



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Ambiental

“DETERMINAR EL EFECTO DE TECNOLOGÍAS
DE HUMEDALES ARTIFICIALES COMO
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES”

Trabajo de investigación para optar al grado de:

Bachiller en Ingeniería Ambiental

Autor:

Danny René Malca Quiroz

Asesor:

Mg. Ing. Marieta Eliana Cervantes Peralta

Cajamarca - Perú

2019

Tabla de contenido

ÍNDICE DE TABLAS.....	3
ÍNDICE DE FIGURAS	4
RESUMEN	5
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	6
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....	8
CAPÍTULO III. RESULTADOS	14
CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES.....	17
REFERENCIAS.....	18
ANEXOS	21

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	16
Tabla 2	17
Tabla 3	18

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	16
Figura 2	17
Figura 3	18

RESUMEN

Objetivo: Determinar el efecto de tecnologías de humedales artificiales como tratamiento de aguas residuales.

Materiales y métodos: Se realizó una revisión sistémica del efecto de tecnologías de humedales artificiales como tratamiento de aguas residuales, utilizando base de datos científicas como: Scielo, Redalyc, ScienceDirect y Crossref. La búsqueda principal fue realizada a través del buscador Google, con las siguientes palabras claves “humedales artificiales” y “tratamiento de aguas residuales”. La inclusión o exclusión de los artículos se limitó a: propiedades de humedales artificiales y los insumos para su elaboración y su utilización en las aguas residuales. Asimismo, se consideró los estudios realizados dentro de un período de diez años.

Resultados: se evidencia que los años de mayor presencia de estudios según nuestro tema de investigación son: 2013 con un 33.4%, 2012 con 25%. Según el tema de investigación por cada base de datos consultada es de 93.3% en Redalyc y del 6.7% en Scielo. Por el tipo de investigación, se obtuvo que el 66.7%, pertenecen a investigaciones cualitativas, el 20% a investigaciones mixtas y otras en un 13.3%.

Conclusiones. Los resultados indican que la utilización de humedales artificiales reduce los riesgos de salud y riesgos ambientales; asimismo, mejora las características organolépticas del agua residual y lleva el pH a valores cercanos a la neutralidad. También, se observa una estrecha relación entre el tipo de vegetal que se procesa y la carga orgánica del efluente.

PALABRAS CLAVES: Tecnologías limpias, humedales artificiales, aguas residuales

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Justificación

Las actividades humanas producen toneladas de residuos sólidos orgánicos que causan problemas al ambiente, como la contaminación de suelo, agua y mantos freáticos. (Lugo, Del Águila, Vaca, Casas-Hinojosa, & Yáñez-Ocampo, 2017)

El agua es uno de los recursos naturales que forma parte del desarrollo de cualquier país; es el compuesto químico más abundante del planeta y resulta indispensable para el desarrollo de la vida. Su disponibilidad es paulatinamente menor debido a su contaminación por diversos medios, incluyendo a los mantos acuíferos, lo cual representa un desequilibrio ambiental, económico y social.

Las aguas residuales se definen como aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general, de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas (Rodríguez-Miranda, Gómez, ..., & 2010, n.d.)

También, en la zona rural podemos encontrar este tipo de contaminación, que no solo afecta al lugar, porque las aguas residuales domésticas son desechadas en las riberas del río, propagando de esta manera focos infecciosos dañinos para la salud de los humanos y se pone en riesgo los ecosistemas.

Esto nos impone el deber de aprender cómo vivir cada vez mejor sin que este deseo nos cueste la vida y limite la aspiración de oportunidades equitativas de desarrollo a todas las personas, en las generaciones presentes y futuras. Entonces entendemos que el ambiente nos impone a todos deberes, responsabilidades y compromisos éticos con la humanidad y con nuestro entorno, más que derechos. No es accidental, entonces,

que el Derecho Ambiental sea un sistema en donde la lista de deberes supera largamente a la de derechos (Taborda, 2008)

Una de las soluciones más atractivas, se encuentra en las que imitan a la naturaleza. Estos tratamientos se denominan tratamientos naturales de aguas residuales, es frecuente el uso de lagunajes, sistemas de infiltración, humedales artificiales; estos producen efluentes de buena calidad; además, de que conlleva menores gastos de inversión, operación y mantenimiento y no se requiere de personal altamente capacitado. (Martínez, Toro, ..., & 2010, n.d.)

