

**MONOGRAFIA: HUMEDALES ARTIFICIALES PARA EL TRATAMIENTO DE
AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS Y SU POSIBLE IMPLEMENTACION EN EL
CONJUNTO JOSE MARIA CORDOBA, RICAURTE, CUNDINAMARCA**

Nidia Julieth Gomez Gil

Trabajo de grado tipo monografía para optar el título de Ingeniera Ambiental

Director

María Aldaya Rodríguez

Licenciada en ciencias naturales Mg en educación ambiental y desarrollo sostenible

Universidad de Cundinamarca

Facultad de ciencias agropecuarias

Ingeniería ambiental

Girardot

2020

Dedicatoria

A todo el esfuerzo que he puesto en la realización de este logro, y a todas y cada una de las personas que en este tiempo fueron participes de forjar a la persona que soy hoy en día.

Agradecimiento

A la primera persona que le quiero agradecer es a mi tía Teresa, por estar día a día aportando buenos consejos, motivación a la lucha y ayuda constante, además agradecer a todos los miembros de mi familia y personas especiales en mi vida que siempre me han soportado con todos y cada uno de mis defectos.

A mi amiga y mi tata por haber sido de gran ayuda y apoyo a lo largo del camino.

Contenido

	pág.
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Resumen	vii
Abstract	8
Introducción	9
Objetivos	11
Objetivo General	11
Objetivos Específicos	12
Estado del arte	13
Metodología	16
Resultados	20
Técnicas tratamiento de agua residual doméstica, descripción general de sistemas de humedales artificiales.	20
Humedales artificiales de flujo libre o flujo superficial (FL).....	21
Humedales artificiales de flujo subsuperficial (FSS).	22
Humedales artificiales de flujo horizontal.....	22
Humedales artificiales de flujo vertical.	23
Sistemas de humedales combinados o híbridos.....	23
Descripción de parámetros zona de estudio para la construcción del sistema ha.	24
Evaluación y selección de la zona	24
Potencialidades y desventajas de los humedales artificiales.	28
Humedales de flujo superficial.	28
Humedales de flujo subsuperficial.	30
Humedales artificiales como alternativa para el conjunto Jose María Córdoba	32
Topografía.	36
suelo.....	37
Riesgo de inundación.....	37
Uso actual del terreno.	38
Clima.	38
Control de vectores	38
Conclusión	39

Anexos	40
Glosario.....	40
Referencias Bibliográficas	49

Lista de tablas

	pág.
<i>Tabla 1. Clasificación de documentos como base de la información.....</i>	<i>17</i>
<i>Tabla 2.Eficiencia control microbiológico por tipo de humedal.....</i>	<i>18</i>
<i>Tabla 3. Clasificación artículos académicos utilizados en el desarrollo de la investigación.....</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 3 Datos geográficos de Ricaurte, Cundinamarca.</i>	<i>32</i>
<i>Tabla 4. Temperatura promedio municipio de Ricaurte, Cundinamarca.</i>	<i>33</i>
<i>Tabla 5 Características según habitantes conjunto Jose María Córdoba</i>	<i>33</i>
<i>Tabla 6 Estado legal de los servicios de acueducto y alcantarillado del conjunto JMC como área de influencia del humedal el yulo.</i>	<i>34</i>
<i>Tabla 7 Eficiencia de remoción microbiológica de algunas macrofitas que pueden ser de utilidad en la instalación del humedal</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 8 Eficiencia porcentaje remoción microbiológica.</i>	<i>48</i>

Lista figuras

<i>Figura 1. Etapas análisis de la información.</i>	<i>18</i>
<i>Figura 2 Tipos de plantas empleadas según el sentido del flujo, en humedales artificiales.....</i>	<i>26</i>
<i>Figura 3 Humedal artificial de flujo superficial.....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 4 Debilidades, oportunidades, fortalezas y amenazas humedales artificiales flujo subsuperficial.....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 5 Humedales de flujo subsuperficial.....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 6 Mapa parte de la zona urbana donde se evidencia el conjunto Jose María Córdoba, cercanía con el humedal del yulo y el lugar donde se podría implementar los humedales artificiales.</i>	<i>35</i>
<i>Figura 7 Representación pendientes, zona de estudio.....</i>	<i>37</i>

Resumen

El agua es el líquido más abundante de la tierra, por lo tanto es el recurso más importante, ya que representa la base de toda forma de vida. Este recurso sufre día a día alteraciones, en su mayoría derivadas de las descargas directas de las diferentes actividades humanas a los cuerpos de agua es por eso por lo que en la presente monografía se buscó generar una herramienta que permita optimizar o en su defecto ser el principal actor del tratamiento de aguas residuales domésticas en el Conjunto Jose María Córdoba ubicado en el municipio de Ricaurte, Cundinamarca de modo que sea aporte a la conservación del humedal natural el yulo, ya que representa una importante fuente de recursos naturales. Se analizaron las características esenciales o determinantes de la zona de estudio, y como estas influyen en la construcción de un humedal artificial como sistema depurador, utilizando como base de la información alrededor de 52 artículos científicos obtenidos de bases de datos como Scopus, Science Direct, Dialnet y revistas científicas de instituciones académicas. Como resultado se propone la construcción de un humedal artificial de flujo subsuperficial ya que posee capacidades de disminuir las consecuencias de deterioro en el humedal natural el yulo que limita con esta unidad residencial

Palabras Clave: Humedal artificial, aguas residuales domésticas, Ciudadela Jose Maria Cordoba.

Abstract

Water is the most abundant liquid on earth, therefore it is the most important resource, as it represents the basis of all forms of life. This resource suffers day by day alterations, mostly derived from the direct discharges of the different human activities to the bodies of water that is why in this monograph was sought to generate a tool that allows to optimize or, if not, be the main actor of the treatment of domestic wastewater in the Jose María Córdoba Complex located in the municipality of Ricaurte , Cundinamarca so that it contributes to the conservation of the natural wetland the yulo, as it represents an important source of natural resources. The essential or determining characteristics of the study area were analyzed, and how these influence the construction of an artificial wetland as a treatment system, using as a basis for information around 52 scientific articles obtained from databases such as Scopus, Science Direct, Dialnet and scientific journals of academic institutions. As a result, it is proposed to build an artificial subsurface flow wetland as it has capabilities to reduce the consequences of deterioration in the natural wetland, the yulo that borders this residential unit.

Key Word- Artificial wetland, domestic wastewater, residential unit Jose Maria Cordoba.

Introducción

El agua es el líquido más abundante de la tierra, por lo tanto es el recurso más importante, ya que representa la base de toda forma de vida. Este recurso sufre día a día alteraciones, en su mayoría derivadas de las descargas directas de las diferentes actividades humanas a los cuerpos de agua; estos vertimientos generalmente no reciben ningún tipo de tratamiento o simplemente es aplicado un tratamiento deficiente lo cual, acelera la disminución en su disponibilidad, originando un problema económico, social y ambiental (Escorihuela, 2007).

Históricamente, desde el desplazamiento de las comunidades hacia el sector urbano se ha optado por disponer el agua sucia en humedales o ríos pues se ha identificado el potencial de estos ecosistemas para depurar aguas, en estos espacios ese proceso se da de forma lenta, y es por eso que se genera la necesidad de tratar el agua residual de diversas fuentes, de modo que se garantice la disminución de los impactos en los ecosistemas receptores. Los sistemas tradicionales de tratamiento de aguas residuales centralizados se han implementado a lo largo del tiempo para el control de la contaminación del agua en la mayoría de los países, utilizando principios de procesos físicos-químicos que generan elevado consumo de energía y altos costos de mantenimiento.

De la ya mencionada problemática asociada a vertimientos surge la idea de construir espacios confinados que constituyen un humedal “controlado o artificial” como un tratamiento preliminar (Brix H. , 1994). Los humedales artificiales están fundamentados en los principios de los sistemas naturales, por lo que, a pesar de la intervención del hombre, se han catalogado como "sistemas naturales de tratamiento", es decir que los humedales artificiales utilizan procesos biológicos haciendo uso en su mayoría de plantas en donde se desarrollan diversas interacciones con los microorganismos y la atmosfera donde se genera la degradación de la materia orgánica. Alrededor

de la década de los cincuenta fue donde se empezó con la investigación a fondo de este tema por el instituto Max Planck, en donde su principal actor era Alemania, este tenía como objetivo mejorar la calidad de las aguas en los canales navegables mediante la utilización adecuada de diversas especies de vegetación, seguido a esto en los años setenta y ochenta los estudios se basaban en procesos de tratamiento de aguas que ocurren en la zona de la raíz de las plantas que han de usarse en los humedales artificiales y al mismo tiempo se usan distintos tipos de sustratos con mayor capacidad de retención de contaminantes. Ya en los años noventa se genera un incremento en la utilización de humedales artificiales en distintas aguas residuales industriales y se emplean en los sistemas de saneamiento de la Unión Europea, generando mejoras en la depuración de aguas y además garantizando un tratamiento adecuado de sus vertimientos, por ejemplo en España, se realizaron humedales artificiales alrededor del río Besos en Cataluña (Aларcon & Kolb, 1997), y en otros lugares como Cantabria (Castillo, 1996), Andalucía (Junta de Andalucía, 1997) y Barcelona (Pigem, Marzo, & de la peña, 1999), tratando de aprovechar el gran potencial que tiene este sistema de depuración.

En consecuencia, en la actualidad hay más de 50000 solo en Europa y más de 10000 en América del norte, en donde se emplean en gran medida para el tratamiento de diferentes tipos de aguas residuales, entre ellas domésticas, industriales, de drenajes ácidos en minas, lixiviados de rellenos sanitarios, entre otros.

En Colombia, se empiezan a implementar los humedales artificiales a finales de la década de los 80, y a partir de allí se han desarrollado diversas investigaciones, como en el 1996 en donde se experimenta con una especie de macrófita flotante para la eliminación de contaminantes en aguas que son vertidas en el valle Sinú del departamento de Córdoba (Martelo & Lara, 2012). Años después, la Universidad Tecnológica de Pereira experimento con cuatro humedales a escala real

que tenían como objetivo principal optimizar el tratamiento de agua residual y elevar la calidad del líquido en pequeñas localidades o zonas rurales (Cuervo, 2012). Siguiendo la iniciativa de tratamiento, el centro de recursos naturales renovables del SENA genera humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales porcinas (Betancourt, Gomez, Giraldo, & Hernandez, 2010), de igual forma a lo largo de los años y hasta el día de hoy han sido implementados los humedales artificiales en distintos tipos de descarga como aguas domésticas, agua de procesamiento de café, aguas de curtiembres, aguas de piscicultura (Malaver, 2013) y propuestas para desarrollo de sistemas municipales además de generarse variaciones y combinaciones en los tipos de vegetación que hacen los trabajos de depuración.

Objetivos

Objetivo General

Realizar un análisis sobre el uso de humedales artificiales como estrategia para la optimización en el tratamiento de aguas residuales domesticas en el conjunto Jose María Córdoba.

