E. J. Peña & P. N. L. Lens	20 14	Colombia	Humedales artificiales horizontales de flujo subsuperficial	Durante al menos meses se revisaron humedales de flujo horizontal subsuperficial que se plantaron con policultivo de plantas <i>Gynerium sagittatum</i> (G), <i>Colocasia esculenta</i> (Ce) y <i>Heliconia psittacorum</i> (He).
2 4	Organic Matter and Nutrients Removal in Tropical Constructed Wetlands Using <i>Cyperus ligularis</i> (Cyperaceae) and <i>Echinochloa colona</i> (Poaceae)	Casierra-Martínez, H. A., Charris-Olmos, J. C., Caselles-Osorio, A., & Parody-Muñoz, A. E.	20 17	Colombia	Humedales artificiales horizontales de flujo subsuperficial	Se toma en cuenta que en los países tropicales existe una gran variedad de plantas acuáticas que no se han investigado.
2 5	Estudo cinético e remoção de contaminantes no tratamento de lixiviados usando zonas húmidas	Fabián A. Úsuga; Andrés F. Patiño; Diana C. Rodríguez; Gustavo A.	20 18	Colombia	Humedales artificiales horizontales de flujo subsuperficial	Se desarrolló una evaluación de tratamiento de lixiviados en relleno sanitario en Colombia.

	subsuperficie no nivel piloto.	Peñuela				
26	Constructed Wetlands for Landfill Leachate Treatment	Carlos Arturo Madera-Parra, Daniel Ascúntar Ríos	2017	Colombia	fitorremediación de lixiviados	Se toman como referencia los rellenos sanitarios en todo el mundo como los elementos de eliminación de residuos sólidos.
27	Constructed wetlands for landfill leachate treatment	Reza Bkhshoodeh, Nadali Alavi, Carolyn Oldham, Rafael M. Santos, Ali Akbar Babaei, Jan Vymazal, Pooya Paydary	2020	Australia	Revisión del Estado del arte	Se realiza un análisis de la literatura existente sobre el uso de Humedales Artificiales en el tratamiento de corrientes de desechos especialmente lixiviados.
28	Feasibility of using constructed treatment wetlands for municipal wastewater treatment in the Bogotá Savannah, Colombia	Mauricio E. Arias, Mark T. Brown	2009	Colombia	Revisión del Estado del arte	Se verifica la posibilidad de la implementación de tratamiento de aguas residuales de la sabana bogotá por medio de humedales construidos.
29	Efficiency of Mesocosm-Scale Constructed Wetland Systems for Treatment of Sanitary Wastewater	Aracelly Caselles-Osorio, Patricia Villafañe, Vanessa	2011	Colombia	Humedales artificiales horizontales de flujo subsuperficial	Trata sobre la tecnología aplicada a los humedales artificiales de flujo subterráneo.

	Under Tropical Conditions.	Caballero & Yelena Manzano				
30	Horizontal subsurface-flow constructed wetland removal efficiency using <i>Cyperus articulatus</i> L.	Caselles-Osorio, A., Vega, H., Lancheros, J. C., Casierra-Martínez, H. A., & Mosquera, J. E.	2017	Colombia	Humedales artificiales horizontales de flujo subsuperficial	Se evalúa especialmente el efecto de una planta específica llamada <i>Cyperus articulatus</i> y su efectividad de remoción de materia orgánica disuelta compuestos nitrogenados presentes en aguas residuales.
31	Application of constructed wetlands for wastewater treatment in tropical and subtropical regions (2000–2013)	Zhang, D. Q., Jinadasa, K. B. S. N., Gersberg, R. M., Liu, Y., Tan, S. K., & Jern, W.	2015	Singapur	Humedales artificiales verticales y horizontales de flujo superficial y subsuperficial	Se realiza una revisión donde se da cuenta de que la eliminación de bioquímicos de oxígeno, en conjunto con el sólido suspendido, es eficiente y consistente en todos los tipos de humedales.
32	The use of constructed wetlands for removal of pesticides from agricultural runoff and drainage: A review.	Vymazal, J., & Březinová, T.	2015	República Checa	Humedales artificiales de superficie de agua libre	En este artículo se aplica una encuesta en donde se estableció que los humedales con superficie de agua libre son los más utilizados, lo anterior debido a su efectividad.