1.2. Formulación del problema

- ¿Cuáles son los efectos de tecnologías de humedales artificiales como tratamiento de aguas residuales?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

- Determinar los efectos de las tecnologías de humedales artificiales como tratamiento de aguas residuales.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar la existencia de estudios sobre el efecto de tecnologías de humedales artificiales como tratamiento de aguas residuales.
- Determinar las características de los humedales artificiales.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

Se realizó una revisión sistémica de los efectos de las tecnologías de humedales artificiales como tratamiento de aguas residuales, utilizando base de datos científicas como: Scielo, Redalyc, ScienceDirect y Crossref. La búsqueda principal fue realizada a través del buscador Google, con las siguientes palabras claves “humedales artificiales” y “tratamiento de aguas residuales”. La inclusión o exclusión de los artículos se limitó a: propiedades de humedales artificiales y los insumos para su elaboración y su utilización en las aguas residuales. Del mismo modo también se consideró los estudios realizados dentro de un período de diez años atrás. De los artículos seleccionados se recogieron y analizaron las siguientes variables: características físicas, químicas, biológicas y propiedades físicas de agua. Los problemas presentados en la recolección de información están relacionados con escasa información relevante del tema a investigar.

A continuación, se presentan los artículos relacionados con el tema de investigación:

N°	Autores	Título	Año	Título de la fuente	Link/enlace	Afiliaciones	Abstrat/resumen	Palabras clave	Tipo de estudio	Motivos de exclusión	Motivos de inclusión
1	(Arias, neograna dina.)	Humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales	2003	Sistema de Información Científica Redalyc Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal	Redalyc	Revista Internacional de Contaminación Ambiental	El objetivo de la investigación se basa en la generación de ahaus residuales que obligan a la ingeniería a buscar, encontrar y aplicar alternativas de tratamiento de depuración eficiente, autónomo y económicamente viable. Dándose una de las soluciones más atractivas en el tratamiento de aguas residuales que emulan los fenómenos que ocurren espontáneamente a la naturaleza; cada vez es más frecuente el uso de lagunajes, de sistemas de infiltración, humedales artificiales de toda la variedad de sistemas, pues producen un efluentes de buena calidad.	Demanda biológica de oxígeno, reducción, absorción, nitrificación, sólidos suspendidos.	Teórico	Antigüedad	
2	(Solís Silvan, López Ocaña, Bautista Margulis, Hernández Barajas, & Romellón Cerino)	Evaluación de humedales artificiales de flujo libre y superficial en la remoción de contaminantes de aguas residuales utilizando diferentes especies de vegetación macrófita	2016	Sistema de Información Científica Redalyc Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal	Redalyc	Revista Internacional de Contaminación Ambiental	Las descargas de aguas residuales contienen altas cargas de turbiedad, color, sólidos suspendidos totales (SST), nitrógeno total (NT), fósforo total (PT), demanda química de oxígeno (DQO) y demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), lo cual provoca daños a los ecosistemas acuáticos y terrestres. Por ello se deben reducir estas cargas contaminantes a niveles bajos para mitigar la contaminación de los ecosistemas. En el presente estudio se implementaron humedales artificiales de flujo libre operando con <i>Typha domingensis</i> (espadaño) y <i>Eichhornia crassipes</i> (jacinto de agua), y humedales de flujo subsuperficial empleando <i>Paspalum paniculatum</i> (camalote) y <i>Cyperus articulatus</i> L (chintul) para remover contaminantes del agua residual. Se implementaron también lagunas sin vegetación y lagunas con grava como controles.	Demanda bioquímica de de oxígeno, flujo libre, flujo subsuperficial, humedal artificial, vegetación macrófita	Experimental		Por tener relación con la variable de estudio
3	(Romero, Colín, Sánchez, & Ortiz)	Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: evaluación de la remoción de la carga orgánica	2009	Sistema de Información Científica Redalyc Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal	Redalyc		El tratamiento de las aguas residuales es una cuestión prioritaria a nivel mundial, ya que es importante disponer de agua de calidad y en cantidad suficiente, lo que permitirá una mejora del ambiente, la salud y la calidad de vida. Los humedales artificiales son una alternativa de tratamiento debido a su alta eficiencia de remoción de contaminantes y a su bajo costo de instalación y mantenimiento.	Aguas residuales, humedal artificial, contaminantes	Experimental	Antigüedad	
4	(María Reyes, Judith, Alfredo, & Joaquín)	Humedal de flujo vertical para tratamiento terciario del efluente físico-químico de una estación depuradora de aguas residuales domésticas	2013	Sistema de Información Científica Redalyc Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal	Redalyc		Alimentados con el efluente de un proceso físico-químico de una estación depuradora de aguas residuales (EDAR) se explotaron 2 humedales de flujo vertical, uno sembrado con la especie <i>Iris pseudacorus</i> (HFV2) y el otro sin ningún tipo de vegetación (HFV4). La composición del lecho fue (en cm): 20 de arena, 10 de turba, 40 de gravilla y 10 de grava. Se realizaron 3 fases experimentales ensayándose las siguientes cargas hidráulicas (CH): 4.2; 8.3; y 16.6 cm/d (orden cronológico). La evaluación se realizó durante el estado estacionario del proceso.	humedal artificial, iris pseudacorus, tratamiento de afino, nitrificación	Experimental		Relación con la variable de estudio