Objetivos Específicos

- Describir las diferentes técnicas para el tratamiento de agua residual domestica implementando humedales artificiales.
- Analizar las principales potencialidades y desventajas del uso de humedales artificiales para la descontaminación del agua residual doméstica.
- Identificar los parámetros esenciales para llevar a cabo la implementación de un humedal artificial como alternativa para el tratamiento de aguas residuales domesticas del conjunto Jose María Córdoba.

Estado del arte

Aguas con niveles elevados de sólidos suspendidos, coliformes fecales, materia orgánica y otros, son vertidas a cuerpos hídricos generando que las condiciones naturales se vean afectadas (Peña & Guzman, 2012). Con el fin de tratar y mejorar esos impactos se desarrollan diferentes métodos como lo son los humedales artificiales los cuales se caracterizan por tener una eficiencia en la eliminación de grandes cargas contaminantes y una buena relación costo-beneficio (Morales & Castellanos, 2018).

La eficiencia de estos sistemas depende en gran parte al tipo de agua tratada y también al tipo de planta utilizada entendiéndose que la remoción biológica es el camino más importante para la remoción de los contaminantes (Morales & Castellanos, 2018).

Tratamiento aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: evaluación de la remoción orgánica.

El estudio fue desarrollado en la Universidad Autónoma del Estado de México. En donde se presenta una investigación que tiene como objetivo demostrar los alcances físicos y químicos de agua residual de tipo municipal tratada con humedales artificiales (Morales & Castellanos, 2018).

En dicha investigación se inicia el proceso con tres tipos de humedales artificiales los cuales son diferenciados por el tipo de planta subacuática utilizada en este caso especies como carrizo y tule, tanto por separado como en conjunto, teniendo como fin analizar cuál de los tres tipos sería el más óptimo para buena eficiencia de remoción orgánica. También dentro de los materiales usados se hace uso de grava de tezontle y arena siendo estos "... soporte para las plantas y un medio de fijación para los microorganismos en el sistema y como conductor hidráulico" (Romero-Aguilar, 2009). El humedal artificial se construyó en contenedores de fibra de vidrio, los cuales se instalaron

de manera secuencial y dándoles una pendiente de 1% para permitir el flujo del agua, instalando a la salida del sistema una llave para la regulación de flujo del agua tratada. Dependiendo del tipo de planta subacuática usada se fija un tiempo de depuración en el humedal artificial, donde el contenedor con carrizo tiene un tiempo de duración de 9 días y para el tule de 7 (Morales & Castellanos, 2018).

Teniendo en cuenta que la concentración de DBO se regula con un tiempo de retención de 5 días se establece a partir de allí como el tiempo base para los monitoreos a realizar al sistema. También se toman otros resultados como lo son: sólidos en suspensión, eficiencia de remoción de la carga orgánica fósforo, nitrógeno y análisis bacteriológicos, con el fin de ver las mejoras que presenta el agua residual en estos aspectos. Los resultados determinaron que el tercer modelo es el óptimo; contando con dos tipos de plantas como medio filtrante (carrizo y tule), demostrando que la utilización de dos plantas diferentes mejora la calidad del agua (Morales & Castellanos, 2018).

Biofiltro con cascarilla de arroz y pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) para el tratamiento del efluente de la PTAR del INPEC – Yopal, Casanare, Colombia.

Se realizó un humedal artificial con cascarilla de arroz y grava, a escala de laboratorio, con el fin de lograr una calidad óptima del agua de modo que pueda ser reutilizada en procesos asociados a la ganadería. La problemática planteada es la escasez del agua en el mundo en la que se ha visto al ser humano obligado a buscar otras alternativas para la dotación de agua, como lo son el reúso de las aguas residuales. En este proceso para el tratamiento de agua se deben tener en cuenta los 31 criterios de calidad dependiendo del uso que se le vaya a dar a la misma. “Según el IDEAM para el año 2016 aproximadamente el 70% de la población urbana en Colombia tendrá un déficit en el suministro de Agua Potable” (Higuera, 2016) lo cual hoy por hoy ese porcentaje es tal vez

más elevado, está es una problemática evidente en Colombia por lo cual se deben generar soluciones inmediatas, ya que afecta al país tanto económico, social y ambientalmente. Una de las posibles soluciones sería el desarrollo de este humedal para el tratamiento de aguas residuales (Morales & Castellanos, 2018).

De los resultados obtenidos se identificó, que a medida del tiempo iba mejorando la calidad de agua para agricultura según los requerimientos de la normatividad colombiana, “resolución 1207/2014 para el reúso del agua residual” (Higuera, 2016). Se evidencia que el humedal logró un 99% de efectividad con la remoción de coliformes, lo cual es apto de acuerdo con la resolución mencionada anteriormente.

“Desde la problemática en Colombia de la disminución del recurso hídrico se genera una posible solución, implementada en este caso para las instalaciones del INPEC. Por los resultados obtenidos en laboratorios sobre el agua residual tratada, se puede decir que es un sistema óptimo que se puede implementar. Cabe resaltar que es necesario identificar y planificar los costos de realización tanto del humedal como de los laboratorios in situ ya que estos costos ayudan a tener una visual de la proyección a futuro para el desarrollo del humedal” (Morales & Castellanos, 2018).

Humedal federacafe con *Typha Angustifolia*, Chinchina, Colombia.

Un estudio hecho a principios de 1997 instaló un sistema de tratamiento de agua residual para la federación colombiana de cultivadores de café (FEDERACAFE) en el centro de capacitación Manuel Mejía, en la ciudad de Chinchina, donde se trabajo con la (*Typha Angustifolia*) muestran observaciones importantes como que la planta puede soportar condiciones de poca humedad por periodos de tiempo de mas o menos dos meses, aunque se limita su reproducción y aumenta su

susceptibilidad al ataque de hongos e insectos, en condiciones de baja exposición directa a la luz solar el cultivo desmejora notablemente (Jaramillo & Lorenza, 1997).

Los estudios aquí expuestos son solo unos pocos en los que los humedales artificiales han tenido un protagonismo importante en Colombia y así mismo ratifican que estos sistemas son una buena alternativa para el reemplazo de los sistemas convencionales, mejorando aspectos de índole económica, social y medioambiental.

Metodología

Descripción del tema o área de estudio: En el presente trabajo de monografía se analizan los humedales artificiales de diferentes tipos como alternativa para el tratamiento de aguas residuales, de manera que se pueda aplicar para el tratamiento de agua residual doméstica en el conjunto José María Córdoba de Ricaurte, Cundinamarca como una mejora al manejo que actualmente se les da a estos desechos líquidos.

Técnicas o instrumentos para la recolección de datos

Bases de datos científicas como Scopus, Science Direct y Dialnet, permitieron la recopilación de la información usada en este trabajo, así como otras de carácter académico para poder adquirir publicaciones, artículos, proyectos, trabajos de grado entre otros. Para efectos de la búsqueda se realizó mediante palabras claves y aplicación de filtros de búsqueda de cada herramienta, por ejemplo, filtros de periodos de tiempo comprendidos entre los años 2010-2020 (Es importante

aclarar que los estudios encontrados antes del año 2010 se utilizaron para la realización de marcos de referencia.

Selección de referencias:

Para lograr elegir de manera eficaz los documentos base de la información, se aplicó la lectura crítica de la metodología, resumen y objetivos de cada uno de ellos con el fin de elegir a aquellos que mejor se relacionan con el tema de la monografía.

Método de análisis:

Una vez organizadas, seleccionadas y teniendo en cuenta el orden de importancia se dio inicio al análisis e interpretación de los resultados, para ello se sistematizó la información mediante una herramienta tipo tabla que permitiría relacionar los aspectos clave de cada documento, se incluye ejemplo:

Tabla 1. Clasificación de documentos como base de la información

TITULO	PALABRAS CLAVE	AÑO/LUGAR	TIPO DE HUMEDAL	METODOLOGIA	CITA
Por ejemplo; Retención de arsénico en humedales construidos con <i>Eleocharis</i>	Medio granular, plantas, prototipo, rizo filtración,	2014/ México	Humedal de flujo subsuperficial, utilizando <i>Eleocharis macrostachya</i> y	Estudio en simultanea con tres prototipos de humedales construidos, en	(Aragon & Alarcon, 2014)

<i>macrostachya</i> y <i>Schoenoplectus</i> <i>americanus</i>	macrofitas, balance de masa.		<i>Schoenoplectus</i> <i>americanus</i>	condiciones de invernadero.	
---	------------------------------------	--	--	--------------------------------	--

Así mismo se tienen en cuenta en los diferentes documentos los tipos de humedales, la remoción de indicadores, la eficiencia aportada, tipos de indicadores removidos, lo anterior se hizo en una tabla con el fin de otorgar importancia a las referencias.

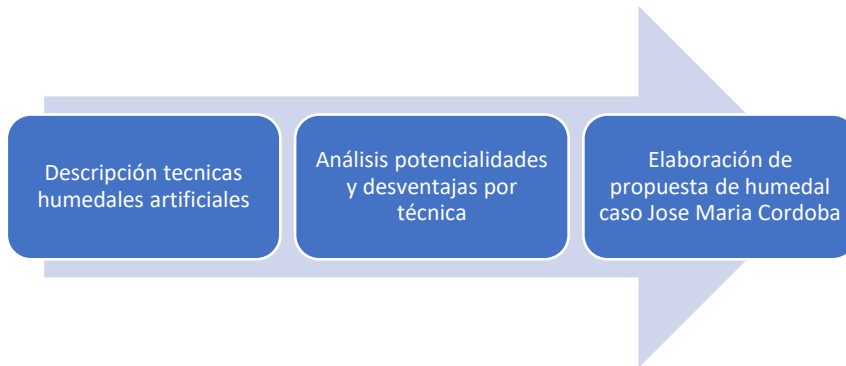
Tabla 2. Eficiencia control microbiológico aportada por las macrofitas más usadas.

MACROFITA	INDICADOR MICROBIOLÓGICO		% EFICIENCIA	REPORTA
Tipo de planta utilizada	Concentración inicial del indicador microbiológico (In)	Concentración final del indicador microbiológico (Fi)	$\frac{In - Fi}{In} * 100$	Cita bibliográfica.

Método:

La presente investigación monográfica se desarrolla en tres momentos, tal y como se detalla en la figura abajo:

Figura 1. *Etapas análisis de la información.*



Tal y como se muestra arriba, en la figura 1, se propuso el desarrollo de la monografía en tres etapas. Inicialmente, se realizó la correspondiente investigación y se describirán las diferentes técnicas o metodologías respecto a humedales artificiales existentes. Y tomando como referencia las tecnologías existentes se tienen en cuenta aspectos esenciales de la zona de estudio de forma que puedan operar de buena forma estos sistemas.

En segundo lugar empleando la herramienta matriz FODA, se estudiaron las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas, además de ventajas y desventajas que puede presentar cada uno de los sistemas.