3 3	BPA and NP removal from municipal wastewater by tropical horizontal subsurface constructed wetlands. Science of The Total Environment	Toro-Vélez, A., Madera-Parra, C., Peña-Varón, M., Lee, W., Bezares- Cruz, J., Walker, W., Cárdenas-Henao, H., Quesada-Calderón, S., García-Hernández, H., & Lens, P.	20 16	Colombia	Humedales artificiales horizontales de flujo subsuperficial	En este estudio cuantifica la eliminación de los componentes sintéticos por medio de la aplicación de humedales artificiales con la finalidad de aislar cepas de hongos y probar la producción de lacta. Finalmente se realizaron ensayos de alteración endocrina utilizando mosca de la fruta.
3 4	Constructed Wetlands in Latin America and the Caribbean: A Review of Experiences during the Last Decade. Water	Rodríguez-Dominguez, M. A., Konnerup, D., Brix, H., & Arias, C. A.	20 20	Dinamarca	Revisión del Estado del arte	En el artículo se realizó una revisión profunda con la finalidad de informar sobre los humedales artificiales de la última década.
3 5	Wastewater treatment by a pilot system of artificial wetlands: evaluation of the removal of the organic load.	Mariana Romero Aguilar, Arturo Colín Cruz, Enrique Sánchez Salinas y Laura Ortiz Hernández.	20 09	México	Humedales artificiales verticales de flujo superficial	Por una primera parte integran las especies de plantas y luego se realizaron de manera secuencial pruebas, lo cual dio resultados altamente beneficiosos como la retención de fósforo y nitrógeno.

3 6	Evaluating the Relationship Among Wetland Vertical Development, Elevation Capital, Sea-Level Rise, and Tidal Marsh Sustainability.	Donald R. Cahoon, James C. Lynch, Charles T. Roman, John Paul Schmit & Dennis E. Skidds.	20 18	EE.U.U	Humedales artificiales verticales de flujo superficial	En el trabajo realizaron experimentos sobre islas de Jamaica y Estados Unidos en donde toman en cuenta sus similitudes y condiciones similares.
3 7	Effect of artificial aeration on the performance of vertical-flow constructed wetland treating heavily polluted river water.	Dong, H., Qiang, Z., Li, T., Jin, H., & Chen, W.	20 12	China	Humedales artificiales verticales de flujo superficial	El artículo trató de humedales de tipo vertical a escala piloto, en los cuales se implementó aireación de manera artificial usando diferentes cargas hidráulicas.
3 8	Recirculation or artificial aeration in vertical flow constructed wetlands: A comparative study for treating high load wastewater.	Foladori, P., Ruaben, J., & Ortigara, A. R.	20 13	Brasil	Humedales artificiales verticales de flujo superficial	En el artículo se trata una serie de experimentos donde se construyeron humedales artificiales de manera vertical en donde se configuran de maneras distintas.
3 9	Humedales artificiales de flujo vertical para mejorar la calidad del agua del río Bogotá.	Rodríguez Chaparro, T., & Ospina, I. M.	20 05	Colombia	Humedales artificiales verticales de flujo superficial	En el artículo investigativo se construye de manera experimental, un humedal artificial de tipo vertical, escala piloto.

40	<p>Comparison of simple, small, full-scale sewage treatment systems in Brazil: UASB–maturation ponds–coarse filter; UASB–horizontal subsurface-flow wetland; vertical-flow wetland (first stage of French system).</p>	<p>von Sperling, M.</p>	<p>2014</p>	<p>Brasil</p>	<p>Humedales artificiales horizontales de flujo subsuperficial</p>	<p>En el artículo se realiza una comparación entre tres tipos de tratamiento. Uno por un reactor de manto de lodo anaeróbico de flujo ascendente, tres estanques de maduración filtro rotatoria gruesa y un humedal artificial de flujo subterráneo horizontal.</p>
----	--	-------------------------	-------------	---------------	--	---



Universidad[®]
Católica
de Manizales

VIGILADA MINEDUCACIÓN

*Obra de Iglesia
de la Congregación*



Hermanas de la Caridad
Dominicas de La Presentación
de la Santísima Virgen

Universidad Católica de Manizales
Carrera 23 # 60-63 Av. Santander / Manizales - Colombia
PBX (6)8 93 30 50 - www.ucm.edu.co