5	(Carbó Bacaicoa)	Integración de la técnica de depuración de aguas residuales mediante humedales con los sistemas de recirculación para la acuicultura	2012	Sistema de Información Científica Redalyc Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal	Redalyc	En el medio ambiente natural, el agua, el suelo, las plantas, los microorganismos y la atmósfera, interaccionan entre ellos y se producen procesos físicos, químicos y biológicos. El ser humano ha estudiado estos procesos naturales y ha aprendido a aprovecharlos para diseñar sistemas de tratamiento del agua residual. Los procesos que intervienen en estos sistemas de tratamiento incluyen sedimentación, filtración, transferencia de gases, adsorción, intercambio iónico, precipitación química, oxidación, reducción química, conversión y descomposición biológica, fotosíntesis, fotooxidación, y asimilación por parte de las plantas.		Teórico		Relación con la variable de estudio
6	(R. Mexicana)	Remoción de contaminantes de aguas residuales por medio de humedales artificiales establecidos en el Municipio de Actopan, Veracruz-México	2016	Sistema de Información Científica Redalyc Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal	Redalyc	El jugo de agave azul es una fuente natural de fructanos y fibras dietéticas, que representa un gran interés en la industria alimentaria como ingrediente funcional. El objetivo de este trabajo fue incrementar el rendimiento, reducir la deposición en la pared del secador y mejorar los atributos de calidad en el secado por aspersión de jugo de agave azul. El incremento en el rendimiento total de polvo se obtuvo cuando se hicieron cambios en la temperatura de salida, velocidad de aspersión y flujo de aire. La reducción máxima de la deposición y el mejor rendimiento fueron encontrados a temperatura de entrada de 198 °C y temperatura de salida de 80 °C, con un de flujo de aire de 720 m3h-1	Secado por aspersión, atributos de calidad, jugo de agave azul, deposición, fructanos	Teórico	No guarda relación con la variable de estudio	
7	(Andrés & guzmán)	Tratamiento de aguas de escorrentía mediante humedales artificiales: estados del arte	2012	Sistema de Información Científica Redalyc Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal	Redalyc	La concentración de contaminantes en aguas lluvia es un tema que preocupa a las entidades gubernamentales porque deterioran la calidad hídrica de las fuentes receptoras. En varios países, se han iniciado investigaciones y desarrollo de metodologías para tratar este tipo de aguas. Una de estas técnicas es la ejecución de humedales artificiales, y es una de las más aceptadas por su gran eficiencia en la remoción de contaminantes.	Contaminación de aguas de lluvias, fuentes, puntuales, humedales artificiales,	Teórico	No guarda relación con la variable de estudio	
8	(Bernal; Rina)	Bacterias como herramientas potenciales en el mejoramiento de humedales artificiales para el tratamiento de aguas	2010	Sistema de Información Científica Redalyc Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal	Redalyc	El tratamiento de aguas residuales, tomando como referencia los sistemas de humedales artificiales o construidos, los cuales representan una alternativa sostenible para la remoción de contaminantes. No obstante, el papel de los microorganismos en estos sistemas no ha sido totalmente estudiado. Teniendo estos elementos en cuenta, el objetivo del trabajo fue obtener cepas bacterianas nativas con potencialidades para ser empleadas en el bioaumentación de humedales construidos. Se aislaron bacterias rizosféricas de plantas hidrófitas de humedales naturales y se les realizó una batería de pruebas fisiológicas como fijación de nitrógeno y solubilización de fosfato y acumulación de fosfato, reducción de nitrato, oxidación de amonio, nitrito y amonificación (para la disminución o eliminación de fósforo y nitrógeno).	Tratamiento de aguas residuales, bacterias rizosféricas, humedales artificiales, bioaumentación	Experimental	No guarda relación con la variable de estudio	