Finalmente se en la elaboro una propuesta de utilización de humedal artificial para la Ciudadela Jose María Córdoba. En esta fase se tuvo en cuenta información secundaria facilitada por los entes territoriales (CAR, Secretaria de Planeación de Ricaurte, alcaldía de Ricaurte etc.) que permita identificar las necesidades en el tratamiento de aguas residuales y condiciones del área. Para seguidamente establecer la alternativa, de las anteriormente estudiadas, que mejor pueda ajustarse a la Ciudadela Jose María Córdoba. Se usaron imágenes satelitales con el fin de definir

la ubicación del posible uso de humedales artificiales y como forma de identificar la topografía del terreno.

Resultados

Técnicas tratamiento de agua residual doméstica, descripción general de sistemas de humedales artificiales.

Estos humedales son espacios rebosados de agua con plantas que se benefician de las interacciones con los microorganismos y la atmosfera para lograr la descomposicion de la materia orgánica. Tratando de imitar la efectividad y alcance de los humedales naturales, los humedales artificiales o contruidos por tanto, son interpretados generalmente como un cultivo de macrofitas enraizadas en donde estos proporcionan un lugar para el desarrollo y crecimiento de los microorganismos que tienen como función la filtración y absorción de los contaminantes (Vymazal & Brezinová, 2015), además de permitir la inhibición de otros microorganismos que no generan el bien que se espera (Arteaga et al., 2019).

Por ello han sido empleados para el tratamiento de una gama amplia de aguas residuales: aguas domésticas y urbanas, aguas industriales, aguas de drenaje de extracciones mineras entre otras (Delgadillo, 2010).

El tratamiento de aguas residuales por este método se realiza mediante un sistema de tres partes o etapas principales las cuales son: Recogida, tratamiento y evacuación (Fernandez J. , 2004).

Estos sistemas depuran el agua mediante la remoción del material orgánico (DBO), oxidando el amonio, reduciendo los nitratos y removiendo el fosforo. Cada una de las etapas que están involucradas en el tratamiento cuenta con un grado de complejidad debido a que involucran oxidación bacteriana, filtración, sedimentación y precipitación química (Cooper, 1996). Los humedales tienen tres funciones básicas y de allí se desprende el interés para el tratamiento de aguas residual, así que los humedales fijan físicamente los contaminantes en la superficie del suelo y la materia orgánica, adicionalmente utilizan y transforman los elementos por medio de los microorganismos y finalmente logra tener una buena eficiencia con un bajo consumo de energía y poco mantenimiento (Lara, 1999).

Existen diferentes tipos de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales; En referencia a la especie vegetal que se usa para el proceso de filtración pueden distinguirse humedales de flujo libre o sistemas de plantas libre flotación (FL), y humedales sub superficiales o sistemas de plantas con raíces emergentes (FSS). Y a su vez, estos últimos, pueden su clasificarse en función del sentido del flujo en sistemas de flujo vertical y sistemas de flujo horizontal (Arteaga et al., 2019; Delgadillo et al., 2010).

Humedales artificiales de flujo libre o flujo superficial (FL).

Este tipo de sistemas se construyen a base de canales de poca profundidad simulando un pantano o ciénaga, cada sistema cuenta con un recubrimiento impermeable en el fondo que evita la filtración del agua que puede estar expuesta a contaminación por otros agentes, para lo que se usan diferentes capas de diversos materiales tales como gravilla, grava o arena que a su vez funcionan como soporte para las plantas que se van a usar para el tratamiento del agua.

Se pueden emplear diferentes tipos de plantas acuáticas que con el paso del tiempo generaran enraizamiento en el fondo del humedal.

Adicionalmente para el correcto movimiento del fluido por el sistema, el humedal debe contar con una estructura moderadora de entrada y descarga, generando que el agua pueda fluir a través de las hojas y los tallos de las plantas (Whittar, 1993).

Debido a la interacción que tienen las plantas y los diversos microorganismos que allí se desarrollan la capacidad y efectividad de remoción de la carga de materia orgánica y sólidos suspendidos totales en el agua es de un porcentaje elevado (Rodríguez, 2003).

Humedales artificiales de flujo subsuperficial (FSS).

Este tipo de humedal de igual manera que el anterior es construido en forma de canal, sin embargo, este puede o no tener una capa aislante que impida la filtración del agua hacia el subsuelo. El flujo o nivel del agua pasa por la raíz y a través del material de soporte. El material de soporte donde se encuentran las plantas genera un gran número de superficies en donde se promueve el desarrollo de microorganismos, así que allí en estos espacios la materia orgánica queda atrapada o se genera una reacción con el material.

Estos humedales cuentan con una clasificación que va de acuerdo con la dirección que toma el flujo del agua por el lecho filtrante, en humedales artificiales de flujo horizontal y humedales artificiales de flujo vertical (Brix H. , 1993; Cooper, 1996).

Humedales artificiales de flujo horizontal.

Son áreas generalmente rectangulares con poca profundidad, allí el agua fluye lentamente en trayectoria horizontal a través de los procesos de entrada, distribución y recolección atravesando el lecho filtrante (Fernandez J. , 2002). En el proceso de recolección que equivaldría a la salida de

los humedales, se encuentra una tubería flexible que permite controlar el nivel de encharcamiento, haciendo que el agua se haga invisible en relación con las plantas y los sustratos.

Finalmente, los humedales de flujo horizontal se caracterizan por mantener condiciones anóxicas, por tanto, allí se generan espacios adecuados para la desnitrificación (Arteaga, et al., 2019).

Humedales artificiales de flujo vertical.

El diseño de estos humedales surge de los llamados “campos de infiltración” construidos en Holanda. En este tipo de sistemas el agua es suministrada sobre toda la superficie del humedal y fluye verticalmente a razón de la gravedad a través del lecho filtrante (Jimenez, 1999).

La efectividad en este proceso se ve afectada por la aireación del sustrato que se usa, sin embargo, estos sistemas se presentan como una alternativa de tratamiento secundario y se compone de dos etapas: una con dos celdas de flujo vertical seguido por una celda de flujo horizontal con el fin de lograr la depuración de los efluentes. La principal ventaja de este sistema es que gracias al flujo intermitente se logran mantener las condiciones aerobias, favorecedoras del proceso de nitrificación y de esta forma genera los escenarios propicios para el desarrollo de los microorganismos y plantas que actúan en el proceso de depuración (Arteaga, et al, 2019).

Sistemas de humedales combinados o híbridos.

Los tipos de humedales anteriormente mencionados tienen sus características esenciales, por tanto y teniendo en cuenta que el de flujo horizontal favorece la desnitrificación y el flujo vertical genera condiciones que facilitan la nitrificación; la combinación de estos sistemas puede potenciar la capacidad de remoción de nitrógeno total desencadenando mayor eficiencia en la depuración del agua residual en las diferentes etapas del tratamiento (Arteaga, et al., 2019).

Existen otros tipos de combinaciones que favorecen la depuración, como lo es la combinación de sistemas de flujo superficial con los de flujo subsuperficial, así que dependiendo de los

contaminantes así mismo se hará la combinación, este como uno de los factores que se deben tener en cuenta en las distintas combinaciones.

Descripción de parámetros zona de estudio para la construcción del sistema ha.

Evaluación y selección de la zona

Los humedales generalmente son construidos en zonas de gran extensión para grandes fuentes contaminadas, y con baja carga de contaminantes, aunque esa situación sea poco usual, por tanto el área a utilizar por un humedal está estrechamente relacionada con el flujo de volumen, concentración de contaminantes, y metas del tratamiento. (TITRCWT, 2003)

Las características que son importantes para la localización del sistema y posterior diseño preliminar de sistemas de humedales artificiales encierran aspectos propios del área como la topografía, el suelo, el uso de los terrenos, el riesgo de inundación y el clima (Metcalf & Eddy, 1996).

TOPOGRAFIA. Para la instalación de sistemas de humedales artificiales o sistemas pantanosos se debe contar con una topografía uniforme horizontal o en pendientes inferiores del 5%. (TITRCWT, 2003; Metcalf & Eddy, 1996).

SUELO. El humedal debe considerar elementos que permitan impermeabilizar el sistema de modo que el agua residual no se infiltre al terreno (Metcalf & Eddy, 1996).

USO ACTUAL DEL TERRENO. Se prefiere hacer instalación de estos sistemas en espacios abiertos y de uso agrario (Metcalf & Eddy, 1996).

RIESGO DE INUNDACION. Los humedales deben situarse a una distancia considerable de las comunidades. Además, se debe conocer bien el caudal a tratar de modo que no se supere la capacidad del canal (Metcalf & Eddy, 1996).

CLIMA. Es posible la instalación de estos sistemas en sitios con climas de bajas temperaturas. Sin embargo, en épocas de invierno la efectividad esta relacionada con la temperatura del agua ya que los principales mecanismos de tratamiento son biológicos. Los climas cálidos podrían requerir fuente de agua de reserva para prevenir el detrimento del humedal (Silva & Zamora, 2005).

CONSIDERACIONES DE CONSTRUCCION.

Existen características básicas que son de vital importancia para la construcción de humedales artificiales como la impermeabilización de la capa superficial del terreno, la selección y adecuación del medio poroso, establecimiento de la vegetación y finalmente estructuras de entrada y salida.

En algunas ocasiones se debe recurrir a hacer instalación de sistemas de pre aireación o una caída de agua podría ser suficiente (donde la topografía del terreno lo permita), en donde los niveles de oxígeno disuelto son bajos.

La adecuada profundidad del humedal se da acorde al crecimiento radicular de las especies vegetales a usar.

Existen varios ítems característicos e importantes en temas de construcción y mantenimiento de los humedales construidos tales como la hidrología, los efectos de la temperatura, los tipos de sustratos y las especies vegetales.

HIDROLOGIA

La hidrología está definida como la distribución y circulación del agua en la superficie, por tanto, está directamente relacionada con los factores bióticos y abióticos en el humedal artificial controlando la disponibilidad de nutrientes, condiciones del suelo, la profundidad, la velocidad del agua, la transpiración y desarrollo de diferencias en temperatura al interior del sistema.

ELECCION DE ESPECIES VEGETALES

Es recomendable elegir especies vegetales nativas de la zona de instalación de modo que se genera una buena interacción física en el tallo, raíces y rizomas de las plantas (Borrero & Jaime, 1999).

Las especies vegetales que se han usado frecuentemente en sistemas instalados se incluyen:

- Plantas emergentes

Poseen buena capacidad de fotosíntesis y crecimiento debido a sus hojas largas, entre los géneros de plantas con estas características más comunes tenemos: *Typhia*, *Scirup* y *Phragmites*.