9	(Madera, Silva, & Peña)	Sistemas combinados para el tratamiento de aguas residuales basados en tanque séptico-filtro anaerobio y humedales subsuperficiales	2005	Sistema de Información Científica Redalyc Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal	Redalyc		Colombia está afrontando una gran problemática de contaminación de sus fuentes hídricas, ya que gran parte de los ríos, cerca de los cuales se asienta más del 90% de la población, están siendo deteriorados por la descarga de aguas residuales sin tratar. Actualmente en el país la cobertura de sistemas de tratamiento alcanza solamente el 12%. Existen trabajos de investigación que han planteado que los sistemas anaeróbicos complementados con sistemas naturales para el tratamiento de Aguas Residuales Domésticas (ARD) son una buena combinación para los pequeños municipios y comunidades rurales. Una evaluación del comportamiento del sistema Tanque Séptico (TS) + Filtro Anaerobio (FA) + Humedal de Flujo Subsuperficial (HFS) fue realizada en dos sitios, Ginebra y Cali en el Valle del Cauca, Colombia.	Aguas residuales domésticas, eficiencia de remoción, filtro anaerobio, humedal, sistema integrado, tanque séptico	Teórico	Antigüedad	
10	(Navarro, A.; García, Y.; Vázquez, A.; Marrugo, J.)	Eficiencia de un humedal de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas residuales del empacado de hortalizas	2013	Sistema de Información Científica Redalyc Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal	Redalyc		Con el objetivo de tratar el agua resultante del pelado de vegetales de una empacadora situada en Atlixco, México, se utilizó un sistema de humedales construidos de flujo subsuperficial horizontal, a nivel de mesocosmos, compuesto por un sedimentador, una celda con grava de río y plantada con Phragmites australis, seguida por dos celdas paralelas, con grava y piedra volcánica, plantadas con Typha latifolia. Operando por semilotes, el tiempo de residencia hidráulica en cada celda fue de 5 días. Las características del agua residual y los resultados del tratamiento fueron altamente variables dependiendo del vegetal procesado. El porcentaje de reducción de la Demanda Química y Bioquímica de Oxígeno (DQO/DBO) fue de 77/48 con altas cargas orgánicas del agua residual (DBO > 2000 mg L-1) y de 92/94 con bajas cargas (DBO < 1200 mg L-1).	Aguas residuales, empacado de hortalizas, tratamiento, humedal construido	Experimental	No guarda relación con la variable de estudio	
11	(Rodríguez-Miranda)	Estudio de comparación del tratamiento de aguas residuales domésticas utilizando lentejas y buchón de agua en humedales artificiales	2010	Sistema de Información Científica Redalyc Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal	Redalyc		El estudio de comparación del tratamiento de aguas residuales domésticas utilizando sistemas naturales como los humedales artificiales presenta resultados de remoción de materia orgánica (DBO5) de entre 70 y 86% al utilizar el buchón de agua, y de 58% cuando se utiliza lenteja de agua. El sistema de humedales artificiales se comporta hidráulicamente como un modelo de flujo pistón, sin distinción del tipo de planta acuática que se use. Durante la experimentación se observó que cuando se utilizó la lenteja de agua en el humedal artificial, ésta le aportó al agua elementos característicos de la planta que aumentan el pH (> 11) en el agua efluente; mientras que con el buchón de agua, los valores de pH del agua están en el rango de 6 a 8,0, favoreciendo la estabilización de la materia orgánica dentro del sistema biológico.	Humedales, DBO, agua residual, Eichhornia, Lemna	Teórico		Relación con la variable de estudio

12	(Hernandez, Perez, Dominguez, & Cachaldo ra)	Humedal subsuperficial vertical para el tratamiento de aguas residuales: diseño, construcción y evaluación	2012	Sistema de Información Científica Redalyc Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal	Redalyc	Se realizó la caracterización de las aguas residuales afluentes del tanque de reboso según Standard Methods, y se realizó el cálculo del área necesaria para lograr la reducción de los contaminantes, considerando el comportamiento de estos sistemas como una cinética de primer orden para la remoción de la DBO y el nitrógeno, entre otros. Se propone un humedal subsuperficial vertical con un área superficial de aproximadamente 20 m2 con 0,8 m de altura, y como sustrato el suelo ferralítico rojo que presenta alto contenido de hierro y aluminio, lo que favorece la remoción de fósforo, plantado con <i>Typha domingensis</i> . Además se realizó la construcción del mismo y la evaluación de la eficiencia en la depuración de los principales contaminantes, lográndose una aumento del oxígeno disuelto y la reducción de los sólidos suspendidos, DQO, DBO y nitrógeno por debajo del límite máximo permisible promedio, según NC- 27-1999.	Filtros plantados, humedales subsuperficiales, aguas residuales, depuración	Experimental	No guarda relación con la variable de estudio	
13	(Pérez, Alfaro, Sasa, & Agüero, 2013)	Evaluación del funcionamiento de un sistema alternativo de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales	2013	Sistema de Información Científica Redalyc Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal	Redalyc	Recibido el 10 de junio de 2012. Corregido el 18 de agosto de 2012. Aceptado el 2 de octubre de 2012. Resumen: En Costa Rica, las aguas negras generalmente son depositadas en tanques sépticos en donde se dan procesos de sedimentación y el efluente se infiltra en el subsuelo. Esta actividad representa un gran riesgo para la salud humana y un impacto negativo en el medio ambiente debido a la posible contaminación de aguas subterráneas. En este caso de estudio, se presenta la aplicación de un humedal artificial horizontal de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas negras en una industria cosmética y farmacéutica, como tecnología de bajo costo, utilizando un sistema de macrófitas enraizadas emergentes. El <i>Cyperus papyrus</i> , una especie común y fácilmente adaptable a las condiciones climáticas del país, fue utilizada en la remoción de cargas orgánicas de los efluentes de aguas negras y se obtuvieron porcentajes de remoción entre un 61% y un 90%. La calidad del agua vertida post-tratamiento resultó acorde con la legislación nacional vigente. Los resultados obtenidos permiten demostrar la efectividad de este tipo de sistemas para el tratamiento de aguas residuales en países con climas tropicales	Humedales artificiales subsuperficiales horizontales, aguas residuales, clima tropical, <i>Cyperus papyrus</i>	Experimental	Relación con la variable de estudio	

14	(Castañeda Villanueva & Flores López, 2013)	Tratamiento de aguas residuales domésticas mediante plantas macrófitas típicas en Los Altos de Jalisco, México	2013	Sistema de Información Científica Redalyc Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal	Redalyc	Se evalúan tres tipos diferentes de plantas típicas de los humedales naturales en la región de Los Altos de Jalisco como lo son: el carrizo común (<i>Phragmites australis</i>), el gladiolo (<i>Gladiolus spp</i>) y la tatora (<i>Typha latifolia</i>), mediante la medición de parámetros de calidad de agua contenidos en las normas oficiales mexicanas (NOM-001-SEMARNAT-1996 y NOM-003-SEMARNAT-1997), como el potencial de hidrógeno (pH), la demanda bioquímica de oxígeno en cinco días, el nitrógeno total, el fósforo total y las grasas y aceites, en unidades experimentales con tiempos de retención de tres, cinco y siete días realizando cuatro evaluaciones en un año. Los resultados mostraron reducciones significativas en todos los parámetros estudiados, de tal forma que las plantas evaluadas pueden ser una alternativa sustentable para la remoción de carga orgánica y nutrientes presentes en aguas residuales domésticas con bajo costo de instalación, operación y mantenimiento.	Saneamiento, efluentes domésticos	Experimental	No guarda relación con la variable de estudio	
15	(Zurita-Martínez, Castellanos-Hernández & Rodríguez-Sahagún)	El tratamiento de las aguas residuales municipales en las comunidades rurales de México	2011	Sistema de Información Científica Scielo Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal	Scielo	El estado actual del tratamiento de las aguas residuales municipales en las comunidades rurales en México, así como discutir cuáles son las barreras y retos que se deben superar, para incrementar la cobertura de plantas de tratamiento. En la mayoría de los estados, se está dejando de atender las pequeñas comunidades rurales de menos de 2 500 habitantes, en especial aquellas 47 233 localidades con 100-2 499 habitantes, en donde es factible instalar plantas de tratamiento. En las zonas rurales se ha dado prioridad a la cobertura de agua potable y los servicios de alcantarillado, lo que ha incrementado el volumen de aguas residuales municipales.	Lagunas de estabilización, humedales artificiales, saneamiento, sistemas naturales de tratamiento	Teórico	Relación con la variable de estudio	

CAPÍTULO III. RESULTADOS

Según el porcentaje de artículos publicados entre el año 2010 - 2018 y de acuerdo a la metodología utilizada, se evidencia que los años de mayor presencia de estudios según nuestro tema de investigación son: 2013 con un 33.4%, 2012 con 25%.