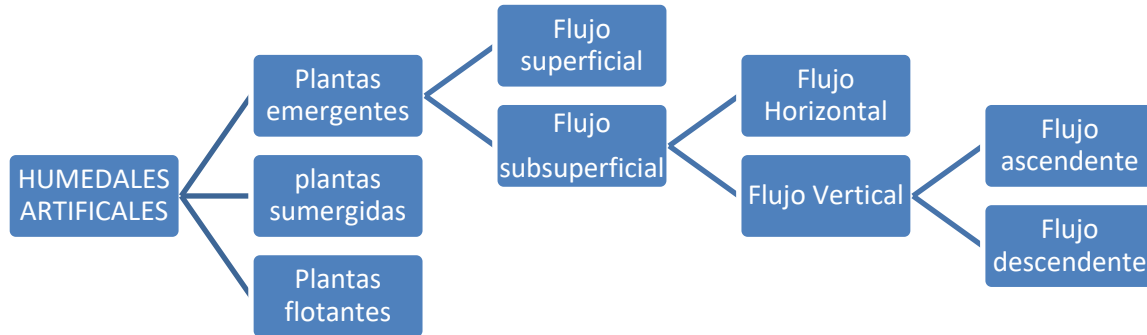
- Plantas flotantes

Especies como *Eichhornia crassipes*, *Hydrocotyle ranunculoides*, *Spirodela polyrhiza*, *Lemma minor* y *wolffia arrhiza* poseen la habilidad de utilizar el CO₂ almacenado en los espacios llenos de aire.

- Plantas sumergidas

Este tipo de plantas tienen menor posibilidad de ser productivas ya que al ser sumergidas la intensidad de la luz no representa la misma intensidad así que la difusión de CO₂ es menor, así pues, usan los carbonatos como fuente de CO₂ y otros procesos. Algunas de las especies *Myriophyllum aquatiucm*, *Elodea canadienses* y *Potamogeton crispus*.

Figura 2 Tipos de plantas empleadas según el sentido del flujo, en humedales artificiales.



Fuente: (Rajadel, 2017)

CONTROL DE VECTORES.

Estos sistemas representan en hábitat ideal para el establecimiento de mosquitos, por ende, se deben incluir medidas de control como peces, plantas con capacidades repelentes o agentes químicos.

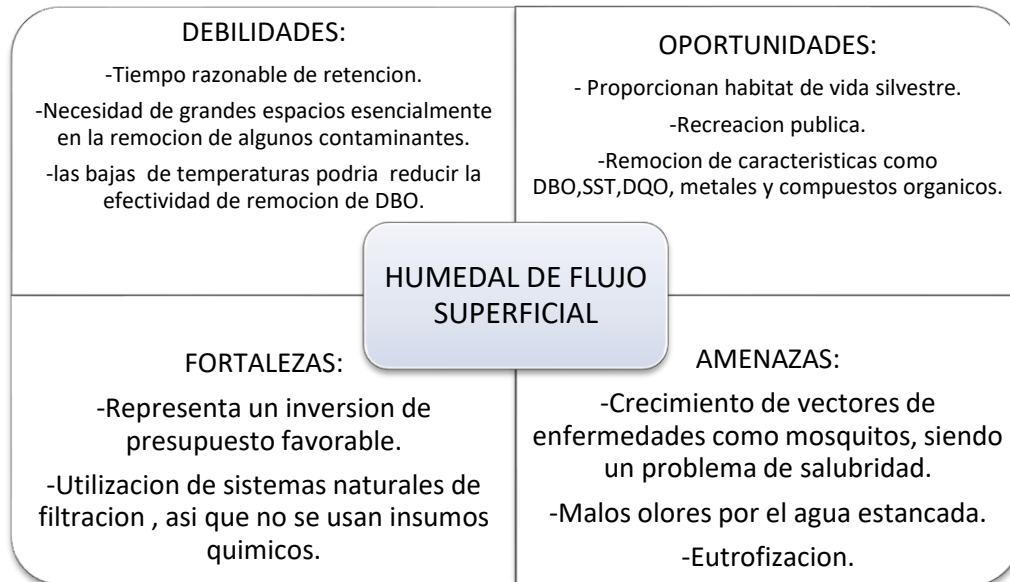
PROCESO DE REVISION

Alrededor de 60 documentos de carácter científico fueron sometidos a la lectura crítica de objetivos, resumen y datos importantes se organizaron de tal forma que se pudiese evidenciar, año de publicación, país de aplicación, título, entre otros. (Véase tabla. 3, anexos).

Potencialidades y desventajas de los humedales artificiales.

Humedales de flujo superficial.

Grafico 1 Debilidades, oportunidades, fortalezas y amenazas humedal flujo superficial.



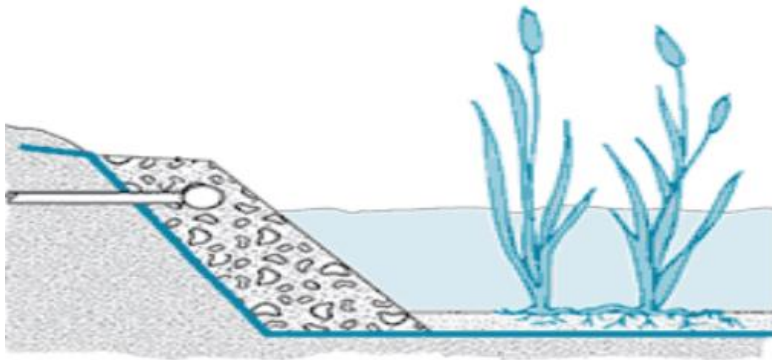
Las ventajas de los sistemas de humedales superficiales se ven directamente relacionadas con la diversidad biológica que se incorpora en el sistema, por consiguiente, se convierten en espacios destinados a la recreación pública.

Estos sistemas llegan a ser capaces de remover elevados porcentajes de DBO5, DQO, SST, metales y algunos compuestos orgánicos, con importantes tiempos de retención. Sin embargo, los

humedales artificiales de flujo superficial no resuelven al 100% de los problemas, en este contexto unas de las principales desventajas son:

1. El área de instalación puede ser grande y varía según el tipo de contaminante se quiera eliminar.
2. Generación de vectores y otros insectos.
3. En caso de repentinas bajas de temperaturas la disminución de DBO presenta bajas en porcentajes de eficiencia.

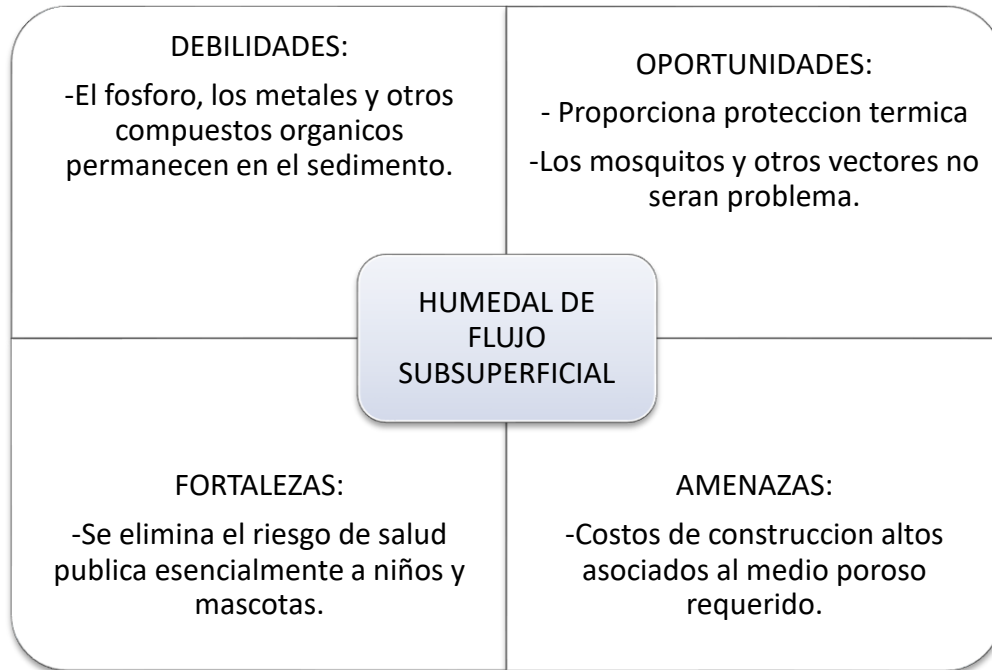
Figura 3 Humedal artificial de flujo superficial.



Fuente: (Samaniego, 2011)

Humedales de flujo subsuperficial.

Figura 4 Debilidades, oportunidades, fortalezas y amenazas humedales artificiales flujo subsuperficial



Este sistema a diferencia del anterior podría necesitar menor superficie teniendo en cuenta los mismos objetivos de tratamiento del agua y caudal eso seria una gran oportunidad de ahorra

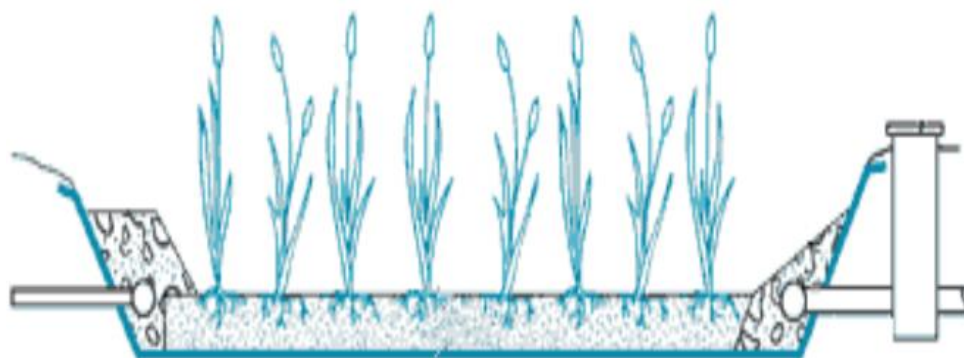
recursos, pero estas no son las únicas ventajas a continuación otras que también son importantes:

1. Los mosquitos y otros insectos no representan un problema mientras que el sistema sea operado de la forma más idónea.
2. Con tiempos de retención menores se logra de manera efectiva la remoción de DBO, DQO, SST, metales y algunos compuestos orgánicos de las aguas residuales domésticas (Vargas & Turca, 2016).

Entendiendo que estos sistemas no son convencionales, es decir que no se ha implementado en gran medida posee varias limitaciones o desventajas, una de ellas es el uso de gran cantidad de sustrato generando mayores costos de construcción, otra limitante importante de este sistema es que en la remoción de DBO, DQO y nitrógeno es un proceso continuo renovable y en este sistema funciona bien, pero el fosforo, los metales y algunos compuestos orgánicos tienden mantenerse ligados al sedimento y a razón de eso se acumulan en el tiempo (Acosta, 2005).

Este sistema no cuenta con un buen porcentaje de efectividad en la remoción de coliformes fecales lo cual acarrea el uso de desinfectantes externos como luz ultravioleta.

Figura 5 Humedales de flujo subsuperficial



fuelle: (Samaniego, 2011)

Humedales artificiales como alternativa para el conjunto Jose María Córdoba

CARACTERISTICAS ZONA DE ESTUDIO

El área de estudio hace parte del municipio de Ricaurte del departamento de Cundinamarca en la provincia del alto magdalena, en el centro de Colombia, a orillas del rio magdalena en la desembocadura del rio Bogotá y el rio Sumapaz.

Territorialmente el municipio de Ricaurte se encuentra ubicado en la cordillera oriental, consta de territorios planos, semi-ondulados, con accidentes orográficos de poca elevación, con una altitud de 284 msnm (Alcaldía de Ricaurte, 2020).

Tabla 3 Datos geográficos de Ricaurte, Cundinamarca.

DATOS GEOGRAFICOS	
Extensión total	130 kilómetros cuadrados
Extensión Área urbana	10 kilómetros cuadrados
Extensión Área rural	120 kilómetros cuadrados

Tabla 4. Temperatura promedio municipio de Ricaurte, Cundinamarca.

TEMPERATURA	GRADOS CENTIGRADOS °C
Máxima registrada	29.3 °C
Mínima promedio	27.3 °C
Promedio anual	29.3 °C

Tras la aplicación del método BMWP (Biological Monitoring Working Party) realizado por (Diaz & Rojas , 2016) se analizó la sensibilidad de los macroinvertebrados a algunas sustancias de la zona, determinando así la calidad del agua en puntos del humedal el yulo donde se tiene contacto con el agua residual del conjunto José María Córdoba, este arrojo un tipo de agua moderadamente contaminada o de calidad dudosa. Además, en la aplicación de los cálculos diversidad de Shannon Wiener se obtuvo un valor menor a 2, lo cual indico que las aguas se encuentran contaminadas.

Estos estudios se basaron esencialmente en resultado al estado de deterioro que presenta el humedal del yulo tanto en sus funciones como en los atributos del ecosistema, derivado de acciones como las descargas de vertimientos con un deficiente tratamiento (Diaz & Rojas , 2016).

Así pues, en la siguiente tabla se evidencia el número de habitantes que serían participes de la utilización de agua potable en esta ciudadela y por consiguiente principales actores en la contaminación de esta.

Tabla 5 Características según habitantes conjunto Jose María Córdoba

Ciudadela Jose María Córdoba	N° de viviendas.	N° de personas por vivienda *	N° de habitantes población constante	N° de habitantes población flotante
	300 construidas, más de 87 lotes.	5	1200	2280

*Dato promedio de habitantes por vivienda según censo del DANE, además se tienen en cuenta entrevistas al cuerpo administrativo y líderes de la JAC.

En la ciudadela Jose María Córdoba, el 70% de las viviendas, son habitadas en la temporada alta vacacional y el 30% son habitadas permanentemente por personas que trabajan en los alrededores (CAR, 2006).

Tabla 6 Estado legal de los servicios de acueducto y alcantarillado del conjunto JMC como área de influencia del humedal el yulo.

Condominio	Acueducto	Alcantarillado
Ciudadela Jose María Córdoba	Oficial	Cuenta con planta de tratamiento de agua residual.

Fuente: PMA humedal el yulo (CAR, 2006)

En la tabla 6 se observa el estado de los servicios de agua y alcantarillado en el conjunto Jose María Córdoba teniendo en cuenta que hace parte del área de influencia directa se establece en la microcuenca, y los sectores para la interconexión con el río Bogotá, veredas cercanas y ciudadelas residenciales.

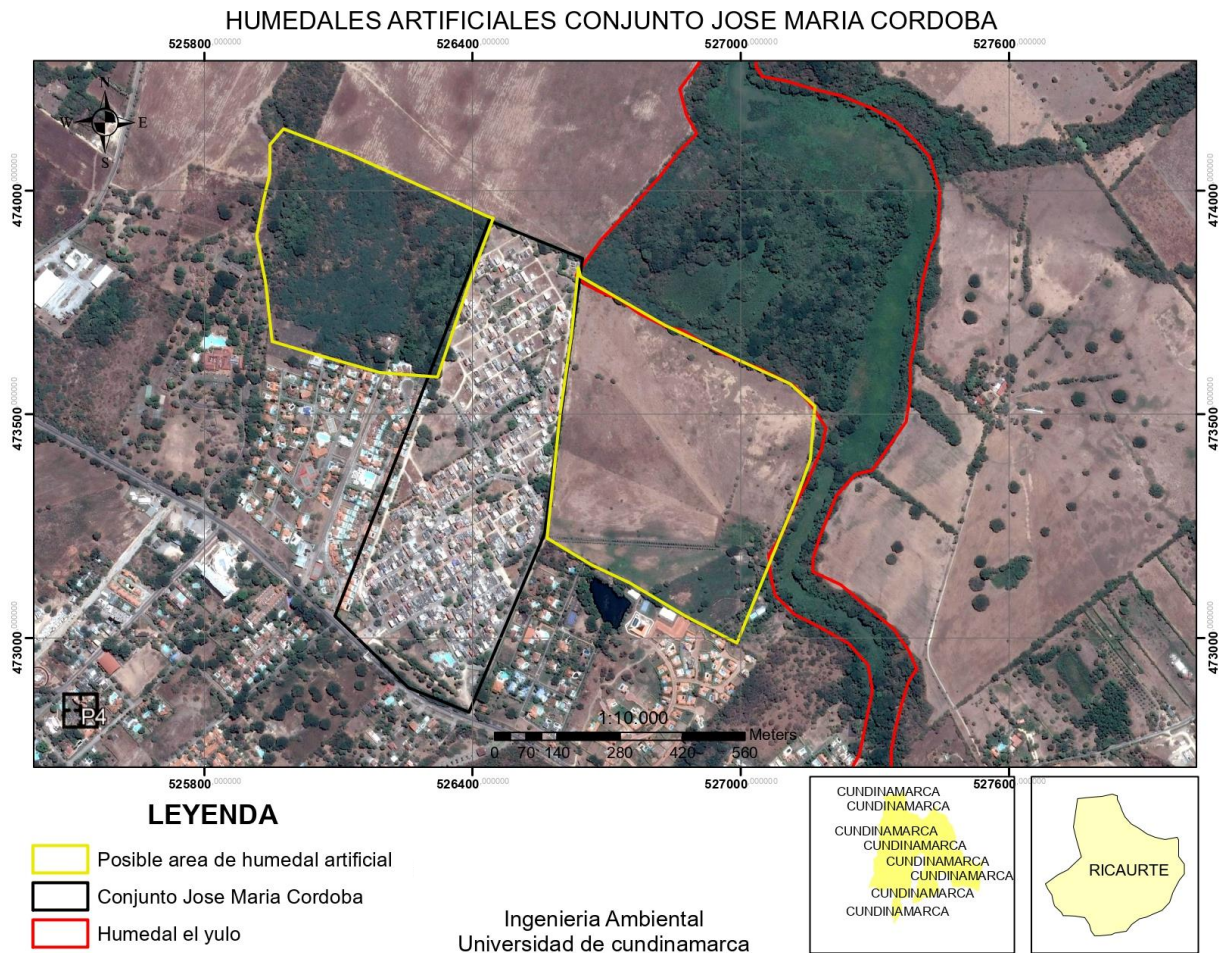
Esta unidad residencial cuenta con una planta de tratamiento de agua residual tradicional pero la información de los procesos de tratamiento y mantenimiento no se encuentran disponibles para el público, sin embargo, se tiene certeza que la planta no funciona debidamente las 24/7 (Díaz & Rojas , 2016), y por tanto el agua contaminada es filtrada con un tratamiento deficiente al área del humedal del yulo provocando el detrimento de este espacio natural de vital importancia (Díaz, et al., 2017).

Dando solución a la problemática anteriormente mencionada se propone la implementación de humedales artificiales, teniendo en cuenta las siguientes características:

Evaluación y selección de la zona.

Las características que son importantes para la localización del sistema y posterior diseño preliminar de sistemas de humedales artificiales encierran aspectos propios del área como la topografía, el suelo, el uso de los terrenos, el riesgo de inundación y el clima.

Figura 6 Mapa parte de la zona urbana donde se evidencia el conjunto Jose María Córdoba, cercanía con el humedal del yulo y el lugar donde se podría implementar los humedales artificiales.



Fuente: Autora

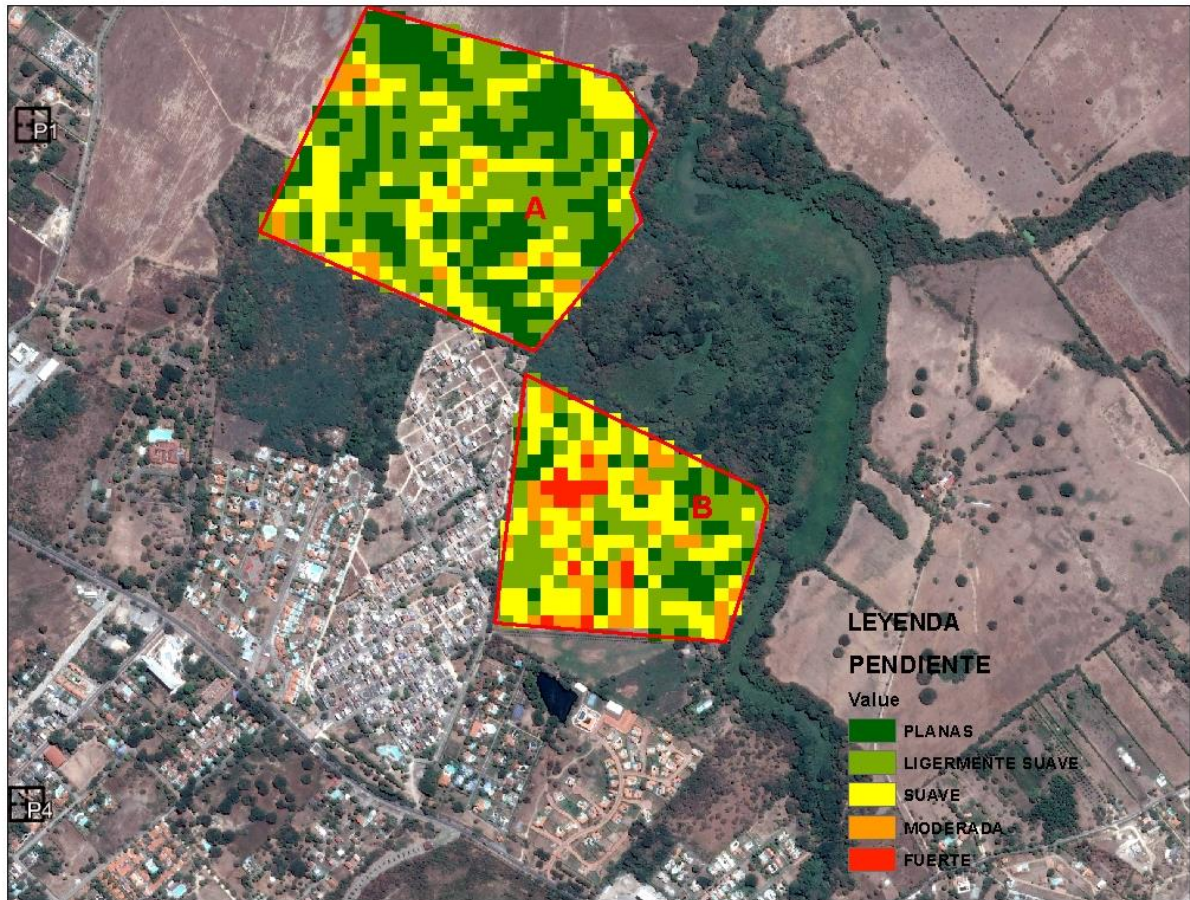
En la imagen satelital se puede observar en la parte inferior derecha, delineado de amarillo un predio de casi 43 hectáreas y en la parte superior izquierda uno de 23 hectáreas en donde sería el espacio idóneo para la instalación del sistema de humedales artificiales, sin embargo, estos predios podrían ser de uso privado lo cual entorpecería la instalación y generaría costos elevados.