Tabla 1

Porcentaje de artículos publicados en el período 2010 - 2018

Año de publication	Cantidad	Porcentaje
2010	2	16.6%
2011	1	8.4%
2012	3	25%
2013	4	33.4%
2014	0	0%
2015	0	0%
2016	2	16.6%
2017	0	0%
2018	0	0%
Total	12	100%

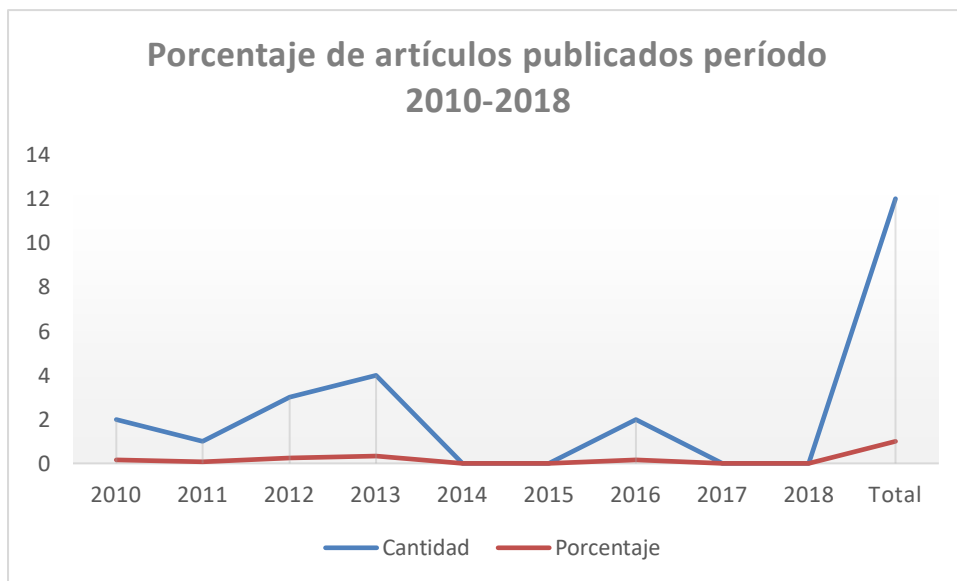


Figura 1. Porcentaje de artículos publicados período 2010 - 2018

Se determinó la cantidad de artículos analizados según el tema de investigación por cada base de datos consultada es de 93.3% en Redalyc y del 6.7% en Scielo.

Tabla 2

Porcentaje de artículos analizados por cada base de datos consultada

Base de datos	Cantidad	Artículos analizados
Redalyc	14	93.3%
Scielo	1	6.7%
Total	15	100.00%

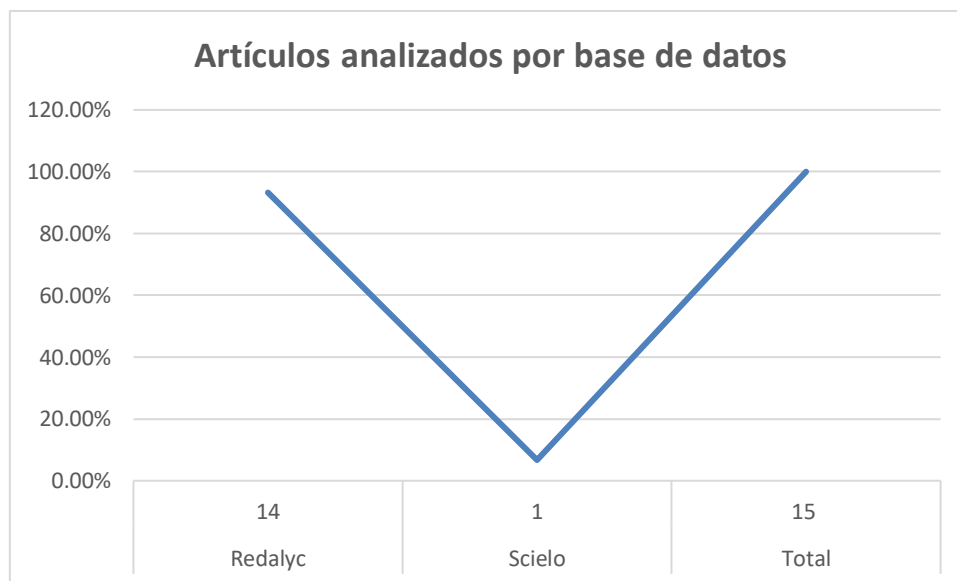


Figura 2. Artículos analizados por cada base de datos

Además, se ha elaborado la siguiente tabla donde podemos apreciar los artículos analizados según el tipo de investigación, obteniendo que el 66.7%, pertenecen a investigaciones cualitativas y el 20% a mixtas y otros el 13.3%.

Tabla 3

Porcentaje de artículos analizados según el tipo de investigación

Tipo de investigación	Cantidad	Artículos analizados
Cualitativa	10	66.7%
Mixta	3	20%
Otros	2	13.3%
Total	15	100.00%

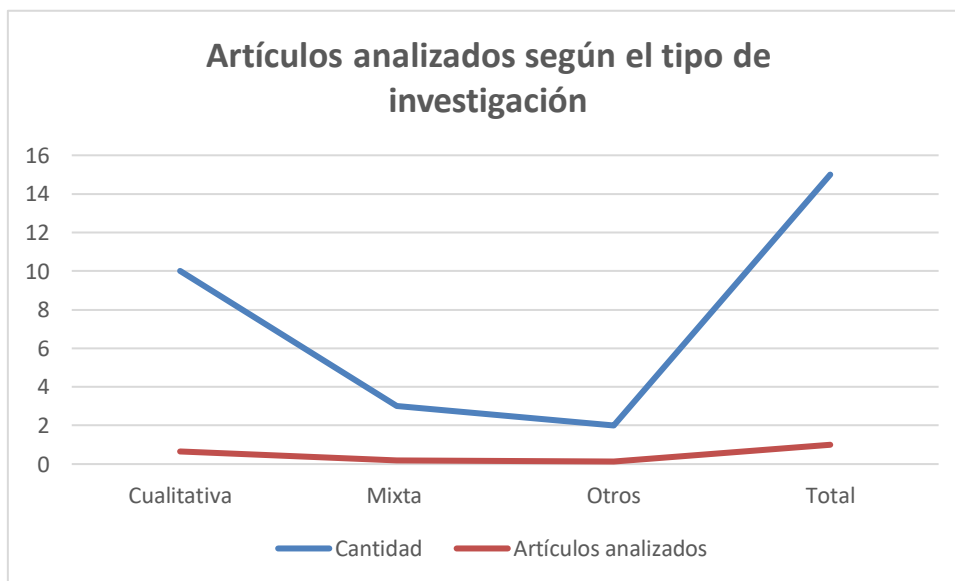


Figura 3. Artículos analizados según el tipo de investigación

CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES

La revisión de la literatura científica realizada nos da como uno de los resultados la reducción de los riesgos de salud y riesgos ambientales debido a que las aguas residuales no serán expulsadas directamente al ambiente sino mediante la utilización de tecnologías de humedales artificiales, lo que se reflejaría en la disminución de enfermedades respiratorias, de la piel, entre otras.

El tratamiento de aguas residuales mediante humedales artificiales en el HFSS mejora las características organolépticas del agua residual y lleva el pH a valores cercanos a la neutralidad. Se observó una estrecha relación entre el tipo de vegetal que se procesa y la carga orgánica del efluente, con valores de la DBO5 y DQO en los intervalos de 1000 – 4500 y 2000 – 16000 mgL⁻¹, respectivamente.

Los resultados obtenidos muestran que, bajo determinadas cargas, correspondientes a valores de la DBO5 inferiores a 1200 mgL⁻¹, un HFSS de dos etapas, utilizando *Phragmites Australis* y *Typha Latifolia*, puede ser suficiente para el tratamiento de las aguas, alcanzando porcentajes de remoción de la DBO5 y DQO superiores al 90%.