Topografía.

El área en donde se podría implementar los humedales artificiales con el fin de tratar el agua residual domestica del conjunto Jose María Córdoba o en su defecto mejora conjunta con el

sistema de tratamiento existente predomina una topografía uniforme horizontal o pendientes donde prevalecen pendientes planas a suaves. Cabe resaltar que existe un margen de error al utilizar estas imágenes satelitales.

Figura 7 Representación pendientes, zona de estudio.



Representación de los tipos de pendientes en los terrenos que son potenciales para la instalación de un sistema de humedales artificiales. Fuente: Autora.

Suelo

El humedal debe considerar elementos como plástico o sus derivados que permitan impermeabilizar el sistema de modo que el agua residual no se infiltre al terreno

Riesgo de inundación

Los humedales pueden situarse a una distancia considerable de las comunidades ya que el espacio que se podría usar es relativamente grande con la capacidad de elaborar el sistema.

Uso actual del terreno

En esta área predominan espacios abiertos y de poco uso lo cual garantiza la posible instalación.

Clima

Es posible la instalación de estos sistemas en climas de Ricaurte, donde predominan climas cálidos, por tanto, se requiere la conexión a una fuente de agua de reserva para prevenir el detrimento del humedal.

Control de vectores

Estos sistemas representan en hábitat ideal para el establecimiento de mosquitos, por ende, se deben incluir medidas de control como plantas con capacidades repelentes como la citronela que solo florece en climas tropicales, estas plantas se utilizan en menor proporción (Soto, et al., 2002).

Elección de especies vegetales

Teniendo en cuenta la zona de convergencia con el humedal del yulo y la presencia allí del papiro de agua, esta es una especie acuática que generalmente es usada para la elaboración de papel, tejidos entre otros productos (Forero & Guayacundo, 2011).

Pero es una planta que soporta una exposición al pleno sol, lo cual sería una característica favorecedora para el sistema, teniendo en cuenta el nivel de exposición solar en la zona de estudio; es indispensable mantener el nivel permanente de agua, y así mismo proporcionar el sustrato ideal para que pueda germinar en el mes que requieren para la aparición de los primeros brotes, favorecería en buena forma el correcto funcionamiento del sistema (Andrade & Rosero, 2018).

Se sabe bien que la enea, espadaña o *Typha latifolia* podría ser una buena alternativa ya que esta planta hace parte de la familia de las herbáceas y crece en áreas tropicales en todos los continentes, especialmente en pantanos (Fernandez M. , 2014).

La *phragmites australis* común en zonas templadas, y se desarrolla de forma robusta, gracias a su sistema de raíces rizomáticas (Portillo, 2016).

Conclusión

La importancia de la preservación y conservación de los ecosistemas que tenemos alrededor con lleva a la generación de alternativas que permitan la preservación de la vida y los recursos que nos generan la satisfacción de las necesidades básicas.

Teniendo como ejemplo el conjunto Jose María Córdoba del que hemos hablado a lo largo de este trabajo, evidenciamos que los entes gubernamentales no se encuentran lo suficientemente vinculados con estos espacios, lo que genera que la legislativa ambiental

que busca proteger los ecosistemas no sea acatada a cabalidad y por ende no haya repercusiones que favorezcan los espacios naturales.

Así mismo, esta unidad residencial no expone información que le permita a la comunidad conocer de los procesos que se llevan a cabo en su PTAR, en consecuencia, este trabajo pone en la mesa características de la zona que favorecerían la implementación de un sistema de humedal artificial de tipo subsuperficial ya que no requiere de uso desmedido de espacio, genera buena relación costo beneficio, no emplea mucho tiempo de puesta en marcha y además ofrece un porcentaje elevado de eficiencia en remoción de contaminantes.

Por último, con la elaboración y puesta en marcha de este sistema de depuración se garantiza el mantenimiento del humedal natural el yulo, que es hábitat de gran diversidad biológica, fuente de agua natural y por ende un potencial regulador del clima.

Anexos

Glosario

AGUA POTBALE: Agua que después de un tratamiento aplicado cumple con las características físicas químicas y biológicas, puede ser consumida por la población sin deteriorar la salud humana.

AGUA RESIDUAL: Aguas provenientes de las diferentes actividades humanas que se han mezclado con sustancias diferentes a las naturales del agua.

AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS: Producto de la utilización del líquido en las diferentes actividades del hogar.

CAMPOS DE INFILTRACION: Serie de trincheras con tuberías que conducen el agua residual parcialmente tratada.

CUERPOS DE AGUA: Extensión de agua superficial ya sean de agua dulce o salada.

DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO: Medida del nivel de los desechos orgánicos del agua que requieren de oxígeno para la descomposición por la materia orgánica presente en el agua.

DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO: Cantidad de oxígeno necesaria para oxidar toda la materia orgánica y oxidable que se encuentra en un agua residual.

DEPURACION: Eliminación de la suciedad, impurezas o sustancias nocivas de una cosa.

DESPLAZAMIENTO: Movimiento de un lugar a otro.

DIRECCION DEL FLUJO: La dirección del descenso más empinado o caída máxima.

DOFA: Significa debilidades, oportunidades, fortalezas y amenazas que algo puede representar.

EFICIENCIA: Capacidad para realizar o cumplir una función adecuadamente.

FILTRACION: Pérdida de agua de un humedal artificial al suelo a través de la infiltración por debajo del sistema.

HUMEDAL FLUJO SUPERFICIAL: Humedales con agua expuesta a la atmósfera directamente

HUMEDAL: Zona de tierra plana que es susceptible a constantes inundaciones que proporciona buena diversidad animal en los alrededores de este.

HUMEDALES ARTIFICIALES: Zonas construidas por el hombre en donde se eliminan contaminantes presentes en aguas residuales de una forma controlada.

HUMEDALES DE FLUJO SUBSUPERFICIAL: Humedales en donde la circulación del agua se da en un medio granular o poroso.

OPTIMIZACION: Proceso de mejorar algo que no está bien.

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL: Espacio donde se le aplican una serie de procesos físicos, químicos y biológicos.

RECEPTORES: Algo que recibe.

RIESGO DE INUNDACION: Situación de algunos espacios rodeados por excesos de agua, lo que genera vulnerabilidad a ser inundados.

Tabla 7. Clasificación artículos académicos utilizados en el desarrollo de la investigación

TITULO	PALABRAS CLAVES	AÑO/LUGAR	TIPO DE HUMEDAL	METODOLOGIA
REDISEÑO HUMEDAL ARTIFICIAL PARA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES Y REÚSO: MODELO DIDÁCTICO LABORATORIO DE RECURSOS HÍDRICOS UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA	Rediseño, prototipo,	Colombia/2018	Humedales de flujo subsuperficial	Evaluación de características del humedal construido en la universidad católica
HUMEDALES ARTIFICIALES	Modelos, estrategias, tipos	Colombia/2005	Diferentes tipos de humedales artificiales	Revisión de características de los diferentes tipos de humedales artificiales
HUMEDALES ARTIFICIALES PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	Reducción, sólidos suspendidos, nitrificación, absorción, demanda biológica de oxígeno	Colombia	Diferentes tipos de humedales artificiales	Generalidades del diseño de los humedales artificiales
CAPITULO 5 FITODEPURACION EN HUMEDALES. CONCEPTO GENERALES	Fito depuración, tipos de plantas, ecosistemas, metales	Contexto internacional	Diferentes tipos de humedales artificiales	Adecuación tipos de plantas, algas y vegetaciones diferentes tipos de humedales
SISTEMAS DE HUMEDALES PARA EL MANEJO, TRATAMIENTO Y MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGUA	Humedales, tratamiento del agua, calidad del agua, congresos	México/2014	Humedales subsuperficiales de flujo horizontal, humedales subsuperficiales de flujo vertical,	Estudio de sistemas construidos policultivos, comparación diferentes sistemas de tratamiento utilización de policultivos

			potencial oxido reducción	
FILTROS VERDES.HUMEDALES. MACROFITAS.MODULO GESTION DE AGUAS RESIDUALES Y REUTILIZACION	No convencionales, filtros verdes, macrofitas	2016	Filtros verdes	Identificación ventajas y desventajas de los filtros verdes
HUMEDALES ARTIFICIALES PARA DEPURACION. CAPITULO 6	Filtros, flotación, construcción, sistema	-----	humedales de flujo subsuperficial y superficial	Tipos de humedales y evaluación de eficiencia además de porcentajes de nutrientes removidos.
EVALUACIÓN DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS PROPORCIONADOS POR LOS HUMEDALES ARTIFICIALES. APLICACIÓN AL HUMEDAL ARTIFICIAL DE CARRÍCOLA (VALENCIA).	Servicios ecosistémicos, humedales naturales, humedales artificiales	2015/ España	humedales construidos en concreto	propuestas de mejora para la calidad del agua teniendo en cuenta los servicios ecosistémicos
EVALUACION DE UN HUMEDAL ARTIFICIAL COMO TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL EN UN ASENTAMIENTO IRREGULAR	Humedal familiar, humedal regional,	2010/México	Humedales artificiales flujo subsuperficial y flujo superficial (familiar y regional)	utilización de dos tipos de humedales artificiales de acuerdo con el caudal y cantidad de personas que generan agua residual
EVALUACION DE MEDIOS DE SOPORTE EN HUMEDALES ARTIFICIALES CON VEGETACION SAGITTARIA LATIFOLIA EN LA REMOCION DE CONTAMINANTES BASICOS	Fito depuración, tecnologías, ecosistemas,	2019/México	Humedales de flujo subsuperficial	Humedales artificiales con vegetación Sagittaria latifolia con diferentes tipos de retención
HUMEDALES ARTIFICIALES EN MERCADO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, ANÁLISIS DE UNA POTENCIAL TRANSICIÓN HACIA UNA ECONOMÍA CON ENFOQUE CIRCULAR	costos de inversión, competitividad, beneficios	2017/Chile	humedales construidos y otros sistemas de tratamiento	Análisis cuantitativo y cualitativo de los sistemas de tratamiento
SELECCIÓN DE PLANTAS ACUATICAS PARA ESTABLECER HUMEDALES EN EL ESTADO DE DURANGO	Remoción, sistemas híbridos, plantas	2009/México	Humedales de flujo subsuperficial, superficial e híbridos	Selección de las plantas que son adecuadas en el tratamiento de cada tipo de agua además de tener en cuenta todos los porcentajes de remoción de nutrientes en cada una de ellas