REFERENCIAS

- Arias, C., neogranadina, H. B.-C. e ingeniería, & 2003, undefined. (n.d.). Humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales. *Redalyc.Org*. Retrieved from <https://www.redalyc.org/pdf/911/91101302.pdf>
- Bernal, R., Arias, M., Domínguez, M., Durán, R., Valdés, M., & Sardiñas, A. (2010). Bacterias como herramientas potenciales en el mejoramiento de humedales artificiales para el tratamiento de aguas. *Revista CENIC. Ciencias Biológicas*, 41(0253–5688), 1–10. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181220509036>
- Carbó Bacaicoa, R. (2012). Integración de la técnica de depuración de aguas residuales mediante humedales con los sistemas de recirculación para la acuicultura. *Revista AquaTIC*, 37, 25–31. Retrieved from http://www.revistaaquatic.com/aquatic/pdf/37_5.pdf
- Castañeda Villanueva, A. A., & Flores López, H. E. (2013). Tratamiento de aguas residuales domésticas mediante plantas macrófitas típicas en Los Altos de Jalisco, México. *Paakat: Revista de Tecnología y Sociedad*, (5). Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=499051554003>
- Hernandez, J., Perez, M., Dominguez, E., & Cachaldora, I. (2012). Humedal subsuperficial vertical para el tratamiento de aguas residuales: diseño, construcción y evaluación. *Revista Cubana de Química*, XXIV, 147–154.
- Lugo, J., Del Águila, P., Vaca, R., Casas-Hinojosa, I., & Yáñez-Ocampo, G. (2017). Abono orgánico elaborado con lodo residual y estiércol equino a través de vermicomposteo: Una propuesta como mejorador de suelos. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 33(3), 476–484. <https://doi.org/10.20937/RICA.2017.33.03.10>
- Madera, C., Silva, J., & Peña, M. (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. Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=22956366&lang=es&site=e=ehost-live>

- María Reyes, R.-G., Judith, M.-B., Alfredo, J.-B., & Joaquín, S.-L. (2015). Humedal de flujo vertical para tratamiento terciario del efluente físico-químico de una estación depuradora de aguas residuales domésticas. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 14(2), 223–235. [https://doi.org/10.1016/s1405-7743\(13\)72238-8](https://doi.org/10.1016/s1405-7743(13)72238-8)
- Martínez, S., Toro, F., ... G. R.-I., & 2010, U. (n.d.). Fitorremediación con humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales porcinas. *Revistas.Sena.Edu.Co*. Retrieved from http://revistas.sena.edu.co/index.php/inf_tec/article/view/5
- Mexicana, R., De, I. Q., Artificiales, H., En, E., & Municipio, E. L. (2016). REMOVAL OF WASTEWATER POLLUTANT IN ARTIFICIAL WETLANDS.
- Of, E., Flow, A. S., Wetland, C., Treating, F. O. R., From, W., & Packaging, V. (2013). Hortalizas Efficiency of a Subsurface Flow Constructed Wetland for Treating. *Avances En Ciencias e Ingeniería*, 4(2), 39–50.
- Pérez, R., Alfaro, C., Sasa, J., & Aguero, J. (2013). Evaluación Del Funcionamiento De Un Sistema Alternativo De Humedales Artificiales Para El Tratamiento De Aguas Residuales. *Uniciencia*, 27(1101–0275), 332–340.
- Rodríguez-Miranda, J., Gómez, E., ... L. G.-T. y ciencias, & 2010, undefined. (n.d.). Estudio de comparación del tratamiento de aguas residuales domésticas utilizando lentejas y buchón de agua en humedales artificiales. *Scielo.Org.Mx*. Retrieved from http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-24222010000100005&script=sci_abstract&tlng=en
- Romero, M., Colín, A., Sánchez, E., & Ortiz, M. L. (2009). Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: Evaluación de la remoción de la carga orgánica. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 25(3), 159.
- Solís Silvan, R., López Ocaña, G., Bautista Margulis, R. G., Hernández Barajas, J. R., & Romellón Cerino, M. J. (2016). Evaluación de humedales artificiales de flujo libre y subsuperficial en la remoción de contaminantes de aguas residuales utilizando diferentes especies de vegetación macrófita. *Interciencia*, 41, 40–47.
- Taborda, O. M. (2008). Aspectos legales de la gestión integral de residuos sólidos urbanos en la

provincia de Buenos Aires. *Observatorio Iberoamericano Del Desarrollo Local y La Economía Social (OIDLES)*, 2(5), 18 p. Retrieved from <http://www.eumed.net/rev/oidles/05/omt.zip>

Zurita-Martínez, F., Castellanos-Hernández, O. A., & Rodríguez-Sahagún, A. (2011). El Tratamiento De Las Aguas Residuales Municipales En Las Comunidades Rurales De México* Municipal Wastewater Treatment in Rural Communities in Mexico. *Universidad de Los Andes*, 139–150.

ANEXOS