TRATAMIENTO SECUNDARIO DE AGUAS RESIDUALES EN UN HUMEDAL ARTIFICIAL CON DOS DENSIDADES DE SIEMBRA DE Schoenoplectus tatora EN EL DISTRITO DE CABANACONDE-AREQUIPA	Propagación, sistemas de tratamiento	2013/Perú	Tratamiento secundario representado como humedal artificial	Humedales artificiales bajo densidades de siembra de especies de plantas específicas
DEPURACION DE AGUAS RESIDUALES POR MEDIO DE HUMEDALES ARTIFICIALES	parámetros, humedales artificiales, diseño	2010/Bolivia	Tipos diferentes de humedales	Clasificación y análisis de los humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales
HUMEDALES ARTIFICIALES COMO UN METODO VIABLE PARA EL TRATAMIENTO DE DRENES AGRICOLAS	Concentraciones de contaminantes, drenes agrícolas, tecnología	2011/México	Humedales artificiales	Análisis por zonas del grado de contaminación y sus respectivos efectos y posteriormente la decisión de implementar humedales artificiales para su tratamiento
ESTUDIO DE COMPARACION DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS UTILIZANDO LENTEJAS Y BUCHON DE AGUA EN HUMEDALES ARTIFICIALES	Humedales, DBO, agua residual, Eichhornia, lemma	2008/Colombia	Lentejas y buchón de agua humedales artificiales	Comparación de los dos tipos de macrofitas
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES PROVENIENTES DEL AREA URBANA DE MARIN, NUEVO LEON, POR MEDIO DE UN HUMEDAL ARTIFICIAL SUPERFICIAL	Adecuación, modelos, humedal superficial	2018/México	Humedales artificiales	Clasificación y análisis de los humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales
HUMEDALES ARTIFICIALES DE FLUJO VERTICAL PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO BOGOTÁ.	Rio Bogotá, humedal artificial, flujo vertical	2005/Colombia	Humedal de flujo vertical	En el laboratorio se crea el humedal artificial de flujo vertical para la mejora de la calidad del agua del río Bogotá
HUMEDALES DE TRATAMIENTO: ALTERNATIVA DE SANEAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES APLICABLE EN AMERICA LATINA	Clasificación de vegetación, plantas, medio filtrante	2018/Colombia	Humedales de tratamiento	Recopilación en libro de los aspectos generales que se deben tener en cuenta en todos los humedales artificiales
DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MEDIANTE HUMEDALES ARTIFICIALES EN LA PARROQUIA LA IBERIA, CANTÓN EL GUABO.	Cálculos, dimensiones, planta de tratamiento, aguas residuales, humedales artificiales	2018/España	Humedales artificiales	Bases teóricas de los diferentes tipos de humedales artificiales

HUMEDALES ARTIFICIALES: UNA ALTERNATIVA PARA TRATAMIENTO DE AGUAS DE PRODUCCIÓN	Costos, área superficial, parámetros, humedales, aguas de producción	2018/Colombia	Humedales artificiales	Determinación parámetros esenciales en construcción de humedales con el fin de tratar agua de producción
EVALUACION DE HUMEDALES ARTIFICIALES PARA EL TRATAMIENTO DE AGUASS RESIDUALES DEL SECTOR INDUSTRIAL AVICOLA	Agua residual, granja avícola, efluentes, evaluación de factibilidad	2010/Colombia	Humedales artificiales	Caracterización variables ambientales del entorno local de la industria teniendo en cuenta los parámetros básicos de calidad del agua
MONOGRAFÍA SOBRE HUMEDALES ARTIFICIALES DE FLUJO SUBSUPERFICIAL (HAFSS) PARA REMOCIÓN DE METALES PESADOS EN AGUAS RESIDUALES	Flujo subsuperficial, agua residual, metal pesado	2010/Colombia	Humedal artificial de Flujo subsuperficial	utilización de referentes teóricos para la clasificación y determinación de potencialidades de los sistemas
EVALUACION PARA LA CONSTRUCCION DE SISTEMAS SEPTICOS CASO: CAMPO CASABE	RAS 2000, sistemas sépticos, construcción ambiental, eficiencia	2011/Colombia	Pozos sépticos	Análisis de una herramienta para el diagnóstico del estado actual de los sistemas de tratamiento
DEPURACION CON HUMEDALES CONSTRUIDOS. GUIA PRACTICA DE DISEÑO, CONSTRUCCION Y EXPLOTACION DE SISTEMAS DE HUMEDALES DE FLUJO SUBSUPERFICIAL	Sistemas naturales, depuración, humedales contruidos	2008/España	Humedales artificiales de flujo subsuperficial	Guía practica para el diseño, construcción y explotación de estos sistemas
RETENCIÓN DE ARSÉNICO EN HUMEDALES CONSTRUIDOS CON <i>Eleocharis macrostachya</i> Y <i>Schoenoplectus americanus</i>	Agua, tratamiento, rizo filtración, macrofitas, balance de masa	2014/México	Humedales artificiales con dos tipos específicos de macrofitas	Construcción en simultanea de tres prototipos de humedales contruidos en acrílico
INTREGRACION DE LA BIODIVERSIDAD EN LA REDUCCION DE LA CONTAMINACION EN AGUA	Fito tecnologías, plantas vegetales emergentes, adsorción, sedimentación, metabolismo bacteriano	2018/Colombia	Humedales artificiales de flujo subsuperficial	Evaluación de la eficiencia de dos tipos específicos de macrofitas y evaluación de la eficiencia
EL PAPEL DE LA VEGETACION EN HUMEDALES CONSTRUIDOS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	Typha, humedal construido, descomposición, constante de descomposicion, cosechado	2014/México	Diferentes tipos de humedales	Evaluación de la vegetación de los humedales artificiales expuestos a la variabilidad climática

ESTUDIO COMPARATIVO DE LA REMOCION DE MATERIA PRGANICA EN HUMEDALES CONSTRUIDOS DE FLUJO HORIZONTAL SUBSUPERFICIALUSANDO TRES ESPECIES DE MACROFITAS	DBO, DQO, agua residual, humedal construido, macrofitas, materia orgánica	2011/ Colombia	Diferentes tipos de humedales	Comparación de la eficiencia en la remoción de materia orgánica en base a las macrofitas usadas
EVALUACION POTENCIAL DE HUMEDALES ARTIFICIALES PILOTO, IMPLEMENTACION CON LA ESPECIE <i>Heliconia psittacorum</i> EN LA REMEDIACION DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS DE BAJO CAUDAL PARA ZONAS RURALES DEL PIEDEMONTE LLANERO	Humedales artificiales, tratamiento de agua residual, retención hidráulica, carga orgánica, piedemonte llanero	2019/Colombia	Humedales de flujo subsuperficial horizontal	Creación de prototipos con diferentes tipos de retención y monitoreo de otras variables con el fin de recomendar el que se acomode a las características apartadas del piedemonte llanero
EVALUACIÓN DE UN HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL EN EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS EN LA INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA COLEGIO MAYOR DE ANTIOQUIA, COLOMBIA	Agua residual, parámetros fisicoquímicos, parámetros microbiológicos, <i>Typha latifolia</i> , <i>Cyperus papyrus</i>	2014/Colombia	Humedal artificial de flujo subsuperficial	utilización de dos humedales independientes con dos tipos de macrofitas diferentes de modo de poder analizar parámetros tanto microbiológicos como fisicoquímicos
PLANTA PILOTO PARA TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES DE ACESCO POR MEDIO DE HUMEDALES CONSTRUIDOS-LAMINAS FILTRANTES	Tratamiento físico químico, tratamiento biológico, aceso	2009/Colombia	Humedal artificial con especie específica de macrofita	Elaboración de dos plantas pilotos para el tratamiento de aguas con características de aguas de producción de la empresa aceso
SUELO DE PROTECCION EN EL ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE RICAURTE, CUNDINAMARCA HUMEDAL EL YULO	Preservación, humedal el yulo, suelo de protección, POT	2017/Colombia	Delimitación humedal el yulo	Estudio de los atributos del humedal tales como flora, fauna entre otros
INFLUENCIA DEL PH EN LA EFICIENCIA DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN HUMEDALES DE FLUJO VERTICAL	PH, variabilidad estacional, carga orgánica, aguas sintéticas	2018/España	Humedal artificial subsuperficial de flujo vertical a escala de laboratorio	Estudios del efecto de la caída del pH en el agua residual fabricada en laboratorio que permite evaluar la eficiencia de estos sistemas de depuración

COMUNIDADES BACTERIANAS INVOLUCRADAS EN EL CICLO DEL NITROGENO EN HUMEDALES CONSTRUIDOS	Humedales contruidos, nitrificación, fijación de nitrógeno	2011/Colombia	Humedales contruidos en concreto	Tres humedales sometidos a distintas cargas hidráulicas y diferentes especies vegetales con el fin de evidenciar la efectividad metabólica en los sistemas
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES POR UN SISTEMA PILOTO DE HUMEDALES ARTIFICIALES: EVALUACION DE LA REMOCION DE LA CARGA ORGANICA	Aguas residuales, humedal artificial, contaminantes	2009/México	Humedales artificiales de flujo horizontal con dos especies vegetales	Instalación a la salida de un tratamiento primario con el fin de evaluar la eficiencia de remoción de algunos parámetros
ESTADO DEL ARTE: UNA REVISION ACTUAL A LOS MECANISMOS QUE REALIZAN LOS HUMEDALES ARTIFICIALES PARA LA REMOCION DE NITROGENO Y FOSFORO	Tratamiento de aguas residuales, humedales contruidos, remoción, nitrógeno fosforo	2019/México	Humedales artificiales	Evaluación de los diferentes tipos de humedales artificiales a partir de estudios comparativos
HUMEDALES CONSTRUIDOS CON PLANTAS ORNAMENTALES PARA EL TRATAMIENTO DE MATERIA ORGÁNICA Y NUTRIENTES CONTENIDOS EN AGUAS SERVIDAS	Aguas servidas, humedales contruidos, materia orgánica, nutrientes, plantas ornamentales	2013/Chile	Humedales artificiales	Revisión bibliográfica que muestra la factibilidad de usar humedales contruidos de flujo subsuperficial con plantas ornamentales

*Artículos más representativos utilizados como base de esta investigación

Tabla 8 Eficiencia de remoción microbiológica de algunas macrofitas que pueden ser de utilidad en la instalación del humedal

Macrofitas	DBO5		DQO		Coliformes		<i>Escherichia coli</i>		Reporta
	(mg/L)		(mg/L)		Totales				
	In	Fi	In	Fi	In	Fi	In	Fi	
Phragmites Australis	176,6	41	385,6	102	4,41x10 ¹⁴ NMP/100 ml	1,13x10 ¹⁴ NMP/100 ml	1,12x10 ¹⁴ NMP/100 ml	2,44x10 ¹¹ NMP/100 ml	(Russo, & Marzo, &

									RandazzoC, 2019)
Typha Latifolia	26	5	46	9	2,5x10 ⁵ UFC/100 ml	1,9x10 ⁴ UFC/100 ml	1x10 ⁵ UFC/100 ml	5,0x10 ³ UFC/100 ml	(Russo, Marzo, & RandazzoC, 2019)
Typha Dominguensis	272,26	48,77	133,75	23,88	3,01x10 ⁵ NMP/100 ml	3,54x10 ⁴ NMP/100 ml	-	-	(Vallejos, Caballero, & Champagne, 2015)

*In: Concentración Inicial; Fi: Concentración Final. Fuente: (Galeano & Albornoz, 2019)

Tabla 9 Eficiencia porcentaje remoción microbiológica.

Macrófitas	Eficiencia $(In - Fi)/(In) * 100$
Phragmites Australis	76% = 73.54% = 74.37% = 99.78% DBO = DQO = Coliformes totales =Escherichia coli
Typha Latifolia	80.76% = 80.43% = 92.4% = 95% DBO =DQO= Coliformes totales =Escherichia coli
Typha Dominguensis	82.08% = 82.14% = 88.23% DBO = DQO= Coliformes totales =Escherichia coli

Referencias Bibliográficas

1. Acosta, L. (2005). La digestion anaerobia.Aspectos teoricos.Parte 1. *ICIDCA. Sobre los derivados de la caña de azucar,XXXIX*, 35-48.
2. Alarcon, A., & Kolb, P. y. (1997). Recuperacion medioambiental del tramo final del rio besós. *Bio, 10*, 7-11.
3. Alcaldia de Ricaurte. (2020). *Ricaurte con equidad,seguridad y compromiso social*. Obtenido de Alcaldia ricaurte cundinamarca.: <http://www.ricaurte-cundinamarca.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Informacion-del-Municipio.aspx>
4. Andrade, V., & Rosero, J. (2018). EVALUACIÓN DE LA REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA EN HUMEDALES ARTIFICIALES DE FLUJO SUBSUPERFICIAL A ESCALA PILOTO COMO TRATAMIENTO DE PULIMENTO EN LAS AGUAS RESIDUALES DE FRIGOVITO S.A. *Repositorio universidad tecnologica de pereira*.
5. Aragon, M., & Alarcon , M. (2014). RETENCIÓN DE ARSÉNICO EN HUMEDALES CONSTRUIDOS CON *Eleocharis macrostachya* Y *Schoenoplectus americanus*. *Int.contam. ambie*, 143-148.
6. Arteaga, V., Quevedo, A., Valle, D., Castro, M., Bravo, A., & Ramirez, J. (2019). Estado del arte: una revision actual a los mecanismos que realizan los humedales artificiales para la remocion de nitrogeno y fosforo,. *Tecnologia y ciencias del agua*, 319-343.
7. Betancourt, F., Gomez, G., Giraldo, J., & Hernandez, M. (2010). Fitorremediación con humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales porcinas. *revistas SENA, 74*.
8. Borrero, L., & Jaime, A. (1999). Depuracion de aguas residuales municipales con humedales artificiales. *Trabajo final*.
9. Brix, H. (1993). *Capitulo 2: wasterwater treatment in constructed wetlands: system design, removal process and treatment performance*. EE.UU: CRC press inc.
10. Brix, H. (1994). Use of constructed wetlands in water-pollution control-historical development,present status, and future perspectives. *water science and technology*, 209-223.
11. CAR. (2006). Revision y ajuste de los planes de manejo ambiental de los humedales de neuta,tierra blanca, laguna de la herrera y humedal El yulo.
12. Castillo, P. A. (1996). Eliminacion de nitrogeno en sistemas naturales de depuracion de aguas residuales: analisis comparativo. *Retema, 52*, 49-55.
13. Cooper, P. e. (1996). reed beds and constracted wetlands for wastewater treatment, W. *WRc,swindon*.
14. Cuervo, D. (2012). Pereira desarrollan humedales artificiales a bajo costo para tratamiento de aguas residuales. *grupo investigacion de pereira ADF/DICYT*.

15. Delgadillo, O. (2010). Depuración de agua residuales por medios de humedales artificiales. 7-8.
16. Diaz, L., & Rojas, N. (2016). Caracterización biológica y social de los habitantes de la vereda limoncitos y ciudadela José María Córdoba y su influencia en el humedal El Yulo (Ricaurte, Cundinamarca). *Repositorio Ucundinamarca*.
17. Diaz, P., Gómez, L., & Nieto, N. (2017). Suelo de protección en el ordenamiento territorial de Ricaurte, Cundinamarca Humedal El Yulo. *Repositorio Uni piloto*.
18. Escorihuela, A. &. (2007). *microalgas presentes en una laguna para pulimento de fluentes de una planta de tratamiento de aguas residuales urbanas*. *zulia: revista de la facultad de agronomía de la universidad del zulia*.
19. Fernandez, J. (2002). Humedales artificiales para depuración. *Manual de fitodepuración. Filtros de macrofitas en flotación*, 80-81.
20. Fernandez, J. (2004). " virus en sistemas acuáticos e implicaciones en la salud pública" en hidrología. 166-178.
21. Fernandez, M. (2014). Capítulo 7. Macrofitas de interés en fitodepuración. En *Manual de fitodepuración. filtros de macrofitas en flotación* (págs. 91-105).
22. Forero, D., & Guayacundo, A. (2011). Dimensionamiento de un humedal construido piloto, caso de estudio campus Cajicá.
23. Galeano, K., & Albornoz, D. (2019). Eficiencia de los humedales artificiales de flujo subsuperficial (HAFS) en la remoción de contaminantes microbiológicos de aguas residuales domésticas: una revisión. *Repositorio universidad del bosque*.
24. Higuera, S. (2016). Casanare, Colombia Biofilter with rice husk and vetiver grass (*Chrysopogon Zizanioides*) for the. *the WWTP of INPEC - Yopal, Biofiltro con cascarilla de arroz y pasto vetiver*, 107-119.
25. Jaramillo, G., & Lorenza, M. (1997). Seguimiento y evaluación del prototipo de planta de tratamiento de aguas residuales domésticas. *Fundación Manuel Mejía*.
26. Jiménez, B. (1999). Construcción arranque de una planta de tratamiento de aguas residuales tipo humedal artificial de flujo horizontal. *Tesis de ingeniería química, facultad de química*.
27. Junta de Andalucía. (1997). *Planta experimental de depuración de aguas residuales*. Sevilla: Evolución y experiencias. consejería de obras públicas y transportes.
28. Kadlec, R. H. (1993). Hydrological design of free water surface treatment wetlands. *levis publishers, chelsea*, 77-86.
29. Lara, B. (1999). Depuración de aguas residuales urbanas mediante humedales artificiales. *Tesis de maestría, Universidad Politécnica de Cataluña- Instituto Catalán de Tecnología, Barcelona*.
30. Luna, v. y. (2004). Medios de soporte alternativos para la remoción de fósforo de humedales artificiales. *revista universidad autónoma de México*, 31-38.
31. Malaver, A. (2013). Evaluación de un Humedal artificial de flujo superficial empleando. *repositorio unilibre*.

32. Martelo, J., & Lara, J. (2012). Macrofitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales: Una revision del estado del arte. (1794-9165).
33. Metcalf & Eddy. (1996). Tratamiento, vertido y reutilizacion. 2.
34. Miao, L. L. (November 8-12). A specification based approach to testing polymorphic attributes. *Formal Methods and Software Engineering: Proceedings of the 6th International Conference on Formal Engineering Methods, ICFEM 2004*. Seattle, WA, USA,.
35. Morales, M., & Castellanos, L. (2018). REDISEÑO HUMEDAL ARTIFICIAL PARA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES Y REÚSO: MODELO DIDACTICO LABORATORIO DE RECURSOS HIDRICOS UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA. *Repositorio universidad catolica*.
36. Peña, C., & Guzman, A. (2012). Tratamiento de aguas de escorrentia mediante humedales artificiales: estadod el arte. *A run off treatment by made wetlands*, 39-61.
37. Pigem, J., Marzo, R., & de la peña, J. y. (1999). Infiltracion/percolacion y humedales como tratamientos blandos en la depuracion de aguas residuales. *Tecnologia del agua* , 48-53.
38. Portillo, G. (2016). *JardineriaOn*. Obtenido de El carrizo(Phragmites australis): <https://www.jardineriaon.com/phragmites-australis.html>
39. Rajadel, N. (2017). Estudio de los humedales artificiales de flujo superficial del Tancat de la pipa como instrumentos para la restauracion ambiental de lago de L´Alburega de València.
40. Rodriguez, C. (2003). *Humedales construidos. Estado del arte*. Mexico: Ingenieria hidraulica y ambiental.
41. Romero-Aguilar, M. e. (2009). tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: Evaluacion de la remocion de la carga organica. *revista internacional de contaminacion ambiental*, 438-447.
42. Russo, N., Marzo, A., & RandazzoC. (2019). Constructed wetlands combined with disinfection systems for removal of urban wastewater contaminants. *Science of the total environment*, 1-9.
43. Samaniego, L. (2011). Remocion de contaminantes especificos en ecosistemas construidos. (N. Escobedo, Ed.) *Tesis doctorado*.
44. Silva, A., & Zamora, H. (2005). Humedales artificiales. *Repositorio universidad nacional de colombia* .
45. Sole, A. C. (2006). *Instrumentación Industrial*. Mexico: Alfaomega.
46. Soto, R., Vega, G., & Tamajón, N. (2002). Instructivo técnico del cultivo de *Cymbopogon citratus* (D.C) Stapf (caña santa). *Rev Cubana de plantas medicinales*. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1028-47962002000200007&lng=es&tlng=es.
47. TITRCWT. (2003). Technical and regulatory guidance document for constructed treatment wetland. *The interstate technology and regulatory council wetland team*.

48. Vallejos, G., Caballero, C., & Champagne, P. (2015). Pathogen removal from domestic and swine wastewater by experimental constructed wetlands. *Water science and technology*, 1-9.
49. Vargas, O., & Turca, J. (2016). Comportamiento de eficiencia de la remoción de materia orgánica en un bioreactor de lecho móvil alimentado con agua residual doméstica, con la variación del volumen del lecho. Obtenido de https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/350/?utm_source=ciencia.lasalle.edu.co%2Fing_ambiental_sanitaria%2F350&utm_medium=PDF&utm_campaign=PDFCoverPages
50. Vymazal, J. (2009). The use constructed wetlands with horizontal subsurface flow for various types of wastewater. *Ecological engineering*, 1-17.
51. Vymazal, J., & Brezinová, T. (2015). The use constructed wetlands with horizontal subsurface flow for various types of wastewater. *Environment International*, 75(2), 11-20.
52. Whittar, S. (1993). *Capítulo 14: wetland water treatment systems*. (G. A. Moshiri, Ed.) Boca Raton, Florida EE.UU: CRC press inc.

